

7. Dorrell, D. G., Hsieh, M., & Guo, Y. (2009). Unbalanced Magnet Pull in Large Brushless Rare-Earth Permanent Magnet Motors With Rotor Eccentricity. *IEEE Transactions on Magnetics*, 45, 4586–4589.
8. Burakov, A. Arkkio, A. (2007). Comparison of the unbalanced magnetic pull mitigation by the parallel paths in the stator and rotor windings. *IEEE Trans. Magn.*, 43(12). pp. 4083–4088.
9. Zhu, Z. Q., Ishak, D., Howe, D., Chen, J. (2007). Unbalanced magnetic forces in permanent-magnet brushless machines with diametrically asymmetric phase windings, *IEEE Trans. Ind. Appl.* 43(6). pp. 1544–1553.
10. Dorrell, D. G., & Hsieh, M. F. (2010). Calculation of radial forces in cage induction motors at start – The effect of rotor differential. *IEEE transactions on magnetics*, 46(8), 3029–3032.
11. Liu F., Xiang C., Liu H., Chen X., Feng F., Cong H., Kuilong Yu. (2022). Model and experimental verification of a four degrees-of-freedom rotor considering combined eccentricity and electromagnetic effects. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 169.
12. Werner, U. (2017) Influence of the Foundation on the Threshold of Stability for Rotating Machines with Roller Bearings – A Theoretical Analysis. *Journal of Applied Mathematics and Physics*, 5, 1380–1397.
13. Werner, U. (2017). Mathematical multibody model of a soft mounted induction motor regarding forced vibrations due to dynamic rotor eccentricities considering electromagnetic field damping. *Journal of Applied Mathematics and Physics*, 5 (2). 346–364.
14. Горошко А. В., Косенков В. Д., Зембицька М. В. Математична модель асинхронної машини з ексцентриситетом маси ротора та магнітним ексцентриситетом // Сучасні досягнення в науці та освіті : зб. пр. XVIII Міжнар. наук. конф., 13–20 верес. 2023 р., м. Нетанія (Ізраїль). Хмельницький : ХНУ, 2023. С. 122–128.

АНАЛІЗ ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ЗМІН В КОЛІННИХ СУГЛОБАХ

*Кузь О. П.¹, Дунаєвський В. І.², Венгер С. Ф.², Котовський В. Й.¹, Орел В. Е.³,
Сіднев О. Б.², Тимофєєв В. І.¹, Дрозденко О. В.¹, Назарчук С. С.¹*

¹*Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського»*

E-mail: kotovsk@kpi.ua

²*Інститут фізики напівпровідників ім. В.С. Лашкарьова НАН України*

³*ДНП «Національний Інститут раку» МОЗ України*

Вступ. Захворювання кістково-м'язової системи належать до найбільш розповсюджених патологій та продовжують неухильно зростати

у всьому світі [1–3]. Причини перш за все пов'язані із збільшенням тривалості життя населення, гіподинамією, надмірною вагою тіла, зменшенням щільності кісток та рядом інших факторів, які призводять до травматизації та деформації суглобів. З огляду на те, що населення світу продовжує старіти, підраховано, що такі дегенеративні захворювання суглобів, як остеоартроз (ОА), вразять щонайменше 130 мільйонів людей по всій земній кулі до 2050 року [4].

Своєчасне діагностування захворювань колінних суглобів з використанням простих та доступних методів є важливою задачею сучасної медицини.

Для діагностики стану колінних суглобів використовують такі методи променевої діагностики як: рентгенографія (РГ); комп'ютерна томографія (КТ); ультразвукова діагностика (УЗД); магнітно-резонансна томографія (МРТ); трифазова остеосцинтиграфія (3-фОСГ), інфрачервона термографія (ІЧТ).

Кожний із зазначених діагностичних методів мають як свої переваги, так і недоліки.

Суттєве променеве навантаження на обстежуваного, що потребує певного проміжку часу перед проведенням наступного обстеження, значна вартість та недостатня інформативність особливо на ранніх стадіях розвитку патологічного процесу, зумовило необхідність широкого використання методу ІЧТ, який дозволяє виявляти патологічні зміни в колінних суглобах на ранніх стадіях та здійснювати в подальшому комплексну діагностику всього організму [5].

Медична термодіагностика довела свою ефективність як окремий метод променевої діагностики захворювань людини, дослідниками напрацьований значний обсяг термографічних досліджень як в світовій клінічній практиці, так і в медичних закладах України [6].

Дистанційне тепловізійне обстеження дає змогу оцінювати функціональні зміни на доклінічній стадії захворювання в динаміці (як при первинному обстеженні, так і безпосередньо в процесі лікування) та візуалізувати м'які й періартикулярні тканини суглоба.

Фахові науково-практичні напрацювання щодо питання дослідження патологічних змін в колінних суглобах присвячені окремим захворюванням [7, 8]. Відсутні дані стосовно комплексного поєднання виявлення патологічних станів колінних суглобів різної етіології з температурними патернами на поверхні колінних суглобів.

Аналіз зрізів температурних патернів є важливим діагностичним критерієм оцінки розподілу температури колінних суглобів, що значно спрощує планування відповідної індивідуальної лікувальної програми.

Автор роботи [9] звертає увагу на виникнення певних труднощів у виявленні структурно-функціональних змін в колінних суглобах на ранніх стадіях, особливо у пацієнтів з моногоноартрозом, так як існує невідповідність клінічної симптоматики та рентгенологічних ознак захворювання. Зазначені труднощі досить успішно долаються за допомогою ІЧТ.

В роботі застосовувався вітчизняний термограф з матричним фотоприймачем, який мав температурну чутливість $0,07\text{ }^{\circ}\text{C}$, розробки Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України з базовою тестовою програмою для тепловізійної системи ThermoVisio. Спостереження та контроль теплових полів здійснювалось в діапазоні 3–5 мкм. Реалізація програмних кодів здійснювалась на мові програмування Delphi в середовищі розробки Borland Delphi 7.

Обробка термограм та подальші дії з оформлення результатів термографічних досліджень виконувались за допомогою програми ThermoVisio, яка була вдосконалена авторами й дає змогу отримувати термографічні зображення з видаленими шумами та недосконалими пікселями, спрощувати отримання осцилографічних термозрізів [10].

В роботі представлені термографічні зображення теплових процесів структурно-функціонально змін в колінних суглобах.

Характерною термографічною ознакою відсутності патологічних змін є симетричність термографічного зображення з градієнтом температури (ΔT), який не перевищує $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ порівнюваних симетричних зон досліджуваних поверхонь, що відповідає значенням фізіологічної термографічної норми.

На рис. 1, *a* представлено термографічне зображення передньої поверхні колінних суглобів без патологічних змін з відсутністю асиметричних зон гіпо- чи гіпертермії. Отриманий осцилографічний температурний розподіл (термозріз) відповідно лінії (рис. 1, *б*).

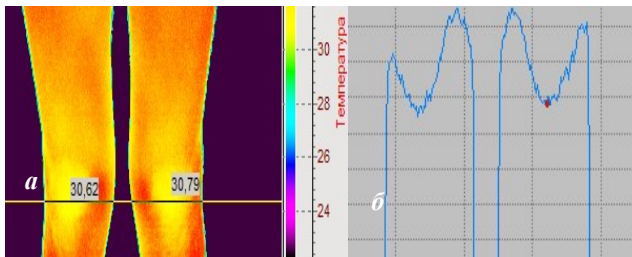


Рис. 1. Термографічна візуалізація передньої поверхні колінних суглобів без ознак патології (*a*); осцилограма температурного розподілу (*б*)

Правобічний гемартроз колінного суглобу та осцилографічний розподіл температури по лінії показаний на рис. 2, *а*, *б*. За результатами термографічної візуалізації спостерігається асиметричність колінних суглобів; діапазон візуалізованої температури 30–34 °С. Гомогенна зона гіпертермії з ΔT °С «колінний суглоб – стегно» від +1,5 °С до +2,2 °С.

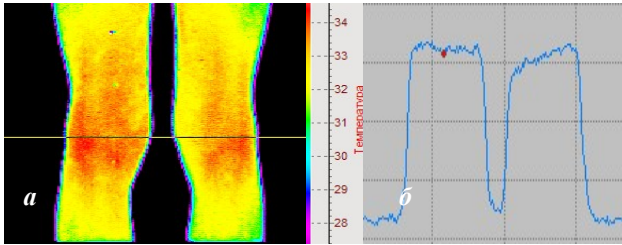


Рис. 2. Гемартроз колінного суглоба та осцилограма розподілу температури

Термографічне представлення деформуючого остеоартриту (ДОА) колінних суглобів та лівобічного синовіту продемонстроване на рис. 3, *а*, *б*. Температура в центрі вогнища запалення (рис. 3, *б*) +32,10 °С, в прилеглий зоні +28,93 °С, ΔT °С +3,17 °С. Розподіл температури по лінії вимірювання температури з використанням режиму роботи термографа «осцилограф» представлений на рис. 3, *в*.

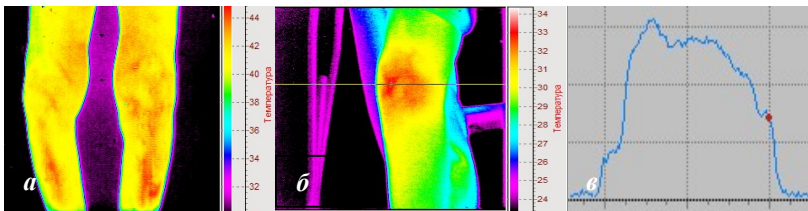


Рис. 3. Деформуючий остеоартрит (*а*) та лівобічний синовіт колінного суглобу (*б*); термозріз (*в*)

Використання результатів температурного розподілу надає можливість визначити центр вогнища запалення, що дозволяє вносити відповідні корективи в прийнятті рішень стосовно лікувальних заходів.

На рис. 4, *а* показана термограма нижніх кінцівок характерна для оклюзії правої стегнової артерії клінічно верифікованим ДОА та розподіл температури по лінії (правий та лівий колінний суглоб відповідно, рис. 4, *б*).

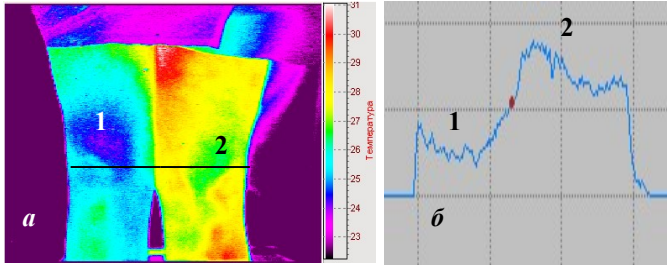


Рис. 4. Окклюзія правої стегнової артерії, ДОО

Термографічне обстеження нижніх кінцівок перед ендопротезуванням дозволяє більш адекватно планувати оперативне втручання й уникнути інтраопераційних ускладнень.

Термографічну візуалізацію нижніх кінцівок з підтвердженим діагнозом – остеопороз колінних суглобів – демонструє рис. 5, а; здійснено термозріз відносно лінії (рис. 5, б). Значення температури відповідно вказаним зонам 1–2–3–4–5 складають: 28,14 °С; 27,93 °С; 26,69 °С; 28,79 °С; 31,83 °С. На рис. 5, б показаний розподіл температури (правий-лівий колінний суглоб).

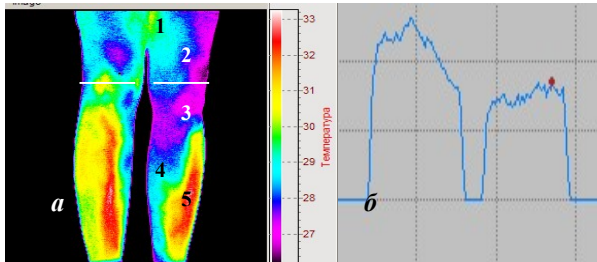


Рис. 5. Термографічна візуалізація остеопорозу (а) та розподіл температури (б)

Артроз насамперед пов'язаний з порушенням кровообігу в гомілкових, колінних та стегнових суглобах. У пацієнтів з варикозно-зміненими підшкірними венами нижніх кінцівок виникають застійні явища, що спричиняють погіршення кровозабезпечення суглобових тканин.

На рис. 6 представлена термографічна візуалізація ДОО у поєднанні з варикозним розширенням вен (ВРВ) (а) та термозріз відносно лінії (б).

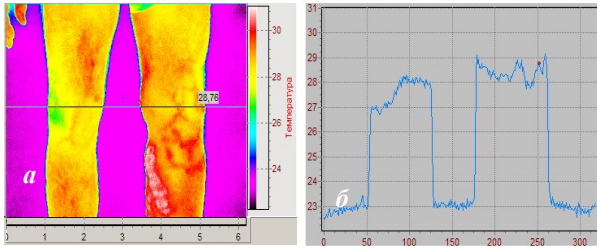


Рис. 6. Деформуючий остеоартроз у поєднанні з варикозним розширенням вен та термозріз

Висновки. Представлені авторами роботи термографічні зображення деяких проявів патологічних станів колінних суглобів надають чітке уявлення про ефективність застосування методу інфрачервоної термографічної діагностики в травматології та ортопедії.

Особливого значення в плануванні індивідуальних лікувальних заходів набуває питання отримання та аналіз комплексної діагностичної інформації виявлених теплових процесів структурно-функціональних змін в колінних суглобах різної етіології.

Аналіз розподілу патернів теплового поля, визначення градієнта температур надає можливість визначити ступінь тяжкості виявленого захворювання, встановлювати зони найбільш уражених ділянок та планувати процес лікування.

Впровадження методу інфрачервоної термографії дозволить надійно й інформативно збагатити комплексну діагностику скелетно-м'язевої системи, надати оцінку ефективності лікування й безпечно здійснювати його моніторинг.

Література

1. Андрійчук О. Я. Фізична реабілітація хворих на гонартроз : монографія. Луцьк : Волин. нац. ун-т ім. Лесі Українки, 2012. 344 с.
2. Поворознюк В. В., Шинкаренко Т. С., Приймич У. І. Нейропатичний компонент болю при захворюваннях кістково-м'язевої системи: огляд літератури та результати власних досліджень. Ч. І. Боль. Суставы. Позвоночник. 2014. № 4. С. 5–13. www.mif-ua.com/archive/article_print/40728
3. Lim W. B., Al-Dadan O. Conservative treatment of knee osteoarthritis: A review of the literature. World J Orthop. 2022, Mar. 18; 13 (3) : 212–229. <https://dx.doi.org/10.5312/wjo.v13.i3.212>

4. Осадчук Т. І., Калашніков А. В., Хиць О. В. Гонартроз: поширеність та диференційний підхід до ендопротезування. Укр. мед. часопис. 2021. № 6 (146). XI/XII. С. 1–5. <https://doi.org/10.32471/umj./1680-3051.146.222998>
5. Теплове випромінювання та тепловізійні дослідження в медицині / Олійник Г.А. та ін. // Вісник ВДНЗУ «Українська медична стоматологічна академія». 2018. Т. 18, вип. 2 (62). С. 266–272. http://nbuv.gov.ua/UJRN/apsm_2018_18_2_61
6. Термографія, застосування в медицині / Остафійчук Д. І. та ін. Клінічна та експериментальна патологія. 2019. Т. 18. № 1 (67). С. 126–131. <https://doi.org/10.24061/1727-4338.XVIII.1.67.2019.2187>.
7. Jin C, Yang Y, Xue ZJ, Liu KM, Liu J. Automated analysis method for screening knee osteoarthritis using medical infrared thermography. J Med Biol Eng. 2013; 33 (5): 471–7. <https://doi.org/10.5405/jmbe.1054>
8. De Marziani L., Boffa A., Angelelli L., Andriolo L., Di Martino A., Zaffagnini S., Filardo G. Infrared Thermography in Symptomatic Knee Osteoarthritis: Joint Temperature Differs Based on Patient and Pain Characteristics. J Clin Med. 2023 Mar 16;12(6):2319. <https://doi.org/10.3390/jcm12062319>. PMID: 36983319; PMCID: PMC10055129.
9. Ханік Т. Я. Рентгенологічна характеристика колінних суглобів пацієнтів з моногонартрозом. Актуальні проблеми сучасної медицини. 2022. Т. 2, вип. 2 (78). С. 35–40. <https://doi.org/10.31718/2077-1096.22.2.35>
10. Шевченко В. С., Назарчук С. С., Дунаєвський В. І., Маслов В. П., Тимофеев В. І., Котовський В. Й. Підвищення інформативності термографічних зображень в медичній практиці / Вісник КПІ. Серія Приладобудування, Вип. 57 (1). 2019. С. 96–101. <http://visnyk.kpi.ua/article/view/172030>

СТРАТЕГІЇ РОЗВИТКУ ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ

*Шведкий В. А., Костін Д. Ю., Костін Ю. Д.
Харківський національний університет радіоелектроніки
Просп. Науки, 14. E-mail: d_eces@nure.ua*

Постановка проблеми. На сучасному етапі розвитку в умовах загострення і зростання масштабів глобальних енергетичних проблем для багатьох країн виникають ризики внутрішньої нестабільності, посилюються загрози енергетичній безпеці. Динаміка розвитку енергетичних компаній залежить від соціально-економічних і науково-технологічних процесів, трансформації моделей функціонування енергетич-