

# Обзор медицинской термометрии: от создания до современного применения

**Борисов И. В.** <sup>1</sup>

*младший научный сотрудник*

**Бондарь В. А.** <sup>2</sup>

*аспирант*

**Кудинов Д. А.** <sup>1</sup>

*младший научный сотрудник*

**Канарский М. М.** <sup>1</sup>

*младший научный сотрудник*

**Некрасова Ю. Ю.** <sup>1</sup>

*младший научный сотрудник*

**Дмитриев Д. А.** <sup>1</sup>

*врач-анестезиолог-реаниматолог*

1 – ФГБНУ «Федеральный научно-клинический центр реаниматологии и реабилитологии»,  
Московская область, Российская Федерация

2 – ФГАУ «Национальный медицинский исследовательский центр здоровья детей»  
Министерства здравоохранения России, Москва, Российская Федерация

**Автор для корреспонденции:** Борисов Илья Владимирович; **e-mail:** [realzel@gmail.com](mailto:realzel@gmail.com)

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

В обзорной статье описываются первые и современные приборы измерения температуры, их принцип работы и перспективы развития медицинской термометрии в клинической практике наряду с развитием информационных технологий, их преимущества и недостатки. Рассмотрены перспективы применения термометрии с использованием дистанционных методов регистрации температуры, носимых устройств, интернет медицинских вещей, телемедицины, больших данных для пациентов, находящихся на реабилитации в домашних условиях как части непрерывного наблюдения за состоянием здоровья. В статье подчеркнута важность измерения температуры тела методом дистанционной термометрии как одного из основных диагностических маркеров инфекции в период пандемии новой коронавирусной инфекции SARS-CoV-2. Также отмечена принципиальная значимость термометрии для своевременного назначения антипиретической терапии, контроля за течением различных заболеваний и эффективностью назначенного лечения.

**Ключевые слова:** здравоохранение, термометрия, технология, дистанционные технологии, медицина, помощь, интернет вещей, IOMT, реабилитация, COVID-19

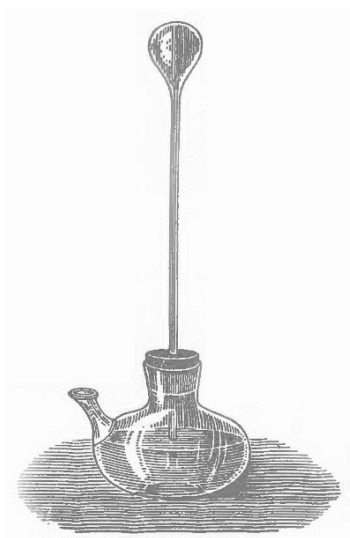
**doi:** 10.29234/2308-9113-2021-9-3-75-90

**Для цитирования:** Борисов И. В., Бондарь В. А., Кудинов Д. А., Канарский М. М., Некрасова Ю. Ю., Дмитриев Д. А. Обзор медицинской термометрии: от создания до современного применения. *Медицина* 2021; 9(3): 75-90

## История термометрии

Термометрия – одна из первых диагностических методик человечества. До второй половины XIX века температуру измеряли эмпирически путем приложения руки. Отметить, кто именно создал первый термометр не представляется возможным. Известно, что его изобретение приписывают нескольким людям: Галилео Галилею, Санторио, лорду Бэкону, Роберту Фладду, Скарпи, Корнелию Дреббелю, Порте и Саломону де Каус. Это связано с тем, что многие ученые одновременно работали над созданием первого устройства, который можно было использовать для измерения температуры воды, воздуха, почвы и человека. С тех времен технология термометрии имеет широкое применение во всех сферах жизнедеятельности человека и несет важную диагностическую функцию в системе здравоохранения [1-3].

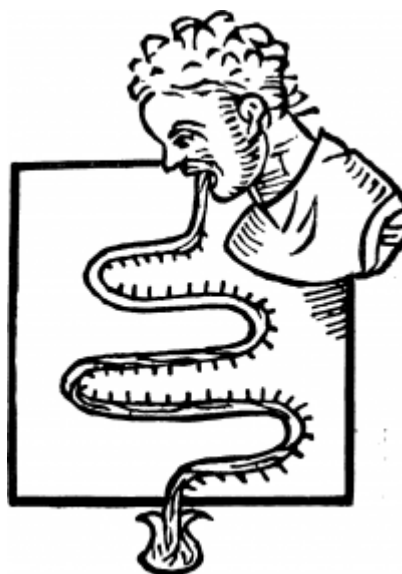
История термометрии начинается с изобретения термоскопа Героном Александрийским в I в. до н.э. [4]. Этот прибор представлял собой стеклянный сосуд с водяным столбиком, который смещался при нагревании. В конце XVI в. термоскоп был открыт вновь Галилео Галилеем. Температуру тела измеряли при помощи трубки, которую помещали в полость рта и через которую воздух перемещался в сосуд с водой (рис. 1) [5].



*Рис. 1. Термоскоп, изобретенный Галилео Галилеем в 1592 году. (Источник Goerke H. Medizin und Technik. Verlag Callway, Munich, 1988)*

Одним из первых исследователей, который поставил перед собой цель создать современный прототип градусника был итальянский врач и физик Санторио Санкториус из Падуанского университета. Санторио был первым, кто выяснил, что у здорового человека должна быть постоянная температура тела. В 1626 году он изобрел термометр, внизу которого располагался огромный шар с жидкостью. К этому шару была припаяна широкая стеклянная трубка с нарисованным на ней делением. Сферическое расширение трубки

располагали во рту пациента. По степени смещения столбика жидкости в трубке судили о том, имелась ли у пациента лихорадка (рис 2.) [5].



*Рис. 2. Термоскоп, сконструированный Санторио Санкториусом. (Источник Goerke H. Medizin und Technik. Verlag Callway, Munich, 1988)*

В 1714 г. метод термометрии был значительно усовершенствован, так как польский физик Габриэль Фаренгейт изобрёл ртутный термометр. Точка замерзания системы был равна 32°F, а точка кипения - 212°F. В 1742 г. шведский физик Цельсий ввёл стоградусную шкалу для измерения температуры [2].

Начиная с 1851 г. профессор медицины в Лейпциге Карл Вундерлих выполнил миллион измерений температуры тела, используя термометр длиной примерно 30 см, помещаемый на 20 минут под мышку. Его наблюдения внесли значительный вклад в практическую медицину и способствовали рутинному применению термометрии [6].

## Методы термометрии

К определению температуры тела прибегают с глубокой древности. Измерение «на ощупь» является одним из первых. Этим методом пользуются даже в наши дни, несмотря на наличие электронных и инфракрасных термометров. Тактильное измерение является неточным, что связано главным образом с тем, что температура кожи в ранней фазе лихорадки снижается из-за вазоконстрикции. При использовании медицинским персоналом этого метода в качестве скринингового лихорадку удалось выявить лишь в 42% случаев [7].

В настоящее время термометры для определения температуры тела подразделяются на 6 видов:

- жидкостные;
- электронные;
- инфракрасные;
- СВЧ-термометр;
- акустотермометр;
- МРТ-термометр.

**Жидкостные термометры**, в основу которых заложен принцип изменения объема жидкости (спирт или ртуть) при изменении окружающей среды, являются современными, наиболее совершенными потомками первых термометров [8-11]. В связи с принятием во всём мире Минаматской конвенции о ртути, направленного на защиту здоровья людей и окружающей среды от антропогенных выбросов и высвобождений ртути и её соединений, которые могут приводить к отравлениям ртутью, с 2020 года запрещено производство, экспорт и импорт ртутьсодержащей продукции, в том числе, ртутных термометров. Взамен ртути используются спирты (этиловый, метиловый, пропиловый), пентан, толуол, сероуглерод, ацетон, таллиевая амальгама и галлий [12].

**Электронные термометры** основаны на принципе изменения сопротивления проводника при изменении окружающей среды. Электронные термометры основаны на термопарах (контакт между металлами с разной электроотрицательностью создаёт контактную разность потенциалов, зависящую от температуры) [13]. В группе электронных термометров наиболее точными и стабильными во времени являются термометры сопротивления на основе платиновой проволоки или платинового напыления на керамику. Возможности электронных термометров – определение температуры в диапазоне от -270 до +1800 градусов Цельсия [14].

**Инфракрасные термометры (пирометры)** позволяют бесконтактно измерить температуру тела. В основе лежит принцип изменения мощности теплового излучения объекта в диапазонах инфракрасного излучения и видимого света. Первый портативный пирометр был разработан и произведен американской компанией Wahl Instruments Inc в 1967 году [15]. В настоящее время широко применяется в медицинском сообществе для быстрого определения температуры тела человека, а также в промышленности, где необходимо быстро определить температуру критически низких и высоких температур без риска получения ожога [15,16].

**СВЧ-термометр** позволяет определять бесконтактным образом внутреннюю температуру тела человека с точностью до 0,2°C. Метод основан на изменении интенсивности собственного электромагнитного излучения внутренних тканей человека в области сверхвысоких частот (СВЧ) [17, 18].

**Акустотермометр** основан на измерении внутренней температуры тела за счет регистрации акустического излучения, создаваемого тепловым движением атомов и молекул среды [17,19]. Измерение температуры происходит за счет того, что при нагревании тела меняется отражение акустического шума от внутренних структур и эти очень слабые искажения можно соотнести с изменением температуры глубоких слоев тканей [19,20].

**МРТ-термометр** основан на применяемой в клинической практике магнитно-резонансной томографии и обеспечивает бесконтактное измерение температуры внутренних органов [21]. По закону Кюри, магнитная восприимчивость вещества обратно пропорциональная температуре [22]. Точность измерения температуры зависит от времени спин-решеточной релаксации, времени спин-спиновой релаксации, протонной плотности (намагниченность), коэффициента диффузии и химического сдвига, и может составляет  $\pm 0,2^\circ\text{C}$  [17].

Сравнительная характеристика термометров, применяемых в медицинской практике представлена в табл. 1.

*Таблица 1. Сравнительная характеристика термометров*

Тип термометра	Применение	Температурный диапазон, °C	Погрешность
Жидкостный	медицинское, бытовое, промышленное, лабораторное	Ртуть от -39 до +600 Сплавы ртути от -60 до +120 Спирт от -80 до +100	от 0 до +50°C допустимая погрешность составляет $\pm 0,5\%$
Электронный		-270 до +1800	$\pm 0,5\%$
Инфракрасный		-100 до +3000	$\pm 2,5-0,5\%$
СВЧ-термометр	медицинское	32-38	$\pm 0,2\%$
Акустотермометр	медицинское	н/д	$\pm 0,3-0,1\%$
МРТ-термометр	медицинское	30-45	$\pm 0,2\%$

Практически все виды термометров имеют предел погрешности 0,5%, что в пределах температур измерения тела человека составляет около  $\pm 0,2^\circ\text{C}$ . Для бытовых и домашних диагностических целей данная погрешность фактически незначительна, тогда как для лабораторных и промышленных целей, где колебание или отклонение от номинальной температуры влияет на качество и результаты, выбор термометра – важный элемент достижения поставленных целей [1].

## Современные перспективы термометрии

В настоящее время, одновременно с взрывным ростом проникновения информационных технологий в практическое здравоохранение, термометрия остаётся востребованной как в качестве консервативного метода наблюдения здоровья, так и в качестве современного диагностического инструмента с применением ряда актуальных решений, в числе которых можно выделить: дистанционное измерение температуры, носимые термометры, интернет медицинских вещей, телемедицину [23].

### Дистанционное измерение

Ключевым методом дистанционного измерения температуры на данный момент является инфракрасная термография. Данный метод реализуется в широком диапазоне технологических решений – от недорогих с высокой погрешностью до высокоточных, требующих высоких затрат на производство. Инфракрасное измерение температуры может быть как самостоятельным методом медицинской визуализации, когда измерительный прибор создаёт карту температур на теле исследуемого человека, так и дополнительным инструментом в составе диагностического комплекса [24]. Массовое применение данная технология нашла в 2020-2021 годах по всему миру, в связи с высокой эффективностью для бесконтактной проверки наличия или отсутствия у посетителей общественных пространств температурной реакции вирусной инфекции [25]. Типовой программно-аппаратный комплекс дистанционной термометрии включает тепловизионный модуль, совмещённый с видеокамерой, а также устройства обработки, накопления и демонстрации данных (например, такой комплекс представлен в линейке устройств от производителя ООО "ЭВС") [26,27].

### Носимые устройства

Непрерывное получение актуальных сведений о состоянии организма является неоспоримой ценностью для эффективного восстановления пациентов, находящихся под наблюдением или в процессе реабилитации [28]. Применение данных, снимаемых с диагностического прибора, используемого автономно, связано с рядом дополнительных условий (данные должны проходить проверку на релевантность), однако носимые устройства, находящиеся непосредственно на теле наблюдаемого в процессе обычной жизнедеятельности, являются эффективным решением в условиях, когда непрерывный мониторинг представляет ценность даже при условии возможных погрешностей. В будущем, с введением сертификации, данные с носимых устройств могут быть приравнены по точности к данным, получаемым внутри медицинской организации. В настоящее время в практике используются как медицинские носимые термометры

(например, беспроводной умный термометр NIRA [29], так и бытовые, в составе устройств повседневного использования (например, датчик температуры тела встраивают в «умные часы» таких производителей как Huawei, Samsung и других). В обоих случаях современные носимые термометры, как правило, предоставляют прямой (подключение к персональному компьютеру) и удалённый доступ к данным (в том числе посредством специализированных медицинских приложений на смартфонах), но дают только общие сведения о температуре тела, которые не позволяют составить карту температуры отдельных участков тела [30].

## Интернет медицинских вещей, телемедицина, большие данные

Большинство людей, как реабилитируемых, так и здоровых, заинтересованы в непрерывном мониторинге своего здоровья, однако не всегда имеют возможность пройти диспансеризацию. Также, даже регулярная диспансеризация упускает случаи локального ухудшения здоровья человека между исследованиями. Термометрия позволяет проводить непрерывный или регулярный мониторинг за состоянием здоровья любого человека, независимо от способа диагностики. Устройства термометрии и термографии должны стать полноценными участниками т.н. интернета медицинских вещей (Internet of Medical Things, IoMT) [31]. IoMT является применением технологии интернета вещей для медицинских целей, включая сбор и анализ данных для исследования и мониторинга. Интернет медицинских вещей может быть как элементом цифровой медицины, так и технологией для целей телемедицины. Ключевая задача IoMT – создание универсальных протоколов обмена данными в системе, которые будут использовать в том числе и диагностические приборы дистанционного мониторинга [32,33].

Из числа необходимых мероприятий, которые сообществу разработчиков потребуется сформулировать и ввести в практическую медицину, чтобы термометрия посредством дистанционной или удалённой диагностики могла войти в перечень стандартных диагностических инструментов, а также без существенных сложностей стать частью медицинских данных в будущих электронных картах пациентов, необходимо отметить задачу кодирования данных о температуре в различных участках тела человека, снимаемых и фиксируемых посредством перспективных устройств. Универсальный метод кодирования термографических данных на теле исследуемого, вкупе с данными о пациенте, а также о времени и условиях проведения измерений, позволит полноценно добавлять такие сведения в электронную карту не только в виде статистики, но и в виде медицинской визуализации [34,35].

Интеграция, системная аналитика термометрических и термографических данных между собой, а также с другими медицинскими данными наблюдаемого может осуществляться по технологии Больших данных [36].

Сравнительный анализ перспективных технологий с применением метода термометрии представлен в табл. 2.



**Таблица 2. Сравнительный анализ перспективных технологий с применением термометрии**

Технология	Применение	Преимущества	Недостатки
Дистанционное измерение	Комплексы, содержащие устройства для бесконтактной термометрии, устанавливаются в общественных и иных местах, чтобы осуществлять диагностику любого человека на расстоянии до нескольких метров. В настоящее время чаще всего применяются для измерения температуры у посетителей общественных мест.	Измерение делается практически мгновенно. Возможность интеграции в системы интернета медицинских вещей и телемедицины в качестве источника больших данных.	Невысокая точность измерений. Высокая ресурсоёмкость. Высокая зависимость от условий размещения.
Носимые устройства	Устройства, которые прикрепляются к телу наблюдаемого, производят непрерывный мониторинг состояния при лечении, реабилитации или наблюдении. Термометрия, при этом, может сочетаться с наблюдением за другими параметрами.	Мобильность. Высокая точность измерения в непосредственной зоне контакта.	Зависимость от электроэнергии. Ресурсоёмкость процесса сбора данных, зависимость от технологий беспроводной передачи данных. Низкая надёжность данных.
Интернет медицинских вещей (IoMT)	Универсальный протокол обмена медицинскими данными между диагностическими (и иными) приборами и провайдерами медицинских данных.	В одной медицинской карте пациента возможно совмещать (в том числе в режиме онлайн) информацию о термометрических данных с разных устройств.	Необходимость высокой универсализации всех устройств IoMT, технологическое устаревание. Уязвимость протоколов передачи данных для информационных атак злоумышленников.
Телемедицина	Дистанционное диагностирование и использование для установки диагноза термометрических данных пациента, находящегося в удалённом доступе.	Возможность осуществления диагностики и анализа данных в режиме реального времени, в том числе автоматизировано.	Необходимость удостоверения термометрических данных. Зависимость от мета-дисциплинарной квалификации врача. Необходимость дополнительной сертификации устройств термометрии.
Большие данные	Программные решения для накопления и анализа предназначаются для наблюдения не только за целевыми параметрами, но и совмещения диагностических данных с другой информацией. За счёт использования машинных методов обработки данных система обрабатывает объёмы информации, недоступные для человека.	Аккумуляирование и аналитика любых данных, в том числе опосредованных. Технология не требует специализированных устройств термометрии, но может их использовать для целей повышения качества данных.	Качество анализа данных зависит от качества программных решений. Консервативность технологических решений в отрасли, необходимость защиты от накопления ошибок. Низкая стабильность статистических данных.



Наиболее показательным применением дистанционной термометрии стало размещение на входах в общественные пространства бесконтактных измерительных приборов для противостояния распространению коронавирусной инфекции SARS-CoV-2, так как измерение температуры тела является одним из ключевых диагностических маркеров заболевания [37]. Тем не менее, несмотря на эффективность по скорости и безопасности диагностики, устройства дистанционной термометрии не могут считаться универсальным решением, так как высокая скорость диагностики сочетается с рядом недостатков, таких как высокая стоимость оборудования и ограниченная точность измерения. Для более точных исследований может быть применена МРТ-термометрия, которая, в отличие от дистанционного способа, позволяет измерить внутричерепную температуру и/или температуру внутренних органов, что позволяет выявлять локальные очаги повышения температуры с высокой точностью [17,21,22].

Носимые устройства, а также диагностические устройства, которые будут работать по технологии интернета медицинских вещей, обладают высокой зависимостью от смежных технологий, от квалификации специалистов, от надёжности получаемых данных, от надёжности ввода и передачи термометрических данных [25,31,33]. Высокая эффективность таких устройств в первую очередь складывается за счёт синергетического влияния ряда факторов: универсальность, доступность, мобильность, высокие возможности адаптации и настройки. Положительные факторы от применения носимых устройств и устройств IoMT позволяют решать широкий спектр задач для оперативного наблюдения и анализа жизненных показателей человека, но в условиях критической важности точности термометрических данных такие устройства диагностики должны дублироваться или заменяться термометрией высокой точности [31,33].

Многие сферы применения термометрии являются актуальными на данный момент и останутся в данной роли в будущем:

- моментальный скрининг заболевания (в том числе, бесконтактный, массовый, в режиме реального времени и т.п.);
- скрининг при посещении врача и наблюдении;
- контроль за температурой больных в отделении реанимации;
- мобильная термометрия для пациентов, проходящих реабилитацию;
- автоматизированная диспансеризация здоровых граждан в режиме реального времени.

Термометрия как консервативный метод диагностики приобретает новые возможности с точки зрения доставки данных и их анализа, в том числе в полностью автоматическом режиме. Новые методы термометрии предлагают более точные, более эффективные

инструменты получения данных о температуре, вплоть до возможности получения трёхмерной карты температуры внутренних человека, что создаёт возможности, которые были недоступны врачу ранее, например, такие, как выявление локальных очагов воспалительных процессов внутренних органов [17,21,22]. Неинвазивное диагностирование заболеваний внутренних органов в контроле за течением заболевания у людей, находящихся на реабилитации в домашних условиях, может (и должно) стать частью системы контроля за показателями состояния здоровья, так как комплексное решение, вкпе с показателями пульса и других физиологических параметров, создаст полное представление о текущем физическом состоянии здоровья человека [23]. Для здоровых людей термометрия также является важным индикатором физиологического состояния, особенно в контексте долгосрочного наблюдения. Сведения о температуре организма являются неотъемлемым индикатором в таких направлениях медицины, например, как профессиональный спорт и электронные системы мониторинга здоровья. При этом информационные технологии формируют новые решения в вопросе доставки, накопления, маршрутизации, использования, анализа данных [35].

Телемедицина, интернет медицинских вещей, большие данные – перспективные технологии, которые в настоящее время находятся на пороге массового применения [31]. Принципиальным ключом к эффективности данных технологий для целей термометрии является высокая степень готовности к интеграции с применением в диагностике и наблюдении с любыми другими методами диагностики и анализа данных. Сведения о температуре тела человека могут быть обработаны в одном блоке с данными о физической активности, местоположении, других биологических параметрах. Любые данные из медицинской карты пациента могут быть соотнесены с данными из электронных регистров по наблюдаемому заболеванию, при этом сам анализ может выполняться в автоматическом режиме с участием специализированного искусственного интеллекта. В сущности, в ближайшем будущем диагностический комплекс, применяющий термографию, может быть дополнен любыми необходимыми сведениями, при этом источник данных будет выбираться и контролироваться непосредственно врачом и пациентом [24,25,31,32,36].

Тем не менее, никакая из технологий не покрывает полный спектр задач по термометрии на данный момент. Следовательно, необходимо развитие технологических решений, которые будут совмещать в одном устройстве или одном программно-аппаратном комплексе несколько из перечисленных технологий, аккумулируя преимущества и устраняя недостатки, присущие отдельным решениям. Одним из путей к усовершенствованию технологии термометрии в практической медицине является развитие систем информационно-аналитического обеспечения в системе здравоохранения (в том числе ЕГИСЗ [38]), которая будет являться промежуточным звеном между устройством сбора данных и врачом, предоставляя сервис накопления и аналитики медицинских данных с привязкой к электронной карте пациента.

## Заключение

Термометрия – один из немногих методов исследования, который никогда не потеряет свою актуальность. Современное развитие технологии позволит более точно и быстро определить температуру тела с непрерывным исследованием в динамике. Дистанционные методы сбора и обработки способствуют интеграции и анализу большого количества данных. Пандемия, вызванная новым коронавирусом SARS-CoV-2, подчеркнула особую важность измерения температуры тела как одного из основных диагностических маркёров инфекции. Несмотря на то, что исследования на тему термометрии немногочисленны, потребность в данном методе растет. Разработка эталонного термометра является главной перспективой этого десятилетия.

## Литература

1. Анисимова Н.В. Термометрия как метод функциональной диагностики. *Известия Пензенского государственного педагогического университета им. В.Г. Белинского* 2007; (9): 36-38.
2. Кудрявцев П.С. История физики. Том 1. От античной физики до Менделеева. М.: Государственное учебно-педагогическое издательство Министерства Просвещения РСФСР, 1948. 536 с.
3. Попов М.М. Термометрия и калориметрия: Учебное пособие. М.: Госхимиздат, 1954.
4. Sarton, G. Sarton on the History of Science. Harvard University Press, 2013.
5. Musher D.M., Dominguez, E.A., Bar-Sela A. Edouard Seguin and the social power of thermometry. *N Engl J Med* 1987; 316:115-117 doi: 10.1056/NEJM198701083160221
6. Wunderlich C.A. Das Verhalten der Eigenwärme in Krankheiten. O. Wigand. 1870.
7. Coffin L.A. The taking of temperatures (continued). *Pediatrics* 1971; 48(3), 493-494.
8. Тагойбобои Ш., Ситамов С. Тепловые явления и история изобретения термометров. *Вопросы психологии и педагогики* 2009; (3), 3-7.
9. Гарсия В. Измерение температуры: теория и практика. *Современные технологии автоматизации* 1999; (1), 82-87.
10. Юсупов В.И., Саломатин, А.С. Способ измерения температуры жидкостержащих пористых сред. Патент на изобретение RU 2 305 260 C2. 2007
11. Сосновский А.Г., Столярова Н.И. Измерение температур. М.: Комитет стандартов, мер и измерительных приборов, 1970. 257 с.
12. WHO Strategic planning for implementation of the health-related articles of the Minamata Convention on Mercury. 2019. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/329449/9789244516843-rus.pdf>
13. West K., Hunt S., Applegate E. Today's Medical Assistant: Clinical & Administrative Procedures. St. Louis: Elsevier Health Sciences, 2015: 36-37.
14. Дивин А.Г., Пономарев С.В. Средства измерения температуры, оптических и радиационных величин: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 221400. Управление качеством. Тамбов: ФГБОУ ВПО ТГТУ, 2013. 116 с.
15. Perpetuini D., Filippini C., Cardone D., Merla, A. An overview of thermal infrared imaging-based screenings during pandemic emergencies. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2021; 18(6): 3286.

16. Ахметзянов Ф.Ш., Шаймарданов И.В., Пашеев А.В., Саетгараев А.К., Муфтахутдинова Г.Ш., Садыков К.К., Егоров В.И. Профилактика и лечение непреднамеренной периперационной гипотермии. *Казанский медицинский журнал* 2018; 99(1): 70-78.
17. Жорина Л.В. Методы неинвазивного измерения внутренней температуры тела. *Вестник российских университетов. Математика* 2017; 22(2): 464-470.
18. Веснин С.Г. Основы микроволновой радиотермометрии. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.radiometry.ru/radiometry/books/upload/7/11020706.pdf>
19. Аносов А. А., Балашов И. С., Ерофеев А. В., Жданкина Ю. С., Шаракшанэ А. А., Мансфельд А.Д. Измерения глубинной температуры тела человека методом пассивной акустической термометрии. *Общая реаниматология* 2019; 15(1): 39-46.
20. Мансфельд А.Д. Акустотермометрия. Состояние и перспективы. *Акустический журнал* 2009; 55(4-5): 546-556.
21. Волков А.А., Какагельдыев С.К., Прохоров А.С., Пирогов Ю.А. (2012). Традиционные методы нагрева в применении к магнитно-резонансной термометрии. *Журнал радиоэлектроники* 2012; (1): 16.
22. Rieke V., Butts Pauly K. MR thermometry. *Journal of magnetic resonance imaging* 2008; 27(2), 376-390. doi: 10.1002/jmri.21265
23. Childs C. Body temperature and clinical thermometry. *Handbook of clinical neurology* 2018; 157: 467-482. doi: 10.1016/B978-0-444-64074-1.00029-X
24. Pecoraro V., Petri D., Costantino G., Squizzato A., Moja L., Virgili G., Lucenteforte E. The diagnostic accuracy of digital, infrared and mercury-in-glass thermometers in measuring body temperature: a systematic review and network meta-analysis. *Internal and emergency medicine* 2021; 16(4): 1071–1083. doi: 10.1007/s11739-020-02556-0
25. Mondal H., Mondal S. Basic technology and proper usage of home health monitoring devices. *Malaysian family physician* 2021; 16(1): 8-14. doi: 10.51866/rv1097
26. Аппаратно-программный комплекс для дистанционного измерения и контроля температуры тела. Каталог продукции компании ЭВС. 2021. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [www.evs.ru/kat\\_podr.php?kat=ippact&nkat\\_id=9](http://www.evs.ru/kat_podr.php?kat=ippact&nkat_id=9)
27. Canadian Agency for Drugs and Technology in Health. Non-contact thermometers for detecting fever: a review of clinical effectiveness. Canadian Agency for Drugs and Technology in Health. 2015.
28. Mordiffi S.Z., Peters M.D., Ang E.N. The use of non-invasive thermometers in healthcare facilities: a scoping review protocol. *JBI database of systematic reviews and implementation reports* 2016; 14(11): 106-112. doi: 10.11124/JBISRI-2016-003173
29. NIRA. Introducing NIRA Temp. 2021. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.niraskin.com/pages/nira-temp>
30. Майорова Е.А., Песков А.Б., Хохлов М.П., Стучебников В.М., Семушин И.В., Крайнова Н.В., Мещерякова Е.А. Характеристики суточных температурных кривых, полученных с различных участков кожных покровов здорового человека. *Medline. ru. Российский биомедицинский журнал* 2014; 15(3): 629-638.
31. Arora S. IoMT (Internet of Medical Things): Reducing Cost While Improving Patient Care. *IEEE pulse* 2020; 11(5), 24-27. doi: 10.1109/MPULS.2020.3022143
32. Pratap Singh R., Javaid M., Haleem A., Vaishya R., Ali S. Internet of Medical Things (IoMT) for orthopaedic in COVID-19 pandemic: Roles, challenges, and applications. *Journal of clinical orthopaedics and trauma* 2020; 11(4): 713-717. doi: 10.1016/j.jcot.2020.05.011
33. Mechanic O.J., Persaud Y., Kimball, A.B. Telehealth Systems. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2021.
34. Зайцев О.В., Литвинов А.В., Литвинова И.А., Троицкий Ю.В. Аппаратура и методы длительного мониторинга температуры человека. *Математическая морфология. Электронный математический и медико-биологический журнал* 2016; 15(1).
35. Игнатъева Г.А., Привалов А.Н., Богатырева Ю.И. Информационная система мониторинга температуры тела пациента. *Известия Тульского государственного университета. Технические науки* 2020; (9): 206-214.

36. Mehta N., Pandit A. Concurrence of big data analytics and healthcare: A systematic review. *International journal of medical informatics* 2018; 114: 57-65. doi: 10.1016/j.ijmedinf.2018.03.013
37. Fletcher T., Whittam A., Simpson R., Machin G. Comparison of non-contact infrared skin thermometers. *Journal of medical engineering & technology* 2018; 42(2); 65-71. doi:10.1080/03091902.2017.1409818
38. Kudinov D.A., Borisov I.V., Elykomov V.A., Nomokonova E.A. Overview of Promising Information Technologies in the Healthcare System from the Position of a System Approach. In: Bogoviz A.V. (Ed.) *Complex Systems: Innovation and Sustainability in the Digital Age. Studies in Systems, Decision and Control*, vol 283. Springer, 2021. doi: 10.1007/978-3-030-58823-6\_25

## Review of Medical Thermometry: From the Advent to Modern Applications

**Borisov I. V.<sup>1</sup>**

*Junior Researcher*

**Bondar V. A.<sup>2</sup>**

*Postgraduate*

**Kudinov D. A.<sup>1</sup>**

*Junior Researcher*

**Kanarskii M. M.<sup>1</sup>**

*Junior Researcher*

**Nekrasova J. J.<sup>1</sup>**

*Junior Researcher*

**Dmitriev D. A.<sup>1</sup>**

*Anesthesiologist-resuscitator*

*1 – Federal Research and Clinical Center of Intensive Care Medicine and Rehabilitology, Moscow district, Russia*

*2 – National Medical Research Center for Children's Health, Moscow, Russia*

**Corresponding Author:** Borisov Ilya; **e-mail:** realzel@gmail.com

**Conflict of interest.** None declared.

**Funding.** The study had no sponsorship.

### Abstract

The article describes the first and modern devices for the study of temperature, their principles of operation and the prospects for the development of medical thermometry in clinical practice, along with the use of information technologies, their advantages and disadvantages. The prospects for the use of thermometry using remote methods of recording temperature, wearable devices, the Internet of medical things, telemedicine, big data for patients in rehabilitation at home as part of continuous monitoring of the state of health are considered. The article emphasizes the importance of measuring body temperature by remote thermometry as one of the main diagnostic markers of infection during the pandemic of the novel SARS-CoV-2 virus infection. Also, the importance of thermometry for the timely appointment of antipyretic therapy, control over the course of various diseases and the effectiveness of the prescribed treatment is considered.

**Keywords:** healthcare, thermometry, technology, remote sensing technologies, medicine, internet of things, IOMT, rehabilitation, COVID-19

## References

1. Anisimova, N.V. Termometriya kak metod funktsional'noj diagnostiki. [Thermometry as a method of functional diagnostics]. Izvestiya Penzenskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. V.G. Belinskogo [Proceedings of V.G. Belinsky Penza State Pedagogical University] 2007; (9): 36-38. (In Russ.)
2. Kudryavcev P.S. Istoriya fiziki. Tom 1. Ot antichnoj fiziki do Mendeleeva. [History of Physics. Volume 1. From ancient physics to Mendeleev]. Moscow: Gosudarstvennoe uchebno-pedagogicheskoe izdatel'stvo Ministerstva Prosveshcheniya RSFSR [State educational and pedagogical publishing house of the Ministry of Education of the RSFSR], 1948. (In Russ.)
3. Popov M.M. Termometriya i kalorimetriya: Uchebnoe posobie. [Thermometry and Calorimetry: Textbook]. Moscow: Goskhimizdat. 1954. (In Russ.)
4. Sarton G. Sarton on the History of Science. Harvard University Press, 2013.
5. Musher D.M., Dominguez, E.A., Bar-Sela A. Edouard Seguin and the social power of thermometry. N Engl J Med 1987; 316:115-117 doi: 10.1056/NEJM198701083160221
6. Wunderlich C.A. Das Verhalten der Eigenwärme in Krankheiten. O. Wigand. 1870.
7. Coffin L.A. The taking of temperatures (continued). Pediatrics 1971; 48(3), 493-494.
8. Tagoiboboi Sh., Sitamov S. Teplovye yavleniya i istoriya izobreteniya termometrov. [Thermal phenomena and the history of the invention of thermometers]. Voprosy psikhologii i pedagogiki [Psychology and Pedagogy Issues] 2009; (3), 3-7. (In Russ.)
9. Garsiya V. Izmerenie temperatury: teoriya i praktika. [Temperature measurement: theory and practice]. Sovremennye tekhnologii avtomatizatsii [Modern Automation Technologies] 1999; (1), 82-87. (In Russ.)
10. Yusupov V.I., Salomatin, A.S. Sposob izmereniya temperatury zhidkosoderzhashchih poristyh sred. [Method for measuring the temperature of liquid-containing porous media]. Invention patent RU 2 305 260 C2. 2007 (In Russ.)
11. Sosnovskiy A.G., Stolyarova N.I. Izmerenie temperatur. [Measurement of temperatures] Moscow: Komitet standartov, mer i izmeritel'nyh priborov [Committee of Standards, Measures and Measuring Instruments], 1970. (In Russ.)
12. WHO Strategic planning for implementation of the health-related articles of the Minamata Convention on Mercury. 2019. Retrieved from: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/329449/9789244516843-rus.pdf>
13. West K., Hunt S., Applegate E. Today's Medical Assistant: Clinical & Administrative Procedures. St. Louis: Elsevier Health Sciences, 2015: 36-37.
14. Divin A.G., Ponomarev S.V. Sredstva izmereniya temperatury, opticheskikh i radiatsionnykh velichin: uchebnoe posobie dlya studentov vysshih uchebnykh zavedenij, obuchayushchihsya po napravleniyu 221400. Upravlenie kachestvom. [Means for measuring temperature, optical and radiation values: a textbook for students of higher educational institutions studying in the direction of 221400. Quality management]. Tambov: FGBOU VPO TSTU, 2013. (In Russ.)
15. Perpetuini D., Filippini C., Cardone D., Merla, A. An overview of thermal infrared imaging-based screenings during pandemic emergencies. International Journal of Environmental Research and Public Health 2021; 18(6): 3286.
16. Akhmetzyanov F.Sh., Shaimardanov I.V., Pasheev A.V., Saetgaraev A.K., Muftahutdinova G.Sh., Sadykov K.K., Egorov V.I. Profilaktika i lechenie neprednamerennoy perioperatsionnoy gipotermii. [Prevention and treatment of



unintentional perioperative hypothermia]. Kazanskij medicinskij zhurnal [Kazan Medical Journal] 2018; 99 (1): 70-78. (In Russ.)

17. Zhorina L.V. Metody neinvazivnogo izmereniya vnutrennej temperatury tela. [Methods for non-invasive measurement of core body temperature]. Vestnik Rossijskikh universitetov. Matematika [Bulletin of Russian Universities. Mathematics] 2017; 22 (2): 464-470. (In Russ.)

18. Vesnin S.G. Osnovy mikrovolnovoj radiotermometrii. [Basics of microwave radiothermometry]. Retrieved from <http://www.radiometry.ru/radiometry/books/upload/7/11020706.pdf> (In Russ.)

19. Anosov A.A., Balashov I.S., Erofeev A.V., Zhdankina Yu.S., Sharakhshane A.A., Mansfeld A.D. Izmereniya glubinnoj temperatury tela cheloveka metodom passivnoj akusticheskoy termometrii. [Measurements of the deep temperature of the human body by the method of passive acoustic thermometry]. Obshchaya reanimatologiya [General Reanimatology] 2019; 15 (1): 39-46. (In Russ.)

20. Mansfeld A.D. Akustotermometriya. Sostoyanie i perspektivy. [Acoustothermometry. State and prospects]. Akusticheskij zhurnal [Acoustic Journal] 2009; 55 (4-5): 546-556. (In Russ.)

21. Volkov A.A., Kakageldyev S.K., Prokhorov A.S., Pirogov Yu. Tradicionnye metody nagreva v primenenii k magnitno-rezonansnoj termometrii. [Traditional heating methods as applied to magnetic resonance thermometry]. Zhurnal radioelektroniki [Journal of Radio Electronics] 2012; (1): 16. (In Russ.)

22. Rieke V., Butts Pauly K. MR thermometry. Journal of magnetic resonance imaging 2008; 27 (2), 376-390. doi: 10.1002/jmri.21265

23. Childs C. Body temperature and clinical thermometry. Handbook of clinical neurology 2018; 157: 467-482. doi: 10.1016/B978-0-444-64074-1.00029-X

24. Pecoraro V., Petri D., Costantino G., Squizzato A., Moja L., Virgili G., Lucenteforte E. The diagnostic accuracy of digital, infrared and mercury-in-glass thermometers in measuring body temperature: a systematic review and network meta-analysis. Internal and emergency medicine 2021; 16(4): 1071–1083. doi: 10.1007/s11739-020-02556-0

25. Mondal H., Mondal S. Basic technology and proper usage of home health monitoring devices. Malaysian family physician 2021; 16(1): 8-14. doi: 10.51866/rv1097

26. Apparatno-programmnyj kompleks dlya distancionnogo izmereniya i kontrolya temperatury tela. Katalog produkcii kompanii EVS. [Hardware and software complex for remote measurement and control of body temperature. Catalog of products of the EVS company]. 2021. Retrieved from: [www.evs.ru/kat\\_podr.php?kat=ippact&nkat\\_id=9](http://www.evs.ru/kat_podr.php?kat=ippact&nkat_id=9) (In Russ.)

27. Canadian Agency for Drugs and Technology in Health. Non-contact thermometers for detecting fever: a review of clinical effectiveness. Canadian Agency for Drugs and Technology in Health. 2015.

28. Mordiffi S.Z., Peters M.D., Ang E.N. The use of non-invasive thermometers in healthcare facilities: a scoping review protocol. JBI database of systematic reviews and implementation reports 2016; 14(11): 106-112. doi: 10.11124/JBISRI-2016-003173

29. NIRA. Introducing NIRA Temp. 2021. Retrieved from: <https://www.niraskin.com/pages/nira-temp>

30. Majorova E.A., Peskov A.B., Khokhlov M.P., Stuchebnikov V.M., Semushin I.V., Kraynova N.V., Meshcheryakova E.A. Charakteristiki sutochnykh temperaturnykh krivykh, poluchennykh s razlichnykh uchastkov kozhnykh pokrovov zdorovogo cheloveka. [Characteristics of daily temperature curves obtained from different areas of the skin of a healthy person]. Medline.ru. Rossijskij biomeditsinskij zhurnal [Medline.ru. Russian Biomedical Journal] 2014; 15(3), 629-638. (In Russ.)



31. Arora S. IoMT (Internet of Medical Things): Reducing Cost While Improving Patient Care. IEEE pulse2020; 11(5), 24-27. doi: 10.1109/MPULS.2020.3022143
32. Pratap Singh R., Javaid M., Haleem A., Vaishya R., Ali S. Internet of Medical Things (IoMT) for orthopaedic in COVID-19 pandemic: Roles, challenges, and applications. Journal of clinical orthopaedics and trauma 2020; 11(4): 713-717. doi: 10.1016/j.jcot.2020.05.011
33. Mechanic O.J., Persaud Y., Kimball, A.B. Telehealth Systems. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2021.
34. Zaitsev O.V., Litvinov A.V., Litvinova I.A., Troitsky Yu.V. Apparatura i metody dlitel'nogo monitoringa temperatury cheloveka. [Equipment and methods for long-term monitoring of human temperature]. Matematicheskaya morfologiya. Elektronnyj matematicheskij i mediko-biologicheskij zhurnal [Mathematical morphology. Electronic Mathematical and Biomedical Journal] 2016; 15(1). (In Russ.)
35. Ignatieva G.A., Privalov A.N., Bogatyreva Yu.I. Informacionnaya sistema monitoringa temperatury tela pacienta. [Patient body temperature monitoring information system]. Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki [Bulletin of Tula State University. Engineering Sciences] 2020; (9): 206-214. (In Russ.)
36. Mehta N., Pandit A. Concurrence of big data analytics and healthcare: A systematic review. International journal of medical informatics 2018; 114: 57-65. doi: 10.1016/j.ijmedinf.2018.03.013
37. Fletcher T., Whittam A., Simpson R., Machin G. Comparison of non-contact infrared skin thermometers. Journal of medical engineering & technology 2018; 42(2); 65-71. doi:10.1080/03091902.2017.1409818
38. Kudinov D.A., Borisov I.V., Elykomov V.A., Nomokonova E.A. Overview of Promising Information Technologies in the Healthcare System from the Position of a System Approach. In: Bogoviz A.V. (Ed.) Complex Systems: Innovation and Sustainability in the Digital Age. Studies in Systems, Decision and Control, vol 283. Springer, 2021. doi: 10.1007/978-3-030-58823-6\_25