

Perifera nervskador orsakade av penetrerande projektiler

TIDIG DIAGNOSTIK OCH ADEKVAT BEHANDLING ÄR VIKTIGT

Vid nationella och internationella konflikter skadas personer av penetrerande projektiler från pistol och automatvapen eller från granateld (ballistiska skador), och ofta överlever de på grund av tillgänglig skyddsutrustning och en bra traumavård. Extremitetsskador kan vara svåra att handlägga [1-4]. Perifera nervskador utgör en diagnostisk utmaning och är svårbehandlade. Tidig diagnostik och behandling påverkar resultatet [5-7]. I svensk litteratur har handläggning av extremitetstrauma ofta fokuserat på skelettskador, medan perifera nervskador negligerats [8, 9]. Ballistiska och explosionsskadors mekanismer och skademönster har beskrivits med betoning på initial hantering av patientens alla skador och ett tidigt och logistiskt samarbete mellan olika specialiteter och kompetenser (exempelvis traumakirurgi, kärlkirurgi, ortopedi, perifer nervkirurgi, plastikkirurgi med flera) för bevarande av extremiteter med hänsyn också till eventuella sekundära rekonstruktioner [2]. Tidigt omhändertagande av kärlskador, vanliga i nedre extremiteter och letala inom bröst och buk, har nyligen poängterats [10]. För diagnostik och handläggning av skelett-, kärl-, muskel-, sen- och hudskador hänvisas i huvudsak till annan litteratur, men behandling av strukturer måste relateras till de perifera nervskadorna.

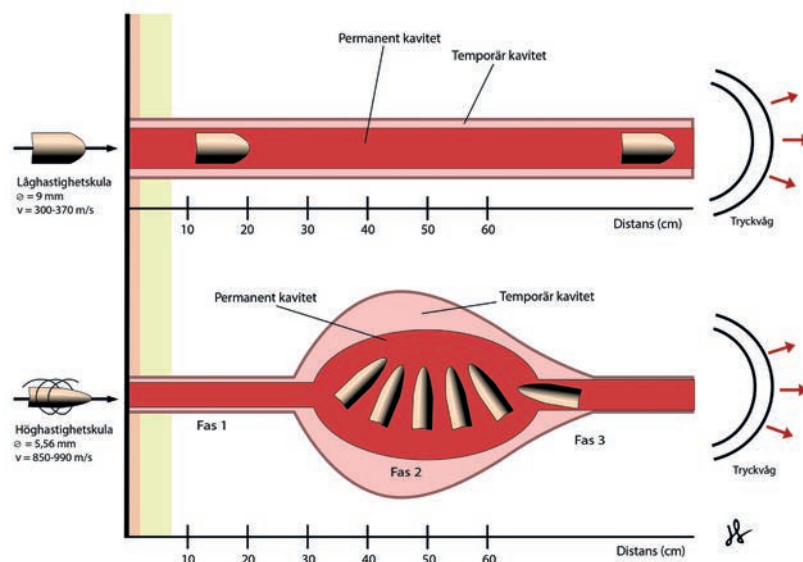
Perifera nervskador är vanliga vid extremitetstrauma, ofta hos unga män som följd av trafikolyckor eller konflikter [11-13], och multipla perifera nervskador är ofta kombinerade med frakturer, kärlskador och skalltrauma [14]. Perifera nervskador omfattar allt från lättare sträck-kontusionsskador med omgivande ärrbildning upp till direkta avslitnings- och krossskador (»crush injuries«), vilka ger varierande funk-

Lars B Dahlin, professor, överläkare, VO specialiserad kirurgi – handkirurgi, Skånes universitetssjukvård, Malmö; institutionen för translationell medicin – handkirurgi, Lunds universitet, Malmö; institutionen för biomedicinska och kliniska vetenskaper, Linköpings universitet
 ● lars.dahlin@med.lu.se

tionsbortfall och kräver olika behandlingsstrategier beroende på drabbad nervstam [5, 15-17]. Nervskadan ger morbiditet i form av sensorisk och motorisk funktionsförlust, ibland med smärtproblematik samt livslång påverkan på livskvaliteten [18, 19]. Perifera nervskador, särskilt vid högenergitrauma, medför svåra avvägningar beträffande diagnostik, indikation och tidpunkt för kirurgi samt typ av reparation eller rekonstruktion [5, 15], faktorer som är relaterade till patientens tillstånd och övriga vävnadsskador. Förståelsen av mekanismer vid vävnadsskada samt allmän handläggning av skadorna har förbättrats över tid [2-4, 15, 20]. Ballistiska skador orsakas av låg- eller höghastighetsvapen (definitionen baseras på projektilens utgångshastighet: låghastighetsvapen är pistoler, hagelgevär och vissa kulgevär, medan höghastighetsvapen är militära och vissa jaktvapen; se Figur 1). Ammunitionstypen inverkar också på skadeomfattningen, och värmeutvecklingen ska beaktas. Energiavgivningen är den viktigaste komponenten som påverkar nerv- och associerade vävnadsskadors omfattning [5, 9]. Behandlingsprinciperna vid penetrerande projektilskador är ofta baserade på publicerade studier från internationella (»militära«) kon-

HUVUDBUDSKAP

- Nervskador vid extremitetsskador av penetrerande projektiler vid lokala och internationella konflikter är viktiga att tidigt diagnostisera och behandla.
- Perifera nervstamsskador är svårbehandlade och resulterar ofta i permanent funktionsförlust, risk för smärtproblematik och livslångt nedsatt livskvalitet som avgörs av skadans omfattning.
- Tidig diagnostik och adekvat kirurgisk och farmakologisk behandling av nervskador kan förbättra patientens funktion och livskvalitet.
- Ett snabbt och kompetent multidisciplinärt omhändertagande av patientens alla skador, inklusive extremiteternas samtliga vävnader, är avgörande för prognosen vid penetrerande projektilskador.

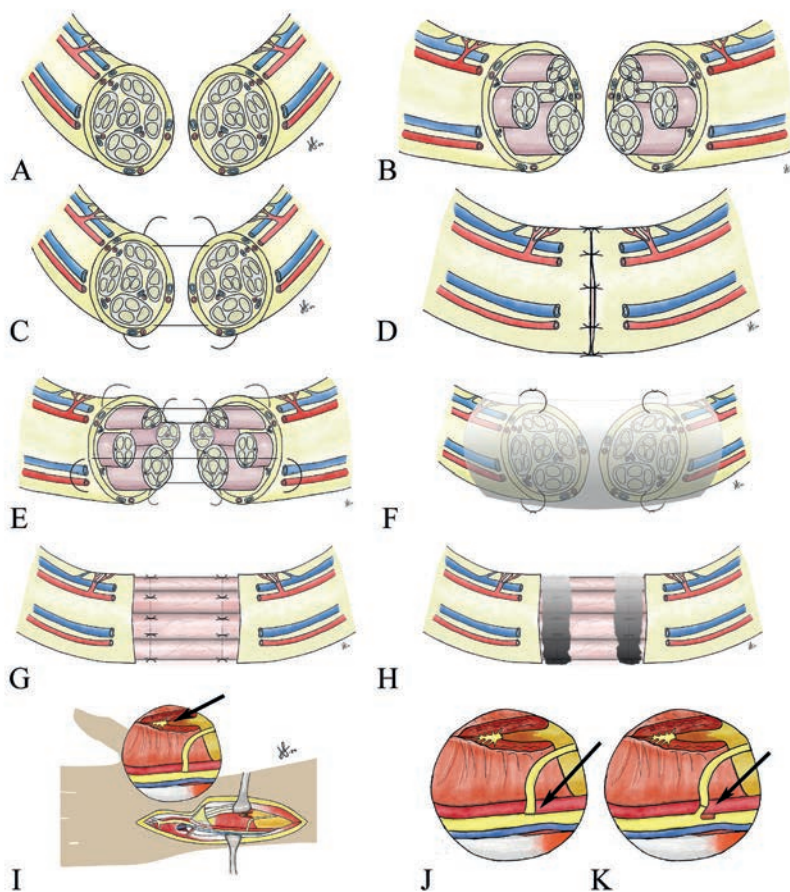


Figur 1. Schematisk bild av mekanismer för mjukdelsskada vid skottskada. Observera skillnaden i skottkanalen mellan icke deformeringe låghastighetskula och tumlande deformeringe höghastighetskula med dess tre faser. Mjukdelsskador påverkas av andra skeenden, som projektilens destabilisering av externt liggande material eller ben, deformation av kulan samt dess fragmentering. (Modifierad från [5], med tillstånd från Springer Nature). Illustration av Linnea Arvidsson.

flikter, där behandlingsalgoritmer utarbetade för »civila« skottskador inte alltid är applicerbara på grund av skillnader i vapentyp, skadeenergi, tid från skada till operation, tillgång till sjukvård och andra resurser etc, varför anpassningar krävs [21]. Patientomhändertagande enligt ABCDE-principer är viktigt, varvid perifera nervskador särskilt ska beaktas på grund av kvarstående funktionsförlust [6, 7]. Explosionsskador (»blast injuries«) diskuteras inte specifikt i föreliggande översikt, men likartade principer för omhändertagande och behandling gäller [2, 4].

Globalt perspektiv på extremitetsskador av projektiler

Sveriges Nato-inträde, uppbyggnad av ny sjukvårdsstruktur exempelvis inom Försvarmakten samt behandling av personer som skadats i konflikter eller krig i sina hemländer (exempelvis på Balkan, i Libyen eller i Syrien) ställer krav på kunskap om extremitetsskador orsakade av projektiler, särskilt nervskador, och deras skadepanorama [12, 16, 17, 19, 22-27]. Det kan handla om obehandlade perifera nervskador eller resttillstånd och utvecklade kontrakturer efter perifera nervskador. Dessa kan vara svårbehandlade på grund av den tid som förflutit efter skadan. Rekommendationer har också tagits fram i andra länder för att minska antalet civila skottskador [28]. Extremitetsskador kräver omfattande åtgärder med påverkan på och kostnader för hälso- och sjukvårdssystemen [29]. Kriget i Ukraina orsakar skador på stridande personal och civilpersoner, där perifera nervskador, ofta med längre defekter, föreligger vid cirka 1/3 av extremitetsskador, vanligen orsakade av granatsplitter som också ger andra vävnadsdefekter (Andrii Lysak,



Figur 2. Schematiska figurer av perifer nervskada med olika reparations- och rekonstruktionstekniker samt nervtransferering. En perifer nerv är väl vaskulariserad och består av buntar av nervfibrer organiserade i fasciklar (A och B). Nervskadan repareras med epineurala suturer utan tension (C och D) där vissa suturer sätts djupare i nervstammen (E). Nervtuber används för att överbrygga korta defekter (F), medan längre defekter kräver rekonstruktion med nervtransplantat som säkras med enstaka suturer (G) och fibrinklister (H). Nervtransfereringar kan göras på olika nivåer i övre och nedre extremiteten (I; exempelvis delning av n interosseus anterior [I; svart pil] till m pronator quadratus; transfereringen kopplas ända-till-sida [J; svart pil] eller ända-till-ända [K; svart pil; observera delningen av motorisk komponent] till motorisk komponent av ulnarisnerven i underarmen; så kallad »super-charge«). Illustrationer av Linnea Arvidsson.

»Energigivningen är den viktigaste komponenten som påverkar nerv- och associerade vävnadsskadors omfattning ...«

Department of microsurgery and reconstructive surgery of the upper extremity, Institute of Traumatology and Orthopaedics, Kiev, Ukraina, pers medd; 24 juni 2024).

Den känsliga perifera nerven

Perifera nerver är känsliga för trauma. De består av buntar av myeliniserade och omyeliniserade nervtrådar, det vill säga axon med omgivande Schwannceller samt andra celler och bindvävskomponenter (endoneurium). Varje bunt omges av en specifik skyddande bindvävsstruktur (perineurium), vilket ger en så kallad fascikelstruktur (Figur 2). Ett varierande antal fasciklar hålls ihop av lucker bindväv (epineurium). Bindvävskomponenterna varierar beroende på specifik nerv och anatomisk lokalisering [30]. Nerver är väl kärlförsörjda. De har en tunn hinna (mesoneurium) som underlättar glidning vid rörelser (s k »excursion«), vilket är betydelsefullt för symtomatologi vid

TABELL 1. Nervskadeklassifikation enligt Sunderland (I-V), modifierad MacKinnon (VI) och Seddon (neurapraxi, axonotmesis, neurotmesis) i relation till skada på myelinskikt, axon samt bindvävskomponenter

Nervskadeklassifikation	Myelinskada	Axonal skada	Endoneurial skada	Perineurial skada	Epineurial skada
I Neurapraxi	+ / -				
II Axonotmesis	+	+	-	-	-
III	+	+	+	-	-
IV Neurom i kontinuitet	+	+	+	+	-
V Neurotmesis	+	+	+	+	+
VI Kombinerad skada (I-V)	Kombination i varierande grad av I-V genom nervstam				

Modifierad från [31].

olika skador. Alla nervens komponenter kan påverkas vid nervskada. Äldre klassifikationer av skadans omfattning används fortfarande (Seddons och Sunderlands graderingar och modifiering enligt MacKinnon), bland annat beroende på nervens kontinuitetsavbrott (Tabell 1) [11, 31-34]. Om nerven är i kontinuitet krävs inte alltid kirurgisk åtgärd, medan det vid varierande substansförlust krävs nervreparation eller nervrekonstruktion för sensorisk och motorisk funktionsåterkomst [11] (Figur 2).

För funktionsåterkomst ska skadade nervtrådar växa från skadeområdet ned till målorgan, vilket är tidskrävande (utväxthastigheten hos människa cirka 1-2 mm/dag). Molekylära och cellulära processer är viktiga för optimal nervregeneration [30]. Den distala nervändans kvalitet, eventuellt applicerat nervtransplantat samt omgivande vävnad är viktiga för nervregeneration, utöver kirurgisk teknik [35]. Anatomiskt är vissa nerver mer utsatta för skador. I övre extremiteten ger ulnarisnerven ofta mer restsymtom efter en skada än medianusnerven. I nedre extremiteten är peroneusnerven mer utsatt för skada på grund av sitt utsatta läge, och den återbildas dessutom sämre jämfört med den skyddade tibialisnerven, vars regenerationsförmåga är bättre [25, 36-38].

Diagnostik av nervskada

Perifera nervskador diagnostiseras genom noggrann anamnes och klinisk undersökning (Fakta 1) [7]. Analysen är viktig inför en eventuell klinisk funktionsuppföljning över tid. Anamnesen är grundläggande, men är inte alltid genomförbar på grund av patientens tillstånd och modifieras baserat på tiden från skadan, exempelvis förekomst och gradering av smärtutveckling. Inspektion av afficerad extremitet och kartläggning av funktionen bortom skadeområdet (distalstatus) görs alltid [39]. Förekommande partiella nervskador, där endast vissa fasciklar/fascikelbuntar är skadade, värderas särskilt avseende sensoriskt och motoriskt funktionsbortfall [6, 7, 40]. Med hjälp av MRC-skalan graderas ett motoriskt funktionsbortfall för den specifika nerven (Fakta 1), varvid diagnostik av skadenivå och -omfattning sker. Diagnostik och värdering av funktionsåterkomst vid partiella skador är svår på grund av värderingen av skadeomfattning (exempelvis ofta förekommande Sunderland grad VI; Tabell 1) [6], och upprepad nervfunktionsundersökning krävs inför beslut om kirurgi (aktiv exspektans; Fakta 1). Kliniska undersökningsfynd avseende sensorisk och motorisk nervfunktion sätts i relation till möjligheter och värde av neurofysiologiska undersökningar och avbildningstekniker (Fakta 1) [6, 7, 41], vilka inte får försena eventuella, ibland omfattande, kirurgiska åtgärder (Figur 3).

Tidsaspekten av kirurgi

Varje individ med större nervstamsskada är unik och ska bedömas av enheter med specifik kompetens [7, 42]. Enligt en nationell överenskommelse om nivåstrukturerad repareras eller rekonstrueras alla nervskador i övre extremiteten, utom isolerade digitalnervskador, på handkirurgiska kliniker i Sverige [43]. Motsvarande överenskommelse finns inte för nedre extremitetsnervskador, men kontakt med handkirurgisk kompetens rekommenderas för dis-

FAKTA 1. Översikt av diagnostik av extremitetsnervskador av penetrerande projektiler

NOGGRANN ANAMNES

- Modifierad efter tiden från skadetillfället
- Konventionell anamnes med eventuella bakomliggande sjukdomar etc
- Vapentyp
- Typ av ammunition
- Subjektiv beskrivning av funktionsbortfall
- Förekomst, utveckling och gradering av smärta

INSPEKTION AV SKADAD EXTREMITET

- Inspektion av ingånga- och utgångsöppningar
- Hudens kondition?
- Cirkulationsstörning?
- Skelett- och ledsador? – undersökning av direkt och indirekt smärta samt stabilitet
- Afficerade nerver i projektilkanal?

UNDERSÖKNING AV DISTALSTATUS

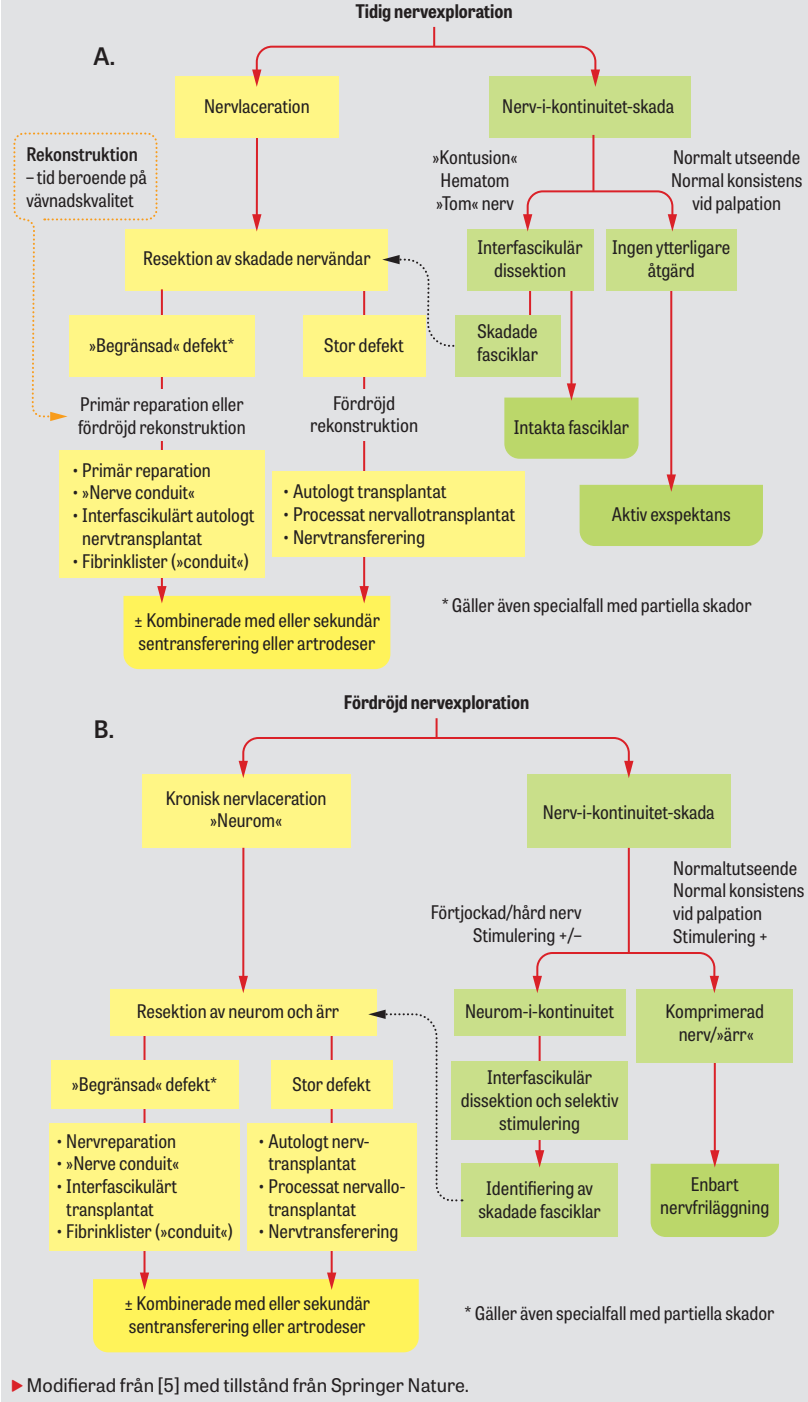
- Kartläggning av funktionen bortom skadeområdet: kärls, sensoriska/musklers och specifika nervers sensoriska och motoriska funktion
- Värdering av sensibilitet (exempelvis berörings- och smärtekänsl = Semmes-Weinsteins monofilament; smärta vid nyp med klopincett; eventuellt tvåpunktsdiskrimination [rekommenderas vid vissa tillfällen])
- Gradering av motorisk kraft mot motstånd i individuella muskler (Medical Research Council-skalan, MRC, grad 0-5: 0 = ingen muskelkontraktion; 1 = spår av kontraktion; 2 = aktiv rörelse med gravitation eliminerad; 3 = aktiv rörelse mot gravitationen; 4 = aktiv rörelse mot motstånd; 5 = normal muskelkraft)
- Tinels tecken (parestesier i nervens innervationsområde vid perkussion mot skadad perifer nerv)

ANDRA UNDERSÖKNINGAR MED FOKUS PÅ PERIFERA NERVER

- Neurografi (efter 7-10 dagar; differentiera konduktionsblock från axonal degenerering; alla nerver inte tillgängliga för undersökning)
- Nål-EMG-undersökning (exempelvis denervationsaktivitet; förändringar efter 3-5 veckor)
- Ultraljudsundersökning (kräver kompetens för fyndevaluering)
- Magnetkameraundersökning (eventuellt olämplig på grund av kvarvarande metallföremål i vävnaderna)

kussion av lämplig handläggning då principerna är likartade för nerver i nedre extremiteten. Tidsperspektivet för nervreparation/-rekonstruktion - »tjajning« - diskuteras fortfarande, exempelvis beträffande åtgärd i samband med debridering [44] eller i senare skede (varierande rekommendationstid: 1-12 veckor) [5, 42, 44], om huruvida skadeutbredning ska eller kan bestämmas akut eller om neurolys (det vill säga nervfriläggning) är aktuell [5, 6, 16, 17] (Figur 3). Eftersom målsättningen är att utnyttja nervens inneboende neurobiologiska regenerationsmekanismer [30, 35] är tidig reparation eller rekonstruktion - helst inom dagar eller ett par veckor - entydigt att föredra [6, 7] (Figur 3). Något specifikt »bäst före-datum« har inte tydligt definierats, då många faktorer påverkar (exempelvis duration av Schwanncellssvar, skadelokalisation, nervtyp, smärtförekomst som behandlingsindikation med mera). Tveksamheter kring nervrekonstruktion >18-24 månader efter skadan har framförts, vilket baserats på möjligheterna att reinnervera muskulatur [45]. Tidsperspektivet för kirurgi av nervskada måste

FIGUR 3. Förslag till algoritm för tidig (A) och fördröjd (B) exploration av perifer nerv, med åtföljande kirurgiska åtgärder, vid misstänkt skada av penetrerande projektil



FAKTA 2. Översikt av hantering av extremitetsnervskador av penetrerande projektiler – »krigs-kirurgiska principer«

ALLMÄNT – OMHÄNDERTAGANDE AV HELA PATIENTEN OCH EXTREMITETSSKADOR

- kontroll av blödning
- debridering (det vill säga avlägsnande av död, skadad eller infekterad vävnad)
- urspolning
- andra åtgärder, exempelvis fasciotomier
- behandling av skelett-, kärl-, hud- och nervskador
- initial förbandsläggning
- prevention och eventuell behandling av infektion
- omgående exploration, reparation och/eller rekonstruktion av strukturer som kräver snabb åtgärd

ANDRA SÄRSKILDA ÅTGÄRDER

- noggrann journalföring – dokumentation av aktiv övervakning vid nervskador
- tajmning av sekundär rekonstruktiv kirurgi
- kontrolloperation (»second look«)
- ytterligare excision och rekonstruktioner avseende frakturer med eller utan bendefekter och andra vävnadsskador, inklusive hudtäckning
- samtliga skadade vävnadsstrukturer:
 - excidera nekrotisk vävnad → uppskatta mjukdelsdefekter och undvika infektioner
 - kartläggning för hantering av skador på skelett, blodkärl, muskler, senor, hud och särskilt perifera nerver
- tillvarata amputerade extremitetsdelar (om ej revascularisera/replantera) → reservdel
- infektionsbehandling
- smärtbehandling – kort och långt perspektiv
- värdera eventuell neuromutveckling
- heterotopisk bennybildning
- hantering av psykologiska aspekter

»Tidsperspektivet för kirurgi av nervskada måste alltid relateras till specifik indikation för potentiell funktionsåterkomst eller möjlighet för smärtbehandling.«

alltid relateras till specifik indikation för potentiell funktionsåterkomst eller möjlighet för smärtbehandling. Peroperativ akut inspektion av nervskadan, med primär reparation eller rekonstruktion om vävnaden tillåter, är betydelsefull [6, 7, 35, 42]. Kontusionsskador med en nerv i kontinuitet, med eller utan neurom-i-kontinuitet, är svårbedömda och åtgärdas exempelvis efter pre- och/eller med intraoperativ elektrofysiologisk undersökning [42].

Behandling

Extremitetsskada – allmänna principer

Ballistiska extremitetsskador, särskilt nervskador, åtgärdas enligt krigskirurgiska principer. Ett stegvis tillvägagångssätt är hörnstenen i behandlingen, vilket inkluderar allmänna principer för omhändertagande av hela patienten och extremitetsskadorna med målsättning att tidigt reparera och rekonstruera vävnader [1-3] (Fakta 2). Strukturer som kräver snabb

FAKTA 3. Översikt av behandlingsprinciper för perifer nervskada

VID REVISION OCH AKUT ÅTGÄRD AV ÖVRIGA SKADOR

- frilägg samtidigt närliggande nervstammar – dokumentera noggrant deras utseende
- om reparation/rekonstruktion ej är genomförbar: märk nervändar med färgglad sutur i epineuriet
- excidera nekrotisk vävnad
- partiella skador svårvärderade (aktiv övervakning av funktionsåterkomst före beslut om kirurgi)

DEN PERIFERA NERVSADAN – MIKROKIRURGISK TENIK

- direkt nervreparation
- nervrekonstruktion:
 - autologt nervtransplantat
 - processat nervallotransplantat
 - nervtub (»nerve conduit«; korta nervdefekter, 1–3 cm)
- nervtransferering(ar)
- kombinationer

POSTOPERATIV REHABILITERING

- ortosanvändning
- träning av rörlighet och av reinnerverad muskulatur
- känselträning

»SEKUNDÄRA ÅTGÄRDER«

- ytterligare nervrekonstruktion och nervtransferering
- sentransferering
- artrodes

åtgärd ska om möjligt exploreras och repareras, eller rekonstrueras, omgående.

Noggrann journalföring, tajmning av sekundär rekonstruktiv kirurgi, kontrolloperation (»second look«), ytterligare excision och rekonstruktioner avseende frakturer, med eller utan bendefekter, och andra vävnadsskador, inklusive hudtäckning, är viktiga behandlingssteg [4]. Samtliga skadade vävnadsstrukturer behandlas optimalt genom att dels excidera nekrotisk vävnad, uppskatta mjukdelsdefekter och undvika infektioner, dels kartlägga omgående och framtida hantering av skador på skelett, blodkärl, muskler, sensor, hud och särskilt perifera nerver. Det är viktigt att tillvarata delar från amputerade extremiteter, om dessa inte går att revaskularisera eller replantera, eftersom reservdelar kan skördas från amputatet [4]. Infektionsbehandling är särskilt viktig, inte minst vid begränsad tillgång till »nervtransplantatkablar« för nervrekonstruktion, då en postoperativ infektion är förödande för slutresultatet efter nervkirurgi. Smärtproblematik, eventuell neuromutveckling och psykologiska aspekter på patientens hälsa beaktas tidigt, enligt principer utarbetade i Storbritannien – »the United Kingdom experience« [4].

Behandlingsprinciper vid perifer nervskada

Vid revision och akut åtgärd av övriga skador är det av värde att samtidigt frilägga närliggande nervstammar och noggrant dokumentera deras utseende, även om reparation eller rekonstruktion inte är genomför-

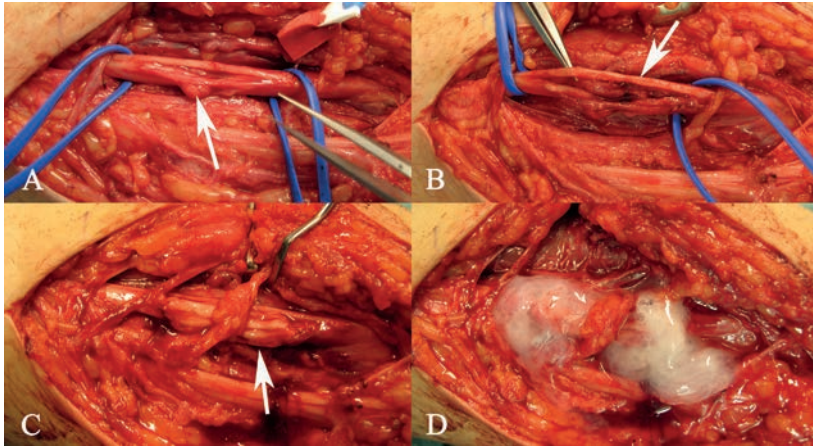
bar (märk nervändar med färgglad sutur i epineuriet) på grund av vävnadernas kondition och infektionsrisk [6, 7] (Fakta 3, Figur 3). Nekrotisk vävnad excideras för att undvika infektion, och kontrolloperation (»second look«) görs för att säkerställa att vävnaderna tål rekonstruktionsförfarande [2–4]. Ofta är det tydligt att kirurgisk exploration med reparation eller rekonstruktion av nervskadan är nödvändig, men vid nervkontinuitet krävs inte alltid kirurgisk åtgärd. I vissa situationer kan enbart neurolys av en i ärr fångad nerv (»scarred/tethered nerve«) vara tillräcklig [46].

Partiella skador är svårvärderade och kräver frekvent uppföljning inför beslut om kirurgi (aktiv övervakning av funktionsåterkomst) [7, 35] (Fakta 1). Vid varierande substansförlust krävs kirurgi i form av nervreparation eller nervrekonstruktion [11] (Figur 2). Olika möjligheter finns att reparera och rekonstruera nervskadan beroende på nervdefektens längd. Åtgärderna kan kombineras med sentransfereringar och/eller artrodeser tidigt, alternativt i ett senare skede, för att förbättra funktion (se »behandlingssteg« [39], Fakta 3).

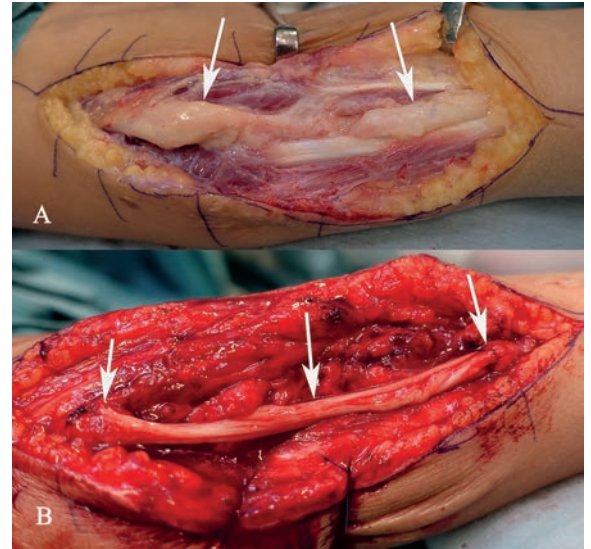
Mikrokirurgisk teknik är viktig vid reparation, rekonstruktion och transferering av nerver med noggrann analys och resektion av ärrvävnad i skadade nervändar [35, 47] (Fakta 3) för optimal nervregeneration och funktionsåterkomst (Andrii Lysak, Depart-

»Det är viktigt att tillvarata delar från amputerade extremiteter, om dessa inte går att revaskularisera eller replantera, eftersom reservdelar kan skördas från amputatet ...«

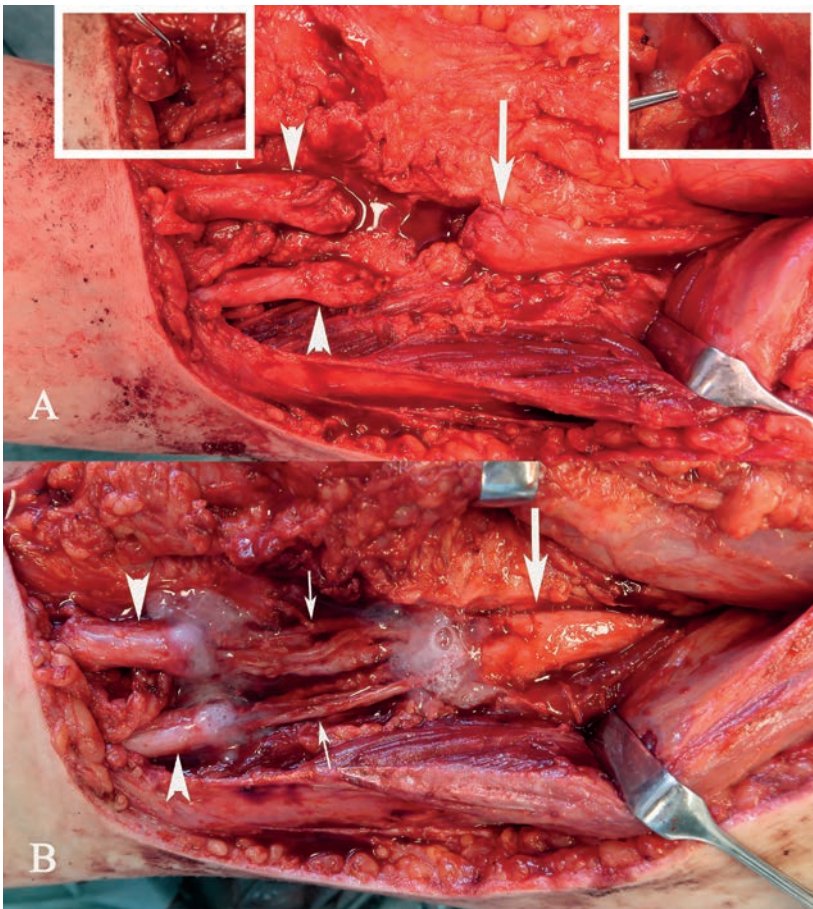
ment of microsurgery and reconstructive surgery of the upper extremity, Institute of Traumatology and Orthopaedics, Kiev, Ukraina, pers medd; 24 juni 2024). Nervskador åtgärdas genom direkt nervreparation, nervrekonstruktion med autologt nervtransplantat, processat nervallotransplantat eller nervtuber (så kallade »nerve conduits«; endast vid korta defekter, eventuellt upp till 30 mm) [48, 49], och/eller olika nervtransfereringar (det vill säga att annan nerv med exempelvis redundant styrka offras och kopplas ända-till-ända eller ända-till-sida till skadad nerv med avsaknad av eller prioriterad funktion) [5, 11, 39] (Fakta 3, Figur 2 och Figur 4–6). Vid nervrekonstruktioner används lämpligen autologt nervtransplantat (suralis-transplantat eller terminal gren av n interosseus posterior), men rekonstruktion med processat nervallotransplantat [50–52] och nervtransfereringar [53, 54] används oftare internationellt. Konventionell rekonstruktion med autologt nervtransplantat, där det finns lång erfarenhet [55], eventuellt kombinerad med nervtransferering, är att rekommendera. Enbart nervtransferering är också ett annat alternativ. Skandinaviska erfarenheter av processat nervallotransplantat



Figur 4. Skottskada (lågastighetsvapen) i överarm med fascikelinnehåll utdraget ur medianusnerven (A, pil), med en fascikelbunt intakt (B, pil; intraoperativ neurofysiologi värdefull vid partiella skador), där övriga skadade fasciklar exciderats och nervrekonstruerats med suralisnervkablar (C; pil markerar distala delen av suralisgraften; en fettimbiberad kutan nervgren korsar kablarna från suralisnervtransplantat). Enskilda suralisnervkablar adapteras med 9-0 Ethilonsuturer (synliga till höger om pilen i C) och säkras slutligen med applicering av fibrinklister runt nervtransplantatområdet (två grå partier i D).



Figur 5. Ulnarisnervskada i underarm orsakad av granatskärva mer än ett år tidigare, vilket medfört stort proximalt neurom (A, pil till vänster) och ärrig distal nervände (A, pil till höger). Efter neuromresektion och ärrig distal nervände rekonstruerades nervdefekten (B) med suralisnervkablar (vänster och höger pil visar adaptationen mot proximalt respektive distal nervände med enstaka 9-0 Ethilonsuturer). Adaptationsområdena säkras med fibrinklister (se Figur 4 och 6).



Figur 6. Ischiasnervskada på distal lårnivå vid nervrekonstruktion några månader efter skottskada (lågastighetsvapen). Det proximala ischiasneuromet är markerat med lång pil (A) och de ärriga distala nervändarna av tibialisnerven (övre) och peroneusnerven (nedre) är markerat med pilhuvud. Infällt i två rutor finns tvärsnittsytan av proximala ischiasnerven (höger) och distala tibialisnerven (vänster), som visar tydlig fascikelstruktur efter excision av neurom respektive ärr inför nervrekonstruktion. I B är suralisnervkablarna markerade med tunn vit pil, och gråa strukturer är fibrinklister som applicerats för att säkra adaptationen.

är begränsade, och dess generella användning har också delvis ifrågasatts internationellt [52, 56-58].

Nervändarna vid reparation, rekonstruktion eller transfereringar adapteras med försiktighet, utan

»Konventionell rekonstruktion med autologt nervtransplantat, där det finns lång erfarenhet [55], samt eventuellt kombinerad, alternativt enbart, med nervtransfereringar är att rekommendera.«

tension, och säkras med suturer (vanligen 8-0 eller 9-0 Ethilon) samt kompletteras med applikation av fibrinklister, alternativt med »nerve wraps« [48] (Figur 2 och Figur 4-6). Vid nervtransferering ända-till-ända sker kopplingen direkt från transfererad nerv till skadad nerv, varvid reinnervation proximalt från den skadade nerven utsluts och sker enbart från »donatornerven« [59]. Vid ända-till-sida-konceptet kopplas donatornervens proximala ända via ett lämpligt anlagt »fönster« till sidan av den skadade nerven, som bibehålls intakt, varvid målorganet reinnoveras av såväl ursprunglig nerv som donatornerv (så kallad »supercharge«). Alternativet är att den skadade ner-

vens distala ände kopplas mot intakt donatornerv via anlagt fönster och nervtrådar växer ut via kollateral »sprouting« [59-62]. Situationen är särpräglad vid omfattande konflikter, då brist på suturmaterial och fibrinklister kan uppstå. Intraoperativ neurofysiologisk utvärdering av nervskadan är värdefull för att be-

»Helt avgörande för slutresultatet av all nervkirurgi är effektiv rehabilitering som initieras tidigt, är integrerad och kraftfull samt sker i gott samarbete med kirurgen.«

vara oskadade nervfasciklar [63].

Immobilisering bibehålls under 3-6 veckor beroende på drabbad nerv och kirurgisk åtgärd. Direktsuturering av ischiasnervdefekter med 90 graders flekterad knäled under 6 veckor och successiv mobilisering har rekommenderats, och är ett alternativ även för begränsade övre extremitetsdefekter i konfliktsituationer, baserat på erfarenhet från bland annat Gaza [64], men få skador är aktuella för åtgärden. Postoperativ rehabilitering är avgörande för slutresultatet (Fakta 3). »Sekundära åtgärder«, som sentransfereringar och artrodeser, genomförs primärt eller i ett senare skede beroende på nervskada och övriga skador (Fakta 3).

Resultat av nervkirurgi

Målsättningen med perifer nervkirurgi är reinnervation av målorganen för att återställa motorisk och sensorisk funktion, vilket inte är fullt möjligt hos en vuxen individ. En viktig indikation är att minska eller eliminera eventuell neuropatisk eller nociplastisk smärta med risk för utveckling av komplext regionalt smärtsyndrom (CRPS) [7, 37, 65]. Slutresultatet av kirurgisk och farmakologisk behandling vid övre och nedre extremitetsnervskador uppkomna vid krigföring

är varierande [16, 17] och påverkas av många faktorer, exempelvis skadeomfattning samt möjligheter till reparation eller rekonstruktion [11, 19, 30, 35, 39]. Då nerven sitter fast i ärr, med eller utan neurom-i-kontinuitet, krävs enbart neurolysis, vilket vanligen resulterar i god funktionsåterkomst då nervskadan inte är omfattande. Vid kirurgiskrävande kontinuitetsavbrott är funktionsåterkomsten begränsad, men all funktionsåterkomst är betydelsefull! Smärta och neuropatisk smärta kan försvinna eller kraftigt minskas av kirurgi och/eller farmakologisk behandling [19]. Funktionsåterkomsten är bättre efter skottskador än efter granatskador; särskilt neuropatisk smärta är mindre omfattande efter skottskador [18]. Nervtransplantatrekonstruktion är effektiv vid granatindegrad neuropatisk smärta, särskilt tidigt efter skadan (2 månader) [18]. Vid ulnarisnervskador används oftare distala nervtransfereringar [66, 67] för att återställa funktion i handens småmuskler (så kallade »intrinsic« muskler; tajmning av kirurgi och nervdefektlängd är avgörande) [25]. Funktionsåterkomst i nedre extremiteten är viktig, dels för att återfå känsel i fotsulan (god hos mer än hälften av patienterna) [19], dels för att återställa optimal funktion i gastrocnemiusmuskeln, och därmed gångförmåga, genom att tibialisnerven har bättre regenerationsförmåga än peroneusnerven, vars dysfunktion kompenseras genom ortos eller sentransferering [36, 68, 69]. Helt avgörande för slutresultatet av all nervkirurgi är effektiv rehabilitering som initieras tidigt, är integrerad och kraftfull samt sker i gott samarbete med kirurgen. ○

- Potentiella bindningar eller jävsförhållanden: Inga uppgivna.
- Forskningsassistent Tina Folker har bidragit med administrativ hjälp och Linnea Arvidsson med schematiska bilder.

Citera som: *Läkartidningen*. 2025;122:24076

Läs mer!

Fullständig referenslista och engelsk sammanfattning på [Läkartidningen.se](https://www.lakartidningen.se)

REFERENSER

- Daraboš N, Cesarec M, Grgurović D, et al. Shotgun injury to the arm: a staged protocol for upper limb salvage. *Mil Med*. 2010;175(3):206-11.
- Brown KV, Roberts DC, Wordsworth M, et al. Management of conflict injuries to the upper limb. Part 1: assessment and early surgical care. *J Hand Surg Eur Vol*. 2022;47(7):687-97.
- Penn-Barwell JG, Brown KV, Fries CA. High velocity gunshot injuries to the extremities: management on and off the battlefield. *Curr Rev Musculoskelet Med*. 2015;8(3):312-7.
- Roberts DC, Jose RM, Duraku LS, et al. Management of conflict injuries to the upper limb. Part 2: reconstruction and managing complications. *J Hand Surg Eur Vol*. 2022;47(8):787-97.
- Mathieu L, Gonçalves M, Murison JC, et al. Ballistic peripheral nerve injuries: basic concepts, controversies, and proposal for a management strategy. *Eur J Trauma Emerg Surg*. 2022;48:3529-39.
- Wolf GJ, Chen K, Strelzow JA, et al. Upper extremity ballistic nerve injury: a scoping review and algorithm for management. *JBJS Rev*. 2024;12(8).
- Pereira CT, Hill EE, Stasyuk A, et al. Molecular basis of surgical coaptation techniques in peripheral nerve injuries. *J Clin Med*. 2023;12(4):1555.
- Omer GE Jr. Injuries to nerves of the upper extremity. *J Bone Joint Surg Am*. 1974;56(8):1615-24.
- Rochkind S, Strauss I, Shlitner Z, et al. Clinical aspects of ballistic peripheral nerve injury: shrapnel versus gunshot. *Acta Neurochir (Wien)*. 2014;156(8):1567-75.
- Birch R, Misra P, Stewart MPM, et al. Nerve injuries sustained during warfare: part I: Incidence, treatment characteristics, and factors associated with healthcare utilization. *Hand (N Y)*. 2023;18(1):158-66.
- Dahlin LB. The dynamics of nerve degeneration and regeneration in a healthy milieu and in diabetes. *Int J Mol Sci*. 2023;24(20):15241.
- Dahlin LB, Wiberg M. Nerve injuries of the upper extremity and hand. *EFORT Open Rev*. 2017;2(5):158-70.
- Kline DG. Physiological and clinical factors contributing to the timing of nerve repair. *Clin Neurosurg*. 1977;24:425-55.
- Svensk handkirurgisk förening. Nivåstrukturerad handkirurgi - Ortopedi. 28 aug 2022. <https://slf.se/svensk-handkirurgisk-forening/app/uploads/2022/11/Niva%CC%8Astrukturerad20221024.pdf>
- Lysak A, Farneso S, Geuna S, et al. Muscle preservation in proximal nerve injuries: a current update. *J Hand Surg Eur Vol*. 2024;49(6):773-82.
- Rochkind S, Filmar G, Kluger Y, et al. Microsurgical management of penetrating peripheral nerve injuries: pre-, intra- and postoperative analysis and results. *Acta Neurochir Suppl*. 2007;100:21-4.
- Singh VK, Haq A, Tiwari M, et al. Approach to management of nerve gaps in peripheral nerve injuries. *Injury*. 2022;53(4):1308-18.
- Jones PE, Meyer RM, Faillace WJ, et al. Combat injury of the sciatic nerve - an institutional experience. *Mil Med*. 2018;183(9-10):e434-41.

REFERENSER

- Daraboš N, Cesarec M, Grgurović D, et al. Shotgun injury to the arm: a staged protocol for upper limb salvage. *Mil Med.* 2010;175(3):206-11.
- Brown KV, Roberts DC, Wordsworth M, et al. Management of conflict injuries to the upper limb. Part 1: assessment and early surgical care. *J Hand Surg Eur Vol.* 2022;47(7):687-97.
- Penn-Barwell JG, Brown KV, Fries CA. High velocity gunshot injuries to the extremities: management on and off the battlefield. *Curr Rev Musculoskelet Med.* 2015;8(3):312-7.
- Roberts DC, Jose RM, Duraku LS, et al. Management of conflict injuries to the upper limb. Part 2: reconstruction and managing complications. *J Hand Surg Eur Vol.* 2022;47(8):787-97.
- Mathieu L, Gonçalves M, Murison JC, et al. Ballistic peripheral nerve injuries: basic concepts, controversies, and proposal for a management strategy. *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2022;48:3529-39.
- Stepan JG. Ballistic nerve injuries: state of the evidence and approach to the patient based on experience. *J Hand Surg Glob Online.* 2024;6(5):743-8.
- Wolf GJ, Chen K, Strelzow JA, et al. Upper extremity ballistic nerve injury: a scoping review and algorithm for management. *JBJS Rev.* 2024;12(8).
- Sandersjö G, Sansone M, Karlsson J (redaktör). *Traumaortopedi.* Lund: Studentlitteratur; 2023.
- Stern N, Jansson KÅ. ABC om Civila skottskador i extremiteter och kotpelare. *Läkartidningen.* 2013;109:358-62.
- Nyberger K, Caragounis EC, Djerf P, et al. Management and outcomes of firearm-related vascular injuries. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med.* 2023;31(1):35.
- Pereira CT, Hill EE, Stasyuk A, et al. Molecular basis of surgical coaptation techniques in peripheral nerve injuries. *J Clin Med.* 2023;12(4):1555.
- Aman M, Zimmermann KS, Thielen M, et al. An epidemiological and etiological analysis of 5026 peripheral nerve lesions from a European level I trauma center. *J Pers Med.* 2022;12(10):1673.
- Frostadottir D, Perez R, Dahlin LB. Socio-economic factors and outcome after repair and reconstruction of digital and major nerve trunk injuries in the upper limb. *Sci Rep.* 2024;14(1):7242.
- Dunn JC, Eckhoff MD, Nicholson TC, et al. Combat-sustained peripheral nerve injuries in the United States military. *J Hand Surg Am.* 2021;46(2):148.e1-8.
- Hollerman JJ, Fackler ML, Coldwell DM, et al. Gunshot wounds: 1. Bullets, ballistics, and mechanisms of injury. *AJR Am J Roentgenol.* 1990;155(4):685-90.
- Omer GE Jr. Injuries to nerves of the upper extremity. *J Bone Joint Surg Am.* 1974;56(8):1615-24.
- Omer GE Jr. Results of untreated peripheral nerve injuries. *Clin Orthop Relat Res.* 1982;163:15-9.
- Rochkind S, Strauss I, Shlitner Z, et al. Clinical aspects of ballistic peripheral nerve injury: shrapnel versus gunshot. *Acta Neurochir (Wien).* 2014;156(8):1567-75.
- Birch R, Misra P, Stewart MPM, et al. Nerve injuries sustained during warfare: part II: Outcomes. *J Bone Joint Surg Br.* 2012;94(4):529-35.
- Hollerman JJ, Fackler ML, Coldwell DM, et al. Gunshot wounds: 2. Radiology. *AJR Am J Roentgenol.* 1990;155(4):691-702.
- Wolf JM, Mathieu L, Tintle S, et al. A global perspective on gun violence injuries. *Injury.* 2023;54(7):110763.
- Birch R, Misra P, Stewart MPM, et al. Nerve injuries sustained during warfare: part I - Epidemiology. *J Bone Joint Surg Br.* 2012;94(4):523-8.
- Straszewski AJ, Schultz K, Dickherber JL, et al. Gunshot-related upper extremity nerve injuries at a level 1 trauma center. *J Hand Surg Am.* 2022;47(1):88.e1-6.
- Rasulic L, Puzovic V, Rotim K, et al. The epidemiology of forearm nerve injuries - a retrospective study. *Acta Clin Croat.* 2015;54(1):19-24.
- Seçer Hİ, Daneyemez M, Gönül E, et al. Surgical repair of ulnar nerve lesions caused by gunshot and shrapnel: results in 407 lesions. *J Neurosurg.* 2007;107(4):776-83.
- Harrington CJ, Dear-den ME, McGlone P, et al. The scope and distribution of upper extremity nerve injuries associated with combat-related extremity limb salvage. *J Hand Surg Am.* Epub 12 jan 2024. doi:10.1016/j.jhsa.2023.09.008.
- Pew Research Center; Gramlich J. What the data says about gun deaths in the US. 16 aug 2019 [uppdaterat 26 apr 2023]. <https://www.pewresearch.org/short-reads/2023/04/26/what-the-data-says-about-gun-deaths-in-the-u-s/>
- Talley CL, Campbell BT, Jenkins DH, et al. Recommendations from the American College of Surgeons Committee on Trauma's Firearm Strategy Team (FAST) Workgroup: Chicago Consensus 1. *J Am Coll Surg.* 2019;228(2):198-206.
- Anantavorasakul N, Westenberg RF, Serebrakian AT, et al. Gunshot injuries of the hand: incidence, treatment characteristics, and factors associated with healthcare utilization. *Hand (N Y).* 2023;18(1):158-66.
- Dahlin LB. The dynamics of nerve degeneration and regeneration in a healthy milieu and in diabetes. *Int J Mol Sci.* 2023;24(20):15241.
- Chhabra A, Ahlawat S, Belzberg A, et al. Peripheral nerve injury grading simplified on MR neurography: as referenced to Seddon and Sunderland classifications. *Indian J Radiol Imaging.* 2014;24(3):217-24.
- Seddon HJ. Three types of nerve injury. *Brain.* 1943;66:237-88.
- Mackinnon SE. New directions in peripheral nerve surgery. *Ann Plast Surg.* 1989;22(3):257-73.
- Sunderland S. The anatomy and physiology of nerve injury. *Muscle Nerve.* 1990;13(9):771-84.
- Dahlin LB, Wiberg M. Nerve injuries of the upper extremity and hand. *EFORT Open Rev.* 2017;2(5):158-70.
- Kim DH, Kline DG. Management and results of peroneal nerve lesions. *Neurosurgery.* 1996;39(2):312-9; discussion 319-20.
- Henriques VM, Torrao FJL, Rosa LAN, et al. Surgery as an effective therapy for ulnar nerve neuropathic pain caused by gunshot wounds: a retrospective case series. *World Neurosurg.* 2023;173:e207-17.
- Mackay MJ, Ayres JM, Harmon IP, et al. Traumatic peroneal nerve injuries: a systematic review. *JBJS Rev.* 2022;10(1).
- Raut S, Johnson R. Acute nerve injuries in the hand: common patterns and treatment strategies. *Orthop Trauma.* 2023;37(2):111-7.
- John J. Grading of muscle power: comparison of MRC and analogue scales by physiotherapists. *Medical Research Council. Int J Rehabil Res.* 1984;7(2):173-81.
- Shields LBE, Iyer VG, Zhang YP, et al. Gunshot-related nerve injuries of the upper extremities: clinical, electromyographic, and ultrasound features in 22 patients. *Front Neurol.* 2023;14:1333763.
- Kline DG. Physiological and clinical factors contributing to the timing of nerve repair. *Clin Neurosurg.* 1977;24:425-55.
- Svensk handkirurgisk förening. Nivåstrukturerad handkirurgi - Örtopedi. 28 aug 2022. <https://slf.se/svensk-handkirurgisk-forening/Niva-strukturerad-handkirurgi-ortopedi.28aug2022>
- White JC. Timing of nerve suture after a gunshot wound. *Surgery.* 1960;48:946-51.
- Lysak A, Farneso S, Geuna S, et al. Muscle preservation in proximal nerve injuries: a current update. *J Hand Surg Eur Vol.* 2024;49(6):773-82.
- Elliot D, Sierakowski A. The surgical management of painful nerves of the upper limb: a unit perspective. *J Hand Surg Eur Vol.* 2011;36(9):760-70.
- Rochkind S, Filmar G, Kluger Y, et al. Microsurgical management of penetrating peripheral nerve injuries: pre-, intra- and postoperative analysis and results. *Acta Neurochir Suppl.* 2007;100:21-4.
- Wong GC, Chung KC. Bioengineered nerve conduits and wraps. *Hand Clin.* 2024;40(3):379-87.
- McMorrow LA, Czarnecki P, Reid AJ, et al. Current perspectives on peripheral nerve repair and management of the nerve gap. *J Hand Surg Eur Vol.* 2024;49(6):698-711.
- Shah HR, Bertelli JA. Long-term donor-site morbidity following entire sural nerve harvest for grafting. *J Hand Surg Am.* 2023;48(11):1173.e1-7.
- Hallgren A, Björkman A, Chemnitz A, et al. Subjective outcome related to donor site morbidity after sural nerve graft harvesting: a survey in 41 patients. *BMC Surg.* 2013;13:39.
- Frostadottir D, Chemnitz A, Johannson OT LJ, et al. Evaluation of processed nerve allograft in peripheral nerve surgery: a systematic review and critical appraisal. *Plast Reconstr Surg Glob Open.* 2023;11(6):e5088.
- Singh VK, Haq A, Tiwari M, et al. Approach to management of nerve gaps in peripheral nerve injuries. *Injury.* 2022;53(4):1308-18.
- Bertelli JA, Tuffaha S, Sporer M, et al. Distal nerve transfers for peripheral nerve injuries: indications and outcomes. *J Hand Surg Eur Vol.* 2024;49(6):721-33.
- Millesi H, Meissl G, Berger A. The interfascicular nerve grafting of the median and ulnar nerve. *J Bone Joint Surg Am.* 1972;54(4):727-50.
- Nietosvaara Y, Grahm P, Sommarthem A. Failed peripheral nerve reconstruction with processed nerve allografts in three patients. *J Hand Surg Eur Vol.* 2019;44(3):318-20.
- Leckenby JJ, Furrer C, Haug L, et al. A retrospective case series reporting the outcomes of advance nerve allografts in the treatment of peripheral nerve injuries. *Plast Reconstr Surg.* 2020;145(2):368-81e.
- Thomson C, Schneider JM, Pohl U, et al. Failed acellular nerve allografts: a critical review. *Ann Plast Surg.* 2022;89(1):63-71.
- Beris A, Gkiatas I, Gelalis I, et al. Current concepts in peripheral nerve surgery. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2019;29(2):263-9.
- George SC, Burahee AS, Sanders AD, et al. Outcomes of anterior interosseous nerve transfer to restore intrinsic muscle function after high ulnar nerve injury. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2022;75(2):703-10.
- Bontioti E, Kanje M, Lundborg G, et al. End-to-side nerve repair in the upper extremity of rat. *J Peripher Nerv Syst.* 2005;10(1):58-68.
- Bontioti E, Dahlin LB. Chapter 12: Mechanisms underlying the end-to-side nerve regeneration. *Int Rev Neurobiol.* 2009;87:251-68.
- Temiz Ç, Yaşar S, Kırık A. Surgical treatment of peripheral nerve injuries: better outcomes with intraoperative NAP recordings. *Ulus Travma Acil Cerrahi Derg.* 2021;27(5):510-5.
- Oberlin C, Rantissi M. Gunshot injuries to the nerves. *Chir Main.* 2011;30(3):176-82.
- Ferraro MC, O'Connell NE, Sommer C, et al. Complex regional pain syndrome: advances in epidemiology, pathophysiology, diagnosis, and treatment. *Lancet Neurol.* 2024;23(5):522-33.
- Evans A, Padovano WM, Patterson JMM, et al. Beyond the cubital tunnel: use of adjunctive procedures in the management of cubital tunnel syndrome. *Hand (N Y).* 2023;18(2):203-13.
- Gontre G, Polmear M, Carter JT, et al. Primary repair versus reverse end-to-side coaptation by anterior interosseous nerve transfer in proximal ulnar nerve injuries. *Plast Reconstr Surg.* 2023;152(2):384-93.
- Jones PE, Meyer RM, Faillace WJ, et al. Combat injury of the sciatic nerve - an institutional experience. *Mil Med.* 2018;183(9-10):e434-41.
- Dahlin LB, Miyauchi A, Danielsen N, et al. Stimulation of nerve regeneration by macrophages in granulation tissue. *Rest Neurol Neurosci.* 1996;9(3):141-9.

SUMMARY

Peripheral nerve injuries – early diagnosis and appropriate treatment is crucial

Ballistic injuries to upper and lower limbs in local and international conflicts are common, where particularly peripheral nerve injuries should be highlighted. Handling of injured and destroyed tissues requires a fast and competent multidisciplinary management of the patient and depends on the extent and character of the injuries. Early experiences from conflicts have shown that peripheral nerve injuries are difficult to treat, often resulting in extensive permanent loss of function, risk for pain problems and life-long reduced quality of life. Early diagnosis, sometimes based on »active surveillance« of the nerve injury, initiation of appropriate surgical techniques from the panel of conventional and novel methods, and pharmacological treatment of nerve injuries are keystones and can improve the situation for the affected patient, where timing of treatment is crucial.