

СПРИЯЮЧІ ФАКТОРИ ЗАГАЛЬНОЇ ТЕПЛОВОЇ ТРАВМИ У ДІТЕЙ

Єхалов Василь Віталійович,
к.м.н., доцент

Станін Дмитро Михайлович
к.м.н., доцент

Миронов Денис Володимирович,
к.м.н., асистент,
Дніпровський державний медичний університет
м. Дніпро, Україна

Антропогенна зміна клімату становить зростаючу загрозу для здоров'я та добробуту людини. Екстремальні хвилі спеки визнані одним із самих життєво небезпечних наслідків зміни клімату [1]. Середнє підвищення температури в світі за останні 50 років становить $\sim 0,8$ °С, при цьому очікується, що до кінця нинішнього століття вона підвищиться ще на $- 4$ °С. Одним із найбільш тяжких наслідків є помітне збільшення захворюваності населення, що спричиняється тепловими хвилями екстремальної спеки. При вологості повітря у 100% критична температура для населення складає 31 °С, а при відносній вологості у 60% - 38 °С. Існує багато різних ситуацій, які можуть призвести до тяжкого температурного ураження. Дитина, що залишена в машині, немовля біля обігрівача в ліжечку, підліток грає у футбол у теплий день - це лише деякі з найпоширеніших сценаріїв, які можуть призвести до теплового удару, особливо якщо дія температурного фактора триває довго або лікування затримується [2].

Класичний (ненапружений) тепловий удар є патологічним станом, який виникає внаслідок впливу тепла навколишнього середовища на організм та частіше зустрічається у дітей молодшого віку, які не можуть самотужки залишити спекотне середовище. Хоча ангідроз (відсутність потовиділення) часто присутній при класичному тепловому ударі, його не визнано абсолютним діагностичним критерієм. Тепловий удар *від фізичного навантаження* частіше виникає в підлітків, які займаються важкими фізичними вправами при високій температурі та вологості навколишнього повітря.

Спектр історичних особливостей та клінічних проявів теплових захворювань та теплового удару в дітей отримав обмежену увагу в літературі з невідкладної медицини. Більшість опублікованих випадків стосуються дітей, які перебували в замкнутих приміщеннях, та спортсменів-підлітків, які проходили високоінтенсивні тренування в географічних регіонах з помірно високою температурою навколишнього середовища та високою вологістю повітря [3].

Окрім високої температури навколишнього середовища та рівня вологості, значна частина ризику теплових захворювань в дітей пов'язана із віковими

анатомічними та фізіологічними особливостями. Діти виробляють більше метаболічного тепла на одиницю маси тіла, ніж дорослі, часто через біомеханічні процеси (коротші ноги дітлахів вимагають швидших кроків під час бігу), що значно збільшує теплове навантаження [1].

Діти молодшого віку мають вище співвідношення площі поверхні тіла до маси, що призводить до більшої швидкості поглинання тепла в спекотному середовищі.

У дітей менший ніж у дорослих абсолютний об'єм крові, що обмежує гематогенний потенціал теплопередачі від температурного ядра тіла до поверхні, де це тепло може розсіюватися. Крім того, діти, особливо новонароджені, мають нижчий серцевий викид за певної швидкості метаболізму, що ще більше обмежує тепловіддачу під час фізичних навантажень [4].

Діти досягають адаптації до спекотного середовища повільніше, ніж дорослі, і зазвичай їм потрібно від 10 до 14 днів для досягнення адекватної акліматизації.

Під час фізичних навантажень у прохолодному, нейтральному або навіть помірному середовищі температура докілька нижча за температуру шкіри. Діти ефективно терморегулюються переважно за допомогою механізмів сухої тепловіддачі, коли відбувається конвекційний та променистий теплообмін між шкірою та навколишнім повітрям. Більше співвідношення площа/маса у дітей порівняно з дорослими дозволяє їм мати ефективні складові сухої тепловіддачі. Разом з їх швидкою вазодилататорною реакцією, це дозволяє їм підтримувати ефективний периферичний кровотік до шкіри для полегшення сухої тепловіддачі.

Відомо, що рівень потовиділення площею всього тіла у дітей на 30% нижчий, ніж у дорослих [5]. У дітей спостерігається вища відносна швидкість потовиділення на руках і ногах порівняно з дорослими, у яких, у свою чергу, вища швидкість потовиділення на спині [7].

Низька продуктивність потових залоз у дітей обумовлена їх меншими розмірами і нижчою чутливістю до холінергічної стимуляції. Менший розмір потових залоз у дітей обмежує швидкість потовиділення. Довжина протоки та площа секреторної спіралі потових залоз у дітей раннього віку на ~ 27% та ~ 52% менші за такі в підлітків, в яких ці структурні компоненти ідентичні таким у дорослих. Оскільки кількість функціональних потових залоз не змінюється після 2-річного віку, а діти мають меншу поверхню тіла, обмежена продуктивність потових залоз компенсується їх більшою щільністю [6].

Компенсація у дітей через здатність до випаровування поту не поширюється на екстремальну спеку. Це особливо стосується екстремальної вологої спеки, оскільки високий вміст водяної пари в повітрі знижує здатність дітей охолоджуватися за допомогою випаровування поту [1]. Коли зовнішня температура наближається шкірної або перевищує її, механізми сухої тепловіддачі стають неефективними та можуть навіть призвести до можливого теплового накопичення. Тоді випаровувальна тепловіддача стає основним або єдиним шляхом розсіювання тепла [7]. Для дітей менша маса тіла вказує на нижчий об'єм поглиначи тепла, тоді як обмежена поверхня обумовлює нижчий

абсолютний термолітичний потенціал, припускаючи еквівалентність температурного градієнту повітря до шкіри та тиску пари. Діти віком до пубертатного періоду є найбільш вразливою категорією населення через незрілість механізмів терморегуляції [8].

Діти на різних етапах розвитку мають більшу схильність до ігор на свіжому повітрі та активної діяльності, ніж здорові дорослі. Під час вільної гри на свіжому повітрі в континентальному літньому кліматі діти відчувають стійке підвищення теплового навантаження, навіть коли умови навколишнього середовища не є надмірно спекотними. Це може збільшити кумулятивний вплив спеки та, на крайній випадок, збільшити ризик теплового удару від фізичного навантаження. Серед спортсменів-підлітків теплові захворювання є третьою основною причиною смерті після травматичних та серцевих причин. Приблизно дві третини цих епізодів трапляються у серпні, й підвищений індекс маси тіла (тобто надмірна вага або ожиріння) становить значний ризик [1,9].

Випаровування є основним механізмом втрати тепла в гарячому середовищі, але він стає неефективним при відносній вологості вище 75%. Інші основні методи розсіювання тепла такі як випромінювання інфрачервоної електромагнітної енергії, теплопровідність (пряма передача тепла до сусіднього холоднішого об'єкта) та конвекція (пряма передача тепла конвективними потокам повітря) не можуть ефективно передавати тепло, коли температура навколишнього середовища перевищує температуру шкіри (зазвичай 35 °C). Діти отримують серйозні травми, пов'язані із нагріванням, коли перевищується критичний тепловий максимум, що визначається як ступінь нагрівання тіла та тривалість теплового впливу до пошкодження клітин, тобто температура у 42 °C, яка триває від 45 хвилин до 8 годин.

Немовлята схильні до гіпертермії, порівняно з дорослими вони використовують менше стратегій управління теплом, що робить їх залежними від опікунів, які керують їхньою адаптивною поведінкою та оберігають їх від небезпечного впливу факторів навколишнього середовища [1]. Незважаючи на їхню значну схильність немовлят до шкірної вазодилатації, поріг для розширення судин в них вищий, тому в спекотному середовищі ефективність радіаційної втрати тепла в них обмежена через незрілу функцію потових залоз, а поріг потовиділення у немовлят також вищий, ніж у дорослих. Непотрібне покриття голови в них сприяє накопиченню тепла [10,11]. У зв'язку з недостатнім розвитком механізмів терморегуляції, які швидко виснажуються, у перші місяці життя перегрівання особливо легко спричиняється у дітей віком до 1 року. У маленьких дітей в таких випадках можуть виникати небезпечні фебрильні судоми. Теплова травма в цій віковій групі може бути пов'язаною із підвищеним ризиком синдрому раптової дитячої смерті (СРДС). Про зв'язок між СРДС і надмірним сповиванням немовлят повідомлялося в кількох епідеміологічних дослідженнях, проведених у Новій Зеландії, Англії та Австралії. Нездатність немовляти розсіювати надлишок тепла через закритий одяг, надмірне обгортання, спільний сон, високу температуру навколишнього середовища та використання подразнюючих рідин на кшталт скипидару можуть

спричиняти гіпертермію, яка здатна призвести до апное під час сну. Сон у позі на животі сам по собі є провідним фактором ризику СРДС, а повторне вдихання видихуваного повітря під час сну в такій ситуації створює додатковий ризик раптової дитячої смерті [10].

Смертельні випадки серед залишених у транспортних засобах дітей найчастіше трапляються коли опікуни несвідомо залишають дитину у припаркованому біля будинку автомобілі. За неофіційними джерелами, за останні 10 років в США загинуло майже 750 дітей (і невідомо скільки домашніх тварин) з причини того, що їх залишили в закритому автомобілі. Навіть при комфортній температурі повітря інсоляція спричиняє нагрівання металевого корпусу до небезпечного рівня. Якщо автомобіль знаходиться під прямими променями сонця при температурі зовнішнього середовища у 28,3 °C при відкритих на 3 см вікнах, температура всередині транспортного засобу вже через 30 хвилин піднімається до 43,8 °C, що може послужити причиною теплового удару. Аналогічні ситуації трапляються при перевезенні непристосованим транспортним засобом нелегальних мігрантів, серед яких присутні діти. Такі летальні випадки найчастіше трапляються в Техасі, Флориді та Каліфорнії. Відповідальних осіб в таких випадках часто притягають до кримінальної відповідальності [12].

Діти з тепловим ударом потребують агресивного лікування, оскільки ступінь пошкодження органів-мішеней та смертність пов'язані з тривалістю дії теплового чинника. Для постраждалих дітей запропоновано випарне охолодження, а не занурення до холодної води. Такий варіант гіпотермії досягається шляхом обприскування педіатричних пацієнтів теплою водою (щоб мінімізувати тремтіння) під час обдування високопотужними вентиляторами для максимізації циркуляції повітря. Використання охолоджуючої ковдри, прикладання пакетів із льодом до всього тіла, та/або введення внутрішньовенно фізіологічного розчину кімнатної температури може доповнювати випарне охолодження та буває особливо ефективним для швидкого зниження температури тіла у немовлят. Показник зниження температури тіла, коли вона виміряється ректально, зазвичай відстає від фактичного зниження температури тіла в гіпоталамусі. З цієї причини охолоджуючі заходи зазвичай слід припинити у дітей, які перенесли тепловий удар, як тільки температура тіла спаде приблизно до 38 °C.

Список літератури:

1. Azan A, Nyimbili S, Babayode OO, Bershteyn A. Exceeding the limits of paediatric heat stress tolerance: the risk of losing a generation to climate inaction. *BMJ Paediatr Open*. 2025 Jan 21;9(1):e002883. doi: 10.1136/bmjpo-2024-002883.
2. Forsyth N, Solan T. Too Hot to Play: Heat Stroke in Children. In: Lynch CF, Arachchi S, Brady S, Aung AK, Junckerstorff R (eds) *The Art of Paediatric Medicine Beyond the Evidence Base*. Springer, Singapore. August 2025:141-145. doi: https://doi.org/10.1007/978-981-96-7234-9_34.

3. Fisher JD, Shah AP, Norozian F. Clinical Spectrum of Pediatric Heat Illness and Heatstroke in a North American Desert Climate. *Pediatr Emerg Care*. 2022 Feb 1;38(2):e891-e893. doi: 10.1097/PEC.0000000000002438.
4. Agrawal A, Agrawal R. An analysis of heat-related illnesses in children due to immoderate temperatures. *Indian J Child Health*. May 2024;11(5): 38-45. doi: 10.32677/ijch.v11i5.4691.
5. Nelson DA, Deuster PA, O'Connor FG, Kurina LM. Timing and predictors of mild and severe heat illness among new military enlistees. *Med Sci Sports Exerc*. 2018;50(8):1603-1612. doi: 10.1249/MSS.0000000000001623.
6. Cramer MN, Gagnon D, Laitano O, Crandall CG. Human temperature regulation under heat stress in health, disease, and injury. *Physiol Rev*. 2022;102(4):1907-1989. doi: 10.1152/physrev.00047.2021.
7. Arlegui L, Smallcombe JW, Fournet D, Tolfrey K, Havenith G. Body mapping of sweating patterns of pre-pubertal children during intermittent exercise in a warm environment. *Eur J Appl Physiol*. 2021;121:3561-3576. doi:10.1007/s00421-021-04811-4.
8. Hifumi T, Kondo Y, Keiki Shimizu K, Miyake Y. Heat stroke. Review article. *Journal of intensive care*. 2018; 6(30):1-8. doi: 10.1186/s40560-018-0298-4.
9. McGarr GW, Saci S, King KE, et al. Heat strain in children during unstructured outdoor physical activity in a continental summer climate. *Temperature (Austin)*. 2020 Aug 12;8(1):80-89. doi: 10.1080/23328940.2020.1801120.
10. Sorensen C, Howard C, Prabhakaran P, Horton G, Basu R. Heat illnesses in clinical practice. *BMJ*. 2022;378:e070762. doi: 10.1136/bmj-2022-070762.
11. Kravets OV, Yekhalov VV, Sedinkin VA, Myronov DV, Martynenko DA. Trigger factors of general body overheating (scientific review). *Emergency Medicine*. 2024; 20(8):41-49. doi: <https://doi.org/10.22141/2224-0586.20.8.2024.1805>.
12. Hammett DL, Kennedy TM, Selbst SM, Rollins A, Fennell JE. Pediatric Heatstroke Fatalities Caused by Being Left in Motor Vehicles. *Pediatr Emerg Care*. 2021 Dec 1;37(12):e1560-e1565. doi: 10.1097/PEC.0000000000002115.