







Przesłano do redakcji:
22.07.2024
Zaakceptowano po recenzji:
29.10.2024
Opublikowano:
30.12.2024

Problemy otologiczne spowodowane eksplozją – przegląd piśmiennictwa

Blast related otological problems – a literature review

Wkład autorów:
A Projekt badania
B Gromadzenie danych
C Analiza danych
D Interpretacja danych
E Przygotowanie pracy
F Przegląd literatury
G Gromadzenie funduszy

Roman Barylyak^{1A-CF} , Aleksandra Kołodziejak^{2C-E} ,
Emilia Czaplicka^{2BEF} , Piotr H. Skarzyński^{2,3ADF} ,
Andriy Barylyak^{4DF} , Dmytro Horoliuk^{5DF} 

¹ Instytut Fizjologii i Patologii Słuchu, Światowe Centrum Słuchu, Klinika Oto-Ryńko-Laryngochirurgii, Warszawa/Kajetany

² Instytut Fizjologii i Patologii Słuchu, Światowe Centrum Słuchu, Zakład Teleaudiologii i Badań Przesiewowych, Warszawa/Kajetany

³ Instytut Narządów Zmysłów, Kajetany

⁴ Lwowski Narodowy Uniwersytet Medyczny im. Daniela Halickiego, Ukraina

⁵ Wojskowe Medyczne Centrum Kliniczne Regionu Północnego, Ukraina

Streszczenie

Niektóre tkanki w ludzkim organizmie, w tym struktury w obrębie uszu są w szczególności narażone na negatywne konsekwencje związane z oddziaływaniem fali uderzeniowej podczas eksplozji. Z tego powodu urazy otologiczne są stosunkowo często spotykane wśród personelu wojskowego oraz ludności cywilnej, która jest narażona na wybuch. W wyniku eksplozji może dojść do urazów w obrębie ucha zewnętrznego, środkowego, wewnętrznego oraz na dalszych piętrach drogi słuchowej. Spektrum doznawanych obrażeń jest bardzo szerokie i zależy od wielu czynników sytuacyjnych.

Słowa kluczowe: szumy uszne • ośrodkowe zaburzenia słuchu • niedosłuch • eksplozja • perforacja błony bębenkowej • urazy spowodowane eksplozją

Abstract

Certain tissues in the human body, including structures within the ears, are particularly vulnerable to the negative consequences associated with the impact of shock waves during explosions. For this reason, blast injuries are relatively common among military personnel and civilians. Blast injuries can occur in the outer ear, middle ear, inner ear and central auditory pathways. The spectrum of injuries is very wide and depends on many situational factor.

Key words: tinnitus • central auditory processing disorder • hearing loss • explosion • tympanic membrane perforation • blast injuries

Wykaz skrótów

Skrót	Rozwinięcie skrótu	Znaczenie skrótu w języku polskim
ASHA	American Speech-Language-Hearing Association	Amerykańskie Towarzystwo Mowy, Języka i Słuchu
BPPV	benign paroxysmal positional vertigo	łagodne napadowe położeniowe zawroty głowy
CAPD	central auditory processing disorder	ośrodkowe zaburzenia przetwarzania słuchowego

Autor korespondencyjny: Emilia Czaplicka, Zakład Teleaudiologii i Badań Przesiewowych, Instytut Fizjologii i Patologii Słuchu, ul. Mochackiego 10, 02-042 Warszawa; email: e.czaplicka@ifps.org.pl

Skrót	Rozwinięcie skrótu	Znaczenie skrótu w języku polskim
OUN	ośrodkowy układ nerwowy	–
PTSD	post-traumatic stress disorder	zespół stresu pourazowego
TBI	traumatic brain injury	urazowe uszkodzenie głowy
TTS	temporary threshold shifts	czasowe przesunięcie progów słyszenia

Wprowadzenie

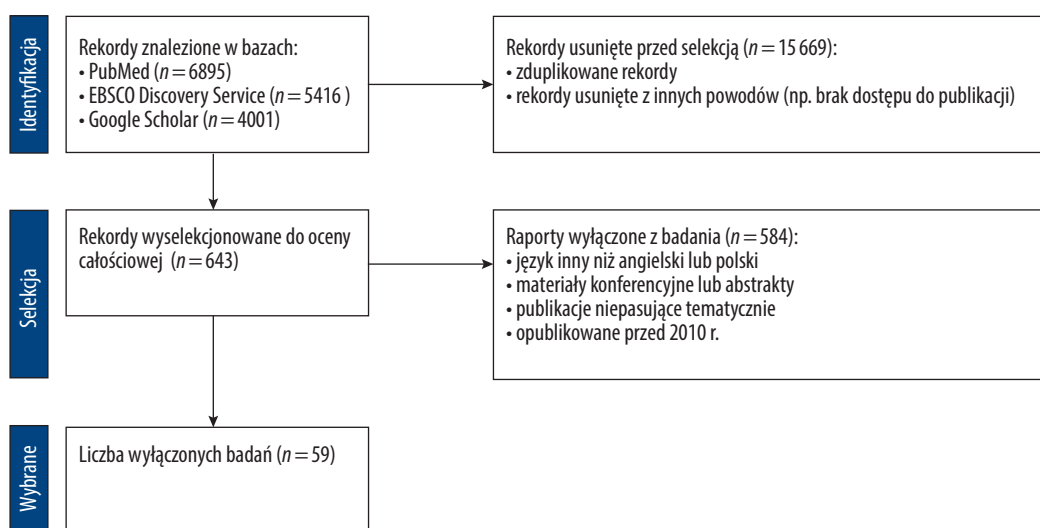
Urazy spowodowane wybuchem są stosunkowo często spotykane u osób służących w wojsku, a w szczególności u tych, którzy biorą czynny udział w działaniach wojennych [1]. Historycznie, podczas wojen prowadzonych w wiekach XX i XXI około 49–63% żołnierzy odniosło różnego typu obrażenia związane z przebywaniem w miejscu wybuchu, a w tym u 60% rannych wykryto problemy ze słuchem [2,3]. Urazy powstające w wyniku wybuchu dzielą się na cztery kategorie – w zależności od mechanizmu uszkodzenia na: pierwotne, wtórne, trzeciorzędowe i czwartorzędowe [4]. Urazy pierwotne powstają w wyniku bezpośredniego działania ciśnienia fali uderzeniowej na tkanki organizmu. Przyczyną obrażeń wtórnych są odłamki urządzeń wybuchowych oraz inne przedmioty wrzucone w ruch podczas wybuchu. Urazy trzeciorzędowe spowodowane są odrzuceniem osoby przez falę uderzeniową i zderzeniem jej ciała z obiektem znajdującym się w pobliżu. Do urazów czwartorzędowych zaliczane są m.in. poparzenia, urazy spowodowane zmiążdżeniami, toksycznymi oparami oraz zespół stresu pourazowego [4–10]. Struktury uszu, oczu, płuc oraz inne narządy jamiste wypełnione powietrzem lub płynem są szczególnie narażone na urazy pierwszego stopnia [4–6]. Dlatego też jedną z najczęstszych konsekwencji fal wysokiego i niskiego ciśnienia są uszkodzenia w obrębie uszu [8]. Rodzaj oraz głębokość uszkodzenia zależy od wielu czynników, m.in. od siły wybuchu, jego miejsca (w pomieszczeniu lub na otwartej przestrzeni) czy też odległości poszkodowanego od epicentrum [7,8,11]. Wskutek działania fali

uderzeniowej może dojść do perforacji błony bębenkowej, przerwania ciągłości łańcucha kosteczek słuchowych oraz uszkodzenia struktur ucha wewnętrznego. Zniszczenie tych obszarów może powodować uszkodzenia słuchu typu przewodzeniowego, odbiorczego lub mieszanego [3,10,12,13]. Wśród poszkodowanych często obserwuje się występowanie szumów usznych oraz zawrotów głowy [2,3,10,12–14]. Obecnie, w związku z nasileniem działań terrorystycznych na świecie, obrażenia spowodowane wybuchem nie dotyczą jedynie osób należących do służby wojskowej. Statystyki pokazują, że urazy uszu wśród ludności cywilnej narażonej na eksplozję również są powszechne [1,6].

W polskiej literaturze brakuje publikacji na temat problemów otologicznych spowodowanych falą uderzeniową. Biorąc pod uwagę liczbę poszkodowanych osób przybywających do Polski z terenów objętych konfliktami zbrojnymi, z pewnością jest to ważny temat, który należy zgłębić. Celem niniejszej pracy jest dokonanie przeglądu publikacji dotyczących uszkodzeń uszu i słuchu spowodowanych eksplozją oraz charakterystyka tych uszkodzeń.

Materiał i metody

Celem uzyskania materiału badawczego w pierwszej kolejności przeszukano bazę PubMed, używając słów kluczowych: urazy uszu wywołane eksplozją, problemy otologiczne u osób narażonych na wybuch oraz uszkodzenie słuchu u personelu wojskowego. Znalaziono 6895 artykułów. Ze względu na zauważalny wzrost liczba artykułów po 2010 roku autorzy zdecydowali objąć przeglądem



Rycina 1. Rezultat analizy artykułów (opracowanie własne)

Figure 1. The results of the analysis of articles (own elaboration)

Tabela 1. Częstość występowania perforacji błony bębenkowej w następstwie eksplozji**Table 1.** Prevalence of blast induced tympanic membrane perforations

Autorzy (rok)	Liczba osób w grupie badanej	Liczba osób z perforacją błony bębenkowej	Procent osób z perforacją błony bębenkowej [%]
Tašli i wsp. (2021)	43	21	48,8
de Regloix i wsp. (2017)	41	21	51,2
Raju (2015)	13	3	23,1
Remenschneider i wsp. (2014)	94	48	51,1
Nawaz i wsp. (2014)	30	11	36,7
Shah i wsp. (2014)	110	18	16,4

prace wydane po tym roku w celu uzyskania najnowsze- go, a zarazem najszerszego materiału. Po wykluczeniu prac w języku innym niż angielski i polski oraz niewystarczają- co pasujących do tematyki pracy (materiały konferencyjne, abstrakty) do przeglądu włączono 54 artykuły. Dodatkowo, w celu pełniejszego przedstawienia tematyki pracy, uży- wając takich samych kryteriów jak wcześniej, przeszukano bazy naukowe EBSCO Discovery Service oraz Google Scholar, z których wybrano 5 prac wpisujących się w tema- tykę niniejszego przeglądu. Finalnie do analizy włączono 59 badań (**rycina 1**).

Wyniki

Ucho zewnętrzne

Podczas wybuchu do urazów tkanek ucha zewnętrznego zwykle dochodzi na skutek obrażeń wtórnych, trzecio- i czwartorzędowych. Głównie są to rany, otarcia, stłuczenia oraz poparzenia w obrębie małżowiny usznej i przewodu słuchowego zewnętrznego [14,15]. Większość znalezi- onych artykułów nie zawierała analizy uszkodzeń struktur ucha zewnętrznego.

Ucho środkowe

Niektóre struktury w ludzkim organizmie są szczegó- lnie narażone na niekorzystne działanie fali uderzeniowej podczas eksplozji. Jedną z nich jest błona bębenkowa, która stosunkowo często ulega perforacji podczas eks- plozji [14,16–18]. Przyczyną uszkodzenia tej delikatnej struktury są gwałtowne zmiany ciśnienia. Można zaob- serwować uszkodzenia błony bębenkowej różnego stopnia – od krwiaka aż po jej całkowitą perforację. Perforacja może występować jednostronnie lub obustronnie i przy- mować różne formy [15].

Częstość występowania perforacji błony bębenko- wej u osób narażonych na wybuch waha się od 16 do 51% [19–23]. Szczegółowy rozkład wyników, które zostały przedstawione w różnych publikacjach zawiera **tabela 1**.

Perforacje błony bębenkowej spowodowane uszkodzeniem mechanicznym, które są stosunkowo często spotykane w praktyce otolaryngologicznej, w większości przypadków

ulegają samoistnemu zagojeniu, co zdecydowanie rza- dziej zdarza się przy perforacjach spowodowanych eksplozją [19,24,25]. Metodą leczenia przetrwałych per- foracji błon bębenkowych jest tympanoplastyka. Niektóre źródła podają, że jej skuteczność w przypadku uszkodzeń będących następstwem wybuchu jest niższa niż w przy- padku innych, powszechnie występujących urazów [1,18]. Ponadto perforacje błony bębenkowej spowodowane na skutek fali uderzeniowej związane są z większym ryzykiem pojawienia się perlaka ucha środkowego, który powstaje w wyniku przedostania się komórek oderwanego naskórka do jamy bębenkowej lub wyrostka sutkowatego. Może się to przyczyniać do dodatkowych komplikacji oraz trwałego ubytku słuchu [1,6,15,23,26–28]. W urazach uszu spowo- dowanych działaniem fali uderzeniowej często obserwuje się także uszkodzenie łańcucha kosteczek słuchowych. Najczęściej zmiany w obrębie kosteczek stwierdzone są u pacjentów śródoperacyjnie – podczas zabiegów rekon- strukcyjnych [12,15,18,26].

Ucho wewnętrzne

Oprócz obrażeń w obrębie ucha zewnętrznego oraz środ- kowego, u osób narażonych na eksplozję obserwuje się także uszkodzenia struktur ucha wewnętrznego. Osoby, które przebywały w miejscu wybuchu, często doświad- czają czasowego przesunięcia progów słyszenia (ang. *temporary threshold shifts*, TTS), a ich słuch w większo- ści przypadków samoistnie wraca do normy w ciągu kilku godzin lub dni [14,15,19,20,29]. Część osób doświadczają jednak trwałego uszkodzenia słuchu oraz szumów usznych [17,19,21,30]. Uszkodzenia w ślimaku powstają wskutek działania ogromnej siły emitowanej podczas eksplozji, która uszkadza błonę podstawną, a tym samym wewnętr- zne oraz zewnętrzne komórki słuchowe [15,22,30]. Siła działająca na ślimak może także przyczyniać się do zmian w integralności ściśle połączonych ze sobą komórek blaszki siateczkowej błony podstawnej narządu Cortiego*, co skutkuje zaburzeniem przepływu jonów przez błonę i brakiem równowagi pomiędzy płynami perylimfy oraz endolimfy [15,30,31]. Większość zmian morfologicznych powstaje w zewnętrznych komórkach słuchowych. Może dojść do dezorganizacji w ich rozmieszczeniu, obrzęku, do ich oderwania czy też zanikania [30]. Dokładny me- chanizm uszkodzenia ślimaka na skutek fali uderzeniowej

* Błona podstawna narządu Cortiego składa się z trzech rodzajów blaszek: 1) jasnej (łac. *lamina lucida*), 2) gęstej (łac. *lamina densa*), 3) sia- teczkowatej (łac. *lamina reticularia*), w której skład wchodzi między innymi kolagen typu III i zakotwicza błonę podstawną w macierzy pozakomórkowej.

Tabela 2. Częstość występowania zawrotów głowy oraz szumów usznych będących następstwem eksplozji
Table 2. Prevalence of blast induced dizziness and tinnitus

Autorzy (rok)	Zawroty głowy % (liczba osób)	Szумы uszne % (liczba osób)
Taşli i wsp. (2021)	83,7 (36)	25,5 (11)
de Regloix i wsp. (2017)	20,0 (8)	88,0 (36)
Joseph i wsp. (2017)	–	13,8 (2280)
Raju (2015)	–	84,6 (11)
Remenshneider i wsp. (2014)	68,2 (30)	18,2 (8)
Dougherty i wsp. (2013)	19,3 (767)	< 1,0 (12)
Oleksiak i wsp. (2012)	70,7 (53)	56,0 (42)

Tabela 3. Częstość występowania różnych rodzajów niedosłuchów
Table 3. Prevalence of different types of hearing loss

Autorzy (rok)	Liczba osób w grupie badanej	Rodzaj niedosłuchu % (liczba osób)			
		przewodzeniowy	odbiorczy	mieszany	norma
Ijaz i wsp. (2023)	80	77,5 (62)	2,5 (2)	20,0 (16)	–
Taşli i wsp. (2021)	86*	9,3 (8*)	36,0 (31*)	24,4 (21*)	–
de Regloix i wsp. (2017)	82	14,6 (12)	29,3 (24)	54,9 (45)	1,2 (1)
Remenschneider i wsp. (2014)	158	21,5 (34)	18,4 (29)	12,7 (20)	47,5 (75)
Oleksiak (2012)	37	5,4 (2)	27,0 (10)	0,0 (0)	27,0 (10)

* Odnosi się do liczby uszu (nie osób)

u ludzi jest trudny do zbadania, dlatego też naukowcy, by zobrazować zachodzące w nim zmiany, posługują się modelem zwierzęcym. Takie badania pozwalają na wyjaśnienie skomplikowanych mechanizmów, które następnie można porównać do grupy ludzi [5,32,33]. Dowiedziono w nich, że patologia w uchu wewnętrznym będąca następstwem wybuchu jest podobna do tej, która obserwowana jest w uszkodzeniach słuchu spowodowanych hałasem [32,34].

Osoby, które znalazły się w pobliżu miejsca wybuchu w momencie zdarzenia lub chwilę po nim, z reguły doświadczają silnych zawrotów głowy oraz zaburzeń równowagi [35]. Doświadczenie autora niniejszej pracy, który zajmuje się leczeniem żołnierzy, potwierdza powyższy wniosek. Dodatkowo autor zauważył, że pacjenci uskarżają się na nudności. Zawroty głowy będące skutkiem eksplozji według autorów kilku innych publikacji są głównie pochodzenia centralnego i wiążą się z obrażeniami wtórnymi oraz trzeciorzędowymi [7,14,15,20,21,36]. Zawroty głowy pochodzenia obwodowego, czyli te związane z uszkodzeniem ucha wewnętrznego mogą być zarówno nagłe, jak i przewlekłe. Najczęściej są spowodowane powstaniem przetoki perylimfatycznej, ostrego urazu woreczka i łagiewki błędnika błoniastego, a przewlekłe zwykle objawiają się w postaci łagodnych napadów położeniowych zawrotów głowy (ang. *benign paroxysmal positional vertigo*, BPPV) [14,15,37]. BPPV u pacjentów

narażonych na działanie fali uderzeniowej powstają w wyniku oderwania oraz przemieszczenia się otolitów do kanałów półkolistych, które nadmiernie drażnią receptory podczas zmian pozycji [15,35,37]. Zawroty głowy w połączeniu z fluktuującym lub pogłębiającym się niedosłuchem wskazują na przetokę perylimfatyczną, powstającą w wyniku obecności powietrza w uchu wewnętrznym po nagłej zmianie ciśnienia w uchu środkowym [14,38]. Z niektórych publikacji wynika, że zawroty głowy są jednym z najdłużej utrzymujących się objawów urazowego uszkodzenia głowy (ang. *traumatic brain injury*, TBI) [36,37]. Innym stosunkowo często występującym powikłaniem po wybuchu, związanym z uszkodzeniem ucha wewnętrznego, są szумы uszne [3,12,14,16,17,19–21,39]. Uważa się, że powstają one wskutek nadaktywności centralnego układu słuchowego, który utracił część wcześniej odbieranych bodźców akustycznych. Szумы uszne mogą być spowodowane uszkodzeniem struktur ucha środkowego, począwszy od błony bębenkowej, przez kosteczki słuchowe, po zewnętrzną część okienka owalnego. Najczęściej jednak ta dolegliwość powiązana jest z uszkodzeniem komórek słuchowych w ślimaku i w konsekwencji z podwyższeniem progów słyszenia [40,41]. **Tabela 2** przedstawia częstość występowania zawrotów głowy oraz szumów usznych raportowaną w różnych artykułach. Rozbieżności w tych wynikach mogą wiązać się z czasem upływającym pomiędzy urazem a badaniem poszkodowanych, ale także z różnymi warunkami, w których doszło do eksplozji.

Niedosłuch

Jak wspomniano wcześniej, uszkodzenia układu słuchowego podczas eksplozji najczęściej wiążą się z obrażeniami powstającymi na skutek gwałtownych zmian ciśnienia fali uderzeniowej [6]. To zjawisko może przyczynić się do powstania każdego rodzaju niedosłuchu – przewodzeniowego, odbiorczego bądź mieszanego [6,13,16,19,21,42]. Niedosłuch przewodzeniowy i mieszany spowodowany jest zaburzeniem w przewodzeniu fali akustycznej do ucha wewnętrznego. W przypadku uszkodzeń u osób narażonych na eksplozję najczęściej dochodzi do niego w wyniku perforacji błony bębenkowej i/lub naruszenia kosteczek słuchowych [12,14–18,26]. Niedosłuch odbiorczy zwykle jest związany z zaburzeniem funkcjonowania ślimaka, który w sposób szczególny jest narażony na negatywne konsekwencje oddziaływania siły powstającej w trakcie eksplozji [15,22]. Mieszany ubytek słuchu stanowi z kolei kombinację niedosłuchu typu przewodzeniowego i odbiorczego. **Tabela 3** przedstawia porównanie częstości występowania różnych rodzajów niedosłuchów.

Ośrodkowe zaburzenia przetwarzania słuchowego

Ogromna siła, która powstaje podczas wybuchu oddziałuje na wiele tkanek ludzkiego organizmu. Poza obrażeniami w obrębie ucha zewnętrznego, środkowego oraz wewnętrznego, uszkodzeniu mogą ulec także struktury ośrodkowego układu nerwowego (OUN), w tym neurony drogi słuchowej [43,44]. W związku z dużą skalą występowania tego zjawiska osoby narażone na eksplozję powinny, według niektórych autorów, przechodzić diagnostykę pod kątem uszkodzeń OUN [45]. Jedną z ich prawdopodobnych konsekwencji są ośrodkowe zaburzenia przetwarzania słuchowego (ang. *central auditory processing disorder*, CAPD). Według definicji American Speech-Language-Hearing Association (ASHA) CAPD to dysfunkcja na poziomie neuronalnym, która nie wynika z zaburzeń funkcji językowych oraz poznawczych [37]. Ośrodki na różnych piętrach drogi słuchowej odpowiadają między innymi za różnicowanie bodźców akustycznych, lateralizację i lokalizację dźwięków oraz analizę i integrację czasową sygnału dźwiękowego. Nieprawidłowości w tych procesach powodują, że osoby z CAPD doświadczają trudności w codziennym funkcjonowaniu [46,47]. Publikacje analizowane w niniejszej pracy przeglądowej, ośrodkowe zaburzenia przetwarzania słuchowego rozumieją głównie w kategorii problemów z rozumieniem mowy w trudnych warunkach akustycznych oraz z pamięcią słuchową, pomimo prawidłowych progów słyszenia. Wśród weteranów wojennych oraz personelu wojskowego tego typu skargi są stosunkowo powszechne, co zostało potwierdzone w kilku badaniach [16,43–45,48]. Zaburzenia związane z rozumieniem mowy oraz integracją centralną mogą prowadzić do szeregu trudności w funkcjonowaniu związanym zarówno z pracą (np. utrudniona komunikacja w trakcie działań wojennych), jak i poza nią, w wyniku czego osoba może wycofywać się z aktywności, które dotychczas były ważną częścią jej życia i doświadczać problemów społeczno-emocjonalnych [16,48]. Pojawiają się także doniesienia, że problemy z przetwarzaniem słuchowym częściej występują u osób doświadczających zespołu stresu pourazowego

(ang. *post traumatic stress disorder*, PTSD) [49]. W związku z tym trudności te mogą wynikać z upośledzenia procesów poznawczych, a nie bezpośrednio z CAPD.

Opisany problem, który został zauważony przez badaczy, jest częsty wśród ofiar eksplozji i istotnie wpływa na ich funkcjonowanie, dlatego też warto, by podlegał dalszym badaniom.

Dyskusja

Sporządzony przegląd literatury ukazuje mnogość oraz różnorodność problemów otologicznych, które mogą powstać w wyniku eksplozji. Spektrum doznawanych obrażeń jest bardzo szerokie. Osoby mogą doświadczać chwilowych problemów, które przechodzą samoistnie lub wymagają zastosowania odpowiednich procedur medycznych. Wśród poszkodowanych znajdują się także osoby, które będą odczuwać negatywne konsekwencje eksplozji już do końca życia.

Warto też zwrócić uwagę na hałas, który jest obecny na polu walki. Pomimo problemu, jakim jest uszkodzenie słuchu spowodowane nagłym głośnym dźwiękiem lub stałym przebywaniem w hałaśliwym środowisku wśród personelu wojskowego [np. 42,43], ten czynnik jest pomijany przez znaczną część autorów artykułów analizowanych w przeglądzie. W większości publikacji skupiono się na działaniu fali uderzeniowej (zmianach ciśnienia) bagatelizując wpływ bardzo głośnych dźwięków na uszkodzenia narządu słuchu. Powszechnie wiadomo, że jakość życia osób z niedosłuchem jest znacząco niższa w porównaniu do osób, które nie doświadczają tego typu problemów [52–54]. W połączeniu ze stresem związanym z przebywaniem na polu bitwy lub atakiem terrorystycznym, konsekwencje dla zdrowia fizycznego oraz psychicznego ofiar mogą być tragiczne. Tak wysoce stresujące, w większości traumatyczne wydarzenia, niezależnie od predyspozycji osobowościowych człowieka oraz jego zasobów, nigdy nie pozostają bez konsekwencji.

Wnioski

W pracy przedstawiono przegląd piśmiennictwa na temat charakterystyki oraz częstości występowania urazów otologicznych powstałych na skutek eksplozji. W związku z tym, że Polska bezpośrednio graniczy z państwem objętym konfliktem zbrojnym, od końca lutego 2022 roku migrują do niej uchodźcy, w tym osoby poszkodowane, które następnie obejmowane są opieką polskiej służby zdrowia. Zwrócenie uwagi na mnogość oraz złożoność urazów narządu słuchu spowodowanych eksplozją może wspomóc pracę lekarzy w procesie diagnostycznym i leczeniu najczęściej występujących obrażeń. W celu zapewnienia usług medycznych wysokiej jakości istnieje potrzeba rozwoju modelu opieki otolaryngologicznej nad pacjentami poszkodowanymi podczas działań zbrojnych.

Finansowanie


Niniejsze badania i artykuł nie otrzymały żadnej dotacji od agencji działających w sektorze publicznym, komercyjnym lub non-profit.

Piśmiennictwo

1. Keller M, Sload R, Wilson J, Greene H, Han P, Wise S. Tympanoplasty following blast injury. *Otolaryngol Head Neck Surg*, 2017; 157(6): 1025–33; <https://doi.org/10.1177/0194599817717486>.
2. Ritenour AE, Blackburn LH, Kelly JF, McLaughlin DF, Pearse LA, Holcomb JB i wsp. Incidence of primary blast injury in US military overseas contingency operations: a retrospective study. *Ann Surg*, 2010; 251(6): 1140–4; <https://doi.org/10.1097/SLA.0b013e3181e01270>.
3. Dougherty AL, MacGregor AJ, Han PP, Viirre E, Heltemes KJ, Galarneau MR. Blast-related ear injuries among US military personnel. *J Rehabil Res Dev*, 2013; 50(6): 893–904; <https://doi.org/10.1682/JRRD.2012.02.0024>.
4. DeMar J, Sharrow K, Hill M, Berman J, Oliver T, Long J. Effects of primary blast overpressure on retina and optic tract in rats. *Front Neurol*, 2016; 7: 59; <https://doi.org/10.3389/fneur.2016.00059>.
5. Wang Y, Urioste RT, Wei Y, Wilder DM, Arun P, Sajja V i wsp. Blast-induced hearing impairment in rats is associated with structural and molecular changes of the inner ear. *Sci Rep*, 2020; 10(1): 10652; <https://doi.org/10.1038/s41598-020-67389-5>.
6. Choi C-H. Mechanisms and treatment of blast induced hearing loss. *Korean J Audiol*, 2012; 16(3): 103–7; <https://doi.org/10.7874/kja.2012.16.3.103>.
7. DePalma RG, Burris DG, Champion HR, Hodgson MJ. Blast injuries. *N Engl J Med*, 2005; 352(13): 1335–42; <https://doi.org/10.1056/NEJMra042083>.
8. Butt KAA, Bhalli NR, Siddique W, Ahmed A, Khan M, Ahmed M. Hearing loss in blast trauma victims: a multicentre retrospective study. *Pak Armed Forces Med J*, 2021; 71(Suppl-1): S130–35.
9. Bukowski J, Nowadly CD, Schauer SG, Koyfman A, Long B. High risk and low prevalence diseases: blast injuries. *Am J Emerg Med*, 2023; 70: 46–56; <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2023.05.003>.
10. Moloney J, Richardson M. Tactical medicine for blast injury victims in a civilian context. *J High Threat Austere Med*, 2024; 6(1); <https://doi.org/10.33235/JHTAM.6.1.4-8>.
11. Joseph AR, Shaw JL, Clouser MC, MacGregor AJ, Galarneau MR. Impact of blast injury on hearing in a screened male military population. *Am J Epidemiol*, 2018; 187(1): 7–15; <https://doi.org/10.1093/aje/kwx199>. Epub June 1, 2017.
12. Mizutani K. Blast-induced hearing loss. *J Zhejiang Univ Sci B*, 2019; 20(2): 111–5; <https://doi.org/10.1631/jzus.B1700051>.
13. Taşlı H, Gökgöz MC, Çoban VK, Nagiyev Z, Karakoç Ö. Does tympanic membrane perforation have a protective effect on the inner ear in blast-injured patients? *TJTES*, 2021; 27(1): 79–84; <https://doi.org/10.14744/tjtes.2020.87639>.
14. Okpala N. Management of blast ear injuries in mass casualty environments. *Mil Med*, 2011; 176(11): 1306–10; <https://doi.org/10.7205/milmed-d-10-00318>.
15. Darley DS, Kellman RM. Otologic considerations of blast injury. *Disaster Med Public Health Prep*, 2010; 4(2): 145–52; <https://doi.org/10.1001/dmphp.d-08-00057r2>.
16. Oleksiak M, Smith BM, St Andre JR, Caughlan CM, Steiner M. Audiological issues and hearing loss among veterans with mild traumatic brain injury. *J Rehabil Res Dev*, 2012; 49(7): 995–1004; <https://doi.org/10.1682/jrrd.2011.01.0001>.
17. Pusz MD, Robitschek J. Traumatic hearing loss in the context of blast-related tympanic membrane perforation. *Mil Med*, 2017; 182(1): e1645–8; <https://doi.org/10.7205/MILMED-D-15-00463>.
18. Sridhara SK, Rivera A, Littlefield P. Tympanoplasty for blast-induced perforations: the Walter Reed experience. *Otolaryngol Head Neck Surg*, 2013; 148(1): 103–7; <https://doi.org/10.1177/0194599812459326>.
19. Remenschneider AK, Lookabaugh S, Aliphos A, Brodsky JR, Devaiah AK, Dagher W i wsp. Otologic outcomes after blast injury: the Boston Marathon experience. *Otol Neurotol*, 2014; 35(10): 1825; <https://doi.org/10.1097/MAO.0000000000000616>.
20. Nawaz G, Ulhaq N, Khan AR. Bomb blast injuries to the ear: the Peshawar experience. *J Med Sci*, 2014; 22(4): 193–6.
21. Ballivet de Régloix S, Crambert A, Maurin O, Lisan Q, Marty S, Pons Y. Blast injury of the ear by massive explosion: a review of 41 cases. *J R Army Med Corps*, 2017; 163(5): 333–8; <https://doi.org/10.1136/jramc-2016-000733>.
22. Raju G. Disability evaluation in acoustic blast trauma. *Indian J Occup Environ Med*, 2015; 19(3): 138–40; <https://doi.org/10.4103/0019-5278.173993>.
23. Shah A, Ayala M, Capra G, Fox D, Hoffer M. Otologic assessment of blast and nonblast injury in returning Middle East-deployed service members. *Laryngoscope*, 2014; 124(1): 272–7; <https://doi.org/10.1002/lary.24169>.
24. Lou Z-C, Lou Z-H, Zhang Q-P. Traumatic tympanic membrane perforations: a study of etiology and factors affecting outcome. *Am J Otolaryngol*, 2012; 33(5): 549–55; <https://doi.org/10.1016/j.amjoto.2012.01.010>.
25. Debenham L, Khan N, Nouhan B, Muzaffar J. A systematic review of otologic injuries sustained in civilian terrorist explosions. *Eur Arch Oto-Rhino-Laryngol*, 2024; 281(5): 2223–33; <https://doi.org/10.1007/s00405-023-08393-z>.
26. Song SA, Sridhara SK, Littlefield PD. Tympanoplasty outcomes for blast-induced perforations from Iraq and Afghanistan. *Otolaryngol Head Neck Surg*, 2017; 156(2): 353–9; <https://doi.org/10.1177/0194599816677693>.
27. Rusinowska B. Perlak wrodzony ucha środkowego u dzieci jako rzadka anomalia o podstępny przebiegu – etiopatogeneza, klasyfikacja i istota badań przesiewowych u dzieci – przegląd literatury. *Now Audiofonol*, 2023; 12(1): 47–51; <https://doi.org/10.17431/na/155400>.
28. Barylyak R, Horoliuk D, Chervan I, Skarzynski PH. Treatment of ear trauma within the Ukrainian military: organisational requirements and implementation of a three-stage regimen. *BMJ Mil Health*, 2024; <https://doi.org/10.1136/military-2023-002624>.
29. Wolak T, Cieśla K, Rusiniak M, Piłka A, Lewandowska M, Pluta A i wsp. Influence of acoustic overstimulation on the central auditory system: an functional magnetic resonance imaging (fMRI) study. *Med Sci Monit*, 2016; 22: 4623–35; <https://doi.org/10.12659/msm.897929>.
30. Yeh DD, Schechter WP. Primary blast injuries: an updated concise review. *World J Surg*, 2012; 36(5): 966–72; <https://doi.org/10.1007/s00268-012-1500-9>.
31. Hickman TT, Smalt C, Bobrow J, Quatieri T, Liberman MC. Blast-induced cochlear synaptopathy in chinchillas. *Sci Rep*, 2018; 8(1): 10740; <https://doi.org/10.1038/s41598-018-28924-7>.
32. Cho S-I, Gao SS, Xia A, Wang R, Salles FT, Raphael PD i wsp. Mechanisms of hearing loss after blast injury to the ear. *PLoS One*, 2013; 8(7): e67618; <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0067618>.

33. Wang H, Yin S, Yu Z, Huang Y, Wang J. Dynamic changes in hair cell stereocilia and cochlear transduction after noise exposure. *Biochem Biophys Res Commun*, 2011; 409(4): 616–21; <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2011.05.049>.
34. Mao JC, Pace E, Pierozynski P, Kou Z, Shen Y, VandeVord P i wsp. Blast-induced tinnitus and hearing loss in rats: behavioral and imaging assays. *J Neurotrauma*, 2012; 29(2): 430–44; <https://doi.org/10.1089/neu.2011.1934>.
35. Akin FW, Murnane OD. Head injury and blast exposure: vestibular consequences. *Otolaryngol Clin North Am*, 2011; 44(2): 323–34; <https://doi.org/10.1016/j.otc.2011.01.005>.
36. Scherer MR, Burrows H, Pinto R, Littlefield P, French LM, Tarbett AK i wsp. Evidence of central and peripheral vestibular pathology in blast-related traumatic brain injury. *Otol Neurotol*, 2011; 32(4): 571; <https://doi.org/10.1097/MAO.0b013e318210b8fa>.
37. Hoffer ME, Balaban C, Gottshall K, Balough BJ, Maddox MR, Penta JR. Blast exposure: vestibular consequences and associated characteristics. *Otol Neurotol*, 2010; 31(2): 232–6; <https://doi.org/10.1097/MAO.0b013e3181c993c3>.
38. Sosna M, Tacikowska G, Skarżyński H, Skarżyński PH. Wpływ implantacji ślimakowej na narząd przedsionkowy – artykuł przeglądowy. *Now Audiofonol*, 2018; 7(3): 9–16; <https://doi.org/10.17431/1003080>.
39. Hussain SM, Saeed HK, Ali AH. Tinnitus after blast injury: a prospective study in Basrah, Iraq. *Int Tinnitus J*, 2022; 26(2): 122–6; <https://doi.org/10.5935/0946-5448.20220019>.
40. Hickox AE, Liberman MC. Is noise-induced cochlear neuropathy key to the generation of hyperacusis or tinnitus? *J Neurophysiol*, 2014; 111(3): 552–64; <https://doi.org/10.1152/jn.00184.2013>.
41. Andjock YC, Pierrette L, Roger Christian MB, Prudence M, Eko M, Francois D i wsp. Post blast tympanic perforations, clinical and paraclinical study at six Yaounde hospitals. *Int J Otolaryngol Head Neck Surg*, 2024; 13: 126–34; <https://doi.org/10.4236/ijohns.2024.132012>.
42. Ijaz MT, Shaikh TA, Shafiq A, Shahzad MAK, Ali S, Saeed K. Causes and characteristics of traumatic tympanic membrane perforation in a Tertiary Care Hospital. *Pak J Med Health Sci*, 2023; 17(06): 358–358; <https://doi.org/10.53350/pjmhs2023176358>.
43. Kubli LR, Brungart D, Northern J. Effect of blast injury on auditory localization in military service members. *Ear Hear*, 2018; 39(3): 457; <https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000517>.
44. Gallun FJ, Diedesch AC, Kubli LR, Walden TC, Folmer RL, Lewis MS i wsp. Performance on tests of central auditory processing by individuals exposed to high-intensity blasts. *J Rehabil Res Dev*, 2012; 49(7): 1005–25; <https://doi.org/10.1682/jrrd.2012.03.0038>.
45. Saunders GH, Frederick MT, Arnold M, Silverman S, Chisolm TH, Myers P. Auditory difficulties in blast-exposed Veterans with clinically normal hearing. *J Rehabil Res Dev*, 2015; 52(3): 343–60; <https://doi.org/10.1682/JRRD.2014.11.0275>.
46. Czajka N, Skarżyński PH, Skarżyński H. Trudności dotyczące ośrodkowych zaburzeń przetwarzania słuchowego z perspektywy lekarzy, instytucji orzekających i pacjentów. *Now Audiofonol*, 2021; 10(1): 53–7; <https://doi.org/10.17431.10.1.6>.
47. Skarzynski PH, Włodarczyk AW, Kochanek K, Pilka A, Jedrzejczak WW, Olszewski L i wsp. Central auditory processing disorder (CAPD) tests in a school-age hearing screening programme: analysis of 76,429 children. *Ann Agric Environ Med AAEM*, 2015; 22(1): 90–5; <https://doi.org/10.5604/12321966.1141375>.
48. Bressler S, Goldberg H, Shinn-Cunningham B. Sensory coding and cognitive processing of sound in Veterans with blast exposure. *Hear Res*, 2017; 349: 98–110; <https://doi.org/10.1016/j.heares.2016.10.018>.
49. Belanger HG, Proctor-Weber Z, Kretzmer T, Kim M, French LM, Vanderploeg RD. Symptom complaints following reports of blast versus non-blast mild TBI: does mechanism of injury matter? *Clin Neuropsychol*, 2011; 25(5): 702–15; <https://doi.org/10.1080/13854046.2011.566892>.
50. Yankaskas K. Prelude: Noise-induced tinnitus and hearing loss in the military. *Hear Res*, 2013; 295: 3–8; <https://doi.org/10.1016/j.heares.2012.04.016>.
51. Moore BCJ. The effect of exposure to noise during military service on the subsequent progression of hearing loss. *Int J Environ Res Public Health*, 2021; 18(5): 2436; <https://doi.org/10.3390/ijerph18052436>.
52. Dixon PR, Feeny D, Tomlinson G, Cushing S, Chen JM, Krahn MD. Health-related quality of life changes associated with hearing loss. *JAMA Otolaryngol Neck Surg*, 2020; 146(7): 630–8; <https://doi.org/10.1001/jamaoto.2020.0674>.
53. Punch JL, Hitt R, Smith SW. Hearing loss and quality of life. *J Commun Disord*, 2019; 78: 33–45; <https://doi.org/10.1016/j.jcomdis.2019.01.001>.
54. Davis AC, Hoffman HJ. Hearing loss: rising prevalence and impact. *Bull World Health Organ*, 2019; 97(10): 646–646A; <https://doi.org/10.2471/BLT.19.224683>.

Lek. Roman Barylyak, email: r.barylyak@ifps.org.pl •  0009-0003-6582-3147

Mgr Aleksandra Kołodziejak, email: a.kolodziejak@ifps.org.pl •  0000-0002-9952-9558

Lic. Emilia Czaplicka, email: e.czaplicka@ifps.org.pl •  0009-0007-9221-2105

Prof. dr hab. n. med. i n. o zdr. mgr zarz. Piotr H. Skarżyński, email: p.skarzynski@inz.waw.pl •  0000-0002-4978-1915

Dr hab. n. med. Andriy Barylyak, email: barylyak.andriy@gmail.com •  0000-0002-1525-421X

Lek. Dmytro Horoliuk, email: dgoroluk@gmail.com •  0009-0002-4217-3762