

Кобилянський Р.Р., канд. фіз.-мат. наук^{1,2}
Прибила А.В., канд. фіз.-мат. наук^{1,2}
Константинович І.А., канд. фіз.-мат. наук^{1,2}
Бойчук В.В.²

¹ Інститут термоелектрики НАН та МОН України,
вул. Науки, 1, Чернівці, 58029, Україна;

² Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича,
вул. Коцюбинського 2, Чернівці, 58012, Україна
e-mail: anatych@gmail.com

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИХ МЕДИЧНИХ СЕНСОРІВ ТЕПЛООВОГО ПОТОКУ

У роботі представлено результати експериментальних досліджень та медичних випробувань локального тепловиділення людського тіла за допомогою термоелектричного медичного сенсора теплового потоку. Дослідження проведено в реанімаційному та хірургічному відділеннях Вижницької центральної районної лікарні. Пристрій використовує багатоелементний термоелектричний сенсор з високою чутливістю та точністю в широкому діапазоні температур. Медичні випробування підтвердили, що запальні процеси супроводжуються збільшенням тепловиділення у певних зонах, навіть якщо загальна температура тіла залишається в нормі. Водночас, при онкологічних захворюваннях та тромбозах спостерігається знижене тепловиділення у відповідних ділянках тіла. Отримані результати демонструють перспективність застосування термоелектричних сенсорів теплового потоку для ранньої діагностики різних патологічних станів, включаючи запалення та онкопроцеси. Впровадження термоелектричних тепломірів у медичну практику забезпечить доступний та ефективний інструмент для виявлення захворювань на ранніх стадіях, що значно спростить діагностичні процедури та підвищить їхню ефективність.

Ключові слова: сенсор теплового потоку, термоелектричний тепломір, локальне тепловиділення, діагностика захворювань, термоелектричний датчик, тепловиділення тіла, рання діагностика, запальні процеси, онкологічні захворювання.

Вступ

Людський організм володіє власною системою терморегуляції, яка здатна підтримувати стабільну температуру тіла незалежно від зовнішніх чи внутрішніх змін. Це створює умови, за яких загальна температура тіла не завжди є індикатором наявних патологічних процесів. Наприклад, локальні запальні процеси можуть не призводити до підвищення загальної температури тіла завдяки активній роботі терморегуляційних механізмів організму, через що такі стани можуть залишатися прихованими при звичайних температурних вимірюваннях. Однак, ці процеси супроводжуються збільшенням локального тепловиділення, яке можна легко зафіксувати за допомогою напівпровідникових термоелектричних сенсорів теплового потоку [1 – 3]. Ці прилади відрізняються високою точністю у вимірюванні теплових потоків та широко застосовуються у медичній діагностиці.

В Україні онкологічні захворювання є однією з основних причин смертності серед населення. За даними Національного канцер-реєстру України, в останні роки спостерігається зростання захворюваності на рак. Зокрема, у 2023 році було зареєстровано понад 200 тисяч нових випадків діагностики онкологічних захворювань, що демонструє тенденцію до збільшення. Найпоширеніші типи раку включають рак молочної залози, рак легень, рак шлунку та рак простати.

Смертність від онкологічних захворювань в Україні залишається високою (рис. 1), що пов'язано з недостатньою ранньою діагностикою та обмеженим доступом до сучасних методів лікування. Рівень виживання хворих залежить від стадії захворювання на момент діагностики. Рання діагностика значно підвищує шанси на успішне лікування та покращує прогноз.

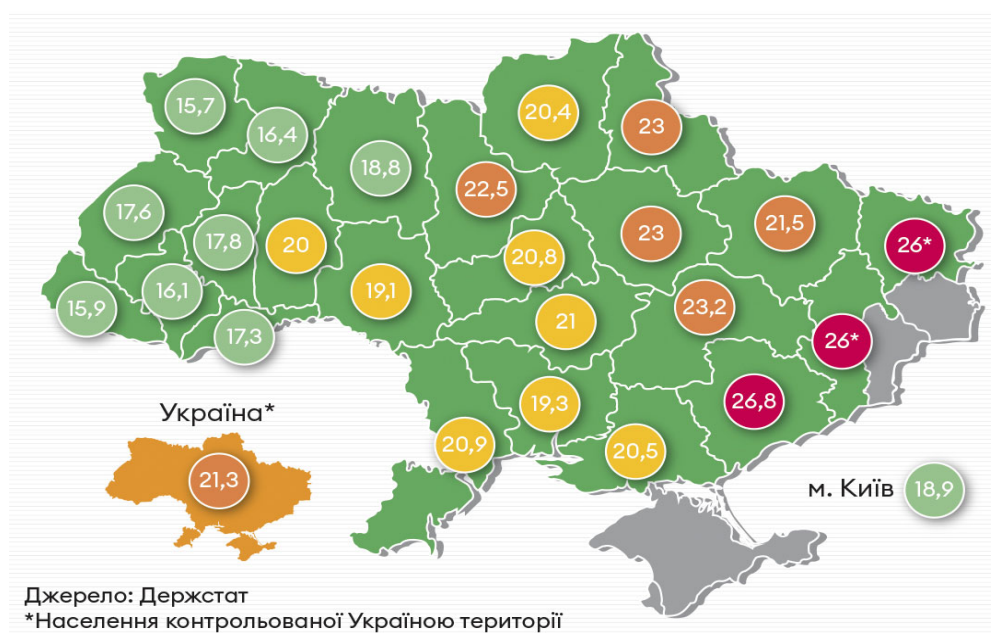


Рис. 1. Кількість смертей від онкозахворювань на території України на 10000 населення в 2020 р.

Важливість ранньої діагностики неможливо переоцінити. Своєчасне виявлення онкологічних захворювань дозволяє запобігти прогресуванню хвороби, застосувати ефективні лікувальні методи та зменшити смертність. Для досягнення цих цілей необхідно вдосконалювати методи скринінгу, підвищувати рівень обізнаності серед населення та забезпечувати доступ до якісних медичних послуг.

Враховуючи вищезазначене, постійне удосконалення системи діагностики і лікування онкологічних захворювань є критично важливим для покращення загальної ситуації в медичній діагностиці в Україні.

Аналіз літератури. У роботі [4] представлено розробку високочутливого термоелектричного напівпровідникового сенсора теплового потоку, спеціально створеного для медико-біологічних досліджень, зокрема для вимірювання теплових потоків з поверхні тіла людини. У даній роботі наведено результати застосування таких сенсорів для діагностики і лікування захворювань суглобів та встановлено, що саме густина теплового потоку є ключовим параметром, який найкраще відображає ступінь вираженості запальних процесів в організмі людини.

Крім того, у роботах [5, 6] було розроблено тепломір, призначений для виявлення онкологічних захворювань молочної залози. Такий прилад дозволяє діагностувати пухлини на ранніх стадіях завдяки аналізу змін у теплопродукції тканин молочної залози. Також в Інституті

термоелектрики НАН та МОН України розроблено медичний термоелектричний тепломір [7], який застосовується для вимірювання густини теплового потоку з поверхні тіла з метою виявлення запальних процесів, оцінки стану організму в екстремальних умовах та визначення допустимого рівня фізичних навантажень.

Точність і швидкодія реєстрації сигналів термоелектричних сенсорів є ключовими факторами при вимірюванні теплових потоків з тіла людини за допомогою медичних тепломірів [8 – 12]. У роботах [13 – 15] здійснено розробку сучасних електронних систем для реєстрації сигналів від таких сенсорів, що дозволяє проводити моніторинг теплового стану організму в реальному часі.

Дослідження впливу термоелектричних тепломірів на реєстрацію теплових потоків із поверхні шкіри людини проводилися в роботах [16 – 21]. Завдяки комп'ютерному моделюванню було проаналізовано особливості використання цих приладів для вивчення локальних тепловиділень у реальних умовах експлуатації [22, 23]. У роботах [24 – 29] було розроблено сучасні багатоканальні термоелектричні прилади, що дають можливість у реальному часі вимірювати і температуру, і густину теплових потоків тіла людини, а також було представлено методику градування термоелектричних сенсорів медичного призначення [30 – 32].

Однак на сьогодні недостатньо вивчена кореляція між показниками термоелектричних сенсорів теплового потоку і загальним станом здоров'я людини. Тому метою даної роботи є визначення локального тепловиділення людського організму за допомогою термоелектричного тепломіра для ранньої діагностики захворювань.

1. Метод вимірювання

Для визначення тепловиділення досліджуваного об'єкту активно використовуються градієнтні напівпровідникові сенсори теплового потоку, які працюють на основі принципу «допоміжної стінки» [1, 2] (рис. 2).

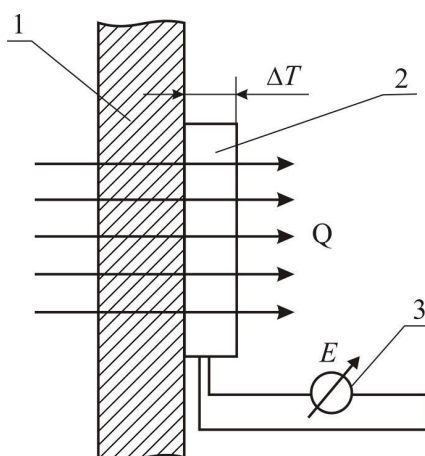


Рис. 2. Метод «допоміжної стінки»: 1 – досліджувана поверхня, 2 – градієнтний тепломір, 3 – гальванометр.

Цей метод полягає у вимірюванні зміни температури ΔT вздовж теплового потоку Q на «допоміжній площині» (пластині), розташованій на поверхні об'єкта, що досліджується. Завдяки ефекту Зеєбека в термобатарей, яка використовується як «допоміжна стінка», виникає термоЕРС E , що пропорційна перепаду температур між її гранями. Це дозволяє попередньо калібрувати термобатарей і використовувати значення термоЕРС для визначення густини теплового потоку.

Розподіл температури $T(r)$ в термоелементах допоміжної пластини можна знайти шляхом розв'язку диференціального рівняння теплопровідності в квазістаціонарному наближенні, записаного в ізотропній ситуації для віток n -і p -типів провідності [1, 2]:

$$\nabla(\kappa\nabla T) + \frac{i^2}{\sigma} - Ti\nabla\alpha = 0, \quad (1)$$

де κ , σ , α коефіцієнти теплопровідності, електропровідності і термоЕРС матеріалу віток, i – густина електричного струму.

Розв'язок диференційного рівняння (1) дає можливість визначити розподіл температур $T(r)$ і питомі теплові потоки $q(r)$ із співвідношення:

$$q(r) = \alpha iT - \kappa\nabla T = 0. \quad (2)$$

Величина теплового потоку на поверхні пластини визначається співвідношенням:

$$Q = \int_S q(r) ds, \quad (3)$$

де S – вільна поверхня пластини.

Співвідношення (1) – (3) надають можливість з'ясувати зв'язок між тепловим потоком та розподілом температури на поверхні пластини. У випадку невеликих перепадів температур, що часто зустрічаються в інженерних застосуваннях, величину теплового потоку визначають шляхом усереднення параметрів співвідношень (1) – (3) з наступного рівняння [1, 2]:

$$Q = \frac{\lambda}{l} \cdot S \cdot \Delta T, \quad (4)$$

де Q – величина вимірюваного теплового потоку, λ – ефективний коефіцієнт теплопровідності "стінки" – первинного перетворювача теплового потоку, l – товщина "стінки", S – площа поверхні пластини, ΔT – усереднений перепад температури між теплообмінними сторонами "стінки", який вимірюється батареєю термоелементів первинного перетворювача.

Величини λ , l , S мають постійні значення, а співвідношення $\frac{\lambda}{l} \cdot S = C$ – це є встановленою характеристикою сенсора, що визначається через експеримент. У такому випадку тепловий потік розраховується за формулою:

$$Q = C \cdot \Delta T. \quad (5)$$

Отже, цей метод передбачає накладання сенсора теплового потоку на досліджуваний об'єкт, отримання показів тепломіра в стаціонарному режимі і вимірювання термоелектромоторної сили (термоЕРС) тепломіра.

2. Принцип роботи та будова термоелектричного сенсора теплового потоку

Реєстратор призначений для вимірювання і автоматичної реєстрації температури і напруги постійного струму, температури навколишнього середовища (кімнатної температури). Загальний вигляд приладу зображено на рис 3.

При розробці електронного індикатора особлива увага приділялася його надійності та низькій вартості, що забезпечує можливість широкого впровадження термоелектричних сенсорів теплового потоку в медичну практику.

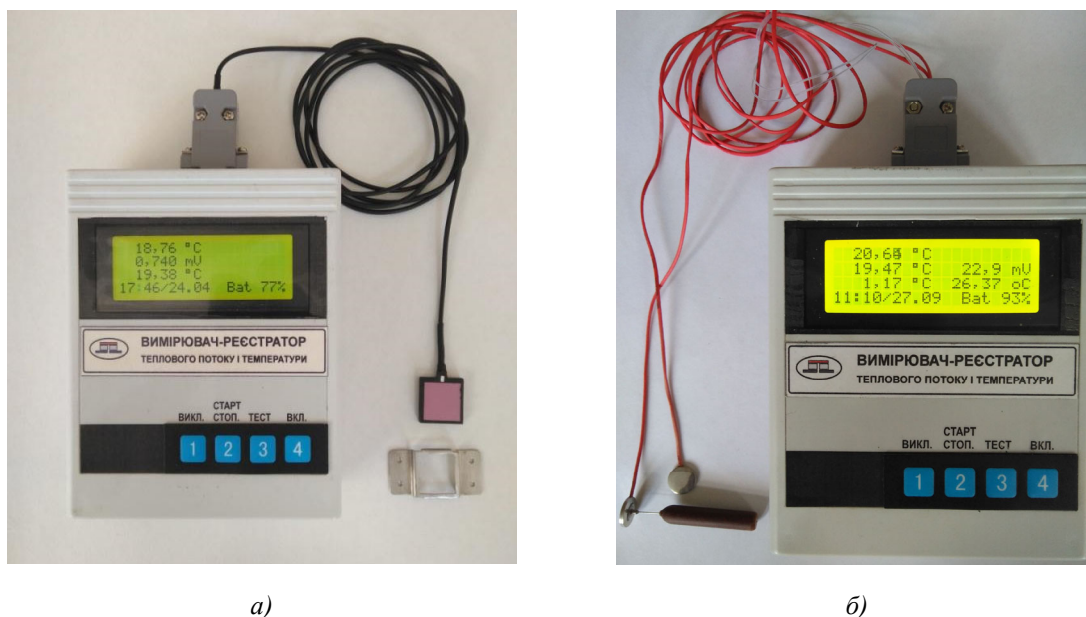


Рис. 3. Зовнішній вигляд вимірювачів-реєстраторів теплового потоку (напруги) і температури.
а) – варіант вимірювача з датчиком теплового потоку;
б) – варіант вимірювача з датчиками температури.

Перед проведенням вимірювань необхідно виконати наступні вимоги, зокрема визначити температуру тіла людини $T_{\text{тіла}}, ^\circ\text{C}$. Для кожного вимірювання теплового потоку на поверхні тіла людини слід забезпечити однакові умови:

- температура навколишнього середовища $T_{\text{кім}}, ^\circ\text{C}$
- вертикальне або горизонтальне розміщення термоелектричного сенсора теплового потоку на поверхні тіла;
- положення тіла під час вимірювання.

При розробці електронного індикатора була приділена особлива увага його надійності та економічній доступності, що сприяє широкому впровадженню термоелектричних сенсорів теплового потоку в медицині.

3. Результати експериментальних досліджень

Експериментальні дослідження термоелектричного медичного сенсора теплового потоку було проведено у реанімаційному та хірургічному відділеннях Вижницької центральної районної лікарні. Результати проведених досліджень представлено нижче на рис. 4–7 при різних діагнозах пацієнтів.

Першим етапом випробувань було дослідження післяопераційних процесів, що супроводжуються підвищеними значеннями густини теплового потоку запалених ділянок організму людини. Це особливо помітно при аналізі теплових потоків на поверхні тіла людини у районі печінки при діагностиці пацієнта з цирозом печінки (асцитом) (рис. 4). Слід зазначити, що температура тіла у пацієнта до і після операції складала $T = 36.6 ^\circ\text{C}$.

З рисунка 4 видно, що після проведення операції тепловиділення в області печінки стабілізувалося, запальний процес припинився і пацієнт одужує.

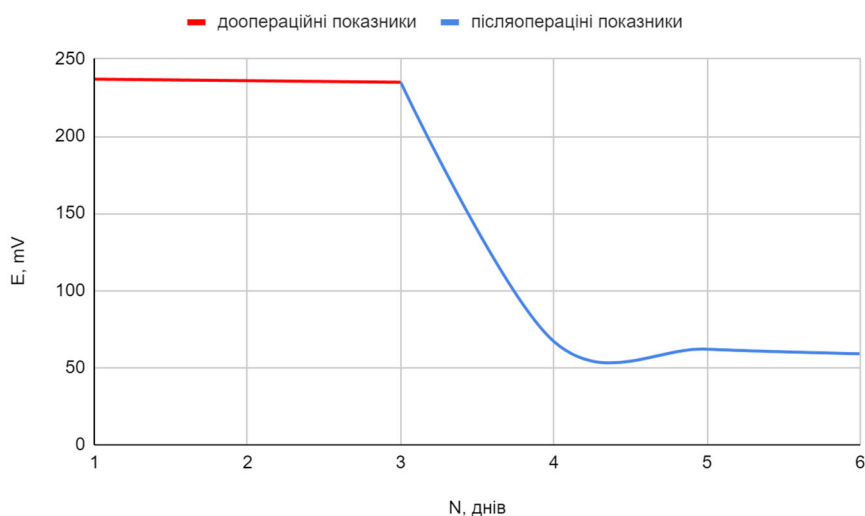


Рис. 4. Результати експериментальних досліджень теплових потоків поверхні тіла людини в області печінки при діагнозі пацієнта – цироз печінки (асцит).

Розглянемо детальніше тепловиділення на поверхні тіла людини для діагнозів пацієнта – цироз печінки (асцит) та атрофічний цироз печінки (рис. 5). На рисунку видно, що при атрофічному цирозі печінки тепловиділення в області печінки майже не змінилося. Проте, тепловиділення в області кишечника та селезінки знижене в 3 – 4 рази через застій крові у ворітній вені (тромбозний стан).

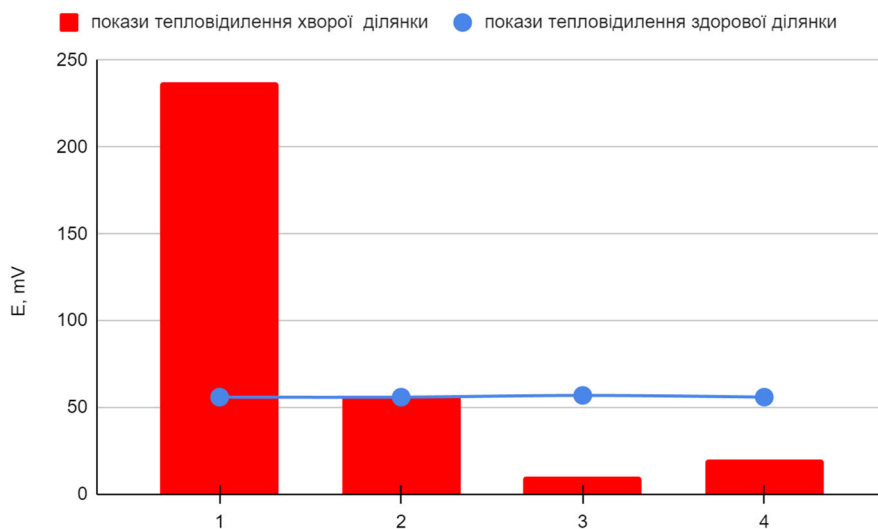


Рис. 5. Результати експериментальних досліджень теплових потоків поверхні тіла людини при діагнозі пацієнта – цироз печінки: 1 – цироз печінки (асцит), 2 – атрофічний цироз печінки (покази печінки), 3 – атрофічний цироз печінки (покази кишечника), 4 – атрофічний цироз печінки (покази селезінки).

На рис. 6 наведена діаграма усереднених показів термоелектричного сенсора теплового потоку для здорових ділянок тіла людини.

З діаграми (рис. 6) видно, що покази термоелектричного сенсора теплового потоку для здорових ділянок тіла людини варіюють у межах 50 – 70 мВ. В деяких ділянках, наприклад, в області скроні, покази можуть досягати 81 мВ. Це обумовлено наявністю скроневої артерії, через

яку проходить велика кількість крові, що викликає інтенсивне тепловиділення. Проте, при вимірюванні теплового потоку в області гомілки та коліна спостерігалось знижене тепловиділення, що, ймовірно, пов'язано з меншим кровопостачанням цих ділянок.

показники тепловиділення здорових ділянок тіла людини

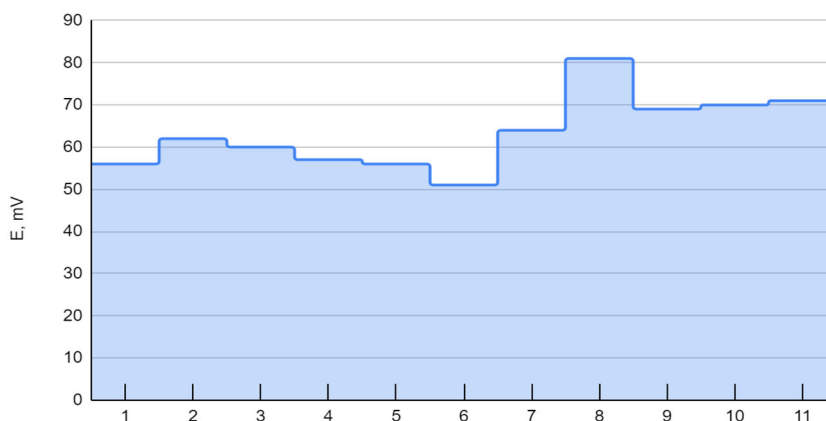


Рис. 6. Усереднені покази термоелектричного тепломіра здорових ділянок тіла людини: 1 – печінка, 2 – підшлункова залоза, 3 – нирки, 4 – кишечник, 5 – селезінка, 6 – суглоб коліна, 7 – гомілка правої ноги, 8 – скроні, 9 – серце, 10 – молочна залоза, 11 – товста кишка.

На рис. 7 зображена діаграма усереднених показів термоелектричного сенсора теплового потоку для хворих ділянок тіла людини при різних діагнозах пацієнтів.

показники тепловиділення хворих ділянок тіла людини

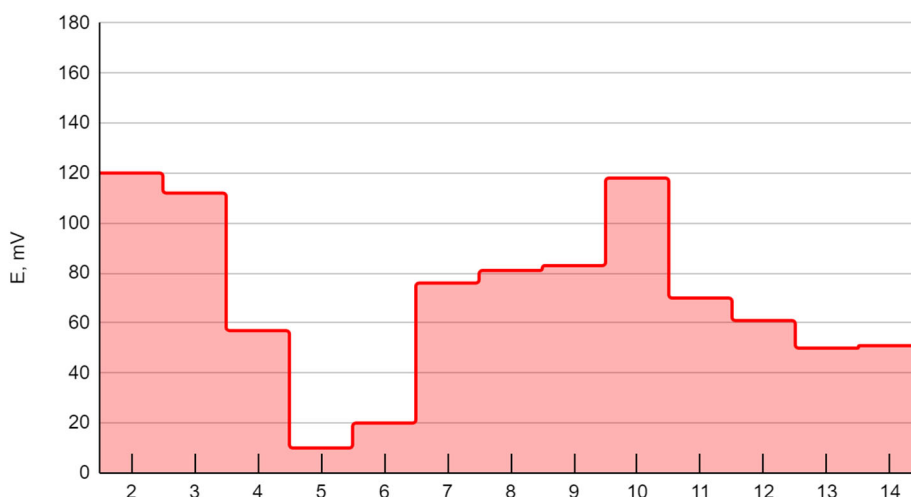


Рис. 7. Усереднені покази термоелектричного тепломіра при різних діагнозах пацієнтів: 1 – цироз печінки (асцид), 2 – запалення підшлункової залози (панкреонекроз), 3 – запалення нирок (нефрит), 4 – атрофічний цироз печінки (покази печінки), 5 – атрофічний цироз печінки (покази кишечника), 6 – атрофічний цироз печінки (покази селезінки), 7 – ревматоїдний артрит (запалення суглоба коліна), 8 – травма правої гомілки, 9 – післятравматичний флеботромбоз ПТФХ (супутній діагноз - нагноєна гематома на правій нозі), 10 – інсульт, 11 – стенокардія (покази в області серця), 12 – інфаркт, 13 – доброякісна пухлина молочної залози, 14 – пухлина іліоцекального кута (покази в області товстої кишки).

Розглянемо детальніше можливі причини зміни тепловиділення хворих ділянок тіла людини при різних захворюваннях.

При цирозі печінки (на стадії асцит) у хворого збільшується печінка та утворюється скупчення рідини в черевній порожнині. Під час цього відбуваються запальні реакції, внаслідок чого збільшується тепловий потік цієї ділянки. При нефриті (запалення нирок) та панкреонекрозі (запаленні підшлункової залози) гостро вражається інтерстиціальна тканина нирок та підшлункової залози, що також супроводжується значним підвищенням тепловиділення цієї ділянки.

Особливістю атрофічного цирозу печінки є те, що розміри печінки при цьому зменшуються, а навколо неї виникає застій крові в системі ворітної вени. При цьому тепловий потік кишечника та селезінки зменшується у кілька разів у порівнянні із тепловиділенням у здоровому стані.

Ревматоїдний артрит (запалення суглоба коліна) характеризується хронічним запальним процесом аутоімунної природи, кінцевим результатом якого є анкілозування (тобто людина втрачає здатність рухатися). Природно, що такий запальний процес теж супроводжується підвищеними значеннями густини теплового потоку, що підтверджено експериментально за допомогою термоелектричного медичного тепломіра.

Післятравматичний флеботромбоз (ПТФХ) – це стан людини після тромбозу. Через обмежене скупчення крові в тканинах та утворення порожнини, яка містить рідку або таку, що згорнулася кров та скупчення мікробів у таких пацієнтів утворюється нагноєна гематома. Під час цього відбуваються запальні процеси, що супроводжуються підвищеним тепловиділенням. Важливим є визначити наявність таких запальних процесів саме на ранніх стадіях, щоб прийняти першочергові міри для оздоровлення пацієнта.

Відомо, що інфаркт міокарда супроводжується раптовим порушенням місцевого серцевого кровообігу. Однак експериментально було встановлено, що при інфаркті не спостерігається підвищення тепловиділення в області серця. Також немає суттєвих змін у тепловиділенні в області серця під час стенокардії, симптомами якої є напади раптового болю за грудиною кліткою внаслідок гострої недостатності кровопостачання міокарду. Однак при інсульті (крововилив у мозок) тепловиділення в області скронь людини суттєво збільшується, оскільки гостро порушується мозковий кровообіг, що спричинює ушкодження тканин мозку і розлади його функцій.

Цікаво, що ділянки тіла людини, вражені онкозахворюванням, відрізняються зниженим тепловиділенням порівняно з аналогічними здоровими ділянками. Наприклад, область з пухлиною молочної залози (що має форму сполучнотканинної пухлини твердої консистенції) може мати у два рази менше тепловиділення. Це вказує на те, що, на відміну від запальних процесів, онкозахворювання характеризуються зниженим тепловиділенням у відповідних пошкоджених ділянках тіла людини.

Провівши усереднення показів термоелектричного тепломіра в межах кожного діагнозу, результати експериментальних вимірювань можна представити в наступному вигляді (рис. 8).

Під час аналізу діаграми, зображеної на рис. 8, можна зробити висновок, що при наявності запальних процесів тепловиділення у хворих ділянках збільшується, а при тромбозних процесах та онкозахворюваннях - тепловиділення відповідних ділянок значно знижується. Це пов'язано зі зміною активності обміну речовин ураженими ділянками тіла людини.



Рис. 8. Усереднені покази термоелектричного тепломіра при різних діагнозах пацієнтів: 1 – цироз печінки (асцит), 2 – запалення підшлункової залози (панкреонекроз), 3 – запалення нирок (нефрит), 4 – атрофічний цироз печінки (покази печінки), 5 – атрофічний цироз печінки (покази кишечника), 6 – атрофічний цироз печінки (покази селезінки), 7 – ревматоїдний артрит (запалення суглоба коліна), 8 – травма правої гомілки, 9 – післятравматичний флеботромбоз ПТФХ (супутній діагноз – нагноєна гематома на правій нозі), 10 – інсульт, 11 – стенокардія (покази в області серця), 12 – інфаркт, 13 – доброякісна пухлина молочної залози, 14 – пухлина іліоцекального кута (покази в області товстої кишки).

Висновки

1. Виконано експериментальні дослідження та медичні випробування термоелектричного сенсора теплового потоку в реанімаційному та хірургічному відділеннях Вижницької центральної районної лікарні. Встановлено, що запальні процеси організму людини супроводжуються підвищеним тепловиділенням відповідних ділянок навіть при нормальній температурі тіла людини, а наявність онкозахворювань та тромбозних процесів навпаки характеризуються пониженими значеннями тепловиділення.
2. Встановлено, що термоелектричні сенсори теплового потоку є перспективними для діагностики на ранніх стадіях онкозахворювань та запальних процесів людського організму. Впровадження таких сенсорів у медичну практику надасть простий та ефективний метод діагностики різноманітних захворювань людини.

Література

1. Анатичук Л.І. Термоелектрика. Т.2. Термоелектричні перетворювачі енергії. Київ, Чернівці: Інститут термоелектрики, 2003. – 376 с.
2. Anatyshuk L.I. (1998). *Thermoelectricity. Vol. 1. Physics of Thermoelectricity*. Institute of Thermoelectricity: Kyiv, Chernivtsi.
3. Анатичук Л.І. Сучасний стан і деякі перспективи термоелектрики // Термоелектрика. – 2007. – № 2. – С. 7 – 20.
4. Демчук Б.М., Кушнерик Л.Я., Рубленік І.М. Термоелектричні датчики для ортопедії.// Термоелектрика. – 2002. – №4. – С. 80 – 85.

5. Патент України 53104 А. Датчик для попередньої діагностики запальних процесів молочних залоз // А.А.Ашеулов, А.В.Клепиковський, Л.Я. Кушнерик та ін. – 2003.
6. Ашеулов А.А., Кушнерик Л.Я. Термоелектричний прилад для медико-біологічної експрес-діагностики // Технологія та конструювання в електронній апаратурі. – №4. – 2004. – С. 38 – 39.
7. Дослідження та розробка нового покоління термоелектричної медичної апаратури // Звіт по темі, Інститут термоелектрики, Чернівці. – 2005.
8. Пат. 71619 Україна, МПК Н01L 35/00. Термоелектричний медичний тепломір / Анатичук Л.І., Кобилянський Р.Р.; Інститут термоелектрики. – № у 2011 14007; заявл. 28.11.11; опубл. 25.07.12, Бюл. № 14.
9. Пат. 72032 Україна, МПК Н01L 35/00. Термоелектричний сенсор для вимірювання температури і теплового потоку / Анатичук Л.І., Кобилянський Р.Р.; Інститут термоелектрики. – № у 2011 14005; заявл. 28.11.11; опубл. 10.08.12, Бюл. № 15.
10. Пат. 73037 Україна, МПК Н01L 35/02. Термоелектричний медичний пристрій / Микитюк П.Д., Кобилянський Р.Р., Слепенюк Т.В.; Інститут термоелектрики. – № у 2012 01922; заявл. 20.02.12; опубл. 10.09.12, Бюл. № 17.
11. Пат. 78619 Україна, МПК Н01L 35/00. Метод визначення густини теплового потоку / Анатичук Л.І., Кобилянський Р.Р.; Інститут термоелектрики. – № у 2012 11018; заявл. 21.09.12; опубл. 25.03.13, Бюл. № 6.
12. Пат. 79929 Україна, МПК Н01L 35/00. Термоелектричний перетворювач теплового потоку для градієнтних тепломірів / Анатичук Л.І.; Інститут термоелектрики. – № у 2012 11857; заявл. 15.10.12; опубл. 13.05.13, Бюл. № 9.
13. Гищук В.С. Електронний реєстратор сигналів сенсорів теплового потоку людини // Термоелектрика. – № 4. – 2012. – С. 105 – 108.
14. Гищук В.С. Електронний реєстратор з обробкою сигналів термоелектричного сенсора теплового потоку // Термоелектрика. – № 1. – 2013. – С. 82 – 86.
15. Гищук В.С. Модернізований прилад для вимірювання теплових потоків людини // Термоелектрика. – №2. – 2013. – С. 91 – 95.
16. Анатичук Л.І., Кобилянський Р.Р. Дослідження впливу термоелектричного тепломіра на визначення тепловиділення людини // Термоелектрика. – № 4. – 2012. – С. 60 – 66.
17. Анатичук Л.І., Кобилянський Р.Р. 3D-модель для визначення впливу термоелектричного тепломіра на точність вимірювання тепловиділення людини // Науковий вісник Чернівецького університету: збірник наук. праць. Фізика. Електроніка. – Т. 2, Вип. 1. – Чернівці: Чернівецький національний університет, 2012. – С. 15 – 20.
18. Анатичук Л.І., Кобилянський Р.Р. Комп'ютерне моделювання показів термоелектричного тепломіра в умовах реальної експлуатації // Термоелектрика. – № 1. – 2013. – С. 53 – 60.
19. Анатичук Л.І., Гіба Р.Г., Кобилянський Р.Р. Про деякі особливості використання медичних тепломірів при дослідженні локальних тепловиділень людини // Термоелектрика. – № 2. – 2013. – С. 67 – 73.
20. Анатичук Л.І., Кобилянський Р.Р., Константинович І.А. Про вплив термоелектричного джерела живлення на точність вимірювання температури і теплового потоку // Термоелектрика. – № 6. – 2013. – С. 53 – 61.
21. Іващук О.І., Морар І.К., Кобилянський Р.Р., Непеляк Л.В., Делей В.Д. Роль теплового потоку черевної порожнини в моніторингу гострого деструктивного панкреатиту // Збірник тез

- науково-практичної конференції "Актуальні питання хірургії", м. Чернівці, Україна. – 2013. – С. 254 – 259.
22. Кобилянський Р.Р. Про вплив теплової ізоляції на покази термоелектричного сенсора медичного призначення // Науковий вісник Чернівецького університету: збірник наук. праць. Фізика. Електроніка. – Т. 5, Вип. 1. – Чернівці: Чернівецький національний університет, 2016. – С. 45 – 49.
23. Кобилянський Р.Р. Комп'ютерне моделювання показів термоелектричного сенсора медичного призначення // Термоелектрика. – № 4. – 2016. – С.69 – 77.
24. Гищук В.С., Кобилянський Р.Р., Черкез Р.Г. Багатоканальний прилад для вимірювання температури і густини теплових потоків // Науковий вісник Чернівецького університету: збірник наук. праць. Фізика. Електроніка. – Т. 3, Вип. 1. – Чернівці: Чернівецький національний університет, 2014. – С. 96 – 100.
25. Кобилянський Р.Р., Бойчук В.В. Використання термоелектричних тепломірів у медичній діагностиці // Науковий вісник Чернівецького університету: збірник наук. праць. Фізика. Електроніка. – Т. 4, Вип. 1. – Чернівці: Чернівецький національний університет, 2015. – С. 90 – 96.
26. Анатичук Л.І., Іващук О.І., Кобилянський Р.Р., Постевка І.Д., Бодяка В.Ю., Гушул І.Я. Термоелектричний прилад для вимірювання температури і густини теплового потоку "АЛТЕК-10008" // Термоелектрика. – № 1. – 2016. – С.76 – 84.
27. Анатичук Л.І., Юрик О.Є., Кобилянський Р.Р., Рой І.В., Фіщенко Я.В., Слободянюк Н.П., Юрик Н.Є., Дуда Б.С. Термоелектричний прилад для діагностики запальних процесів та неврологічних проявів остеохондрозу хребта людини // Термоелектрика. – № 3. – 2017. – С. 54 – 67.
28. Anatyshuk L.I., Kobylanskyi R.R., Cherkez R.G., Konstantynovych I.A., Hoshovskyi V.I., Tiumentsev V.A. (2017). Thermoelectric device with electronic control unit for diagnostics of inflammatory processes in the human organism. *Tekhnologiya i konstruirovaniye v elektronnoi apparature*, 6, 44 – 48.
29. Анатичук Л.І., Пасечнікова Н.В., Науменко В.О., Задорожний О.С., Гаврилюк М.В., Кобилянський Р.Р. Термоелектричний прилад для визначення теплового потоку з поверхні очей // Термоелектрика. – № 5. – 2018. – С.52 – 67.
30. Анатичук Л.І., Кобилянський Р.Р., Константинович І.А. Градування термоелектричних сенсорів теплового потоку // Труды XV Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні та електронні технології» 26-30 травня 2014 року. – Т. 2. – Одеса, Україна. – 2014. – С. 30 – 31.
31. Анатичук Л.І., Кобилянський Р.Р., Константинович І.А., Лисько В.В., Пуганцева О.В., Розвер Ю.Ю., Тюменцев В.А. Стенд для градування термоелектричних перетворювачів теплового потоку // Термоелектрика. – № 5. – 2016. – С. 71 – 79.
32. Анатичук Л.І., Кобилянський Р.Р., Константинович І.А., Кузь Р.В., Маник О.М., Ніцович О.В., Черкез Р.Г. Технологія виготовлення термоелектричних мікробатарей // Термоелектрика. – № 6. – 2016. – С. 49 – 54.

Надійшла до редакції: 02.08.2022.

Kobylanskyi R.R., Cand. Sc (Phys & Math) ^{1,2}

Prybyla A.V., Cand. Sc (Phys & Math) ^{1,2}

Konstantynovych I.A., Cand. Sc (Phys & Math)^{1,2}
Boychuk V.V.²

¹Institute of Thermoelectricity of the NAS and MES of Ukraine, 1 Nauky str.,
Chernivtsi, 58029, Ukraine;

²Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, 2 Kotsiubynskiyi str.,
Chernivtsi, 58000, Ukraine
e-mail: anatykh@gmail.com

RESULTS OF EXPERIMENTAL RESEARCH ON THERMOELECTRIC MEDICAL HEAT FLOW SENSORS

The paper presents the results of experimental studies and medical tests of local heat release of the human body using a thermoelectric medical heat flow sensor. The study was conducted in the intensive care and surgical departments of the Vyzhnytskyi Central District Hospital. The device uses a multi-element thermoelectric sensor with high sensitivity and accuracy in a wide temperature range. Medical tests have confirmed that inflammatory processes are accompanied by increased heat release in certain areas, even if the general body temperature remains normal. At the same time, with oncological diseases and thrombosis, there is a reduced heat release in the corresponding parts of the body. The obtained results show the potential of using thermoelectric heat flow sensors for early diagnostics of various pathological conditions, including inflammation and oncological processes. The introduction of thermoelectric heat meters into medical practice will provide an accessible and effective tool for detecting diseases at early stages, which will significantly simplify diagnostic procedures and increase their effectiveness.

Key words: heat flow sensor, thermoelectric heat meter, local heat release, diagnostics of diseases, thermoelectric sensor, body heat release, early diagnostics, inflammatory processes, oncological diseases.

References

1. Anatykhuk L.I. (2003). *Thermoelectricity. Vol. 2. Thermoelectric power converters*. Kyiv, Chernivtsi: Institute of Thermoelectricity.
2. Anatykhuk L.I. (1998). *Thermoelectricity. Vol.1. Physics of Thermoelectricity*. Institute of Thermoelectricity: Kyiv, Chernivtsi.
3. Anatykhuk L.I. (2007). Current status and some prospects of thermoelectricity. *J. Thermoelectricity*, 2, 7 – 20.
4. Demchuk B.M., Kushneryk L.Ya., Rublenyk I.M. (2002). Thermoelectric sensors for orthopaedics. *J. Thermoelectricity*, 4, 80 – 85.
5. *Patent UA 53104 A*. (2003). Sensor for preliminary diagnosis of inflammatory processes of mammary glands. A.A. Asheulov, A.V. Klepikovskiyi, L.Ya. Kushneryk et al.
6. Asheulov A.A., Kushneryk L.Ya. (2004). Thermoelectric device for medical and biological express diagnostics. *Technology and Design in Electronic Equipment*, 4, 38 – 39.
7. Research and development of a new generation of thermoelectric medical equipment (2005). *Report on the topic*. Institute of Thermoelectricity, Chernivtsi.
8. *Patent UA 71619* (2011). Thermoelectric medical heat meter. L.I. Anatykhuk, R.R. Kobylianskyi. Institute of Thermoelectricity. – № u 2011 14007; filed 28.11.11; publ., Bul. № 14.

9. Patent UA 72032 (2011). Thermoelectric sensor for measurement of temperature and heat flow. L.I. Anatyshuk, R.R. Kobylianskyi. Institute of Thermoelectricity. – № u 2011 14005; filed 28.11.11; publ. 10.08.12, Bul. № 15.
10. Patent UA 7303 (2012). Thermoelectric medical device. P.D. Mykytiuk, R.R. Kobylianskyi, T.V. Slepniuk. Institute of Thermoelectricity. – № u 2012 01922; filed 20.02.12; publ. 10.09.12, Bul. № 17.
11. Patent UA 78619 (2012). Method for determination of heat flow density. L.I. Anatyshuk, R.R. Kobylianskyi. Institute of Thermoelectricity. – № u 2012 11018; filed 21.09.12; publ. 25.03.13, Bul. № 6.
12. Patent UA 79929 (2012). Thermoelectric heat flow converter for gradient heat meters. L.I. Anatyshuk. Institute of Thermoelectricity. – № u 2012 11857; filed 15.10.12; publ. 13.05.13, Bul. № 9.
13. Gischuk V.S. (2012). Electronic recorder of human thermal flow sensor signals. *J. Thermoelectricity*, 4, 105 – 108.
14. Gischuk V.S. (2013). Electronic recorder with processing of signals from a thermoelectric heat flow sensor. *J. Thermoelectricity*, 1, 82 – 86.
15. Gischuk V.S. (2013). A modernized device for measuring human heat flows. *J. Thermoelectricity*, 2, 91 – 95.
16. Anatyshuk L.I., Kobylianskyi R.R. (2012). Study of the influence of thermoelectric heat meter on determination of human heat release. *J. Thermoelectricity*, 4, 60 – 66.
17. Anatyshuk L.I., Kobylianskyi R.R. (2012). 3D-model for determination of the influence of thermoelectric heat meter on the accuracy of measuring human heat release. *Scientific bulletin of Chernivtsi University: collected papers. Physics. Electronics*, 2 (1), 15 – 20. Chernivtsi: Chernivtsi National University.
18. Anatyshuk L.I., Kobylianskyi R.R. (2013). Computer simulation of thermoelectric heat meter readings under real operating conditions. *J. Thermoelectricity*, 1, 53 – 60.
19. Anatyshuk L.I., Giba R.G., Kobylianskyi R.R. (2013). Some peculiarities of using medical heat meters in the study of local human heat releases. *J. Thermoelectricity*, 2, 67 – 73.
20. Anatyshuk L.I., Kobylianskyi R.R., Konstantynovych I.A. (2013). On the influence of thermoelectric power source on the accuracy of temperature and heat flow measurement. *J. Thermoelectricity*, 6, 53 – 61.
21. Ivaschuk O.I., Morar I.K., Kobylianskyi R.R., Nepeliak L.V., Delei V.L. (2013). The role of abdominal heat flow in monitoring acute destructive pancreatitis. *Abstracts of the scientific and practical conference "Current issues of surgery"*, Chernivtsi, Ukraine, 254 – 259.
22. Kobylianskyi R.R. (2016). On the influence of thermal insulation on the readings of a thermoelectric sensor of medical purpose. *Scientific bulletin of Chernivtsi University: collected papers. Physics. Electronics* 5 (1), 45 – 49. Chernivtsi: Chernivtsi National University.
23. Kobylianskyi R.R. (2016). Computer simulation of the readings of thermoelectric sensor of medical purpose. *J. Thermoelectricity*, 4, 69 – 77.
24. Gischuk V.S., Kobylianskyi R.R., Cherkez R.G. (2014). Multi-channel device for measuring the temperature and density of heat flows. *Scientific bulletin of Chernivtsi University: collected papers. Physics. Electronics*, 3 (1), 96 – 100. Chernivtsi: Chernivtsi National University.
25. Kobylianskyi R.R., Boychuk V.V. (2015). The use of thermoelectric heat meters in medical diagnostics. *Scientific bulletin of Chernivtsi University: collected papers. Physics. Electronics*, 4 (1), 90 – 96. Chernivtsi: Chernivtsi National University.

26. Anatyshuk L.I., Ivaschuk O.I., Kobylianskyi R.R., Postevka I.D., Bodiaka V.Yu., Hushul I.Ya. (2016). Thermoelectric device for measuring temperature and heat flux density "ALTEC-10008". *J. Thermoelectricity*, 1, 76 – 84.
27. Anatyshuk L.I., Yuryk O.Ye., Kobylianskyi R.R., Roy I.V., Fischenko Ya.V., Slobodianiuk N.P., Yuryk N.Ye., Duda B.S. (2017). Thermoelectric device for diagnosing inflammatory processes and neurological manifestations of osteochondrosis of the human spine. *J. Thermoelectricity*, 3, 54 – 67.
28. Anatyshuk L.I., Kobylianskyi R.R., Cherkez R.G., Konstantynovych I.A., Hoshovskiy V.I., Tiumentsev V.A. (2017). Thermoelectric device with electronic control unit for diagnostics of inflammatory processes in the human organism. *Tekhnologiya i konstruirovaniye v elektronnoi apparature*, 6, 44 – 48.
29. Anatyshuk L.I., Pasechnikova N.V., Naumenko V.O., Zadorozhnyi O.S., Havryliuk M.V., Kobylianskyi R.R. (2018). Thermoelectric device for determining heat flow from the surface of eyes. *J. Thermoelectricity*, 5, 52 – 67.
30. Anatyshuk L.I., Kobylianskyi R.R., Konstantynovych I.A. (2014). Calibration of thermoelectric heat flow sensors. *Proc. of XV International scientific and practical conference "Modern information and electronic technologies"* Vol. 2, 30 – 31. (Odesa, Ukraine, May 26 30, 2014).
31. Anatyshuk L.I., Kobylianskyi R.R., Konstantynovych I.A., Lysko V.V., Pugantseva O.V., Rozver Yu.Yu., Tiumentsev V.A. (2016). Bench for calibration of thermoelectric heat flow converters. *J. Thermoelectricity*, 5, 71 – 79.
32. Anatyshuk L.I., Kobylianskyi R.R., Konstantynovych I.A., Kuz R.V., Manyk O.M., Nitsovych O.V., Cherkez R.G. (2016). Manufacturing technologies of thermoelectric microthermopiles. *J. Thermoelectricity*, 6, 49 – 54.

Submitted: 02.08.2022.