

УДК 612.55/.56-053.9 (048.8)

[https://doi.org/10.52058/2786-4952-2025-1\(47\)-2297-2305](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2025-1(47)-2297-2305)

Лагодич Тетяна Сергіївна кандидат медичних наук, доцент, НМУ імені О.О. Богомольця, м. Київ, тел.: (044) 234-92-76, <https://orcid.org/0009-0004-3531-471X>

Русалов Віталій Леонідович, кандидат медичних наук, доцент, НМУ імені О.О. Богомольця, м. Київ, тел.: (044) 234-92-76, <https://orcid.org/0000-0001-9972-9448>

ВІКОВІ ОСОБЛИВОСТІ ОБМІНУ ЕНЕРГІЇ ТА ТЕРМОРЕГУЛЯЦІЇ (ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ)

Анотація. Організм є відкритою термодинамічною системою, яка поглинає і виділяє енергію. Джерелами енергії є вуглеводи, жири, білки, які гідролізуються у травному каналі до кінцевих продуктів, всмоктуються у внутрішнє середовище організму і транспортуються до клітин організму, де приймають участь в метаболізмі.

В основі обміну речовин лежать складні фізико-хімічні реакції гідролізу речовин і трансформації енергії.

Зміни обміну речовин проявляються змінами і в основному обміні. Одним з наслідків таких змін є надмірне накопичення продуктів метаболізму. Щодо основного обміну у людей похилого віку, він зазвичай зменшується в порівнянні з тим, як здійснюється основний обмін у людей молодшого віку.

З віком знижується інтенсивність і загального обміну, що зменшує процеси теплопродукції, одночасно порушуючи процеси терморегуляції.

Температура тіла людини є одним з головних показників гомеостазу і служить важливим індикатором стану організму. Тому дуже важливо усвідомити механізми термогенезу та ізотермії у людей похилого віку для нормальної життєдіяльності. При старінні температура тіла відповідає температурі дорослої людини, проте механізми її регуляції втрачають свою досконалість.

Терморегуляція у людей похилого віку може бути менш ефективною через зміни в організмі, такі як втрата м'язової маси, зменшення об'єму крові та менш ефективна робота потових залоз. Це може впливати на їх здатність підтримувати стабільну температуру тіла.

Крім механізмів теплоутворення зазнають змін і механізми тепловіддачі. Знижується ефективність всіх шляхів тепловіддачі, в першу чергу – випаровування. Це може бути пов'язано із віковими змінами потових залоз так і з вегетативною іннервацією судин шкіри.

У людей похилого віку підвищується ризик переохолодження і перегріву.

З віком ритми сну/неспанья та відпочинку/активності, ймовірно, будуть послаблені та фрагментовані, і як якість, так і кількість сну, погіршуються.

Однак у старості виникають адаптаційні процеси, спрямовані на підтримання температури тіла, як регульованого параметра в системі підтримання гомеостазу.

Ключові слова. Енергетичний обмін, температура тіла, теплоутворення, тепловіддача, терморегуляція, похилий вік.

Lagodych Tetiana Sergiivna candidate of medical sciences, associate professor, Bogomolets National Medical University, Kyiv, tel.: (044) 234-92-76, <https://orcid.org/0009-0004-3531-471X>

Rusalov Vitalii Leonidovych candidate of medical sciences, associate professor, Bogomolets National Medical University, Kyiv, tel.: (044) 234-92-76, <https://orcid.org/0000-0001-9972-9448>

AGE-RELATED FEATURES OF ENERGY EXCHANGE AND THERMOREGULATION (LITERATURE REVIEW)

Abstract. The body is an open thermodynamic system that absorbs and releases energy. The sources of energy are carbohydrates, fats, proteins, which are hydrolyzed in the digestive tract to final products, absorbed into the internal environment of the body and transported to the cells of the body, where they participate in metabolism.

Metabolism is based on complex physicochemical reactions of hydrolysis of substances and energy transformation.

Changes in metabolism are manifested by changes in the basic metabolism. One of the consequences of such changes is excessive accumulation of metabolic products. As for the basic metabolism in elderly people, it usually decreases in comparison with how the basic metabolism is carried out in younger people.

With age, the intensity of the general metabolism also decreases, which reduces the processes of heat production, while simultaneously disrupting the processes of thermoregulation.

Human body temperature is one of the main indicators of homeostasis and serves as an important indicator of the state of the body. Therefore, it is very important to understand the mechanisms of thermogenesis and isothermia in the elderly for normal life. With aging, the body temperature corresponds to the temperature of an adult, but the mechanisms of its regulation lose their perfection.

Thermoregulation in the elderly may be less effective due to changes in the body, such as loss of muscle mass, decreased blood volume, and less efficient sweat glands. This may affect their ability to maintain a stable body temperature.

In addition to the mechanisms of heat generation, heat loss mechanisms also undergo changes. The efficiency of all heat loss pathways decreases, primarily

evaporation. This may be associated with age-related changes in the sweat glands and the autonomic innervation of the skin vessels.

Elderly people are at increased risk of hypothermia and overheating.

With age, sleep/wake and rest/activity rhythms are likely to be weakened and fragmented, and both the quality and quantity of sleep deteriorate.

However, in old age, adaptive processes occur aimed at maintaining body temperature as a regulated parameter in the homeostasis maintenance system.

Keywords. Energy metabolism, body temperature, heat production, heat loss, thermoregulation, old age

Постановка проблеми. Сумарна теплопродукція складається з первинної теплоти (30%), що виділяється в ході окисного фосфорилування і вторинної теплоти (70%), що утворюється при витрачанні енергії макроергічних з'єднань на виконання певної роботи [1,2].

Сукупність хімічних реакцій, які здійснюються в клітинах організму, називають метаболізмом. При відсутності зовнішньої роботи енергія, яка виділяється під час метаболічних реакцій, перетворюється в тепло. По швидкості вивільнення в ході хімічних реакцій тепла можна оцінити інтенсивність метаболізму. Температура визначає швидкість і спрямованість хімічних реакцій і є однією з важливих констант гомеостазу. Температура тканин організму визначається співвідношенням швидкості метаболічної теплопродукції і швидкості розсіювання теплоти, яка виділяється в навколишнє середовище [2]. Відповідно до закону Вант-Гоффа-Арреніуса, при підвищенні або зниженні температури тканини на 10° С відбувається відповідно підвищення або пониження швидкості хімічних процесів в 2-3 рази [2].

Як показують дані літератури, люди похилого віку, швидше за все, мають гірші функції терморегуляції при зміні температури навколишнього середовища в порівнянні з людьми молодшого віку. Однак на тепловий баланс і реакції терморегуляції також впливають індивідуальний соматотип, склад тіла, рівень фізичної підготовки, статус акліматизації та статус гідратації [3].

При заняттях спортом в теплому середовищі більшість досліджень були зосереджені на реакції потовиділення, і зниження швидкості потовиділення у людей похилого віку вірогідно залежить від середовища. Однак, по мірі збільшення вологості навколишнього середовища ця різниця має тенденцію зникати. Фізичні вправи покращують реакції терморегуляції у людей похилого віку [3].

Перебуваючи в холодному або гарячому середовищі, ми відчуваємо зміни температури; одночасно інформація піднімається в центр терморегуляції і в коркові зони, а потім виникають реакції терморегуляції. Попередні дослідження показали, що здорові люди похилого віку мають відносно низьку теплопродукцію, ослаблене теплове сприйняття і ослаблену вегетативну і поведінкову терморегуляційні реакції [4].

Літні люди, особливо ті, хто старше 60 років, є однією з найвразливіших груп населення під час впливу тепла навколишнього середовища, зазнаючи значно серйозніших несприятливих наслідків для здоров'я, пов'язаних зі спекою, ніж будь-яка інша вікова група [4].

Дійсно, в даний час є дані, що у людей похилого віку порушений терморегуляторний контроль і що ризик захворювань, пов'язаних зі спекою, у цих людей підвищений, особливо при виконанні фізичної активності в спеку [4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В даній роботі була зібрана інформація про особливості механізмів теплопродукції і тепловіддачі у людей похилого віку.

Мета статті. Підсумувати сучасний стан знань про регуляцію температури людини похилого віку в термонеїтральних умовах, а також під час зниження та підвищення температури навколишнього середовища.

Матеріали і методи. У роботі було проведено аналіз наукових публікацій за період з 2007 по 2024 роки.

Виклад основного матеріалу. Однією з найважливіших ознак живого організму є обмін речовин, який представляє собою хімічні реакції, які здійснюються в клітинах і зв'язані з виділенням енергії. Енергія необхідна для активного транспорту через мембрану клітини і, таким чином, підтримання потенціалів в нервових і м'язових тканинах, скорочення м'язів і забезпечення та підтримання м'язової активності, секреції речовин в клітинах, в тому числі в залозистих, для забезпечення процесів всмоктування і моторики шлунку та кишечника та багато інших функцій, необхідних для забезпечення нормальної життєдіяльності організму. Для всіх цих процесів необхідна енергія АТФ – енергія, яка вивільнюється при окисненні білків, жирів, вуглеводів. Присутність білків, жирів і вуглеводів в різних видах їжі різниться. Але, якщо підтримувати баланс між цими речовинами в продуктах, які вживає людина, то різні системи забезпечуються необхідними субстратами.

Важливо підтримувати баланс між надходженням і використанням енергії. Якщо надходження переважає над використанням, то це може приводити до надлишку енергії, яка може запасатися у вигляді жиру і призводити до збільшення маси тіла. Якщо надходження в організм недостатнє для забезпечення потреб організму, може розвиватися виснаження і втрата маси тіла.

Для забезпечення цих важливих процесів в організмі існують контролюючі системи, які регулюють не тільки споживання їжі, але й використання і запасання енергії. Ці системи можуть бути як швидкодіючі, які обмежують надмірне споживання їжі, так і довготривалі, які підтримують нормальний запас енергії в організмі. До швидкодіючих відносяться як нервові механізми (волокна парасимпатичних нервів), так і гуморальні (холецистокінін, пептид YY, грелін, глюкагонподібний пептид та інші). Довготривалі – активація нейронів в гіпоталамусі (вентромедіальні і паравентрикулярні ядра),

продукція адипоцитами лептину, підвищення активності симпатичної нервової системи, вплив температури навколишнього середовища [5].

До механізмів теплопродукції відносяться: терморегуляційний тонус, тремтіння, довільні скорочення. Механізми тепловіддачі, коли організму стає спекотно – розширення судин шкіри, посилення потовиділення, зниження теплопродукції [5].

У людей терморегуляторна реакція з найбільшою здатністю до втрати тепла під час впливу тепла навколишнього середовища та фізичної активності – це випаровування поту. В умовах, коли температура навколишнього середовища наближається до температури тіла, випаровування є основним механізмом втрати тепла, при цьому всього один грам поту вивільняє 2426 Дж теплової енергії при випаровуванні [5].

Ефекторами терморегуляції в шкірі є потові залози та судинна система шкіри. Фізичні вправи та/або пасивний тепловий стрес підвищують внутрішню температуру та температуру шкіри, а згодом збільшують швидкість потовиділення та кровообіг шкіри (шкірна вазодилатація).

З іншого боку, під впливом холоду кровообіг шкіри зменшується, щоб запобігти розсіюванню тепла (шкірне звуження судин). Шкірний кровотік сприяє не тільки конвективному, а й кондуктивному теплообміну, тому шкірна вазодилатація сприяє відведенню тепла, а шкірна вазоконстрикція запобігає втраті тепла.

Розсіювання тепла через випаровування поту є критичним, коли температура навколишнього середовища вища за температуру шкіри [5, 6].

Схема вікової періодизації онтогенезу у людини [7]

Похилий вік	Чоловіки – 61-74 роки Жінки – 56-74 роки
Літній вік	75-90 років — чоловіки і жінки
Довгожителі	90 років і вище

Як зазначається в літературі [8], люди похилого віку більш сприйнятливі до захворювань, пов'язаних зі спекою та застудою, оскільки шкірне звуження судин, розширення судин і потовиділення послаблюються з віком. Первинне потовиділення та кровообіг шкіри контролюються нейронами, тоді як місцева температура модулює реакції. У людей нейронний контроль потовиділення та кровотоку шкіри здійснюється за допомогою двох різних шкірних симпатичних впливів. Потовиділення контролюється симпатичними холінергічними нервами, а кровообіг шкіри контролюється симпатичною адренергічною судинозвужувальною системою та окремою симпатичною адренергічною вазодилататорною системою. Загалом із віком реакції терморегуляції шкіри послаблюються. Можливі механізми включають зниження активності шкірного симпатичного нерву, зниження вивільнення первинних нейромедіаторів

і котрансмітерів і порушення чутливості кінцевих органів, включаючи зміни в інших механізмах. Щільність кровоносних судин зменшується у віковій шкіді. Люди похилого віку демонструють притуплену вазоконстрикторну реакцію як на фізіологічні (тобто охолодження всього тіла), так і на фармакологічні норадренергічні стимули [9].

Зменшення продукції потових залоз із віком може відбивати вікові зміни самих потових залоз (атрофія потових залоз) або зниження холінергічної чутливості [10].

Більше того, додаткові дані вказують на те, що існують регіональні відмінності у функції потових залоз між літніми та молодими групами. Справді, більш виражені вікові ефекти спостерігалися у функціях потових залоз на лобі і кінцівках в порівнянні з потовими залозами, які розташовані на тулубі. У світлі цих даних було висловлено припущення, що функція потових залоз може знижуватись у периферично-центральному напрямку по мірі старіння шкіри [11].

Дослідження показали, що у людей похилого віку спостерігається порушена вазодилататорна реакція на гіпертермію, що може бути пов'язано зі зниженням чутливості активної вазодилататорної системи. Ця знижена чутливість активної вазодилататорної системи призводить до зниження сигналізації котрансмітера, і таким чином, ослаблення – залежної шкірної вазодилатації [11, 12].

Менше підтримання сталої температури: організм похилого віку може бути менше здатний підтримувати постійну температуру тіла внаслідок змін у функції систем, таких як серцево-судинна та ендокринна системи [13].

Зниження реакції на зміни температури: відповідь на зміни температури може бути менш ефективною, що може призводити до більшої вразливості до екстремальних температур.

Такі зміни пов'язані зі зниженням точності оцінки температури навколишнього середовища гіпоталамічними нейронами і повільним досягненням порогу м'язового термогенезу у відповідь на охолодження. Ефективність процесів тепловіддачі з віком також знижується.

У старості зменшується кількість нервових волокон у чутливих провідниках, що може відобразитись на повноцінності інформації, яка надходить у терморегуляційний центр. Тим більше, сам гіпоталамус зазнає структурних змін – зменшується кількість функціональних клітин, їх чутливість до електричних подразників.

При старінні послаблюється вплив автономної нервової системи на вісцеральні функції, знижуються метаболічні процеси, зменшується маса м'язів, тобто виникає ланка змін, які знижують надійність механізмів терморегуляції.

Насамперед до них відноситься підвищення чутливості функціональних структур до хімічних чинників – медіаторів, гормонів, пептидів. Підвищення

чутливості певною мірою компенсує структурні зміни, що дозволяє підтримувати температуру тіла на майже постійному рівні.

Крім підсвідомих механізмів терморегуляції є інші, більш ефективні. Це поведінковий контроль терморегуляції: якщо температура ядра тіла стає вище норми, сигнали від терморегуляторних систем мозку формують у людини відчуття, що він перегрівається але, якщо стає холодно сигнали від глибоких терморецепторів направляють імпульси до центру терморегуляції і формують відчуття холоду. У зв'язку з цим, людина виконує певні дії, які коригують зовнішні умови, направлені на відновлення комфорту [13]. У людей похилого віку відносно низьке вироблення тепла, порушено теплове сприйняття та знижені автономні і поведінкові терморегуляторні реакції.

У людей похилого віку знижена температурна чутливість, здатність до пересування та спілкування, внаслідок чого вони можуть довгий час знаходитися на холоді. Ці порушення в комбінації зі зниженням кількості підшкірної жирової клітковини сприяє розвитку гіпотермії, іноді, навіть у закритому холодному приміщенні.

В умовах підвищення температури навколишнього середовища люди похилого віку схильні до більшого ризику розвитку загрозливих для життя проявів теплового стресу, таких як тепловий удар [12, 13].

Нарешті, старіння часто супроводжується іншими станами (наприклад, гіпертонією, діабетом, серцево-судинною недостатністю, тривалими вживаннями лікарських препаратів, які додатково впливають на переносимість тепла та терморегуляцію [13].

Висновки. Порушення температурного гомеостазу відображається на функціонуванні всіх систем організму, і навпаки: порушення функціонування різних вісцеральних систем відображається на адаптації людини в умовах зниження чи підвищення температури навколишнього середовища.

Збереження активного способу життя та здорової харчової поведінки може допомогти підтримувати оптимальний рівень обміну речовин у людей похилого віку.

Перспективи подальших досліджень. *Знання механізмів і особливостей терморегуляції у людей похилого віку дозволяє давати раціональні рекомендації з режимів харчування, режимів праці та відпочинку, використання різних теплових процедур для зміцнення імунітету та відновлення після перенесених хвороб.*

Література:

1. Півень С. М. Фізіологія обміну речовин і енергії. Терморегуляція: навчальний посібник / С. М. Півень. – Суми: Сумський державний університет, 2020. – 85 с. – ISBN 978-966-657-811-5.
2. Никонов В. В., Павленко А. Ю. Нарушения температурного гомеостаза // Медицина неотложных состояний. – 2009. – № 6(25). – С. 4–11.
3. Shibasaki M., Okazaki K., Inoue Y. Aging and thermoregulation. The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine. 2013. Vol. 2, no. 1. P. 37–47. DOI: <https://doi.org/10.7600/jpfsm.2.37>

4. Van Someren E. J. W. Thermoregulation and aging // *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*. – 2007. – Vol. 292, no. 1. – P. R99–R102. – DOI: <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00557.2006>
5. Guyton A. C., Hall J. E. *Textbook of medical physiology: textbook* / A. C. Guyton, J. E. Hall; ed. by G. A. C., H. J. E. – 13th ed. – Philadelphia: Elsevier, 2016. – 1148 p.
6. Holowatz L. A., Kenney W. L. Peripheral mechanisms of thermoregulatory control of skin blood flow in aged humans // *Journal of Applied Physiology*. – 2010. – Vol. 109, no. 5. – P. 1538–1544. – DOI: <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00338.2010>.
7. Дмитроца О. Р., Швайко С. Є., Сокол А. П. Вікова фізіологія: методичні вказівки до проведення лабораторних робіт / О. Р. Дмитроца, С. Є. Швайко, А. П. Сокол; Східноєвропейський національний університет імені Лесі Українки, біологічний факультет, кафедра фізіології людини і тварин. – Луцьк: [б. в.], 2013. – 112 с
8. Holowatz L. A., Thompson-Torgerson C., Kenney W. L. Aging and the control of human skin blood flow // *Frontiers in Bioscience*. – 2010. – Vol. 15, no. 2. – P. 718–739. – DOI: [10.2741/3642](https://doi.org/10.2741/3642).
9. Charkoudian N. Mechanisms and modifiers of reflex induced cutaneous vasodilation and vasoconstriction in humans // *Journal of Applied Physiology*. – 2010. – Vol. 109, no. 4. – P. 1221–1228. – DOI: <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00298.2010>.
10. Lind A. R. A physiological criterion for setting thermal environmental limits for everyday work // *Journal of Applied Physiology*. – 1963. – Vol. 18, no. 1. – P. 51–56. – DOI: <https://doi.org/10.1152/jappl.1963.18.1.51>
11. Kellogg D. L. Jr. Mechanisms of cutaneous vasodilation and vasoconstriction in vivo in humans during thermoregulatory challenges // *Journal of Applied Physiology*. – 2006. – Vol. 100, no. 5. – P. 1709–1718. – DOI: [10.1152/jappphysiol.01071.2005](https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01071.2005).
12. Kenny G. P., Yardley J., Brown K., Segal R. J., Jay O. Heat stress in older adults and patients with common chronic diseases // *Canadian Medical Association Journal*. – 2010. – Vol. 182, no. 10. – P. 1053–1060. – DOI: [10.1503/cmaj.081050](https://doi.org/10.1503/cmaj.081050).
13. Charkoudian N. Skin blood flow in adult human thermoregulation: how it works, when it does not, and why // *Mayo Clinic Proceedings*. – 2003. – Vol. 78, no. 5. – P. 603–612. – URL: <https://doi.org/10.4065/78.5.603>

References:

1. Pyven, S. M. (2020). *Fiziolohiia obminu rehovyn i enerhii. Termorehuliatyia: Navchalnyi posibnyk* [Physiology of metabolism and energy. Thermoregulation: A textbook]. Sumy: Sumy State University. ISBN 978-966-657-811-5 [in Ukrainian].
2. Nikonov, V. V., & Pavlenko, A. Yu. (2009). Narusheniya temperaturnogo gomeostaza [Disorders of temperature homeostasis]. *Meditsina neotlozhnykh sostoyaniy - Emergency Medicine*, 6(25), 4–11 [in Ukrainian].
3. Shibasaki, M., Okazaki, K., & Inoue, Y. (2013). Aging and thermoregulation. *The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine*, 2(1), 37–47. <https://doi.org/10.7600/jpfsm.2.37>
4. Van Someren, E. J. W. (2007). Thermoregulation and aging. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 292(1), R99–R102.
5. Guyton, A. C., & Hall, J. E. (2016). *Textbook of medical physiology* (13th ed.). Philadelphia: Elsevier.
6. Holowatz, L. A., & Kenney, W. L. (2010). Peripheral mechanisms of thermoregulatory control of skin blood flow in aged humans. *Journal of Applied Physiology*, 109(5), 1538–1544. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00338.2010>
7. Dmytrotsa, O. R., Shvaiko, S. Ye., & Sokol, A. P. (2013). *Vikova fiziolohiia: Metodychni vkazivky do provedennia laboratornykh robit* [Age physiology: Methodical instructions for laboratory work]. Lesya Ukrainka Eastern European National University, Faculty of Biology, Department of Human and Animal Physiology. Lutsk: [b. v.]. [in Ukrainian].

8. Holowatz, L. A., Thompson-Torgerson, C., & Kenney, W. L. (2010). Aging and the control of human skin blood flow. *Frontiers in Bioscience*, 15(2), 718–739. <https://doi.org/10.2741/3642>
9. Charkoudian, N. (2010). Mechanisms and modifiers of reflex-induced cutaneous vasodilation and vasoconstriction in humans. *Journal of Applied Physiology*, 109(4), 1221–1228. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00298.2010>
10. Lind, A. R. (1963). A physiological criterion for setting thermal environmental limits for everyday work. *Journal of Applied Physiology*, 18(1), 51–56. <https://doi.org/10.1152/jappl.1963.18.1.51>
11. Kellogg, D. L., Jr. (2006). Mechanisms of cutaneous vasodilation and vasoconstriction in vivo in humans during thermoregulatory challenges. *Journal of Applied Physiology*, 100(5), 1709–1718. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01071.2005>
12. Kenny, G. P., Yardley, J., Brown, K., Segal, R. J., & Jay, O. (2010). Heat stress in older adults and patients with common chronic diseases. *Canadian Medical Association Journal*, 182(10), 1053–1060. <https://doi.org/10.1503/cmaj.081050>
13. Charkoudian, N. (2003). Skin blood flow in adult human thermoregulation: How it works, when it does not, and why. *Mayo Clinic Proceedings*, 78(5), 603–612. <https://doi.org/10.4065/78.5.603>