

Savytskyi I. V. The Lethal Diamond Concept in Early Polytrauma: A Modern Perspective on Pathophysiology and Hemostatic Resuscitation. *Journal of Education, Health and Sport*. 2026;94:74874. eISSN 2391-8306.
<https://dx.doi.org/10.12775/JEHS.2026.94.74874>
<https://apcz.umk.pl/JEHS/article/view/74874>
<https://zenodo.org/records/21755659>

The journal has had 40 points in Minister of Science and Higher Education of Poland parametric evaluation. Annex to the announcement of the Minister of Education and Science of 05.01.2024 No. 32318. Has a Journal's Unique Identifier: 201159. Scientific disciplines assigned: Physical culture sciences (Field of medical and health sciences); Health Sciences (Field of medical and health sciences). Punkty Ministerialne 40 punktów. Załącznik do komunikatu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 05.01.2024 Lp. 32318. Posiada Unikatowy Identyfikator Czasopisma: 201159. Przypisane dyscypliny naukowe: Nauki o kulturze fizycznej (Dziedzina nauk medycznych i nauk o zdrowiu); Nauki o zdrowiu (Dziedzina nauk medycznych i nauk o zdrowiu). © The Authors 2026;
This article is published with open access at Licensee Open Journal Systems of Nicolaus Copernicus University in Torun, Poland
Open Access. This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Noncommercial License which permits any noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author (s) and source are credited. This is an open access article licensed under the terms of the Creative Commons Attribution Non commercial license Share alike.
(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>) which permits unrestricted, non commercial use, distribution and reproduction in any medium, provided the work is properly cited.
The authors declare that there is no conflict of interests regarding the publication of this paper.
Received: 07.07.2026. Revised: 10.07.2026. Accepted: 20.07.2026. Published:30.07.2026.

UDK 616-001.5:616-092

The Lethal Diamond Concept in Early Polytrauma: A Modern Perspective on Pathophysiology and Hemostatic Resuscitation

I. V. Savytskyi

International European University

M.D., Professor, Department of Fundamental and Medical-Preventive Disciplines

Abstract

The early period of acute polytrauma is characterized by the rapid development of systemic pathophysiological disturbances that largely determine patient survival during the first hours after injury and the quality of care provided at both prehospital and hospital stages. Trauma-induced coagulopathy, hemorrhagic shock, hypothermia, acidosis, and hypocalcemia form a complex interconnected pathological process that contributes to ongoing bleeding and progressive impairment of the body's coagulation system. The Lethal Diamond concept represents a modern extension of the classical Lethal Triad and provides a more comprehensive explanation of the mechanisms underlying early decompensation in severe trauma. The aim of this review is to analyze current research elucidating the pathophysiology of the Lethal Diamond, its clinical significance, and the role of early hemostatic resuscitation in acute polytrauma.

Keywords: polytrauma; Lethal Diamond; trauma-induced coagulopathy; hemorrhagic shock; hemostatic resuscitation; thromboelastometry.

Концепція Lethal Diamond у ранній політравмі: сучасний погляд на патофізіологію та гемостатичну ресусцитацію

І. В. Савицький

Міжнародний європейський університет

доктор медичних наук, професор кафедри фундаментальних та медико-профілактичних дисциплін

Анотація

Ранній період гострої політравми характеризується швидким розвитком системних патофізіологічних порушень, які значною мірою визначають виживання пацієнтів у перші години після травми та рівень надання допомоги на госпітальному та догоспітальному етапах. Травма-індукована коагулопатія, геморагічний шок, гіпотермія, ацидоз та гіпокальціємія формують складний взаємопов'язаний патологічний процес, що сприяє прогресуванню кровотечі та порушень коагуляційної системи організму. Концепція Lethal Diamond є сучасним продовженням класичної Lethal Triad та дозволяє більш точно пояснити механізми ранньої декомпенсації при тяжкій травмі. Метою даного огляду є аналіз сучасних досліджень, що розкривають патофізіологію Lethal Diamond, її клінічне значення та роль ранньої гемостатичної ресусцитації при гострій політравмі.

Ключові слова: полі травма; Lethal Diamond; травма-індукована коагулопатія; геморагічний шок; гемостатична ресусцитація; тромбоеластометрія.

Вступ

Незважаючи на значний прогрес у травматології та інтенсивній терапії, тяжка травма залишається однією з провідних причин передчасної смертності у світі. При цьому найбільш критичними є саме перші години після отримання травми, коли своєчасне розпізнавання та корекція патофізіологічних порушень можуть суттєво вплинути на прогноз пацієнта [1, 2]. І в цьому випадку ми говоримо про надання допомоги, ще на догоспітальному етапі.

Сучасне розуміння політрави значно відрізняється від уявлень двадцятирічної давності. Якщо раніше основна увага приділялася механічному пошкодженню тканин та обсягу загальної крововтрати, то сьогодні тяжка травма розглядається як складний системний процес, який супроводжується раннім розвитком коагулопатії, ендотеліальної дисфункції, метаболічних порушень та гемодинамічної нестабільності [3, 4]. І все це призводить до летальних наслідків в ранньому періоді.

Саме тому концепція Lethal Diamond є не просто розширенням класичної Lethal Triad, а спробою об'єднати найбільш клінічно значущі та потенційно кориговані компоненти ранньої декомпенсації при політраві, розглядаючи її не тільки з точки зору механізму травми, але також дозволяє оцінювати наслідки травматичного ушкодження з позицій системних патофізіологічних змін організму

Еволюція концепції: від Lethal Triad до Lethal Diamond

Аналіз літератури свідчить, що ключові патологічні зміни при тяжкій травмі формуються значно раніше, ніж традиційно вважалось. Роботи Mitra та співавторів продемонстрували, що значна частина ранніх летальних випадків пов'язана саме з гострою коагулопатією та неконтрольованою кровотечею [2].

У свою чергу, White та співавтори запропонували концепцію «hemorrhagic blood failure», яка дозволяє розглядати геморагічний шок не лише як втрату об'єму циркулюючої крові, а як системне порушення транспорту кисню, гемостазу та функції ендотелію, що призводить до загальних системних змін в організмі [4].

На нашу думку, саме такий підхід найбільш повно характеризує ранній період політрави. Перші години після травми слід розглядати не як часовий проміжок між надходженням пацієнта та оперативним втручанням, а як критичне терапевтичне вікно, коли можливе попередження прогресування патологічного процесу.

Особливий інтерес викликає еволюція поглядів на травма-індуковану коагулопатію. Якщо ранні дослідження розглядали її переважно як наслідок гемодилуції та втрати факторів згортання, то сучасні роботи демонструють значно складніший патогенез цього синдрому [3, 5].

Brohi та співавтори показали, що коагулопатія виникає ще до проведення масивної трансфузійної терапії та безпосередньо пов'язана з тяжкістю травми та ступенем геморагічного шоку [3]. Натомість сучасні дослідження приділяють значну увагу ролі ендотеліального глікокаліксу, активації фібринолізу та системної запальної відповіді [5].

Порівнюючи ці роботи, можна зробити висновок, що сучасне розуміння травма-індукованої коагулопатії значно виходить за межі лабораторних показників втрати крові та порушень гемостазу. Фактично вона є одним із центральних компонентів патофізіології тяжкої травми.

Поява концепції Lethal Diamond стала закономірним продовженням досліджень пацієнтів із політравмою. Включення гіпокальціємії до класичної Lethal Triad є не просто додаванням ще одного компонента, а відображає зміну поглядів на механізми розвитку критичних станів при політравмі [6].

Цікаво, що у більш ранніх роботах роль кальцію при тяжкій травмі здебільшого пов'язувалася з проведенням масивної трансфузії компонентів крові. Проте сучасні дослідження свідчать про те, що зниження концентрації іонізованого кальцію може спостерігатися вже на ранніх етапах травматичного процесу [6].

Саме тому сьогодні Lethal Diamond слід розглядати не як сукупність чотирьох незалежних патологічних станів, а як єдину патофізіологічну модель ранньої політравми, яка тісно взаємопов'язана.

Гіпотермія негативно впливає на активність факторів згортання крові та функцію тромбоцитів, поглиблюючи коагуляційні порушення [11,12].

Ацидоз є клінічним відображенням тканинної гіперперфузії та кисневого боргу. Його розвиток призводить до порушення ферментативних реакцій коагуляційного каскаду та погіршує перебіг геморагічного шоку [13].

Гіпокальціємія негативно впливає як на систему гемостазу, так і на гемодинамічну стабільність пацієнта [6].

Водночас коагулопатія сприяє прогресуванню кровотечі, що посилює геморагічний шок та підтримує розвиток інших компонентів Lethal Diamond.

На нашу думку, головною перевагою концепції Lethal Diamond є можливість продемонструвати лікарю взаємозалежність усіх цих процесів. У клінічній практиці вони не існують окремо. Неможливо ефективно лікувати коагулопатію, ігноруючи гіпотермію, так само як корекція ацидозу не буде достатньою без адекватного контролю кровотечі.

Проведений аналіз літератури дозволяє поставити цікаве запитання: чи є Lethal Diamond завершеною патофізіологічною моделлю тяжкої травми? Сучасні дослідження активно вивчають роль ендотеліальної дисфункції, пошкодження глікокаліксу, порушення мікроциркуляції та системної запальної відповіді при політравмі [5].

Таким чином, можна припустити, що Lethal Diamond не охоплює всі механізми розвитку критичного стану при тяжкій травмі. Проте її клінічна цінність полягає саме у практичності. Вона дозволяє сфокусувати увагу лікаря на тих порушеннях, які потребують найбільш раннього та агресивного лікування.

Сучасна концепція гемостатичної ресусцитації передбачає одночасний контроль кровотечі, корекцію коагуляційних порушень, підтримання нормотермії, корекцію кислотно-основного стану та моніторинг рівня кальцію [14–18]. У цьому контексті Lethal Diamond може розглядатися не лише як патофізіологічна модель, але й як концептуальна основа сучасних алгоритмів лікування пацієнтів із політравмою.

Порівняння сучасних рекомендацій щодо damage control resuscitation та goal-directed bleeding management демонструє спільну тенденцію – відхід від стандартизованих підходів до персоналізованої гемостатичної терапії [15–18].

На нашу думку, одним із найбільш перспективних напрямків розвитку сучасної травматології є ранній функціональний моніторинг системи гемостазу.

Поява візкоеластичних методів дослідження гемостазу суттєво змінила підходи до ведення пацієнтів із політравмою. На відміну від стандартних коагуляційних тестів, вони дозволяють оцінювати гемостаз як динамічний процес, що особливо важливо в умовах швидкого розвитку компонентів Lethal Diamond. [19–21]. Можна припустити, що подальший розвиток концепції Lethal Diamond буде тісно пов'язаний саме з впровадженням методів ранньої функціональної діагностики та персоналізованої гемостатичної терапії.

Висновки

Концепція Lethal Diamond є сучасною та клінічно обґрунтованою моделлю патофізіології ранньої політравми. Її основною перевагою є можливість інтеграції патогенетичних механізмів тяжкої травми у практичні алгоритми лікування пацієнтів.

На нашу думку, концепцію Lethal Diamond доцільно розглядати не лише як патофізіологічну модель тяжкої травми, але й як модель клінічного мислення лікаря при веденні пацієнта з політравмою із врахуванням гемостатичної ресусцитації та тромбоеластометрично-орієнтованого підходу до лікування гострої політравми.

Список літератури

1. World Health Organization. Injuries and violence: The facts. Geneva: WHO Press; 2010.

2. Mitra B, Cameron PA, Mori A, Fitzgerald M. Acute coagulopathy and early trauma deaths. *Injury*. 2012;43(1):22–25.
3. Brohi K, Cohen MJ, Davenport RA. Acute coagulopathy of trauma: Mechanism, identification and effect. *Curr Opin Crit Care*. 2013;19(6):551–557.
4. White NJ, Ward KR, Pati S, Strandenes G, Cap AP. Hemorrhagic blood failure: Oxygen debt, coagulopathy, and endothelial damage. *J Trauma Acute Care Surg*. 2014;77(6 Suppl):S147–S155.
5. Yin J, Li X, Zhao Y, Zhang X. The role of endothelial glycocalyx in trauma-induced coagulopathy. *Int J Mol Sci*. 2022;23(3):1152.
6. Ditzel RM, Anderson JL, Eisenhart WJ, et al. A review of transfusion- and trauma-induced hypocalcemia. *J Trauma Acute Care Surg*. 2020;88(3):434–439.
7. Frith D, Goslings JC, Gaarder C, et al. Definition and drivers of acute traumatic coagulopathy. *J Thromb Haemost*. 2010;8(9):1919–1925.
8. Kornblith LZ, Moore HB, Cohen MJ. Trauma-induced coagulopathy: The past, present, and future. *J Thromb Haemost*. 2020;18(3):715–725.
9. Alam HB, Rhee P. New developments in hemorrhagic shock. *Curr Opin Crit Care*. 2021;27(6):600–606.
10. Cardenas JC, Matijevic N, Holcomb JB. Mechanisms of trauma-induced coagulopathy. *Curr Opin Hematol*. 2020;27(5):349–355.
11. Kozak VH, Tymoshenko VI. Проблеми гіпотермії у хворих з травматичною крововтратою. *Клінічна медицина України*. 2023;7(1):41–46.
12. Martini WZ, Cortez DS, Dubick MA, et al. Thrombelastography after hypothermia and hemorrhagic shock. *J Trauma*. 2008;65(3):535–543.
13. Nazarenko TO, Pavlov YuV. Оцінка показників кислотно-основного стану при травмі. *Медична аналітика*. 2023;5(2):17–22.
14. Baer DG, Dubick MA. Hemostatic resuscitation in trauma: From concept to reality. *Transfus Med Rev*. 2022;36(2):120–127.
15. Jansen JO, Thomas R, Loudon MA, Brooks A. Damage control resuscitation for patients with major trauma. *BMJ*. 2021;375:n2932.
16. Schöchl H, Solomon C, Schlimp CJ. Trauma bleeding management: The concept of goal-directed primary care using viscoelastic point-of-care testing. *Front Med*. 2014;1:15.
17. Rossaint R, Cerny V, Coats TJ, et al. The European guideline on management of major bleeding and coagulopathy following trauma: Fifth edition. *Crit Care*. 2019;23:98.

18. Spinella PC, Perkins JG. Massive transfusion protocols: Current state of the art. *J Intensive Care Med.* 2021;36(2):135–142.
19. Gomez-Builes C, Nardi M, Cohen MJ. Viscoelastic testing in trauma: An update. *Curr Opin Crit Care.* 2020;26(6):613–619.
20. Shevchenko MA, Stelmakh RP. Використання ROTEM у клінічній діагностиці коагулопатій: аналіз можливостей та обмежень. *Актуальні питання сучасної медицини.* 2021;15(3):103–108.
21. Lier H, Maegle M, Shander A, Stahel PF. Coagulation monitoring and management of trauma patients. *Transfusion.* 2020;60(S3):S95–S104.