

**Войцеховська Христина Олегівна**  
здобувачка вищої освіти медичного факультету  
*Івано-Франківський національний медичний університет, Україна*

**Науковий керівник: Курас Лілія Дмитрівна**  
канд. біол. наук, доцент кафедри  
біологічної та медичної хімії імені академіка Г.О. Бабенка  
*Івано-Франківський національний медичний університет, Україна*

## **ВПЛИВ НИЗЬКИХ ТЕМПЕРАТУР НА АДИПОЦИТИ: ФІЗІОЛОГІЧНІ ТА БІОХІМІЧНІ АСПЕКТИ**

**Актуальність.** Ожиріння є зростаючою світовою проблемою, яка може спричинити низку метаболічних ускладнень, включаючи інсулінорезистентність, гіперліпідемію, гіпертензію та атеросклероз. У сучасному світі естетична медицина та косметологія активно розвиваються, пропонуючи широкий спектр неінвазивних методів корекції контурів тіла. Все більшої популярності набувають такі процедури, як кріоліполіз, ендосфера-терапія та інші апаратні методики, що дозволяють впливати на жирову тканину без оперативного втручання. Кожна з цих процедур позиціонується як революційний спосіб роботи з тілом, створюючи величезне поле для вибору як серед пацієнтів, так і серед фахівців. Проте за кожним успішним комерційним брендом та привабливою назвою стоїть фундаментальна наука. У світі, де споживач стає дедалі вимогливішим до безпеки та прогнозованості результату, на перший план виходить не сама назва апарату, а розуміння фізичного чинника, який лягає в основу методу.

**Мета дослідження.** вивчити фізіологічні та біохімічні аспекти впливу низьких температур на адипоцити.

**Матеріал та методи дослідження.** Порівняти кріоліполіз, ендосфера-терапія та інші апаратні методики, що дозволяють впливати на жирову тканину без оперативного втручання.

**Обговорення та результати.** Кріоліполіз базується на тому, що адипоцити є більш чутливими до низьких температур, ніж інші клітини організму [1]. Це пояснюється високим вмістом ліпідів, які мають вищу температуру кристалізації порівняно з водою. У процесі охолодження відбувається селективне ушкодження жирових клітин без значного впливу на шкіру, судини та нерви. У результаті запускається програмована загибель клітин — апоптоз [2]. Механічно це пов'язано з тим, що при зниженні температури відбувається кристалізація тригліцеридів усередині адипоцитів,

що призводить до механічного та функціонального ушкодження клітинних структур. Після холодowego впливу в адипоцитах активуються внутрішньоклітинні сигнальні шляхи, що запускають апоптоз. Основну роль відіграє активація каспаз — ферментів, які руйнують клітинні білки та ДНК. Це призводить до контрольованої загибелі клітини без розвитку масивного некрозу та ушкодження навколишніх тканин [3]. Через декілька днів після впливу низьких температур у тканині розвивається помірна запальна реакція. Вона характеризується інфільтрацією макрофагами, нейтрофілами та іншими клітинами імунної системи. Цей процес є відповіддю організму на ушкоджені адипоцити та необхідний для їх подальшого видалення [4]. Після активації запальної реакції макрофаги активно поглинають залишки ушкоджених адипоцитів. Цей процес називається фагоцитозом і триває кілька тижнів. У ході цього процесу ліпіди та клітинні залишки поступово утилізуються та виводяться з організму через лімфатичну систему [5]. Вплив низьких температур індукує кристалізацію ліпідів у жировому шарі, запускаючи апоптотичний каскад, який зрештою призводить до поступової резорбції цих пошкоджених клітин.

Було запропоновано кілька механізмів, які намагаються пояснити клітинні процеси, що призводять до апоптозу адипоцитів [6]. Одна з гіпотез припускає, що холодово-ішемічне пошкодження, завдане жировій тканині під час кріоліполізу, запускає каскад клітинних пошкоджень, що характеризується клітинним набряком, зниженою активністю Na-K-АТФази, зниженим рівнем аденозинтрифосфату, підвищеною концентрацією молочної кислоти та вивільненням мітохондріальних вільних радикалів. Інший запропонований механізм припускає, що холодово-ішемічне пошкодження, викликане кріоліполізом, додатково посилюється ішемічно-реперфузійним пошкодженням, що призводить до утворення активних форм кисню, підвищення рівня цитозольного кальцію та посилення активації апоптозу. Це дозволяє цілеспрямовано руйнувати адипоцити, зберігаючи при цьому навколишні тканини, включаючи шкіру, нерви, судини та м'язи [2]. Проте варто розуміти, що кріоліполіз — це лише початковий етап у процесі глобальної корекції фігури. Сам по собі холод лише запускає деструкцію жирових клітин, але організм потребує ресурсів для їхнього безпечного виведення та загальної перебудови метаболізму. Саме тому невіддільною частиною успішного протоколу є адекватне фізичне навантаження. Фізичні вправи та вплив холоду — це два стимули, які, як вважається, є єдиними ефективними для модуляції метаболізму жирової тканини та покращення метаболічного здоров'я у людей з ожирінням. Двома основними органами, що

беруть участь в енергетичному метаболізмі під час фізичних вправ та впливу холоду, є скелетні м'язи та жирова тканина. Жирову тканину можна розділити на два основні типи: біла жирова тканина (ЖТ), яка в основному накопичує енергію, та бура жирова тканина (БЖТ), відома як основне джерело термогенезу. Вивільнення міокінів, стимульоване фізичними вправами, забезпечує перехресний зв'язок між скелетними м'язами та жировою тканиною, частково опосередковуючи корисний вплив фізичних вправ. Вплив холоду є ще одним фактором для регуляції секреції міокінів, тим самим збільшуючи метаболізм жирової тканини, особливо через активацію БЖТ [7]. Вплив низьких температур на організм супроводжується вираженими метаболічними змінами, ключову роль у яких відіграє бура жирова тканина. Під дією холоду активуються периферичні терморцептори, сигнал від яких передається до гіпоталамуса, що призводить до стимуляції симпатичної нервової системи. У відповідь виділяється норадреналін, який через  $\beta$ -адренорецептори активує бурі адипоцити. Це запускає ліполіз і мобілізацію жирних кислот, які використовуються як субстрат для енергетичних процесів і термогенезу [8]. Центральною ланкою термогенезу в бурій жировій тканині є білок UCP-1 (uncoupling protein 1), який локалізується у внутрішній мембрані мітохондрій. Його основна функція полягає у роз'єднанні процесів окисного фосфорилування: замість утворення АТФ енергія протонного градієнта використовується для генерації тепла. UCP-1 забезпечує повернення протонів у матрикс мітохондрій без синтезу АТФ, що призводить до дисипації енергії у вигляді тепла. Таким чином, бурі адипоцити функціонують як «біологічні обігрівачі», що дозволяє організму підтримувати температуру тіла без м'язового треміння.

Незважаючи на високу популярність та ефективність методик, що базуються на впливі низьких температур на жирову тканину, їх застосування потребує чіткого врахування фізіологічних особливостей організму та можливих ризиків. Пацієнти з історією станів, викликаних холодом, таких як кріоглобулінемія, холодова кропив'янка та пароксизмальна холодова гемоглобінурія, процедура для них є небажаною [9]. Ці стани включають аномальні реакції на низькі температури, і вплив тіла на кріоліполіз може посилити їхні симптоми. Крім того, кріоліполіз не слід проводити на ділянках лікування, уражених важким варикозним розширенням вен, дерматитом [10]. Ці стани можуть порушити цілісність шкіри та збільшити ризик ускладнень під час кріоліполізу.

Крім того, пацієнтам з поганим кровообігом у конкретній ділянці, що підлягає лікуванню, також може бути протипоказаний кріоліполіз. Такі стани,

як хвороба Рейно, перніотрофія або обмороження, можуть погіршити кровотік і поставити під загрозу здатність організму реагувати на низькі температури, що виникають під час криоліполізу [10]. У таких випадках слід розглянути альтернативні варіанти лікування, щоб забезпечити безпеку та ефективність процедури.

**Висновки.** Ефективна корекція фігури неможлива через ізольований вплив на адипоцити, оскільки будь-яка апаратна методика, зокрема криоліполіз, є лише пусковим механізмом. Ключовим фактором стійкого результату є активізація метаболічного діалогу між жировою тканиною та скелетними м'язами. Тільки через синергію термічного впливу та фізичного навантаження досягається повний цикл утилізації ліпідів і гармонійна перебудова композиції тіла. Таким чином, фізична активність є не додатковою рекомендацією, а фізіологічно необхідною ланкою для завершення процесів, ініційованих зовнішніми естетичними маніпуляціями.

#### Список використаних джерел:

1. Cryolipolysis in the United States—Review of the clinical data / J. Hetzel et al. *Journal of Cosmetic Dermatology*. 2023. Vol. 22, S3. P. 8–14. URL: <https://doi.org/10.1111/jocd.16029>
2. Kania B., Goldberg D. J. Cryolipolysis: A promising nonsurgical technique for localized fat reduction. *Journal of Cosmetic Dermatology*. 2023. Vol. 22, S3. P. 1–7. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/jocd.16039>
3. Adipocyte Apoptosis, a Link between Obesity, Insulin Resistance, and Hepatic Steatosis / N. Alkhoury et al. *Journal of Biological Chemistry*. 2009. Vol. 285, no. 5. P. 3428–3438. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19940134/>
4. The Potential Roles of Myokines in Adipose Tissue Metabolism with Exercise and Cold Exposure / S. Jiang et al. *International Journal of Molecular Sciences*. 2022. Vol. 23, no. 19. P. 11523. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36232821/>
5. Harper M., Lassetter J. Cryolipolysis: A Guide for Primary Care Practitioners. *The Journal for Nurse Practitioners*. 2019. Vol. 15, no. 9. P. 666–670. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1555415519303034>
6. Cryolipolysis for noninvasive body contouring: clinical efficacy and patient satisfaction / N. Sadick et al. *Clinical, Cosmetic and Investigational Dermatology*. 2014. P. 201. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4079633/>
7. Adverse Events Associated With Cryolipolysis: A Systematic Review of the Literature / B. Hedayati et al. *Dermatologic Surgery*. 2020. Vol. 46, no. 1. P. S8–S13. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32976167/>
8. Efficacy of cryolipolysis for fat reduction and body contouring: A systematic review and meta-analysis. *Journal of the American Academy of Dermatology*. 2019. Vol. 81, no. 4. P. AB54. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4444424/>
9. Benoit C., Modarressi A. Severe frostbite complication after cryolipolysis: A case report. *JPRAS Open*. 2020. Vol. 25. P. 46–51. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32637531/>
10. Zelickson B. D., Burns A. J., Kilmer S. L. Cryolipolysis for safe and effective inner thigh fat reduction. *Lasers in Surgery and Medicine*. 2015. Vol. 47, no. 2. P. 120–127. URL: <https://doi.org/10.1002/lsm.22320>