

ОРИГІНАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯDOI: 10.21802/artm.2025.3.35.6
УДК 616-008.9+159.9+613.95**ОКСИДАТИВНИЙ СТРЕС У ДІТЕЙ, ЯКІ ЗАЗНАЛИ ВИМУШЕНОГО ПЕРЕМІЩЕННЯ:
АНАЛІЗ ПРОДУКТІВ ОКИСНОЇ МОДИФІКАЦІЇ БІЛКІВ ТА АКТИВНИХ ПРОДУКТІВ
ТІОБАРБІТУРОВОЇ КИСЛОТИ**

К.В. Дзівак, М.М. Пустовойт

*Івано-Франківський національний медичний університет, кафедра психіатрії, наркології та медичної психології, м. Івано-Франківськ, Україна**ORCID: 0000-0002-3481-9482, Scopus ID: 58295021000, e-mail: katydzivak@ukr.net**ORCID:0000-0001-8689-6220, Scopus ID: 57883723200, e-mail: pmm2109@gmail.com*

Резюме. Вимушене переміщення дітей під час війни є потужним стресогенним фактором, що запускає каскад біохімічних порушень, зокрема оксидативний стрес. Такий стан сприяє пошкодженню клітин, порушенню метаболізму та формуванню передумов для психічних та соматичних розладів, у тому числі посттравматичного стресового розладу. Мета дослідження полягає у вивченні особливостей перебігу оксидативного стресу у дітей різних вікових груп, які зазнали вимушеного переміщення під час воєнних дій в Україні, шляхом аналізу продуктів окисної модифікації білків та активних продуктів тіобарбітурової кислоти. У дослідженні взяли участь 180 дітей віком від 3 до 18 років, які впродовж останніх 6-10-ти місяців пережили вимушене переміщення. Дослідну групу склали 120 дітей, які були розподілені на три підгрупи згідно з віком по 40 осіб у кожній: 3–6 років, 7–13 років та 14–18 років. Контрольну групу склали 60 дітей, репрезентативних за віком та статтю. Під час дослідження встановлено, що у дітей, які пережили вимушене переміщення через війну, спостерігається статистично достовірне підвищення маркерів оксидативного стресу – продуктів окисної модифікації білків та активних продуктів тіобарбітурової кислоти. Найвищі значення виявлено у підлітків 14–18 років, що вказує на вікову залежність реакції на стрес. Отримані дані свідчать про системну активацію вільнорадикальних процесів у таких дітей та підтверджують чутливість організму до тривалого психосоціального навантаження. Таким чином, маркери продуктів окисної модифікації білків та активних продуктів тіобарбітурової кислоти можуть розглядатися як перспективні індикатори біохімічної відповіді організму на тривалий стрес у дітей, що пережили вимушене переміщення і використовуватися для ранньої діагностики та динамічного спостереження за їх психофізіологічним станом.

Ключові слова: вимушене переміщення, діти, оксидативний стрес, продукти окислювальної модифікації білків (ОМБ), активні продукти тіобарбітурової кислоти (ТБК-АП), посттравматичний стресовий розлад (ПТСР).

Вступ. Вимушене переміщення під час війни є класичним прикладом несприятливих дитячих подій (Adverse Childhood Events – ACE) – потужного фактора ризику порушень психічного та соматичного здоров'я через дисрегуляцію системи реагування на стрес [1]. Діти, які переживають такі події, зазнають не лише психоемоційного стресу, а й фізіологічного дисбалансу: активація гіпоталамо-гіпофізарно-наднирничкової осі спричиняє надмірне продукування активних форм кисню (АФК) та дефіцит антиоксидантного захисту, що призводить до оксидативного стресу (ОС). Науково доведено, що ACE, зокрема у контексті війни, ініціює каскад патологічних реакцій [2, 3]. АФК, утворені під впливом стресу, пошкоджують білкові структури клітинних мембран, зокрема шляхом окислювальної модифікації білків (ОМБ), які порушують клітинний гомеостаз [4]. Важливо зазначити, що продукти ОМБ є стабільними, не відновлюються ферментативними системами та самі стають джерелом вторинних вільних радикалів, формуючи порочне коло патологічних процесів. Накопичення стабільних продуктів ОМБ може мати тривалі наслідки для клітин, зокрема призводити до ураження ДНК та виснаження оксидантних систем. Це пояснює зв'язок між ACE й підвищеним ризиком розвитку посттравматичного

стресового розладу (ПТСР) та іншими психічними і соматичними ускладненнями [5-7].

Дослідження Rik Knipschild та співавторів підтверджують прямий взаємозв'язок між ACE та психічними розладами у дітей [8]. На основі аналізу медичної документації 1373 підлітки від 12 до 18 років (69,1 % досліджуваних), які перебували на амбулаторному лікуванні, пережили щонайменше одну ACE, а 17,1 % – чотири і більше подій. Найпоширенішими категоріями ACE були: знущання (49,2 %), емоційне (17,8 %) та фізичне (12,2 %) насильство, сексуальне насильство (10,1 %). Дівчата-підлітки (72,7 %) повідомили про значно більше ACE, ніж хлопці (27,0 %). Це може бути пов'язано із соціокультурними факторами або гендерними особливостями стресового сприйняття. Ці дані узгоджуються із закономірністю: зростання кількості ACE корелює із підвищеним ризиком розвитку ПТСР та інших психічних захворювань [9]. В умовах війни в Україні діти щодня стикаються із численними несприятливими подіями, такими як обстріли, вимушене переміщення, поранення чи втрата близьких, ці механізми посилюються. До прикладу, хронічний стрес активізує вільнорадикальні процеси, який призводить до оксидативного пошкодження

білків та ліпідів, яке, за даними деяких досліджень, є явищами незворотними [10].

Вивчення вмісту ТБК-активних продуктів ПОЛ, як-от малоновий діальдегід (МДА) у сироватці крові дітей, які зазнали вимушеного переміщення, дозволяє оцінити ступінь ОС, який виникає через дисбаланс між продукцією АФК та антиоксидантним захистом. На жаль, вивчення біохімічних маркерів ОС у дітей на даний час обмежені. Саме тому проведення такого дослідження є особливо важливим у сучасних умовах, коли мільйони дітей в Україні зазнають вимушеного переміщення та піддаються підвищеному психологічному та фізичному стресу. МДА, як провідний біомаркер перекисного окиснення ліпідів (ПОЛ), є об'єктивним показником пошкодження клітинних мембран.

Через вимушене переміщення під час війни діти часто зазнають нестачі їжі, особливо такої, що містить повноцінні поживні речовини. Це також може призвести до дисбалансу антиоксидантної системи, підвищення рівня АФК, появи ОС. Науково підтверджено, що вимірювання МДА може слугувати маркером ОС у дітей з білково-енергетичним недоїданням [11]. Особливо уваги потребують підлітки, в організмі яких рівень метаболічних процесів навіть вищий, ніж у дорослих. Це підвищує вироблення АФК і робить їх організм більш піддатливим до ОС, особливо уразливий в цьому випадку мозок через високий рівень енергоспоживання [12]. У статті Samsonova та співавторів відзначено, що у дітей МДА та продукти ОМБ можуть слугувати маркерами оксидативного дисбалансу і варіюватися залежно від віку, що підтверджує необхідність вивчення даного аспекту.

Більш детальне дослідження вище розглянутих питань дозволить краще зрозуміти патогенез стресо-залежних розладів у дітей різного віку, які зазнали вимушеного переміщення, зумовленого воєнними подіями, а також допоможе розробити дієві методи профілактики та лікування зазначених захворювань.

Мета дослідження – вивчити особливості перебігу оксидативного стресу у дітей різних вікових груп, які зазнали вимушеного переміщення під час воєнних дій, шляхом аналізу продуктів окисної модифікації білків та активних продуктів тіобарбітурової кислоти.

Об'єкт і методи дослідження. У дослідженні взяли участь 180 дітей віком від 3 до 18 років, які мали безпосередній досвід воєнного конфлікту на території України протягом останніх 6-10-ти місяців та зазнали вимушеного переселення. Дослідну групу склали 120 дітей (82 дівчинки (68,3 %) та 38 хлопчиків (31,7 %)), які були розподілені порівну на три підгрупи по 40 дітей: I підгрупа від 3 до 6 років, II підгрупа від 7 до 13 років і III підгрупа від 14 до 18 років. Контрольна група, репрезентативна по віку та статі, становила 60 дітей по 20 у кожній підгрупі: I підгрупа від 3 до 6 років, II підгрупа – від 7 до 13 років, III підгрупа – від 14 до 18 років. На час включення у дослідження всі вони проживали на території Західної України, у різних санаторіях Карпатського регіону.

Для дослідження інтенсивності ОМБ було застосовано спектрофотометричний аналіз карбонільних груп, що утворюються при взаємодії АФК із залишками амінокислот із використанням 2,4-динітрофенілгідрозину. Для оцінки інтенсивності ПОЛ здійснювали кількісне визначення малонового діальдегіду (МДА), який реагує з тіобарбітуровою кислотою (ТБК), утворюючи комплекс активних продуктів (ТБК-АП).

Дослідження було добровільним, передбачало отримання всіх необхідних дозволів від батьків дітей або їх офіційних опікунів та виконано відповідно до «Правил етичних принципів проведення наукових досліджень з участю людини» Гельсінської Декларації Всесвітньої Медичної асоціації (1964-2013 рр.). Дослідження схвалено комітетом з біоетики Івано-Франківського національного медичного університету (протокол № 128/22 від 15.06.2022 р.).

Статистичну обробку отриманих результатів здійснювали методом варіаційної статистики, визначали середні величини (M), середні похибки (m). Оцінку вірогідності відмінностей оцінювали за допомогою критерію Стьюдента з використанням статистичних функцій програми «Microsoft Excel, 2016».

Результати дослідження та їх обговорення.

Дані про вміст продуктів окисної модифікації білків (ОМБ) та активних продуктів, що реагують на тіобарбітурову кислоту (ТБК-АП) у сироватці крові обстежених дітей представлені у таблиці 1.

За показниками продуктів нейтрального характеру 356 нм (альдегід-похідні) і 370 нм (кетопохідні) у всіх трьох вікових дослідних підгрупах спостерігалось статистично значуще зростання у порівнянні з відповідними контрольними підгрупами ($p < 0,00001$).

За показниками продуктів основного характеру 430 нм (альдегід-похідні) значуще підвищення виявлено лише у дослідній підгрупі III ($p = 0,00035$). У дослідних підгрупах I і II відмінності були статистично незначущими. Показники 530 нм (кетопохідні основного характеру) мали статистично вагоме підвищення у дослідних підгрупах I ($p = 0,0145$) та III ($p = 0,00006$). У дослідній підгрупі II різниця була статистично незначущою.

За рівнем ТБК-АП (МДА) всі дослідні підгрупи мали достовірно вищі показники у порівнянні з контрольними.

Розглянемо детальніше продукти нейтрального характеру. Середні значення показників ОМБ-356 (альдегідні похідні) у дослідній підгрупі I становили $1,276 \pm 0,007$ ум. од, що у 1,17 раза (на 17,5 %) вище показника відповідної контрольної підгрупи, де він був $0,514 \pm 0,012$ ум. од; у дослідній підгрупі II – $1,390 \pm 0,04$ ум. од, що у 1,21 раза (на 20,6 %) вище II контрольної підгрупи, де такий показник становив $0,276 \pm 0,07$ ум. од.; у дослідній підгрупі III – $1,529 \pm 0,028$ ум. од., що у 2,24 раза (на 24 %) вище III контрольної підгрупи з показником $0,214 \pm 0,012$ ум. од. ($p_{1,2,3} < 0,0001$).

Таблиця 1

Вміст продуктів окисної модифікації білків (ОМБ) та активних продуктів, що реагують на тіобарбітурову кислоту (ТБК-АП) у сироватці крові обстежених дітей

Групи		ОМБ				ТБК-АП (МДА), нмоль/мл
		Продукти нейтрального характеру		Продукти основного характеру		
		356 нм., альдегідпохідні	370 нм., кетопохідні	430 нм., альдегідпохідні	530 нм., кетопохідні	
Дослідна	Підгрупа I, n=40; ум.од.	1,276±0,007*	1,057±0,02*	0,309±0,03	0,176±0,01*	3,33±0,02*
	Підгрупа II, n=40; ум.од.	1,390±0,04*	1,189±0,009*	0,340±0,01	0,193±0,02	3,94±0,02*
	Підгрупа III, n=40; ум.од.	1,529±0,028*	1,478±0,034*	0,596±0,09*	0,355±0,05*	4,47±0,06*
Контрольна група	Контрольна підгрупа I, n=20; ум.од.	0,514±0,012	0,753±0,011	0,262±0,07	0,093±0,03	3,07±0,03
	Контрольна підгрупа II, n=20; ум.од.	0,276±0,07	0,557±0,17	0,319±0,03	0,151±0,12	3,48±0,12
	Контрольна підгрупа III, n=20; ум.од.	0,214±0,012	0,353±0,011	0,162±0,07	0,103±0,03	3,97±0,01
<i>t</i> -критерій		54,85	13,32	0,617	2,641	7,211
		13,82	3,71	0,664	0,345	3,781
		43,17	31,48	3,806	4,322	8,220
<i>p</i> -значення		<0,00001	<0,00001	0,544	0,014	<0,00001
		<0,00001	<0,0015	0,513	0,733	0,00117
		<0,00001	<0,00001	0,00035	0,00006	<0,00001

Примітки: * вірогідність відмінностей між дослідною та контрольною групами.

Значення показників ОМБ-370 (кетонів похідні) також демонстрували статистично вагоме зростання: у 1,25; 1,31 та 2,08 рази, зокрема у дослідній підгрупі I ОМБ-370 становив 1,057±0,02 ум. од., що на 25,4 % вище відповідних значень цього показника у контрольній підгрупі I, де він становив 0,753±0,011 ум. од. ($p < 0,00001$). У дослідній підгрупі II був 1,189±0,009 ум. од, що на 31,0 % вище, ніж у контрольній підгрупі II, де він становив 0,557±0,17 ($p < 0,0015$). У дослідній підгрупі III склав 1,478±0,034 ум. од, що також на 31,0 % вище, ніж у контрольній підгрупі III, де він становив 0,353±0,011 ($p < 0,00001$).

Значенням показників продуктів основного характеру притаманна дещо інша тенденція. ОМБ-430 нм (альдегідні похідні) зазнали вірогідного статистичного зростання лише у дослідній підгрупі III, де вони були 0,596±0,09 ум. од., що у 3,68 рази вище, ніж у контрольній підгрупі III із значенням 0,162±0,07. У дослідній підгрупі I та II спостерігалася тенденція до зростання такого показника, але вона була статистично незначна. ОМБ-530 нм (кетопохідні) були вірогідно вищими у дослідній підгрупі I (0,176±0,01 ум.од.) та дослідній підгрупі III (0,355±0,05 ум.од.) ($p_1 = 0,014; p_3 = 0,00006$). Ці дані узгоджуються з науковими відомостями про вікову залежність антиоксидантного захисту, згідно якого внаслідок посилення метаболічних та гормональних процесів у період пубертату підлітки є більш вразливими до дії оксидативного стресу (рис. 1).

Показники ТБК-АП (МДА) в усіх дослідних підгрупах порівняно з підгрупами контролю демонструє статистично значиму різницю (рис. 2). Кратність

зниження показника ТБК-АП у дослідній підгрупі I становила 1,08 рази (8,5 %) у порівнянні з I контрольною підгрупою. У дослідній підгрупі II показник МДА зростає у порівнянні з II контрольною підгрупою у 1,133 рази (13,2 %). У підгрупі III збільшується у 1,126 рази (12,6 %) ($p_1 < 0,00001; p_2 = 0,00117; p_3 < 0,00001$).

Одержані нами дані свідчать про те, що рівні ОМБ та ТБК-АП у більшості дослідних підгруп суттєво підвищені порівняно з контрольними підгрупами. Це вказує на те, що вимушене переміщення у дитячому та підлітковому віці є потужним стресовим фактором, який супроводжується активацією перекисного окиснення білків та ліпідів. Виявлене зростання показників альдегідних та кетонів похідних нейтрального характеру узгоджується з даними дослідження Zieba та спів. (2019). Зростання альдегідних та кетонів похідних основного характеру було дещо менш виражене, що, можливо, пов'язано з різною чутливістю білків до окисної модифікації, залежно від їхньої структури. Важливим підтвердженням ОС є і зростання рівня ТБК-АП. Наші дані узгоджуються із дослідженнями Horn та спів., Karanikas та спів [1, 2].

Результати дослідження підтверджують наявність системного ОС, що має несприятливі наслідки на соматичне та психічне здоров'я дітей. При цьому спостерігається чітка вікова залежність – зі збільшенням віку у дітей показники ОС зростають: найменші значення зафіксовані у дослідній підгрупі I (3–6 років), а найвищі – у дослідній підгрупі III (14–18 років).

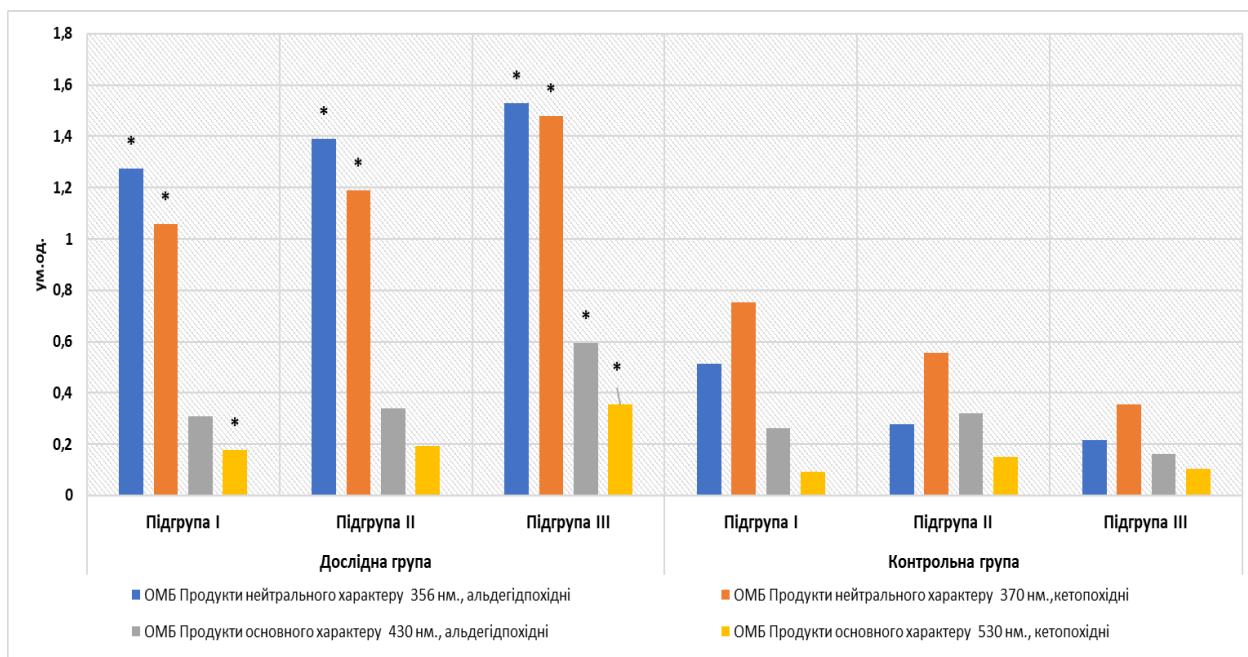


Рис.1. Вміст продуктів окисної модифікації білків (ОМБ) у сироватці крові обстежених дітей
Примітки: * вірогідність відмінностей між підгрупами дослідної та контрольної підгруп.

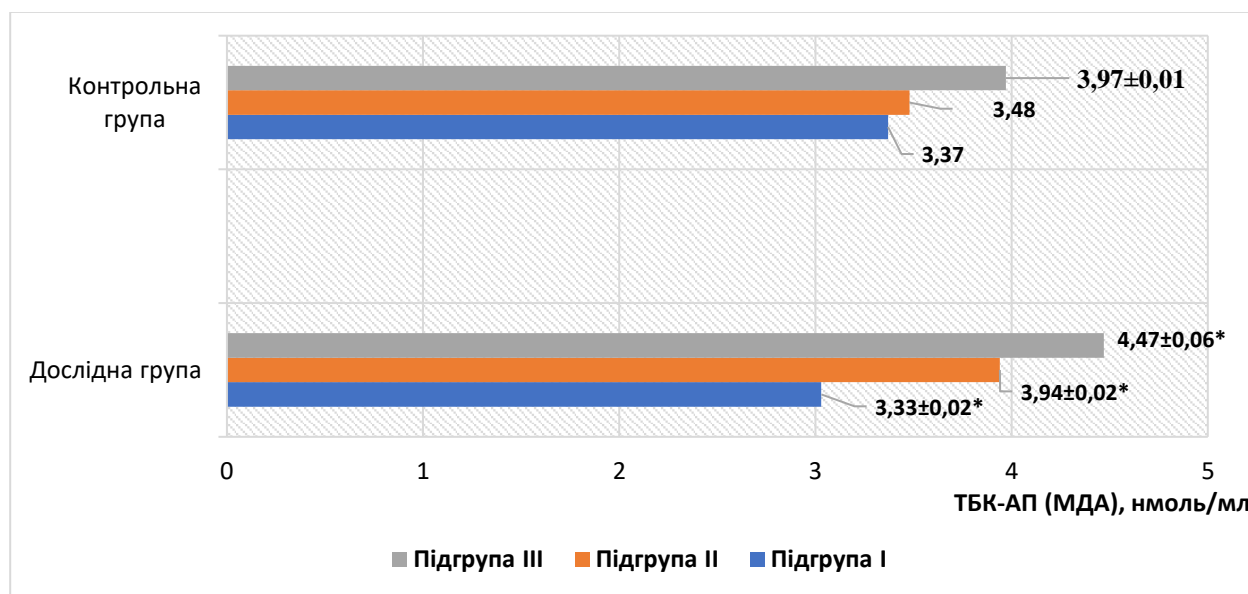


Рис. 2. Вміст ТБК- активних продуктів ПОЛ у сироватці крові обстежених дітей
Примітки: * вірогідність відмінностей між підгрупами дослідної та контрольної підгруп.

Так, рівень ОМБ-430 у дослідній підгрупі III перевищував контрольний у 3,68 раза, тоді як у дослідній підгрупі I – у 1,18 раза. Рівень ОМБ-530 у дослідній підгрупі III був вищим у 3,45 раза, ніж у контрольній, а у дослідній підгрупі I – лише у 1,9 раза. Подібна тенденція простежується і для ТБК-АП, які у старшій віковій групі сягали найвищих значень – 4,47 нмоль/мл (на 12,6 % вище, ніж у контрольній підгрупі). Ці результати вказують на те, що старші діти демонструють вищу чутливість до стресогенних впливів, які супроводжуються системною активацією вільнорадикальних процесів.

Висновки.

1. У дітей, які зазнали вимушеного переміщення, встановлено достовірне підвищення рівнів продуктів перекисного окиснення ліпідів, зокрема МДА та продуктів ОМБ.

2. Виявлено вікову залежність ОС. Найвищі показники зафіксовано у підлітків (14–18 років), що, ймовірно, пов'язано із гормональними змінами, складнішими когнітивними реакціями, глибшим усвідомленням травматичних подій, вищою чутливістю до психосоціального стресу.

3. Маркери МДА та ОМБ можуть розглядатися як перспективні індикатори біохімічної відповіді організму на тривалий стрес у дітей, що пережили

вимушене переміщення і використовуватися для ранньої діагностики та динамічного спостереження за їх психофізіологічним станом.

Перспективи подальших досліджень. Результати нашого дослідження плануємо використати для створення алгоритму ранньої діагностики та розробки програм підтримки дітей, що пережили вимушене переміщення.

Конфлікт інтересів: відсутній

References:

- Horn SR, Leve LD, Levitt P, Fisher PA. Childhood adversity, mental health, and oxidative stress: A pilot study. *PLoS One*. 2019; 14(4):e0215085. Available from: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215085>
- Karanikas E, Daskalakis NP, Agorastos A. Oxidative Dysregulation in Early Life Stress and Posttraumatic Stress Disorder: A Comprehensive Review. *Brain Sci*. 2021; 11(6):723. <https://doi.org/10.3390/brainsci11060723>
- Nedostup IS, Han RZ, Kocherha ZR, Lotovska TV, Glovyak VG, Fedyshyn LL, Tereshkun NM. Stress in children of internally displaced persons and ways of overcoming it. *Art of Medicine*. 2023; 4(28):223-229. <https://doi.org/10.21802/artm.2023.4.28.223>
- Alameda L, Fournier M, Khadimallah I, Baumann PS, Cleusix M, Griffa A, et al. 16.2 Childhood trauma engages oxidative stress, hippocampus alterations, and poorer clinical outcome in early psychosis patients. *Schizophr Bull*. 2018; 44(Suppl 1):S25–S26. Available from: <https://doi.org/10.1093/schbul/sby014.061>
- Romash IR, Romash IB, Tsona AR, Pustovoyt MM. Peculiarities of dynamics of indicators of proteins oxidative modification and matrix metalloproteinase-9 activity in patients with paranoid schizophrenia depending on the disease duration. *Wiad Lek*. 2023; 76(12):2625-2631. <https://doi.org/10.36740/WLek202312111>
- Romash IR, Romash IB, Pustovoyt MM. Study of the influence of disease duration on glutathione-dependent enzymes dynamics in patients with paranoid schizophrenia. *Wiad Lek*. 2024; 77(7):1311-1317. <https://doi.org/10.36740/WLek202407102>
- Bürgin D, Anagnostopoulos D, Board and Policy Division of ESCAP, Vitiello B, Sukale T, Schmid M, Fegert JM. Impact of war and forced displacement on children's mental health-multilevel, needs-oriented, and trauma-informed approaches. *Eur Child Adolesc Psychiatry*. 2022; 31(6):845-853. Available from: <https://doi.org/10.1007/s00787-022-01974-z>
- Knipschild R, Hein I, Pieters S, Lindauer R, Bicanic IAE, Staal W, de Jongh A, Klip H. Childhood adversity in a youth psychiatric population: prevalence and associated mental health problems. *Eur J Psychotraumatol*. 2024; 15(1):2330880. <https://doi.org/10.1080/20008066.2024.2330880>
- Janšáková K, Belica I, Rajčániová E, Rajčáni J, Kyselicová K, Celušáková H, Laznibatová J, Ostatníková D. The acute effect of psychosocial stress on the level of oxidative stress in children. *Int J Psychophysiol*. 2021; 161:86-90. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2021.01.007>
- Maldonado E, Morales-Pison S, Urbina F, Solari A. Aging Hallmarks and the Role of Oxidative Stress. *Antioxidants (Basel)*. 2023; 12:651. Available from: <https://doi.org/10.3390/antiox12030651>
- Tarigan AP, Gunarti DR, Sunardi D. The Role of Malondialdehyde Measurement as a Marker of Oxidative Stress in Stunted Children: Systematic Review. *J Indones Med Assoc*. 2024; 74(4):166-174. <https://doi.org/10.47830/jinma-vol.74.4-2024-1256>
- Samsonov A, Urlacher SS. Oxidative Stress in Children and Adolescents: Insights Into Human Biology. *Am J Hum Biol*. 2025; 37(1):e24200. <https://doi.org/10.1002/ajhb.24200>

UDC 616-008.9+159.9+613.95

OXIDATIVE STRESS IN CHILDREN WHO EXPERIENCED FORCED DISPLACEMENT: ANALYSIS OF PROTEIN OXIDATIVE MODIFICATION PRODUCTS AND THIOBARBITURIC ACID REACTIVE SUBSTANCES

K.V. Dzivak, M.M. Pustovoyt

Ivano-Frankivsk National Medical University, Department of Psychiatry, Narcology and Medical Psychology, Ivano-Frankivsk, Ukraine
ORCID: 0000-0002-3481-9482,
Scopus ID: 58295021000, e-mail: katydzivak@ukr.net
ORCID: 0000-0001-8689-6220,
Scopus ID: 57883723200, e-mail: pmm2109@gmail.com

Abstract. The forced displacement of children during the war is a potent stressor that triggers a cascade of biochemical disorders, including oxidative stress (OS). This condition contributes to cell damage, metabolic disorders, and the formation of prerequisites for mental and somatic disorders, in particular post-traumatic stress disorder (PTSD).

The aim of the study is to examine the peculiarities of the course of OS in children of different age groups who were subjected to forced displacement during hostilities, by analyzing the products of oxidative modification of proteins (OMP) and thiobarbituric acid reactive substances (TBARS).

The study involved 180 children aged from 3 to 18 who had experienced forced displacement as a result of hostilities in Ukraine over the past 6-10 months. The experimental group consisted of 120 children, divided into three subgroups according to age: 3-6 years old, 7-13 years old, and 14-18 years old, 40 people each. The control group consisted of 60 children, representing all ages and genders.

To assess the levels of OMP products, a spectrophotometric analysis of carbonyl groups was performed using 2,4-dinitrophenylhydrazine. Quantitative determination (concentration) of malone dialdehyde (MDA), which reacts with thiobarbituric acid (TBK), forming a complex of TBARS, was used to estimate the lipid peroxidation intensity. The study adhered to the ethical principles of the Helsinki Declaration (1964–2013), with informed consent obtained from parents or legal guardians and approval from the Bioethics Committee of Ivano-Frankivsk National Medical University (Protocol No. 128/22, June 15, 2022). Statistical analysis employed variational statistics,

calculating mean values (M), standard errors (m), and Student's t-test using Microsoft Excel 2016.

The obtained data demonstrate a significant elevation in the levels of products OMP and TBARS in most study subgroups compared to their control groups. These findings indicate that forced displacement during childhood and adolescence represents a potent psychosocial stressor, activating systemic oxidative processes, including lipid and protein peroxidation.

Notably, the increase in aldehyde and ketone derivatives of basic character was less pronounced, which may be attributed to the variable susceptibility of proteins to oxidative modification, depending on their structural features. Among the biomarkers analyzed, elevated TBARS levels served as an additional and essential indicator of oxidative stress.

The highest concentrations of OS markers were observed in adolescents aged 14–18 years, suggesting a

transparent age-related gradient in the stress response. This may reflect the influence of pubertal hormonal changes, heightened cognitive-emotional processing of traumatic experiences, and increased vulnerability to psychosocial stress in this age group.

Overall, the data confirm a systemic activation of free radical processes in children who have undergone forced displacement, underscoring the organism's sensitivity to prolonged psychological stress. Consequently, products OMP and TBARS may serve as valuable biochemical indicators for the early detection and dynamic monitoring of psychophysiological disturbances in this vulnerable population.

Keywords: forced displacement, children, oxidative stress (OS), products of oxidative modification of proteins (OPM), thiobarbituric acid reactive substances (TBARS), post-traumatic stress disorder (PTSD).

Conflict of interest: absent.

Стаття надійшла в редакцію 10.06.2025 р.

Стаття прийнята до друку 12.08.2025 р.