

УДК 615.831

ВИМІРЮВАННЯ ТЕПЛООВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ФІЗИОТЕРАПЕВТИЧНОГО РЕЖИМУ МОКСИ

¹⁾Яненко О. П., ¹⁾Шевченко К. Л., ¹⁾Перебудов С. М.

²⁾Головчанський О. М., ²⁾Головчанська О. Д.

¹⁾Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

²⁾Національний медичний університет імені О.О. Богомольця, Київ, Україна

E-mail: op291@meta.ua; oleksa8@gmail.com

Теплове випромінювання різних джерел широко використовується в процедурах лікувальної терапії. Для створення теплового випромінювання використовують джерела штучного та природного походження. Останні викликають найбільший інтерес, оскільки формують широкий спектр випромінювання, найбільш співставний з власним випромінюванням людини. Широкого поширення набуло використання полинних сигар (мокс). З їх допомогою проводять сеанси одного з найбільш популярних методів Китайської народної медицини мокси-терапії (припікання, термопунктура, терапія-"цзю"). Авторами проведені дослідження теплового випромінювання полинної сигари в діапазоні довжин хвиль 800...1000 нм. Для експериментальних досліджень використані сигари «Qiaitiao» №6 зі стандартного лікувального набору. Метою проведених досліджень є визначення потужності теплового випромінювання мокси та оцінка динаміки її змін в процесі проведення лікувального сеансу. Для вимірювань використано високоточний ватметр поглинаючої потужності OM3-65 з оптоелектронним перетворювачем. Дослідження показали, що максимальна потужність теплового випромінювання формується одразу після початку тління полинної сигари. Її величина знаходиться в межах $(1,5...2,0) \cdot 10^{-4}$ Вт. При тлінні сигари протягом 2,5 хвилин інтенсивність теплового випромінювання зменшується більше ніж на порядок. Обумовлено це тим, що в процесі тління мокси між зонами горіння та опромінення формується шар попелу, який частково поглинає потік теплового випромінювання. Крім того, при тлінні фіксовано закріпленої мокси зона опромінення поступово віддаляється від опромінюваної поверхні. Усування шару попелу і розміщення мокси на попередній відстані призводить до відновлення початкового рівня потужності. Отримані апроксимуючі вирази, які на основі експериментальних даних описують зміну потужності теплового випромінювання полинної сигари. Виявлені при дослідженні теплового випромінювання полинної сигари особливості будуть корисними для фахівців, що займаються практичною термотерапією та сприятимуть підвищенню її ефективності.

Ключові слова: полинна сигара; мокса; мокси-терапія; термопунктура; теплове випромінювання; потужність.

Вступ

Стимулювання точок акупунктури за допомогою різних засобів природного та штучного походження широко використовується в народній та практичній медицині. Такими засобами можуть бути голки (голкутерапія), нагріті мінерали (літотерапія), тліючі полинні сигари (мокси-терапія), джерела оптичного випромінювання різних типів (світлотерапія), мікрохвильові джерела низькоінтенсивних сигналів (мікрохвильова резонансна терапія) та ін. [1-4].

Тліючі полинні сигари (мокси) є основним природним джерелом теплового випромінювання, що використовується у методах традиційної Китайської медицини. Метод лікування шляхом прогрівання акупунктурних точок полинними сигарами відомий під назвою мокси-терапії (припікання, термопунктура, терапія-"цзю", jiu, moxibustion) [1]. Для виготовлення мокси використовують спеціально оброблені та витримані декілька років листи

звичайного полину (*Artemisia argyi*), сформованого у вигляді традиційної сигари певного розміру.

Спектральну щільність потужності теплового випромінювання з одиниці тліючої поверхні мокси, можна визначити за формулою Планка

$$G(\nu, T) = \beta \frac{2\pi h \nu^3}{c^2} \cdot \frac{1}{\exp(h\nu/kT) - 1}, \quad (1)$$

де β – коефіцієнт випромінювальної здатності об'єкта; $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ (Дж·с) – стала Планка; ν – частота випромінювання; $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ (Дж/К) – стала Больцмана; c – швидкість світла; T – термодинамічна температура об'єкта.

Для оцінки інтегральної потужності теплового випромінювання можна скористатись також формулою Найквіста.

$$P = S(f, T) \Delta f = \beta k T \Delta f,$$

де Δf – смуга частот випромінювання.

Відомо [5, 6], що температура тління мокси становить 548...890°C, при цьому максимум випромінювання припадає на інфрачервону (ІЧ) зону довжин хвиль в області 1000 нм.

Коефіцієнт випромінювальної здатності шкіряного покриву людини в ІЧ діапазоні порівняний з випромінювальною здатністю абсолютно чорного тіла ($\beta \approx 1,0$) [7]. У такому разі можна вважати, що при проведенні лікувальних процедур вся енергія теплового випромінювання мокси, яка потрапляє на ділянку шкіряного покриву, буде поглинатися.

Наявні дані дозволяють оцінити величини як спектральної щільності потужності, так і інтегральну потужність випромінювання мокси в ІЧ діапазоні.

Інтегральну потужність широкосмугового випромінювання у діапазоні частот Δf можна виміряти за допомогою високочутливого оптичного ватметра. Може бути використана і інша апаратура, наприклад, радіометрична, яка здатна сприймати радіотеплове випромінювання нагрітого тіла.

Проте, в публікаціях практично відсутня інформація щодо рівня потужності теплового випромінювання при проведенні сеансу моксатерапії. Тому метою даної роботи є оцінка потужності теплового випромінювання мокси та дослідження її стабільності при проведенні лікувального сеансу.

Особливості моксатерапії

В основі лікувального ефекту моксатерапії лежить безконтактне прогрівання певних ділянок шкіряного покриву (термічний вплив) в результаті опромінення електромагнітними хвилями ІЧ діапазону. Дієвим фактором є також фармакологічний вплив продуктів тління полинної сигари [1]. Теорія традиційної китайської медицини стверджує, що прогрівання акупунктурних точок та біологічно активних зон має, тонізуючий та очищувальний ефект. Використання з цією метою тліючих полинних сигар сприяє зміцненню імунітету пацієнта, зменшує застійні явища в каналах та покращує кровообіг, попереджає захворювання та підтримує здоровий стан організму людини [1, 5].

Більшість спеціалістів з використання моксатерапії схиляються до того, що основним лікувальним чинником є тепла дія електромагнітного випромінювання інфрачервоного діапазону.

Інфрачервоний діапазон поділяється на короткохвильову область з довжиною хвилі від 760 нм до 3,0 мкм та довгохвильову, яка охоплює область від 3,0 мкм до 15,0 мкм. За даними деяких джерел спектр випромінювання запаленої мокси дещо ширший ніж короткохвильова область і коливається від 0,8 до 5,6 мкм, а максимум випромінювання

знаходиться у ближній зоні інфрачервоного діапазону в області 1–1,5 мкм [8].

Не дивлячись на те, що історія моксатерапії налічує сотні років, сучасні прихильники методів китайської народної медицини продовжують досліджувати цю технологію, удосконалювати її та навіть поєднувати з новітніми лікувальними апаратурними засобами. Так, в [9] наведено результати дослідження механізму термопунктури з використанням теорії біотеплообміну. В роботі [10] наведено опис методу комбінованого впливу моксатерапії та лазерної акупунктури з використанням широкого діапазону довжин хвиль 0,65...10,6 мкм на остеоартрит колінного суглобу.

Таким чином, дослідження та поглиблене вивчення особливостей технологій Китайської народної медицини із використанням сучасних методів та апаратури є актуальним і сприяє ефективності її використання.

Апаратура та технологія проведення дослідження

Для визначення енергетичних параметрів теплового режиму тліючої мокси авторами використаний ватметр поглинаючої потужності OM3-65, що має наступні основні технічні характеристики:

- діапазон вимірюваних довжин хвиль ІЧ випромінювання: 0,8...1,0 мкм;
- діапазон вимірюваної потужності: 10^{-10} ... 10^{-2} Вт.

Як джерело ІЧ випромінювання використана мокси №6 «Qiaitiao» із стандартного лікувального набору, виготовлена з чистого полину. Сигара має стандартні розміри: діаметр 18 мм, довжина 200 мм (± 1 мм).

Дослідження проводились за допомогою експериментальної установки, зовнішній вигляд якої наведено на рис. 1.

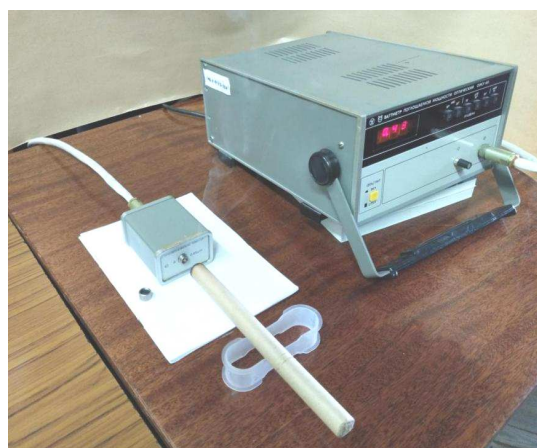


Рис. 1. Зовнішній вигляд експериментальної установки для вимірювання потужності випромінювання тліючої мокси

На рисунку 1 показано блок індикації потужності оптичного випромінювання, оптико-електронний перетворювач (детектор) та тримач мокси. Запалена полинна сигара встановлювалася

на відстані 20 мм від вхідного отвору фотоприймального модулю оптико-електронного перетворювача.

В результаті експериментальних досліджень встановлено, що максимальна потужність теплового випромінювання формується одразу після початку тління полинної сигари і становить близько 160 мкВт. В подальшому потужність теплового випромінювання зменшується більше ніж на порядок і через 210 секунд становить 12 мкВт.

В таблиці 1 наведено результати вимірювання потужності теплового випромінювання фізіотерапевтичної полинної мокси протягом 210 секунд.

Зменшення потужності в даному випадку автори пояснюють двома факторами.

По-перше, в процесі тління мокси утворюється шар попелу, який частково поглинає теплове випромінювання. Внаслідок цього відбувається охолодження випромінюючого шару.

По-друге, випромінюючий шар через згоряння полину поступово віддаляється від вхідного отвору чутливого елемента перетворювача ватметра ОМЗ-65. При збільшенні відстані між випромінювачем та приймачем частина несфокусованого теплового випромінювання розсіюється. В результаті потужність теплового випромінювання, що потрапляє на фотоприймальний перетворювач ватметра, значно зменшується.

Обробку результатів експериментальних даних здійснено за допомогою пакету MATLAB 2018. Аналіз показав, що наведені в таблиці 1 ре-

зультати можна апроксимувати двома залежностями.

Перша має вигляд:

$$P' = -P_1' \log(at) + P_2' \quad (2)$$

При значеннях $P_1' = 31,4$ мкВт;

$P_2' = 173,8$ мкВт та $a = 1,2$ с⁻¹, коефіцієнт кореляції становить 93 % для довірчої ймовірності 95 %.

Друга залежність має більш складний вигляд:

$$P'' = P_1'' \exp(-a_1 t) + P_2'' \exp(-a_2 t) \quad (3)$$

Для значень $P_1'' = 118$ мкВт; $P_2'' = 56,4$ мкВт;

$a_1 = 0,07$ с⁻¹; $a_2 = 0,007$ при довірчій ймовірності 95 % коефіцієнт кореляції становить 99 %.

Порівнюючи вирази (2) і (3) та побудовані на їх основі графічні залежності, слід зазначити, що логарифмічна залежність швидше наближається до нуля та найбільші розбіжності з експериментальними даними має в інтервалі 140...210 с.

Крива, побудована на основі експоненційної залежності, більшою мірою відповідає експериментальним даним на всьому інтервалі вимірювань. Про це свідчить і більший коефіцієнт кореляції (99 % для експоненційної залежності проти 95 % для логарифмічної)

На рис. 2 наведено динамічну характеристику зміни потужності теплового випромінювання мокси, побудовану за даними таблиці 1 з використанням виразу (3).

Таблиця 1. Зміни потужності ПЧ випромінювання мокси в часі

Час, с	1	5	10	15	20	35	50	70	90	120	150	180	210
Потужність, мкВт	162	143	116	84	75	54	46	34	27	22	18	15	12

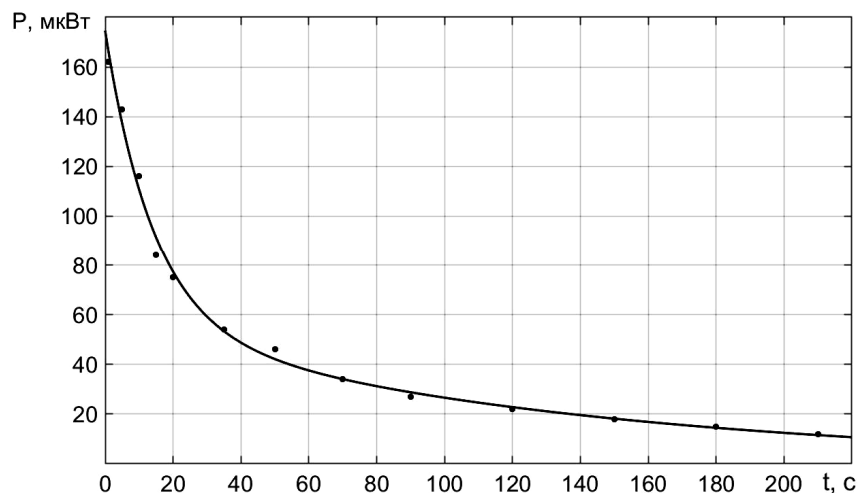


Рис. 2. Динамічна характеристику зміни потужності теплового випромінювання мокси

У виразі (3) присутні два експоненційних доданки. Їх наявність підтверджує припущення авторів про два фактори, які сприяють зменшенню потужності випромінювання мокси, що потрапляє на чутливий елемент фотоприймача.

Можна вважати, що перший, більш вагомий доданок правої частини формули (3), описує потужність випромінювання тліючої поверхні мокси, яка зменшується через появу та збільшення шару попелу. Другий доданок обумовлений віддаленням випромінюючого шару внаслідок поступового згоряння полину.

Для оцінки значення температури тліючої поверхні мокси можна скористатися формулою (1) та отриманим значенням інтегральної потужності в робочому діапазоні довжин хвиль ватметра ОМЗ-65 (від 0,8 до 1,0 мкм) для $t = 0$ с. Оскільки поглинання за таких умов відсутнє, то вимірювач реєструє потужність

$$P = K \cdot G(\nu, T) \Delta\nu \cdot \Delta S_1, \quad (4)$$

де $G(\nu, T)$ визначається за виразом (1), $\Delta\nu$ – діапазон частот, що відповідає діапазону довжин хвиль від 0,8 до 1,0 мкм; ΔS_1 – площа тліючої поверхні мокси; ΔS_2 – площа вхідного отвору фотоприймача; K – коефіцієнт передачі потужності теплового випромінювання, який залежить від взаємного розташування тліючої поверхні вхідного отвору, а також від відстані між ними.

Якщо користуватися термінологією теорії теплообміну, то K дорівнює середньому кутовому коефіцієнту опромінювання вхідного отвору тліючою поверхнею. Для найбільш поширених конфігурацій об'єктів теплообміну такі коефіцієнти розраховані та відомі (див., наприклад, [11]). Оскільки ватметр проградуюваний безпосередньо на поверхні вхідного отвору, то для апертур тліючої поверхні та вхідного отвору перетворювача ватметра ОМЗ-65 коефіцієнт передачі (за умови експерименту) $K \approx 4 \cdot 10^{-3}$.

Для вимірюваного початкового значення потужності $P = 1,6 \cdot 10^{-4}$ Вт за формулами (1), (4) та зазначеного $K \approx 4 \cdot 10^{-3}$ отримуємо температуру тліючої поверхні мокси $T \approx 1193$ К (920°C), що збігається з даними [5, 6].

Слід також відмітити, що спектр електромагнітного випромінювання тліючої полинної сигари має дуже широкий спектр і крім інфрачервоного, охоплює і мікрохвильовий діапазон довжин хвиль. Це підтвердили дослідження авторів, проведені з використанням високочутливої радіометричної системи [12]. Експерименти показали, що мікрохвильова складова випромінювання тліючої полинної сигари на 1...2 порядки перевищує рівень власного випромінювання людини. З [3, 4] відомо, що вплив мікрохвильового випромінювання такого рівня на організм людини призводить до появи реакції організму людини та чітких, інструмента-

льно зафіксованих, біологічних і лікувальних ефектів. Враховуючи специфіку розповсюдження електромагнітних хвиль мікрохвильового діапазону, представляє інтерес проведення подібних описаних досліджень і в радіочастотному діапазоні.

Висновки

1. Полинні сигари в процесі тління утворюють теплове випромінювання, вимірювана максимальна потужність яких в діапазоні довжин хвиль 0,8...1,0 мкм набуває значення $(1,5...2,0) \cdot 10^{-4}$ Вт.

2. Протягом визначеного авторами часу вимірювання (210 с) потужність теплового випромінювання тліючої полинної сигари зменшується внаслідок поглинання зростаючим шаром попелу та збільшення відстані між випромінюючою поверхнею та чутливим елементом фотоприймача.

3. Видалення шару попелу з кінцівки полинної сигари та її розташування на початковій відстані від фотоприймача відновлює максимальний рівень випромінювання.

4. Вивчення механізму дії тліючих полинних сигар вимагає проведення додаткових досліджень в усьому спектрі випромінювання, в тому числі і радіочастотному, а також потребує проведення клінічних випробувань, для використання у лікувальній практиці.

Література

- [1] D. Hongyong, S. Xueyong, "The Mechanism of Moxibustion: Ancient Theory and Modern Research", *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. vol. 2013, Article ID 379291, 7 pages. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/379291>
- [2] J. C. Rojas, F. Gonzalez-Lima, "Low-level light therapy of the eye and brain", *Eye and Brain*, no 3, pp. 49–67, 2011.
- [3] K. L. Shevchenko, O. P. Yanenko, J. V. Shtefura and O. V. Aleksashin, "Increasing the accuracy of measuring the absorption capacity of biological tissues in the millimeter wavelength range," in *2019 International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo)*, 2019, pp. 1-4, doi: 10.1109/UkrMiCo47782.2019.9165326.
- [4] O. Yanenko "Low-intensive microwave ave signals in biology and medicine", *Journal of Human Physiology*, vol. 01, is. 01, 15.11. 2019, Singapur, pp. 29-41.
- [5] T. Zhang, Some heat issues of the moxibustion therapy. *Henan Traditional Chinese Medicine*. 1988; (6, article 28).
- [6] G. Wang, L. Zhang, W. Zhang, "Combustion characteristics of moxa stick", *Journal of Chinese Medicinal Materials*. 2000; 23(9):569–570.
- [7] В. Г. Абакумов, А. И. Рыбин, Й. Святош, Ю. С. Синеккоп, *Системы отображения в медицине*. - Киев: Юніверс, 2001.

- [8] C. Qian, J. Qian, Y. Bai, "Development of near-infrared-moxibustion simulator and its clinical curative effect", *Hongwai Jishu*. 1991;13(6):27–32.
- [9] X. Yongfi, L. Xinsheng, "Study on the mechanism of moxibustion by Bio-heat transfer theory", *Journal of Biomedical Engineering Research*, 2008;27(2):142–144.
- [10] Shen X-Y, Ding G-H, Wu F, et al., "Effects of 650 nm—10.6 μm combined laser acupuncture-moxibustion on knee osteoarthritis: a randomized, double-blinded and placebo-controlled clinical trial", *Journal of Acupuncture and Tuina Science*. 2008;6(5):315–317.
- [11] М. М. Чепурний, С. Й. Ткаченко, В. В. Чужинський, *Застосування теорії подібності для розв'язання задач тепло масообміну*. Вінниця: ВДТУ, 2001.
- [12] Ю. А. Скрипник, А. Ф. Яненко, В. Ф. Манойлов и др. *Микроволновая радиометрия физических и биологических объектов*. Житомир: Вольф, 2003.

UDC 615.831

¹⁾O. Yanenko, ¹⁾K. Shevchenko, ¹⁾S. Peregodov, ²⁾O. Golovchanskiy, ²⁾O. Golovchanska¹⁾Ihor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv, Ukraine²⁾O. O. Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine

MEASUREMENT OF THERMAL RADIATION OF MOXA PHYSIOTHERAPEUTIC REGIME

Thermal radiation from various sources is widely used in medical therapy procedures. Sources of artificial and natural origin are used to create thermal radiation. The latter are of the greatest interest, as they form a wide spectrum of radiation, most comparable to a person's own radiation. The use of wormwood cigars (mox) became widespread. With their help, sessions of one of the most popular methods of Chinese folk medicine, moxatherapy (burning, thermopuncture, "jiu" therapy) are conducted. The authors conducted studies of the thermal radiation of a wormwood cigar in the wavelength range of 800...1000 nm. "Qiitiao" No. 6 cigars from the standard treatment set were used for experimental research.

The purpose of the conducted research is to determine the power of thermal radiation of moxa and evaluate the dynamics of its changes during the course of a treatment session. A high-precision OM3-65 absorbing power wattmeter with an optoelectronic converter was used for measurements. Studies have shown that the maximum power of thermal radiation is formed immediately after the wormwood cigar begins to smolder. Its value is within $(1.5...2.0) \cdot 10^{-4}$ W. When a cigar burns for 2.5 minutes, the intensity of heat radiation decreases by more than an order of magnitude. This is due to the fact that in the process of smoldering moxa, a layer of ash is formed between the burning and irradiation zones, which partially absorbs the flow of thermal radiation. In addition, during decay of fixed moxa, the irradiation zone gradually moves away from the irradiated surface.

Removing the ash layer and placing the moxa at the previous distance leads to the restoration of the initial power level. Approximate expressions were obtained, which, based on experimental data, describe the change in the heat radiation power of a wormwood cigar.

The features revealed during the study of the thermal radiation of the wormwood cigar will be useful for specialists engaged in practical thermotherapy and will contribute to increasing its effectiveness.

Key words: wormwood cigar; moxa; moxatherapy; thermopuncture; thermal radiation; power.

Надійшла до редакції
11 вересня 2022 року

Рецензовано
20 жовтня 2022 року



© 2022 Copyright for this paper by its authors.
Use permitted under Creative Commons License Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).