

# Neurokirurgisk behandling av stridsrelaterade hjärnskador

## LÄRDOMAR FRÅN 10 ÅRS KRIG I UKRAINA

**Andrii Sirko,**  
professor, överläkare,  
Center for Cerebral Neurosurgery,  
Mechnikov Dnipropetrovsk Regional Clinical Hospital, Dnipro, Ukraina

**Alex B Valadka,**  
professor, överläkare,  
Department of neurological surgery,  
University of Texas Southwestern Medical Center, Dallas, USA

**Ghazal Yadav,**  
med stud, Texas A&M University, College Station, USA

**Rocco A Armonda,**  
professor, överläkare,  
Department of neurosurgery, Medstar Georgetown University Hospital, Washington DC, USA

**Mattias K Sköld,**  
docent, överläkare,  
VO neurokirurgi,  
Akademiska sjukhuset, Uppsala; enheten för experimentell traumatologi, institutionen för neurovetenskap, Karolinska institutet, Stockholm  
● mattias.skold@ki.se

**Till skillnad från** i andra nutida större krig befinner sig skadade i kriget i Ukraina relativt nära avancerad medicinsk vård. Kriget skiljer sig även på andra sätt från tidigare konflikter, inklusive stridsoperationernas karaktär och användning av vapen som raket-system, drönare och klustervapen.

Vi beskriver i denna översikt lärdomar från den neurokirurgiska avdelningen vid Mechnikov Dnipropetrovsk Regional Clinical Hospital (MDRCH) med fokus på penetrerande traumatiska hjärnskador (penetrating traumatic brain injuries, pTBI) från kriget i Ukraina. Artikeln baseras på en genomgång av publicerade artiklar om pTBI tillsammans med hittills opublicerade data och personliga erfarenheter. Alla beskrivna skador är direkt relaterade till kriget. Både militär personal och civila offer ingår i redovisningen.

### »Från den 24 februari 2022 till den 1 augusti 2024 togs ... 1 879 patienter med penetrerande traumatiska hjärnskador emot och behandlades ...«

MDRCH är ett av de största ukrainska medicinska centrumen nära frontlinjen. Det är en civil multidisciplinär anläggning med 1 600 sängplatser, 25 operationssalar, 122 intensivvårdsplatser och 2 interventionssalar för endovaskulära åtgärder. I mars 2024 öppnades också ett rehabiliteringscentrum för militära och civila sårade.

Verksamheten har erbjudit vård för stridsskador sedan den ryska offensiven mot Krim och Donbas började 2014. För närvarande ligger MDRCH cirka 100 km från fronten och behandlar mer än 1 000 skadade från kriget varje månad.

Från den 9 maj 2014 till den 1 augusti 2024 genomgick 2 095 skadade personer en primär operation vid MDRCH på grund av pTBI. De vanligast förekommande enskilda typerna av sådana skador var skador på bihålör (382 patienter, 18 procent), skada på strukturer i bakre skallgropen (94 patienter, 4 procent), skador på stora venösa sinus (51 patienter, 2 procent) och skador på stora intrakraniella artärer (31 patienter, 1 procent).

Vid MDRCH genomgick 216 skadade med pTBI behandling under krigets första fas 2014-2022. Från den 24 februari 2022 till den 1 augusti 2024 togs sammanlagt 1 879 patienter med pTBI emot och behand-

lades kirurgiskt vid sjukhuset. Medelvårdtiden vid neurokirurgisk enhet är 5 dagar.

Penetrerande splitterskador är orsaken till 84 procent av pTBI hos patienter på MDRCH. Skador på andra organsystem förekommer hos hälften av patienter med penetrerande traumatiska hjärnskador. Glasgow coma scale (GCS)-poäng  $\leq 8$  vid ankomst förekommer hos nästan 40 procent av alla patienter med stridsrelaterad pTBI [1].

Alla data från 2014 till 2024 är godkända för publicering av etiska kommittén vid Dnipropetrovsk Regional Clinical Hospital.

### Debridering av skadad hjärna

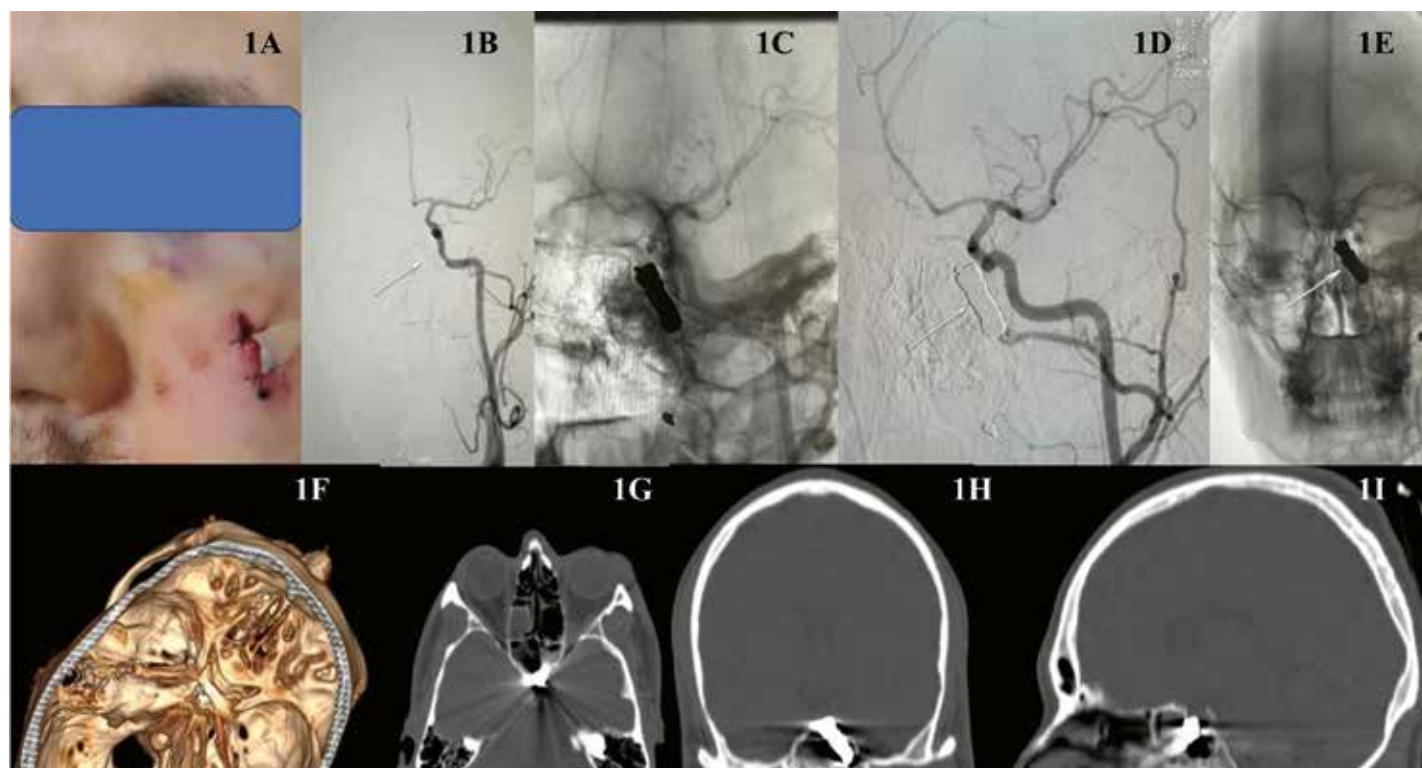
De höga infektions- och dödlighetstalen hos patienter med pTBI under världskrigen och Koreakriget ledde till en praxis med intensiv hjärndebridering, särskilt av devitaliserad hjärnvävnad och alla ben- och metallfragment. Detta minskade frekvensen av infektion och dödlighet till 0,63 procent respektive 14,5 procent under Vietnamkriget [2]. Dock var frekvensen av posttraumatisk epilepsi hos dessa patienter så hög som 45-53 procent [3].

Insikten att intensiv hjärndebridering försämrade det neurologiska utfallet ledde till en praxis med mindre intensiv debridering som resulterat i bättre neurologiska resultat, lägre frekvens av posttraumatisk epilepsi, och, med lämplig behandling, även en infektionsfrekvens så låg som 5-10 procent [4, 5].

Under konflikterna i Irak och Afghanistan ledde behovet av långdistanstransport av skadade till högspecialiserade militärsjukhus i USA och Europa till en hybridmetod. Omfattande dekompressiv kraniektomi

### HUVUDBUDSKAP

- Tidig och komplett kirurgi av svåra och/eller penetrerande stridsrelaterade skador på skalle, hjärna och skallbas förbättrar resultaten. Mikroskopassisterad kirurgi används för skonsam vävnadshandling.
- Tidig cerebral angiografi för identifiering och behandling av pseudoaneurysm och arteriovenösa fistlar maximerar säkerheten vid efterföljande öppen kirurgi och förbättrar resultaten vid penetrerande hjärnskador.
- En aktiv kirurgisk strategi i kombination med intensivvård kan förbättra utfallet även vid svåra penetrerande hjärnskador. Terapeutisk nihilism bör undvikas.
- Erfarenheter från kriget i Ukraina visar att högspecialiserad vård i anslutning till frontlinjen är möjlig och påverkar utfallet positivt.



**Figur 1.** Penetrerande kraniofacialt sår med ett ingångshål i vänster kind och skada på kilben och botten av sella turcica. 1A: Yttre skada. 1B–E: Digital subtraktionsangiografi som visar frånvaro av vaskulär skada. 1F: Tredimensionell rekonstruktion av den skadade skallbasen. 1G–I: DT av kraniet i axiala, koronala och sagittala projektioner. En transnasal-transsfenoidal kirurgisk metod användes.

utfördes för att förhindra intrakraniell hypertension, men hjärndebrideringen var minimalt intensiv [6]. Denna metod gav utmärkta resultat avseende neurologisk återhämtning och infektioner [7]. I östra Ukraina finns dock inte detta behov, tack vare närheten mellan frontlinje och högspecialiserade medicinska faciliteter som MDRCH.

Operationsmikroskop används regelmässigt vid operation av penetrerande traumatiska hjärnskador för att balansera borttagning av nekrotisk hjärnvävnad och ben- och metallfragment med en skonsam metod för revision av skadad hjärnvävnad. Postoperativ behandling sker vid neurokirurgisk intensivvårdsavdelning. Dessa metoder ger goda funktionella resultat med utfall enligt Glasgow outcome scale (GOS) på 4–5 poäng hos 38 procent, det vill säga måttlig funktionsnedsättning eller god återhämtning, efter 1 år och låga frekvenser av infektionskomplikationer (14 procent) och posttraumatisk epilepsi [8].

### Skada på främre skallbasen och bihålorna

Kombinationen av penetrerande traumatiska hjärnskador och skador på bihålorna är en viktig undergrupp av skador. Penetrerande skador i detta område kan orsaka kommunikation mellan det intradurala rummet och de bakterieinnehållande bihålorna. Intrakraniell infektion är ett potentiellt stort problem, även i avsaknad av likvorläckage.

I en översikt av pTBI-patienter i östra Ukraina 2014 hade 28 procent skador i skallbasen. Skador på främre skallgroppen identifierades hos 75 procent i denna grupp, skador på mellersta skallgroppen hos 22 procent och både främre och mellersta skallgroppen hos 3 pro-

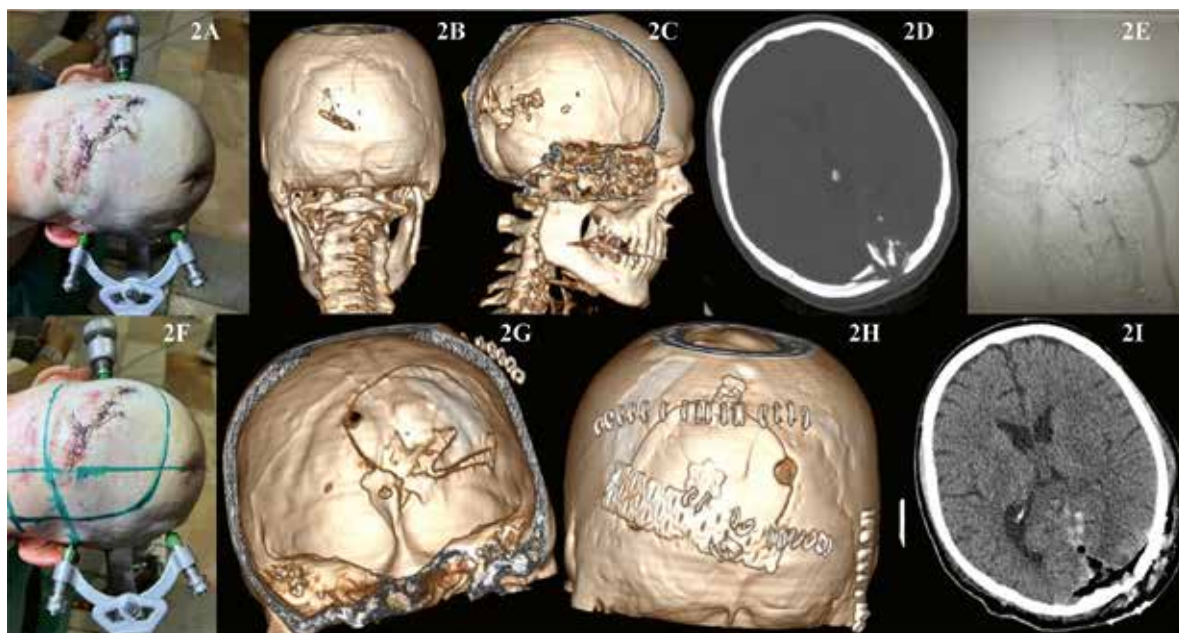
cent. Datortomografi av huvud och hals med granskning av hjärn- och benfönster samt 3D-rekonstruktion möjliggör en tydlig kartläggning av sårkanalen och de extra- och intrakraniella skadorna.

Vår erfarenhet pekar på vikten av att använda perikraniella lambåer med bibehållen vaskularisering vid denna typ av skador, av två skäl: dels för att förstärka duratätningen och säkerställa en vattentät försegling, dels för att täcka titannätsrekonstruktioner av skallen för att förhindra att nätet eroderar genom huden. Omedelbar kirurgi på både hjärna och bihålorna minskar infektionskomplikationer, och rekonstruktion med perikraniella lambåer sänker frekvensen av likvorläckage från 40 procent till 7 procent [9].

Efter februari 2022 ökade antalet skadade dramatiskt. Från februari 2022 till februari 2023 behandlades 141 pTBI som involverade bihålorna (en femtedel av alla behandlade pTBI under perioden). 134 (95 procent) orsakades av splitter, och 118 av dessa hade ett gynnsamt utfall (GOS 4–5). 2 av 3 patienter med pTBI hade andra icke-hjärnrelaterade skador. Medan 48 patienter hade likvorläckage, hade endast 1 patient kvarstående postoperativt likvorläckage. Omedelbar kirurgisk intervention och rekonstruktion visade goda tidiga resultat (Figur 1) och underlättade hantering av dessa skador [10, 11].

### Skada på durala venösa sinus

Penetrerande skada på durala venösa sinus är en sällsynt men allvarlig typ av pTBI. Det klassificeringssystem som beskrevs 1953 [12] har inte förändrats avsevärt, vilket visar att behandlingen av stridsrelaterade skador på venösa sinus har varit underutforskad i mer



**Figur 2.** Penetrerande kraniell skada med skada på vänster sinus transversus och sinuskonfluens. 2A. Lacerationer efter reparation i fält. 2B–C. Tredimensionell rekonstruktion av benskada. 2D. Axial projektion av kraniell DT. 2E. Digital subtraktionsangiografi för att bedöma sinus och omfattningen av trombos. 2F. Kirurgisk position och planerat snitt. 2G–H. Tredimensionell rekonstruktion av skallen som visar postoperativ rekonstruktion. 2I. Postoperativ axial projektion av kraniell DT.

samtida litteratur. Tidigare studier har oftast fokuserat på skador på enbart venösa sinus och har inte beaktat associerade skador på hjärnvävnad och deras betydelse för hanteringen av skador på venösa sinus.

Om allvarlig venös sinusskada misstänks utförs digital subtraktionsangiografi eller DT-angiografi före operation för att utvärdera sinusskada och venös anatomi (Figur 2). Om anastomotiska vener observeras är sinusligering mindre riskabel, annars föredras kirurgisk reparation. När venös sinusskada ses i kombination med dräneringshinder från trombos och ocklusion av sinus bör hanteringen av förhöjt intrakraniellt tryck vara mer aggressiv, detta eftersom förhöjt intrakraniellt tryck kan försämra det venösa avflödet ytterligare. Reparation (grafting) av venösa sinus vid samtidig hjärnparenkymkada måste utföras med försiktighet på grund av hög risk för blödningskomplikationer till följd av behov av tidig användning av antikoagulantia [8].

241 patienter med stridsrelaterad pTBI som lades in från maj 2014 till december 2017 analyserades avseende sinusskador. 22 (9 procent) hade skador på venösa sinus, varav 21 på sinus sagittalis superior och 1 på sinus rectus. Alla patienter genomgick kirurgi. Ligation av venöst sinus utfördes på 4 patienter. 5 patienter utvecklade meningit, och 3 patienter dog. Efter 6 månader återhämtade sig 5 patienter till GOS 5 (god återhämtning), 12 till GOS 4 (måttlig funktionsnedsättning) och 1 till GOS 3 (allvarlig funktionsnedsättning) [13].

### Bihemisfäriska penetrerande hjärnskador

Bihemisfäriska pTBI utgör några av de allvarligaste hjärnskadorna. Primära prediktorer för dåligt utfall inkluderar GCS-poäng 3 eller 4, pupilldilatation, arteriell hypotension och diabetes insipidus. Det är även viktigt att notera eventuell kul-/splitterbana genom den så

kallade zona fatalis, belägen cirka 4 cm ovanför dorsum sellae. Projektillpassage genom denna zon har nästan alltid dödlig utgång. En annan radiologisk prediktor är »tram-track«-tecknet, som beskriver en hypodens sårkanal omgiven av en hyperdens zon [14].

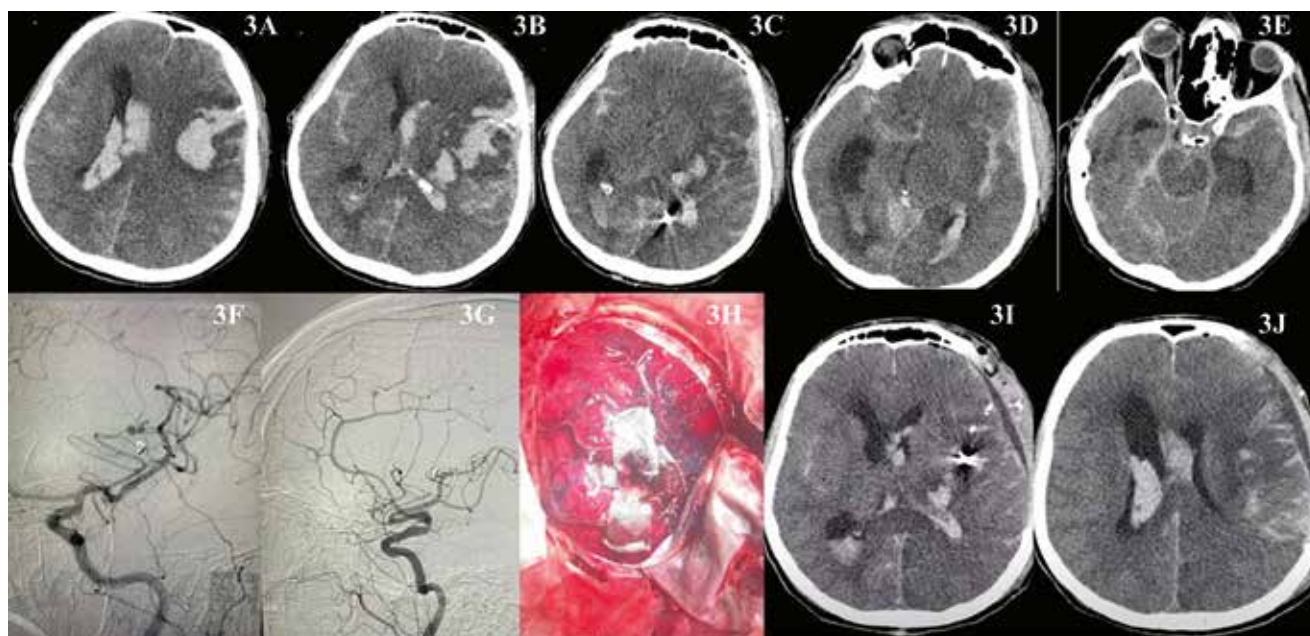
När dessa patienter behandlas konservativt varierar dödligheten mellan 64 och 100 procent. En mer aktiv kirurgisk strategi är associerad med förbättrat utfall vid bihemisfärisk pTBI [15].

Vi analyserade 14 patienter med bihemisfärisk pTBI från maj 2014 till december 2017 som genomgick någon form av avlastande operation. Patienternas ålder var i genomsnitt 32 (19–45) år. GCS-poängen vid inläggning var i genomsnitt 5 (3–12). 6 av dessa patienter avled, 3 hade relativt god återhämtning till GOS 4–5. Låg GOS-poäng (1–3) var starkt associerad med initial GCS-poäng 3, meningit och sårbara genom zona fatalis. Dessa data överensstämmer med tidigare rapporter om att aktiv kirurgisk intervention hos patienter med bihemisfärisk pTBI och GCS-poäng på  $\geq 5$  vid inläggning leder till bättre resultat än enbart konservativ behandling [16].

### Tidigt multimodalt omhändertagande

Traumatiska pseudoaneurysm är i grunden en defekt i artärväggen där extravaserat blod täcks av en ultratunn fibrinkupol, vilket innebär en mycket hög risk för blödning. Den publicerade incidensen av traumatiska pseudoaneurysm varierar från 5 till 42 procent. Detta breda spann beror främst på skillnader i inklusionskriterier i olika studier.

Litteraturanlys och erfarenhet under den första perioden av kriget (2014–2022) ledde till ett ändrat tillvägagångssätt för vasculära komplikationer vid pTBI. Efter initial DT av huvudet genomgår patienter nu digital subtraktionsangiografi om det är indicerat, och eventuella fynd som kräver endovaskulär interven-



**Figur 3.** Allvarliga penetrerande traumatiska hjärnskador. 3A–E. Betydande subaraknoidal, intraparenkymal och intraventrikulär blödning. Cerebrala angiogram som visar traumatiskt intrakraniellt aneurysm (3F) och framgångsrik endovaskulär behandling (3G) som första interventionssteg. Försörjande artär är bevarad. 3H. Andra interventionssteget – ensidig bred frontal-temporal-parietal dekompressiv kraniektomi för avlägsnande av hematom och duraplastik. 3I–J. Postoperativa axiala projektioner av kraniell DT.

tion behandlas i en första etapp [17]. Den andra etappen är öppen kirurgi för mer omfattande behandling av skadan (Figur 3).

Under en 2-årsperiod genomgick 1 310 patienter med huvud- och nackskador digital subtraktionsangiografi; 253 av dessa hade traumatiska kärlskador i huvud och nacke. 20 patienter hade drabbats av trauma-

lar behandling av pseudoaneurysm och arteriovenösa fistlar höjer säkerheten vid efterföljande öppen kirurgi, vilket gör detta till en säker och effektiv tidig behandlingsmetod vid denna form av skador.

Ett annat fokus har varit krigstida skador på arteria vertebralis. 30 av 279 skadade patienter som genomgick digital subtraktionsangiografi hade arteria vertebralis-skador [18]. När sådan skada misstänks är cerebral angiografi indicerad för både diagnos och behandling. Beslut om huruvida endovaskulär intervention ska utföras avgörs av skadans nivå och svårighetsgrad, svårighetsgraden hos samtidiga skador och förekomst av kollateral cirkulation.

## »Litteraturanalys och erfarenhet under den första perioden av kriget ... ledde till ett ändrat tillvägagångssätt för vaskulära komplikationer ...

tiska dissektioner av intrakraniella kärl tillsammans med traumatiska pseudoaneurysm eller arteriovenösa fistlar.

15 patienter hade traumatiskt betingade pseudoaneurysm, och 11 av dessa genomgick endovaskulär behandling. 1 patient genomgick öppen operation och 3 behandlades konservativt. 2 patienter hade traumatiskt betingade fistlar mellan carotis och sinus cavernosus och 3 patienter hade traumatiska durala arteriovenösa fistlar. GCS vid tidpunkten för utskrivning varierade från 8 till 15 (median 12). I gruppen inträffade 1 dödsfall på grund av vasospasm. GOS-poäng 1 månad efter skadan hos de andra 19 patienterna varierade från 2 till 5 (median 4).

Tidig digital subtraktionsangiografi kan fastställa förekomst, typ och lokalisering av skador på stora intrakraniella artärer och vener. Primär endovasku-

### Prediktorer för funktionellt utfall

Effektivare vapen och personlig skyddsutrustning har förändrat stridsskadornas karaktär. Få publikationer har analyserat prediktorer för utfall hos patienter med penetrerande traumatiska hjärnskador från samtida väpnade konflikter, särskilt inte där närliggande sjukhus erbjuder avancerad specialistvård.

Bland 184 patienter som drabbades av stridsrelaterad hjärnskada mellan maj 2014 och december 2017 hade 121 penetrerande traumatisk hjärnskada. Alla patienter var män, med en medelålder på 34 år. Genomsnittlig GCS-poäng vid inläggning var 10, och genomsnittlig poäng för skadornas svårighetsgrad enligt ISS (Injury severity score) var 28.

Dödligheten inom 1 månad var 21 procent, och intrakraniella infektioner diagnostiserades hos 12 procent av patienterna. Den vanligaste dödsorsaken (68 procent) var primär svår hjärnskada med diffus svullnad och hjärnstamsskada. Intrakraniella infektioner var den näst vanligaste dödsorsaken, följt av systemisk infektion eller lungemboli.

12 månader efter skadan hade 40 procent av patienterna en god återhämtning (GOS 5), och 25 pro-

cent hade en måttlig funktionsnedsättning (GOS 4) [1]. Ogynnsamt utfall sågs hos 35 procent av patienterna, varav 14 procent hade svår funktionsnedsättning (GOS 3) och 21 procent var avlidna (GOS 1). Inga patienter var i ett vegetativt tillstånd (GOS 2).

Prediktorer för död eller ogynnsamt funktionellt utfall 1 år efter skadan inkluderade låg GCS-poäng vid inläggning, pTBI, skada på durala venösa sinus, förekomst av intrakraniella hematoma, intraventrikulär eller subaraknoidal blödning åtföljd av medellinje-påverkan och förekomst av intrakraniella infektiösa komplikationer [1].

### Intrakraniella infektioner

Initial empirisk antibiotikabehandling med bredspektrumantibiotika rekommenderas. Specifik behandling sätts in baserat på odlings svar och resistensmönster. Prognostiska faktorer som korrelerade signifikant med risk för intrakraniell infektion var likvorläckage vid inläggning, intraventrikulär blödning, kvarvarande benfragment i såret och behov av särdränage i mer än 3 dagar. Patienter med intrakraniell infektion hade en dödlighet på 50 procent, och endast 14 procent av dessa patienter hade GOS 4-5 efter 1 år. Förekomst av intrakraniell infektion var signifikant associerat med död ( $P = 0,0091$ ) och låg GOS-poäng ( $P = 0,0001$ ) 1 år efter skadan [19].

I samma serie av 121 pTBI-patienter som ovan beskrivits diagnostiserades intrakraniell infektion hos 14, inklusive 8 patienter med isolerad meningoencefalit, 3 med meningoencefalit kombinerad med ventrikulit, 2 med meningoencefalit kombinerad med ventrikulit och subduralt empyem och 1 med multipla hjärnabscesser [20]. I de flesta fall var sådana infektioner nosokomiala. Med hjälp av WHO:s Aware-klassificering för antibiotika bedömdes att effekten av förstahandsantibiotika (»access») var låg och att bredspektrumantibiotika ofta behövdes, inklusive de som anses

## »Med tidig kirurgi och postoperativ intensivvård kan även de svårast skadade ... uppnå god återhämtning.«

vara andrahands- (»watch») och reserv- (»reserve») läkemedel.

### Slutsatser

Konceptet med tidig och omfattande kirurgisk intervention vid stridsrelaterad penetrerande traumatisk hjärnskada kan enligt vår bedömning förbättra behandlingsresultaten. Detta innefattar omedelbar neurointerventionell behandling av vaskulära skador följt av tidig kirurgisk behandling av hjärnskador och samtidig reparation av skador på skallbasen, bihålorna och durala venösa blodkärl. Liksom tidigare beskrivits finner vi behovet av en balanserad och måttfull borttagning av ben- och metallfragment från skadad hjärnvävnad vara av vikt för att undvika skador av alltför omfattande debridering. Användning av operationsmikroskop underlättar denna process. Perikraniella hudflikar med bevarad vaskularisering används i stor utsträckning för att förstärka vattentät slutning av dura mater och för att täcka titannät som används vid benrekonstruktion, vilket eliminerar risken för efterföljande erosion av titannät genom huden.

Vår erfarenhet visar att det är viktigt att undvika terapeutisk nihilism och för tidiga beslut om att vård av en specifik patient är meningslös. Med tidig kirurgi och postoperativ intensivvård kan även de svårast skadade patienterna uppnå god återhämtning. ○

● Potentiella bindningar eller jävsförhållanden: Inga uppgivna.

Citera som: *Läkartidningen*. 2025;122:24113

### REFERENSER

- Sirko A, Pilipenko G, Romanukha D, et al. Mortality and functional outcome predictors in combat-related penetrating brain injury treatment in a specialty civilian medical facility. *Mil Med*. 2020;185(5-6):e774-80.
- Hammon WM. Analysis of 2187 consecutive penetrating wounds of the brain from Vietnam. *J Neurosurg*. 1971;34(2 Pt 1):127-31.
- Raymont V, Salazar AM, Lipsky R, et al. Correlates of post-traumatic epilepsy 35 years following combat brain injury. *Neurology*. 2010;75(3):224-9.
- Brandvold B, Levi L, Feinsod M, et al. Penetrating craniocerebral injuries in the Israeli involvement in the Lebanese conflict, 1982-1985. Analysis of a less aggressive surgical approach. *J Neurosurg*. 1990;72(1):15-21.
- Amirjamshidi A, Abbassioun K, Rahmat H. Minimal debridement or simple wound closure as the only surgical treatment in war victims with low-velocity penetrating head injuries. Indications and management protocol based upon more than 8 years follow-up of 99 cases from Iran-Iraq conflict. *Surg Neurol*. 2003;60(2):105-10; discussion 110-1.
- Bell RS, Mossop CM, Dirks MS, et al. Early decompressive craniectomy for severe penetrating and closed head injury during wartime. *Neurosurg Focus*. 2010;28(5):E1.
- Larkin MB, Graves EKM, Boulter JH, et al. Two-year mortality and functional outcomes in combat-related penetrating brain injury: battlefield through rehabilitation. *Neurosurg Focus*. 2018;45(6):E4.
- Pilipenko G, Sirko A, Dzyak L, et al. Results of brain injury primary surgical treatment in a complex care for patients with combat-related penetrating craniocerebral gunshot wound at a specialized medical facility. *Georgian Med News*. 2020;(301):13-20.
- Sirko A, Pilipenko GS, Tonchiev MD. Surgical treatment of combat craniocerebral gunshot wounds combined with paranasal sinuses injury. *Bulletin of Problems in Biology and Medicine*. 2018;2(4):181.
- Sirko A, Berlin C, Tsang S, et al. Wartime penetrating traumatic brain injury of the anterior skull base involving the paranasal sinuses: a single-center, first-year experience from Dnipro, Ukraine. *J Neurosurg*. Epub 18 okt 2024. doi: 10.3171/2024.6.JNS24852.
- Sirko A, Valadka A, Armonda R, et al. Wartime penetrating skull base trauma with unpredictable internal fragment ricochet and migration: illustrative case. *J Neurosurg Case Lessons*. 2024;8(2):CASE24128.
- Meirowsky AM. Wounds of dural sinuses. *J Neurosurg*. 1953;10(5):496-514.
- Pylypenko HS, Sirko A, Botikov VV. Surgical management of battle gunshot injuries to the dural venous sinuses, combined with brain injury: an analysis of series of observations. *Zaporozhye Medical Journal*. 2020;22(1):54-9.
- Kim KA, Wang MY, McNatt SA, et al. Vector analysis correlating bullet trajectory to outcome after civilian through-and-through gunshot wound to the head: using imaging cues to predict fatal outcome. *Neurosurgery*. 2005;57(4):737-47; discussion 737-47.
- Sirko A, Kyrpa I, Yovenko I, et al. Successful surgical treatment of severe perforating diametric craniocerebral gunshot wound sustained during combat: a case report. *Mil Med*. 2019;184(9-10):e575-80.
- Pylypenko HS, Sirko A. Experience of surgical treatment of combat gunshot bihemispheric craniocerebral wounds in a specialized medical institution. *Modern Science (Moderni Věda)*. 2020;3:127-35.
- Sirko A, Kyrpa I, Lazorishinets V, et al. Successful surgical treatment of a patient with combined gunshot shrapnel injuries in the heart and brain complicated by middle cerebral artery pseudoaneurysm. *Trauma Case Rep*. 2018;18:17-23.
- Sirko A, Cherednychenko Y, Dowlati E, et al. Incidence and management of traumatic vertebral artery injuries: wartime experience in Ukraine. *J Neurosurg*. 2024;141(2):445-54.
- Sirko AG, Dzyak LA, Pylypenko GS, et al. Prognostic factors of intracranial purulent-septic complications of combat-related gunshot penetrating skull and brain wounds. *Medični Perspektivi*. 2019;24(3):58-66.
- Sirko A, Yovenko I, Zhyljuk V, et al. Antibacterial therapy for purulent-septic complications in patients with combat related penetrating craniocerebral gunshot wounds. *Georgian Med News*. 2019;(294):10-6.

## SUMMARY

### Neurosurgical management of combat-related penetrating traumatic brain injury – lessons from 10 years of war in Ukraine

Unlike in previous recent conflicts, the casualties in the Ukrainian war are close to advanced medical facilities. We review lessons learned by the neurosurgical service at Mechnikov Dnipropetrovsk Regional Clinical Hospital (MDRCH). Aggressive and early combined treatment of injuries to the brain, the skull and the skull base reduces complications and improves outcomes. Use of the operating microscope optimizes careful handling of tissue. Pericranial flaps that retain vascularized pedicles are extensively used. Initial CT scanning and catheter-based angiography is liberally used if injury to the cerebral vasculature is seen or suspected. Traumatic pseudoaneurysms and arteriovenous fistulae are immediately treated, followed by open craniotomy for hematoma evacuation and calvarial reconstruction. With early and aggressive surgery and postoperative critical care, even the most severely injured patients can expect good recoveries. Premature decisions to withhold or withdraw care should be avoided.