

## ОГЛЯДИ ЛІТЕРАТУРИ

УДК 616-073.65

Олійник Г.А., Кремень В.О., Грязін О.Є., Тимченко О.К.

### ТЕПЛОВЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ ТА ТЕПЛОВІЗІЙНІ ДОСЛІДЖЕННЯ В МЕДИЦИНІ

Харківська медична академія післядипломної освіти

*Мета огляду - це опис і оцінка можливостей інфрачервоної термографії в різних галузях медицини. Термографія (від грец. Therme - тепло і grapho - пишу) - сукупність методів вимірювання та реєстрації теплового випромінювання. Теплове випромінювання було відкрито у 1800 році англійським астрономом Уільямом Гершелем, який дав йому назву «інфрачервоне випромінювання», тобто випромінювання, яке лежить за червоною границею видимого спектра. Перша «теплова картина» отримала назву «термограма». Цей термін використовують і у сучасній літературі. Термографія у медицині - це метод реєстрації видимого зображення теплових полів людського тіла, що випромінюють інфрачервоні імпульси, які можуть бути зчитані безпосередньо тепловізором і перетворені в зображення - термограму, яка реєструє розподіл тепла на поверхні тіла. Термограми людини містять дуже цінну інформацію. Людське тіло має неоднорідний поверхневий розподіл температури, яка видозмінюється як при наявності патологій, прийомі медичних препаратів, проведенні навантажувальних проб, так і при здійсненні природної терморегуляції організму. За допомогою інфрачервоної термографії можливо виявити і розпізнати багато патологічних змін на ранньому, доклінічному етапі. Візуалізоване температурне випромінювання при комплексній діагностиці хвороби додатково забезпечує найважливішою інформацією про наявність та тяжкість запальних процесів і дає можливість дати оцінку ефективності консервативного лікування. У медицині тепловізор є незамінним при абсолютно безпечному і безконтактному обстеженні пацієнта. Сучасний рівень розвитку тепловізійної техніки у світі надає можливість надійно діагностувати широкий спектр захворювань, що є приводом активного впровадження термографії у клінічну практику, поряд з іншими сучасними методами, які є в арсеналі лікарів: маммографія, комп'ютерна томографія, магнітно-резонансна томографія та ультразвукове дослідження.*

Ключові слова: теплове випромінювання, теплова картина, термографічне дослідження, інфрачервона термографія, тепловізор.

#### Вступ

Термографія (від грец. Therme - тепло і grapho - пишу) - сукупність методів вимірювання та реєстрації теплового випромінювання. Теплобачення, термобачення або інфрачервоне бачення - це синоніми, що вказують на певну область сучасної техніки. Тепловізійна техніка 20-30 років тому використовувалася головним чином для військових цілей - наведення високоточної зброї на об'єкти, які виробляють тепло. Сьогодні вона має всі підстави стати однією з головних інформаційних технологій з великою областю застосування не тільки в області фізики, техніки, але і в медицині.

Термографія в медицині - це метод реєстрації видимого зображення теплових полів людського тіла, що випромінюють інфрачервоні імпульси, які можуть бути зчитані безпосередньо тепловізором і перетворені в зображення - термограму, яка реєструє розподіл тепла на поверхні тіла. Людське тіло, будучи джерелом теплового випромінювання, має неоднорідний поверхневий розподіл температури, який видозмінюється як при наявності патологій, прийомі медичних препаратів, проведенні навантажувальних проб, так

і при здійсненні природної терморегуляції організму [4;11;21;23].

Теплове випромінювання було відкрито у 1800 р. англійським астрономом Уільямом Гершелем, який дав йому назву «інфрачервоне випромінювання» (ІЧВ), тобто випромінювання, яке лежить за червоною границею видимого спектра. Перша «теплова картина» отримала назву «термограма», цей термін використовують і у сучасній літературі.

У клінічній практиці термографічний метод вперше реалізував канадський хірург доктор Р. Лоусон в 1956 р. Він використав військовий прилад нічного бачення для ранньої діагностики злоякісної пухлини молочних залоз у жінок, що й поклало початок медичній термографії.

В Україні перші термографічні дослідження були виконані професором А.І. Позмоговим у 70-х роках минулого сторіччя у Київському науковому дослідному рентгенодіагностичному інституті АМН України на термографії з охолодженням типу «Радуга» (СРСР), а до середини 90-х років існувала школа клінічної термодіагностики, започаткована академіками Возіановим О.Ф. та Розенфельдом Л.Г. Відомі також теоретичні дослідження та їх узагальнення авторським колек-

тивом відділу фізики і технології низьковимірних систем ІФН ім. В.Є. Лашкарьова НАН України, спільно з фахівцями Фізико-технічного інституту низьких температур ім. Б.І. Веркіна НАН України (м. Харків) [4].

Сучасний рівень розвитку тепловізійної техніки у світі надає можливість надійно діагностувати широкий спектр захворювань, що є приводом активного впровадження термографії у клінічну практику, поряд з іншими сучасними методами, які є в арсеналі лікарів: мамографія, КТ, МРТ та УЗД [2;10;17].

*Галузі медицини, в яких застосовується термографія.*

Інфрачервона термографія (ІЧТ) застосовується в нижчеперерахованих галузях.

– *В онкології* [1;17;22]. У виконаних дослідженнях оцінена діагностична ефективність термографії і перспективи подальших досліджень в онкології. Автори вважають, що основні перспективні напрями використання ІЧТ наступні: встановлення стадії пухлинного процесу, зокрема, для злоякісних утворень шкіри (рак, меланома); вивчення інформативності ІЧТ при обстеженні хворих на саркому Юінга, пухлини тонкої кишки і передміхурової залози, ретикулосаркому; рак легень, товстої кишки, шлунку, жовчного міхура, сечового міхура, тіла матки, пухлину Вільмса, гіпернефродний рак і т.д.).

– *При новоутвореннях в молочних залозах* [1;13;17]. Одним з можливих шляхів вирішення цієї проблеми є використання тепловізійної діагностики. Як неінвазивний метод ІЧТ набуває особливого значення при масових обстеженнях з метою раннього виявлення новоутворень в молочних залозах. Термографія «бачить» не структури, а фізичні процеси, що протікають у тілі. Тому за її допомогою вдається виявити процес новоутворення на початковій стадії, коли фізичне тіло пухлини має вкрай малі розміри, що дозволяє раніше від УЗД звернути увагу пацієнта на потенційну небезпеку розвитку пухлини. Дуже продуктивний тепловізійний метод в ранній діагностиці захворювань молочних залоз: мастопатії, новоутворень, ранньому розпізнаванні метастазування злоякісних новоутворень. На підставі аналізу результатів більш ніж 50-ти робіт автори прийшли до висновку, що хоча мамографія є стандартним методом першого ряду, проте він не дає можливості поставити остаточний діагноз - рак молочної залози. До функціонального методу, який відтворює картину ранньої васкуляризації і метаболічних змін, відповідних зростанню пухлини, автори відносять ІЧТ. Саме цей метод фіксує патологічну картину, що передає значні морфологічні зміни. При обстеженні і відповідному діагнозу можливе часте повторення ІЧТ, оскільки метод неінвазивний і не супроводжується опроміненням пацієнта. Як констатують автори, різні методи фіксують різні сторони динаміки ракового процесу: мамографія - структурну, а ІЧТ — фізіологічну. Як приклад, наво-

дяться результати обстеження групи жінок, у 66% яких рак молочної залози діагностували на підставі клінічних даних, у 83% - з ІЧТ, у 85% - на підставі мамографії (з ознакою патології + всі сумнівні випадки); і тільки при обліку даних клінічних досліджень, ІЧТ та мамографії рак молочної залози був діагностований у 98% пацієнток. При цьому при мамографії пухлина визначалася при мінімальному середньому розмірі 1,66 см, при використанні ІЧТ - менш 1,28 см, середній розмір пухлини, підтверджений гістологічно, склав 2,5 см.

– *При вертеброгенному болю у спортсменів.* Найбільш поширеною скаргою спортсменів є болі в різних відділах хребта (так звані вертеброгенні болі, обумовлені остеохондрозом), які різко знижують активність, погіршують спортивні результати і часто є причиною тимчасової непрацездатності [7;15]. Крім клінічного методу обстеження пацієнтів з вертеброгенними болями, найбільш доступним і широко застосовуваним методом залишається рентгенологічна діагностика. На жаль, інформативність її обмежується тільки станом кісткової складової хребта. Значно розширюють діагностичні можливості методи КТ та МРТ, що дають інформацію і про м'якотканинну складову. Однак збільшена доза опромінення при КТ та значна вартість обстеження методом МРТ не дозволяє часто використовувати їх при обстеженні одного і того ж хворого. Термографічні дослідження пацієнтів з ознаками патології дали можливість виявити, наприклад, гостру торакалгію та хронічну люмбагію в стадії загострення. Нерівномірність розподілу температури у відповідних зонах може складати 2 °С.

– *При вертеброгенному головному болю у підлітків.* Були вивчені порушення гемодинаміки при краніовертебральній патології у підлітків [5;16;25]. В основу роботи покладено результати комплексного обстеження 300 підлітків у віці від 14 до 18 років з вертеброгенними головними болями. Використовувалися наступні методи: клініко-неврологічний, рентгенологічний, ультразвукова доплерографія (УЗДГ), реоенцефалографія (РЕГ), електроенцефалографія (ЕЕГ), дистанційна інфрачервона термографія області голови і шиї. Інфрачервона термографія була проведена у 79 (43,9%) підлітків з порушенням кровообігу в вертебро-базиллярному басейні (ВББ) і дегенеративно-дистрофічними змінами в шийному відділі хребта. В результаті проведеного дослідження ознаки термографічної асиметрії виявлені у 34 (43%) підлітків, і в 94,4% вони відповідали даним УЗДГ і РЕГ. Термографічні ознаки одностороннього синдрому хребетної артерії виявлені у 53,2% досліджуваних, і це в 100% випадків відповідало даним, отриманим іншими методами дослідження мозкового кровотоку. Термографічні ознаки вертебро-базиллярної недостатності (ВБН) виявлені у 19%, відповідність складала 86,7%; термографічні ознаки венозного

застою виявлені у 64,6% підлітків і в 100% відповідали даним УЗДГ і РЕГ. Термографічні ознаки нестабільності шийного відділу хребта і дегенеративно-дистрофічних змін в ньому виявлені у 58 і 56% підлітків відповідно, що було підтверджено даними рентгенографії. Проведені дослідження продемонстрували високу ефективність і достатню точність із доступних і неінвазивних методів дослідження області голови і шиї при патології шийного відділу хребта у підлітків.

– *При остеохондрозі хребта різної локалізації* [7] показано, що метод дистанційної інфрачервоної термографії, як допоміжний метод при болях в спині, може успішно і інформативно доповнювати традиційні методи діагностики даної патології. Автори відзначають, що метод ІЧТ, безумовно, значно розширює діагностичні можливості. Безумовно, комп'ютерна томографія (КТ) з мієлографією і магнітно-резонансною томографією (МРТ) хребта дають більш широкую інформацію (наприклад, про стан м'яких тканин хребетного стовпа), але збільшення дози опромінення при КТ і значна вартість обстеження як КТ, так і МРТ не дозволяють часто використовувати їх у одного і того ж хворого.

В іншому масштабному дослідженні [5] узагальнено досвід обстеження методом ІЧТ 960 хворих у віці 18-68 років, що проходили курс відновного лікування з приводу:

– остеохондрозу різних відділів хребта (675 хворих); на цьому тлі у 243 з них (36%) відзначалися явища плече-лопаткового періартриту і у 209 (31%) – люмбоішіалгічного синдрому;

– посттравматичних ушкоджень магістральних нервів верхніх та нижніх кінцівок (119 пацієнтів); у 63 пацієнтів із застарілими посттравматичними дефектами нервів на рівні передпліччя і кисті (давність травми від декількох місяців до 2 років) було проведено оперативне відновлення пошкоджених нервових стовбурів;

– посттравматичного нейродистрофічного синдрому верхніх і нижніх кінцівок в II і III фазах захворювання (61% і 39% хворих відповідно) – всього 56 хворих;

– остеоартрозу суглобів кінцівок – 110 хворих, з них 72 пацієнта (65%) страждали на гонартроз.

Термографічні дослідження проводили за допомогою сучасного портативного комп'ютерного термографа «ІРТИС» (Росія), що має спектральний діапазон 3-5 мкм і чутливість 0,02 °С. Автори відзначають, що при обстеженні пацієнтів з остеохондрозом хребта термографічні ознаки остеохондрозу виявлялися при відсутності таких при рентгенологічному обстеженні. Цей важливий факт вказує на можливість виявлення методом ІЧТ функціональних порушень на ранній стадії захворювання, коли ще відсутні структурні зміни. Відзначено також, що ІЧТ-візуалізація дозволяє виявити різні нейросудинні порушення ще до появи клінічної картини.

– *При травмах суглобів* [7;8;33]. Обстеження проходили спортсмени, які отримали травми в

процесі тренувань. Клінічно визначалися досить розмиті межі флуктуації, що ускладнювало видалення гематоми. При проведенні термографічного обстеження науковцями було виявлено локальну зону підвищення температури до 38 °С з градієнтом температури 4 °С, що значно полегшило подальші терапевтичні заходи лікування. Позитивний результат також було отримано завдяки термограмі пацієнтки, коли скарги були характерні для ушкодження медіального меніска лівого суглоба. Різниця температури на передній поверхні колінного суглоба у порівнянні зі здоровим становила 1,2 °С.

– *При судинній патології* [9;23;29]. При застосуванні термографії у пацієнтів з варикозно-зміненою великою підшкірною веною стегна, різниця температури із симетричною ділянкою правого стегна становила 3,2 °С. Ще спостерігався пацієнт, який скарг не пред'являв, але при обстеженні було виявлено зниження температури до 28 °С у порівнянні з відносною нормою 32,5 °С. Додатково була проведена осцилометрія і капіляроскопія судин стоп, в результаті чого виявлена функціональна недостатність кровопостачання дистальних відділів.

– *У щелепно-лицьовій патології* [26]. Процедуру ІЧТ можна успішно використовувати і при діагностиці різних захворювань щелепно-лицьової області. Був приклад, коли термограма пацієнтки із злоякісною плеоморфною аденомою правої привушної залози ідентифікувала гіпертермічну зону. Плеоморфна аденома привушної залози навіть на стадії доброякісності має, як і будь-яке новоутворення, прилеглу «зону інфільтрації» зі своїм аномальним (гіпертермічним) полем. При переродженні її в злоякісну стадію температура і розміри «зони інфільтрації» збільшуються, оскільки відбувається проростання процесу в найближчі лімфовузли і т.п. Після видалення аденоми аномальне теплове поле прилеглих областей змінюється, причому після операції температура прилеглих до шва тканин може навіть перевищувати температуру доопераційної «зони інфільтрації», поступово спадаючи, по мірі того, як загоюється шов. Після операції з видалення аденоми градієнт термоасиметрії знизився від 1,9 до 1,2 °С і при подальшому спостереженні (в процесі проведення лікувальних заходів) продовжував знижуватися.

– *У кардіології* [28;38]. Раннє виявлення осіб з ризиком розвитку ішемічної хвороби серця залишається важливим завданням медицини. Стандартом інструментального дослідження серцево-судинної системи є електрокардіографія, реографія і УЗД-доплерографія. З їх допомогою оцінюють параметри, що характеризують функціональний і органічний стан серця, судин, а також особливості регулювання їх діяльності. Важливість таких досліджень обумовлена ще й тим, що при вегетативних розладах регуляції тонусу судин може відбуватися зниження кровопостачання головного мозку, що збільшує ймовір-

ність розвитку колаптоїдних і нейромедіаторних синкопальних станів, що становлять від 61 до 91% в загальній структурі непритомних станів. Моніторинг за допомогою ІЧТ судинної реактивності - новий неінвазивний тест, заснований на зміні температурної картини під час і після оклюзії. У цьому сенсі була досліджена температурна реакція області дистальних фаланг пальців на оклюзію плечової артерії для оцінки вегетативної реактивності і загальної адаптивності пацієнта в умовах навантаження. Безконтактні спостереження температурних змін на поверхні кисті проводились з використанням тепловізійної камери ThermoCAM SC3000 фірми FLIR Systems в контрольній групі з 10 чоловік і групі з 15 пацієнтів з порушеннями вегетативної регуляції судин, що поєднується з недиференційованою дисплазією сполучної тканини. Автори [30] відзначають, що методи доплеро-, сфінго- і реографії працюють при наявності пульсуючого характеру кровотоку в судинах. В умовах штучної оклюзії пульсація в кінцівці відсутня, і спостереження реакції на оклюзію стає неможливим. Перевага в даному випадку ІЧТ в тому, що вимір під час оклюзії такого параметра, як температура, дає можливість неінвазивного дослідження особливостей реакції на навантажувальну пробу, і може служити діагностичним критерієм для оцінки функціонального стану кровоносних судин.

– У *діабетології*. Дослідження в області діабетології [32;35;36;37], показали значення ІЧТ та актуальність використання методу для клінічної оцінки периферичної перфузії та життєздатності тканин, особливо для проведення серійних вимірювань, що використовуються для оцінки результатів проведеного лікування. У роботах описано успішне використання методики ІЧТ для діагностики і моніторингу лікування діабетичної виразки стопи у пацієнта 63-х років (цукровий діабет протягом 13 років). Дані були отримані на початковому рівні та на 7, 14, 21, 35 і 48-й день лікування. Виразки на підшві були вилікувані на 48-й день, що корелювало з термографічною картиною. Інфрачервона термографія рекомендується авторами не тільки для оцінки загоєння ран у хворих з діабетичною стопою, а і як метод для моніторингу лікування виразок і ран іншої етіології.

– У *пацієнтів з цирозом печінки* [31]. Є досвід оцінки можливостей ІЧТ в комплексному лікуванні хворих на цироз печінки, ускладненим портальною гіпертензією. Метод дозволяє об'єктивно оцінити вираженість обхідного кровотоку по судинним колатераліям передньої черевної стінки, при цьому виявлена кореляція термографічних показників з ультразвуковими і ендоскопічними даними. В основу роботи покладено результати комплексного клініко-лабораторного, ультразвукового, ендоскопічного і термографічного обстежень 30 хворих на цироз печінки (ЦП), ускладненим портальною гіпертензією (ПГ). Отримані результати свідчать про те, що ІЧТ з

допомогою тепловізора ThermoCAM P65 дає об'єктивну інформацію про ступінь кровопостачання передньої черевної стінки у хворих ЦП, ускладненим ПГ, що дозволяє хірургам визначати доцільність оперативного лікування і проводити неінвазивний моніторинг стану хворого в післяопераційному періоді.

– В *неонатології* [34] була проведена оцінка результатів використання ІЧТ для дослідження терморегуляції у новонароджених. Вибір методу не випадковий, зважаючи на повну його безпеку. Високоякісні термограми дозволили дослідникам не тільки оцінити розподіл температур у недоношених дітей з метою визначення подальшої тактики процедур, а й дозволили вивчити взаємозв'язок між температурою тіла і розвитком некротизуючого ентероколіту у недоношених новонароджених.

– У *комбустіології та пластичній хірургії*. Тепловізійний спосіб було запропоновано для контролю адекватності дерматензії адаптаційних можливостей тканин при використанні експандерів у хворих з наслідками опікової травми [19]. Визначався об'єктивний критерій допустимих змін мікроциркуляції, що не перевищує компенсаторні можливості шкіри, що розтягується. Його засновано на реєстрації теплового випромінювання тіла людини в інфрачервоному діапазоні довжин хвиль за допомогою тепловізійного методу. Автори проводили тепловізійне обстеження шкіри над експандером і сусідніми інтактними ділянками, та оцінювали перепад температур між ними. Потім проводили функціональну пробу: на досліджувану зону за допомогою марлевого тампона наносили 96° етиловий спирт. Повторне тепловізійне обстеження проводили через 5 хвилин після проби з оцінкою перепаду температур між цими ж ділянками. Якщо перепад температур спочатку не вище -0,5 °C і нівелюється або стає позитивним при повторному обстеженні, то темп дермотензії вважали адекватним адаптаційним можливостям тканин.

Також тепловізійний спосіб застосовувався для інтраопераційного контролю радикальності висічення опікових струпів при ранній некректомії [20]. У процесі оперативного втручання після виконання некректомії, ранову поверхню висушували серветкою. На відкриту ранову поверхню наводили тепловізійну камеру і реєстрували теплову картину. Якщо тепла картина ізотермічна, тобто перепади температур між окремими ділянками не перевищують 0,5 °C, то робили висновок про рівномірне видалення опікових струпів на всій поверхні висічення до підлеглих тканин, які нормально кровообезпечуються.

Ще ІЧТ було застосовано для тепловізійної оцінки можливостей використання рубцевої тканини при плануванні пластичних операцій на обличчі [14]. За допомогою тепловізора Thermo Tracer TH-9100 обстежили 37 хворих з після опіковими рубцями на обличчі і передньої поверхні шиї (всього 126 рубцевих областей, планованих

для викроювання клаптів) і 4 здорових добровольця. Після реєстрації вихідної теплової картини проводили стандартну регіональну спиртову пробу і подальший моніторинг просторово-часової динаміки температур протягом 7 хв. З метою вироблення критерію придатності тканин для шкірної пластики обчислювали  $T = T_{поч} - T_{кін}$ , де  $T_{поч}$  - вихідна температура до проби,  $T_{кін}$  - температура на 7-й хвилині відновлення після проби. Різниця вихідної і досягнутої до 7-й хвилині холодової проби температури менше 0,9 °С свідчить про придатність досліджуваних тканин для шкірної пластики. Відставання відновлення температури більш ніж на 1,9 °С свідчить про непридатність рубцевих тканин. При різниці температур в діапазоні від 0,9 до 1,9 °С використання рубцевих тканин слід вважати ризикованим.

### Висновок

За допомогою термографії можливо виявити і розпізнати багато патологічних змін на ранньому, доклінічному етапі. Термографія при комплексній діагностиці хвороби додатково забезпечує найважливішою інформацією про наявність та тяжкість запальних процесів і дає можливість дати оцінку ефективності консервативного лікування. У медицині тепловізор є незамінним при абсолютно безпечному і безконтактному обстеженні пацієнта. Термограми людського тіла містять дуже цінну інформацію. Візуалізоване температурне випромінювання дає можливість мати уявлення як про стан периферичного кровообігу, так і отримувати відомості про глибинні процеси, які протікають в організмі.

На даний момент в Україні впровадження цього методу в медичну практику відбувається повільно через відсутність сучасного обладнання. Це пов'язано з відсутністю вітчизняних термографів нового покоління, високою вартістю закордонних пристроїв і недостатньою обізнаністю лікарів з можливостями термографічної діагностики [4]. Поява вітчизняного термографа нового покоління відкрило б нові можливості в застосуванні термографічної діагностики в медичній практиці.

### Література

- Бехтір О.В. Обробка та аналіз теплових зображень в медицині / О.В. Бехтір, Ф.Ф. Сизов, В.Є. Чешук [та ін.] // Вісник НТУУ «КПІ». – 2003. – №26. – С. 138-144.
- Блюмин Р.Б. Технологии бесконтактной диагностики / Р.Б. Блюмин, Э.М. Наумова, А.А. Хадарцев // Вестник новых медицинских технологий. – 2008. – Т.15, № 4. – С. 146-149.
- Вайнер Б.Г. Матричное тепловидение в физиологии: исследование сосудистых реакций, перспирации и терморегуляции у человека / Б.Г. Вайнер. – Новосибирск: Изд-во Сибирского отделения РАН, 2004. – 96 с.
- Венгер Є.Ф. Застосування термографії в Україні / Є.Ф. Венгер, В.І. Гордієнко, В.І. Дунаєвський [та ін.] // Науково-практичний журнал. – 2015. – №6. – С. 5-15.
- Виноградов В.И. Некоторые аспекты применения термографии при реабилитации пациентов с нарушением функций опорно-двигательной и нервной систем / В.И. Виноградов, И.С. Веретеннов, В.Н. Слезко [и др.] // Функциональная диагностика. – 2005. – №3. – С. 72-78.
- Гаевская О.Э. Особенности использования тепловидения при оценке нарушений микроциркуляции в области верхних конечностей после мастэктомии / О.Э. Гаевская, Л.М. Смирнова // Вестник гильдии протезистов-ортопедов. – 2008. – Т.3, №33. – С. 48-52.
- Дехтярев Ю.П. Применение дистанционной инфракрасной термографии в диагностике заболеваний и последствий травм у спортсменов / Ю.П. Дехтярев, С.А. Мироненко, В.И. Нечипорук [и др.] // Электроника и связь. – 2009. – Ч.1, №2. – С. 220-223.
- Дехтярев Ю.П. Место и роль дистанционной инфракрасной термографии среди современных диагностических методов / Ю.П. Дехтярев, В.И. Нечипорук, С.А. Мироненко [и др.] // Электроника и связь. – 2010. – №2. – С. 192-196.
- Замечник Т.В. Возможности термографии в диагностике варикозной болезни нижних конечностей / Т.В. Замечник, С.И. Ларин // Флебология. – 2009. – № 3. – С. 10-14.
- Заяц Г.А. Медицинское тепловидение – современный метод функциональной диагностики / Г.А. Заяц, В.Т. Коваль // Медицинская экология. – 2010. – Т.43, № 3. – С. 27-33.
- Иваницкий Г.Р. Тепловидение в медицине: сравнительная оценка инфракрасных систем диапазонов длин волн 3–5 и 8–12 мкм для диагностических целей / Г.Р. Иваницкий, А.А. Дев, Е.П. Хижняк [и др.] // Доклады академии наук. – 2006. – Т.407, № 2. – С. 258-262.
- Илюшенов В.Н. ИК термографический анализ динамических температурных полей в костной ткани при ее контакте с охлажденными фиксаторами с памятью формы / В.Н. Илюшенов, В.П. Вавилов, В.В. Ширяев [и др.] // Известия Томского политехнического университета. – 2005. – Т.308, № 2. – С. 64-68.
- Ковальчук И.С. Возможности дистанционной инфракрасной термографии в диагностике заболеваний молочных желез (доброкачественные изменения) / И.С. Ковальчук, В.И. Дунаевский, Е.Ф. Венгер [и др.] // Украинский медицинский часопис. – 2013. – Т.95, № 3. – С. 165-169.
- Короткова Н.Л. Тепловизионная оценка возможности использования рубцовых тканей при планировании пластических операций на лице / Н.Л. Короткова, М.Г. Воловик // Современные технологии в медицине. – 2015. – Т.7, №2. – С. 120-126.
- Котовский В.И. Термографическая диагностика в оценке состояния опорно-двигательного аппарата спортсменов / В.И. Котовский, В.И. Дунаевский, С.А. Мироненко [и др.] // Физичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів : XIII Міжнародна науково-технічна конференція : Мат. конф. – Кременчук, 2014. – С. 96-98.
- Мамонова Е.Ю. Нарушения гемодинамики при краниовертбральной патологии у подростков / Е.Ю. Мамонова, М.Ю. Калинина // Сибирский медицинский журнал. – 2008. – Т.2, №3. – С. 17-19.
- Маркель А.Л. Инфракрасная термография в диагностике рака молочной железы / А.Л. Маркель, Б.Г. Вайнер // Терапевтический архив. – 2005. – Т.77, №10. – С. 57-61.
- Мельников Г.С. Современные медицинские тепловизоры / Г.С. Мельников, В.М. Самков, Ю.И. Солдатов [и др.] // Прикладная оптика – 2010 : IX Международная конференция : Мат. конф. – СПб, 2010. – С. 11-17.
- Пат. 2306847 Российская Федерация, МПК А61В5/01. Способ контроля адекватности дермотензии адаптационным возможностям тканей при использовании экспандеров у больных с последствиями ожоговой травмы / Прилучный М.А., Богосьян Р.А., Дмитриев Г.И., Колесов С.Н. ; заявитель и патентообладатель Федерал. гос. учреждение Нижегородский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии Федерального агентства по здравоохранению и социальному развитию. – № 2006110791/14 ; заявл. 2006.04.03 ; опубл. 2007.09.27.
- Пат. 2369320 Российская Федерация, МПК А61В5/01. Способ интраоперационного контроля радикальности иссечения ожоговых струпов при ранней некрэктомии / Атысова М.Л., Аминев В.А., Докукина Л.Н., Кислицын П.В., Прилучный М. А., Колесов С.Н. ; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное учреждение Нижегородский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии Федерального агентства по высокотехнологичной медицинской помощи. – № 2008124488/14 ; заявл. 2008.06.16 ; опубл. 2009.10.10.
- Перцов О.Л. Медико-технические аспекты развития современных тепловизионных методов в теоретической и практической медицине / О.Л. Перцов, В.М. Самков // Прикладная оптика – 2010 : IX Международная конференция : Мат. конф. – СПб., 2010. – С. 18-21.
- Розенфельд Л.Г. Дистанционная инфракрасная термография в онкологии / Л.Г. Розенфельд, Н.Н. Колотилова // Онкология. – 2001. – Т.3, № 2-3. – С. 103-106.
- Розенфельд Л.Г. Ранняя диагностика заболеваний сосудов нижних конечностей с применением инфракрасной термографии / Л.Г. Розенфельд, Т.В. Богдан, В.И. Тимофеев [и др.] // Укр. Мед. Часопис. – 2011. – №2. – С. 28-30.
- Скрипаль А.В. Тепловизионная биомедицинская диагностика / А.В. Скрипаль, А.А. Сагайдачный, Д.А. Усанов. – Саратов. : Изд-во СГУ, 2009. – 118 с.

25. Терновой Н.К. Возможности и перспективы дистанционной инфракрасной термографии при изучении патологии опорно-двигательного аппарата / Н.К. Терновой, А.Е. Державин // Ортопедия и травматология. – 1985. – №5. – С. 68-71.
26. Тимофеев А.А. Дистанционная инфракрасная термодиагностика при заболеваниях челюстно-лицевой области / А.А. Тимофеев, И.Б. Киндрас, Е.Ф. Венгер [и др.] // Электроника и нанотехнологии : XXIX Международная научно-техническая конф. ЭЛНАНО : Мат. конф. — Киев, 2009. — С. 236-240.
27. Ткаченко Ю.А. Клиническая термография (обзор основных возможностей) / Ю.А. Ткаченко, М.В. Голованова, А.М. Овечкин. – Нижний Новгород : Изд-во Союз Восточной и Западной Медицины, 1998. – 270 с.
28. Усанов Д.А. Оценка функционального состояния кровеносных сосудов по анализу температурной реакции на окклюзионную пробу / Д.А. Усанов, А.В. Скрипаль, А.А. Протопопов [и др.] // Саратовский научно-медицинский журнал. – 2009. – Т.5, №4. – С. 554-558.
29. Хижняк Л.Н. Диагностика и контроль эффективности лечения заболеваний сосудов нижних конечностей с использованием матричных термовизионных систем : автореф. дис. на соискание ученой степени канд. мед. наук. : спец. 14.00.51 "Восстановительная медицина, спортивная медицина, курортология и физиотерапия", 14.00.27 "Хирургия" / Л.Н. Хижняк. – Пушкино, 2006. – 23 с.
30. Шушарин А.Г. Медицинское тепловидение – современные возможности метода [Электронный ресурс] / А.Г. Шушарин, В.В. Морозов, М.П. Половинка // Современ. проблемы науки и образования. – 2011. – №4. – Режим доступа : <https://science-education.ru/ru/article/view?id=4726>
31. Якупов А.Ф. Возможности термографии в диагностике и лечении больных циррозом печени, осложненным портальной гипертензией / А.Ф. Якупов, А.Ю. Анисимов, А.Ф. Галимзянов [и др.] // Казанский медицинский журнал. – 2008. – Т.89, №6. – С. 842-846.
32. Bharara M. Thermography and thermometry in the assessment of diabetic neuropathic foot: a case for furthering the role of thermal techniques / M. Bharara, J.E. Cobb, D.J. Claremont // Int. J. Low. Extrem. Wounds. – 2006. – V.5, №4. – P. 250-260.
33. Denoble A.E. Patellar Skin Surface Temperature by Thermography Reflects Knee Osteoarthritis Severity / A.E. Denoble, N. Hall, C.F. Pieper [et al.] // Clinical Medicine Insights: Arthritis and Musculoskeletal Disorders. – 2010. – №3. – P. 69-75.
34. Knobel R.B. Thermoregulation and thermography in neonatal physiology and disease / R.B. Knobel, B.D. Guenther, H.E. Rice // Biological research for nursing. – 2011. – V.13, №3. – P. 274-282.
35. Lavery L.A. Preventing diabetic foot ulcer recurrence in high-risk patients: use of temperature monitoring as a self-assessment tool / L.A. Lavery, K.R. Higgins, D.R. Lancot [et al.] // Diabetes Care. – 2007. – V.30, №1. – P. 14-20.
36. Naicker A.S. Alteration of foot temperature in diabetic neuropathy: is it another piece of puzzle? / A.S. Naicker, S.A. Roohi, C.S. Lee [et al.] // Med. J. Malaysia. – 2006. – V.61, suppl. A. – P. 10-13.
37. Ring E.F. Thermal Imaging Today and Its Relevance to Diabetes / E.F. Ring // Journal of Diabetes Science and Technology. – 2010. – V.4, №4. – P. 857-862.
38. Van der Wall E.E. Fingertip digital thermal monitoring: a fingerprint for cardiovascular disease / E.E. Van der Wall, J.D. Schuijff, J.J. Bax [et al.] // Int. J. Cardiovasc Imaging. – 2010. – V.26, №2. – P. 249-252.

## Реферат

### ТЕПЛОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ И ТЕПЛОВИЗИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В МЕДИЦИНЕ

Олейник Г.А., Кремень В.А., Грязин А.Е., Тимченко Е.К.

Ключевые слова: тепловое излучение, тепловая картина, термографическое исследование, инфракрасная термография, тепловизор.

Цель обзора - описание и оценка возможностей инфракрасной термографии в различных областях медицины. Термография (от греч. *therme* - тепло и *grapho* - пишу) – это совокупность методов измерения и регистрации теплового излучения. Тепловое излучение было открыто в 1800 году английским астрономом Уильямом Гершелем, который дал ему название «инфракрасное излучение», то есть излучение, которое лежит за красной границей видимого спектра. Первая «тепловая картина» получила название «термограмма». Этот термин используется и в современной литературе. Термография в медицине - метод регистрации видимого изображения тепловых полей человеческого тела, излучающего инфракрасные импульсы, которые могут быть считаны непосредственно тепловизором и преобразованы в изображения - термограмму, которая регистрирует распределение тепла на поверхности тела. Термограммы человека содержат очень ценную информацию. Человеческое тело имеет неоднородное поверхностное распределение температуры, которое видоизменяется как при наличии патологий, приеме медицинских препаратов, проведении нагрузочных проб, так и при осуществлении естественной терморегуляции организма. С помощью инфракрасной термографии можно обнаружить и распознать много патологических изменений на раннем, доклиническом этапе. Визуализированное температурное излучение при комплексной диагностике болезни дополнительно обеспечивает важной информацией о наличии, тяжести воспалительных процессов и дает возможность оценить эффективность консервативного лечения. В медицине тепловизор незаменим при абсолютно безопасном и бесконтактном обследовании пациента. Современный уровень развития тепловизионной техники в мире позволяет надежно диагностировать широкий спектр заболеваний, являющихся поводом активного внедрения термографии в клиническую практику наряду с другими современными методами, которые есть в арсенале врачей: маммография, компьютерная томография, магнитно-резонансная томография и ультразвуковое исследование.

## Summary

### THERMAL RADIATION AND THERMAL IMAGING STUDIES IN MEDICINE

Oliynyk G.A., Kremen V.A., Gryazin A.E., Timchenko E.K.

Key words: thermal radiation, thermal picture, thermographic exploring, infrared thermography, thermal imager.

The purpose of the review is to describe and evaluate the possibilities of infrared thermography in various areas of medicine. Thermography (from the Greek *therme* - heat and *grapho* - writing) is a set of methods for measuring and recording thermal radiation. Thermal radiation was discovered in 1800 by the English astronomer William Herschel, who gave him the name "infrared radiation." That is, the radiation that lies behind the red border of the visible spectrum. The first "thermal picture" was called "thermogram". This term is also used in modern literature. Thermography in medicine is a method of recording the visible image of the thermal fields of a human body emitting infrared pulses that can be read directly by a thermal imager and converted into images - a thermogram that records the heat distribution on the surface of the body. The thermograms of the human body contain very valuable information. The human body has a non-uniform surface

temperature distribution, which changes in the presence of pathologies, the acceptance of medicinal preparations, carrying out stress tests, and during the natural thermoregulation of the organism. With the help of infrared thermography, it is possible to detect and recognize many pathological changes at an early, pre-clinical stage. The visualized temperature radiation in the complex diagnosis of the disease additionally provides important information on the presence and severity of inflammatory processes and provides an opportunity to assess the effectiveness of conservative treatment. In medicine, the thermal imager is indispensable for absolutely safe and non-contact inspection of the patient. The current level of development of thermal imaging technology in the world allows medical professionals to make reliable diagnosis of a wide range of diseases, which is the reason for the active introduction of thermography into clinical practice, along with other modern methods that exist in the arsenal of doctors: mammography, computed tomography, magnetic resonance imaging and ultrasound scan.

УДК 616.008. 379-008.64. 155.1

**Рамазанов В.В., Воловельская Е.Л., Нипот Е.Е., Ершов С.С.,  
Ершова Н.А., Руденко С.В., Бондаренко В.А.**

## **ФОРМИРОВАНИЕ МЕТАБОЛИЧЕСКОГО СИНДРОМА ПРИ СИСТЕМНОЙ ДИСФУНКЦИИ ЭРИТРОЦИТОВ**

Институт проблем криобиологии и криомедицины НАН Украины, г. Харьков

*Метаболические нарушения в организме, повышающие риск развития сердечно-сосудистых заболеваний и сахарного диабета 2-го типа, объединяются термином метаболический синдром. Инсулинорезистентность, как принято, является основой синдрома, хотя его развитие определяется многими патологическими компонентами, включая воспаление, окислительный стресс и нарушение гемореологии вследствие увеличения степени агрегации эритроцитов. В последние годы достигнуто подтверждение положения о том, что дефект в физиологии эритроцитов может вносить вклад в микро- и макрососудистые заболевания. Способность инсулина влиять на активность протеинкиназ и фосфатаз в различных клетках, включая эритроциты, ограничена у пациентов с резистентностью к инсулину. Эти дисфункции становятся объектом внимания для исследования возможности разработки новой терапевтической стратегии при лечении метаболического синдрома и диабета 2-го типа.*

Ключевые слова: метаболический синдром, диабет, гемореология, эритроциты.

Метаболический синдром (МС) представляет собой набор факторов, которые в совокупности повышают риск развития сердечно-сосудистых заболеваний и диабета 2-го типа из-за пагубных последствий увеличения веса, малоподвижного образа жизни и атерогенного питания. Синдром характеризуется абдоминальным ожирением, атерогенной дислипидемией, гипертензией, резистентностью к инсулину и гипергликемией, а также протромботическим и провоспалительным состоянием [45;46;51].

Окислительный стресс и воспаление являются ключевыми факторами среди патологий МС, взаимостимуляция которых создает синергический вклад при инициации и прогрессировании каждой компоненты МС [7]. Жировая ткань тучных людей содержит повышенное количество макрофагов, которые после активации производят основную часть провоспалительных цитокинов, включая TNF- $\alpha$  IL-6. Адипоциты выделяют различные цитокины, включая ингибитор активатора плазминогена-1, TNF- $\alpha$ , лептин и адипонектин, дисрегуляция которых способствует патогенезу ожирения. Хроническое воспаление, связанное с висцеральным ожирением, вызывает изменение метаболизма липопротеинов и развитие инсулинорезистентности в печени. Указанные нарушения в сочетании с последствиями гипергликемии и гиперинсулинемии в со-

судистой сети и тканевой микроциркуляции приводят к дисфункции эндотелия и провоспалительному состоянию, что в комбинации приводит к ускорению атерогенеза [45].

При метаболическом синдроме отмечается повышенная вязкость крови вследствие уменьшения деформируемости и увеличения агрегируемости эритроцитов, которые определяются комбинированными эффектами ожирения, инсулинорезистентности и гипергликемии. Кроме того, была обнаружена значительная связь измененной гемореологии с хроническим воспалением и окислительным стрессом, что в сумме вызывает нарушение гемодинамики и может приводить к развитию тромбозомболических и атеро-тромботических осложнений у пациентов с МС [2;11;20;21;22;39;44]. Отмечалось, что гемореологические нарушения при гипертензии способствуют увеличению периферического сопротивления, вызывающему усиление гипертензии, нарушение периферической перфузии и переноса кислорода в ткани [12]. Изменение реологических характеристик эритроцитов коррелируют с тяжестью гипертензии, но не с вязкостью крови и плазмы [15]. Высказано предположение о том, что изменение данных свойств эритроцитов может служить фактором риска развития МС [47].

Метаболизм эритроцитов является состав-