



Hoogvoltage-elektriciteitsletsel: niet alleen zichtbare verbranding van de huid

T.C. Noordhoff, J. Dokter, B.I. Cleffken, M.E. van Baar, C.H. van der Vlies*

De meest voorkomende oorzaken van brandwonden zijn vuur en hete vloeistoffen. Ernstige brandwonden als gevolg van hoogvoltage-elektriciteitsletsel komen in Nederland minder frequent voor. Doordat er veel warmte wordt geproduceerd tussen de in- en uittredeplaats van de stroom kan er naast uitwendige zichtbare brandwonden ook ernstige niet direct zichtbare inwendige schade ontstaan, welke potentieel lethaal zijn (1). Aan de hand van twee ziektegeschiedenissen willen we dit illustreren.

Dit artikel is eerder gepubliceerd in *Nederlands Tijdschrift voor Traumachirurgie*, 2014;22:7-12 en met toestemming van redactie en auteur overgenomen.

Ziektegeschiedenissen

Patiënt A, een 29-jarige mannelijke bouwvakker met blanco voorgeschiedenis, werd opgenomen in het brandwonden centrum met een elektrische verbranding van 10% TVLO (totaal verbrand lichaamsoppervlak). Tijdens werkzaamheden maakte de telescoopkraan, waartegen patiënt stond geleund, contact met de hoogspanningskabel (150.000 volt wisselstroom). Na dit contact trad er een circulatiestilstand op. Direct werd gestart met reanimeren; na twaalf minuten was er eigen hartritme en output. Ter plaatse werd hij geïntubeerd (door het Mobiel Medisch Team) en per ambulance naar het dichtstbijzijnde ziekenhuis gebracht voor verdere stabilisatie, waarna hij werd overgeplaatst naar het brandwondencentrum. De opvang in het brandwondencentrum vond plaats volgens het Emergency Management of Severe Burns (EMBS) principe, analoog aan het ATLS-principe. Bij binnenkomst was de patiënt respiratoir en hemodynamisch stabiel. De beademing werd gecontinueerd, hyperhydratie (streefdiurese 2 ml/kg/uur) en adequate pijnstilling werd gestart. Bij lichamelijk onderzoek waren er derdegraads brandwonden, deels met eschar aanwezig: het achterhoofd, de rechter schouder/ oksel, de linker onderarm/hand, de rechter bil, achterzijde onderbeen rechts en laterale zijde van de rechervoet (foto 1).

Het elektrocardiogram liet geen ritmestoornissen zien. Er werd protocollair gestart met het reanimatie koelprotocol.

Vanwege een bedreigde verkoelde linkerarm werd patiënt direct geopereerd en werd een amputatie van de linker onderarm en fasciotomieën van de bovenarm verricht

Abstract

Burns caused by high-voltage are less common among all severe burns observed in the Netherlands. The high-voltage burns require an extensive Advanced Trauma and Life Support (ATLS). Two cases of high-voltage electric burns are described in order to understand the proper approach to treat a high-electric injury. High-voltage electric burns are associated with high mortality, morbidity and high risk of amputations. Timely debridements, fasciotomy and escharotomy and adequate fluid approach is required to reduce the mortality and morbidity.

(foto 2). De eerste dag liep het creatiniekinaze (CK) ten gevolge van de rhabdomyolyse op tot 58.889 U/l. De lever- en nierwaarden waren afwijkend: ALAT 184 U/l, ASAT 905 U/l, LDH 1615 U/l, Kreatinine 184 $\mu\text{mol/l}$. Er werd gestart met continue veno-veneuze hemofiltratie vanwege uitgebreide rhabdomyolyse. Gedurende de opname werden uitgebreide operaties verricht, waaronder meerdere necrotectomieën en nettoyages. De stomp van de linkerarm werd wegens voortschrijdende necrose van de bicepsspieren gecorrigeerd en gesloten met huidtransplantaties (foto 3). Patiënt verbleef 26 dagen op de IC en werd na tachtig dagen ontslagen en opgenomen in een revalidatiecentrum.

Patiënt B, een 45-jarige medewerker van een energiebedrijf, werd tijdens werkzaamheden in een elektriciteitskast door een schok van 10.000 volt getroffen. De hulpverleners troffen de patiënt gillend aan. Gezien de ernst van het letsel werd hij ter plaatse gesedeerd en geïntubeerd en per ambulance naar het brandwondencentrum gebracht. Bij



Foto 1. Brandwonden linkerhand/onderarm waar de stroom zijn intrede deed en ter plaatse van de rechter bil en rechter schouderblad. TVLO 10%.

opname volgens het EMSB-protocol was patiënt hemodynamisch en respiratoir stabiel. Er werden op de rechterarm, de thorax, buik en rechterbovenbeen grote verkoolden diepe defecten gezien. Het TVLO bedroeg 15%. De rechterarm was koud zonder arteriële pulsaties. De eerste laboratoriumuitslagen toonden een creatininekinase van 27.559 U/l en afwijkende leverwaarden: ALAT 151 U/l, ASAT

504 U/l, LDH 1551 U/l. Het electrocardiogram liet een sinusritme zien met een frequentie van 81 p/min. In verband met de rhabdomyolyse met CK's van >27.000 U/l werd hij behandeld volgens het hyperhydratieprotocol. Het CK steeg de eerste opnamedag door naar 46.897 U/l. Tijdens opname was de nierfunctie niet afwijkend.

Gezien de circulatoir bedreigde rechterarm en ernst van de brandwonden werd een fasciotomie van de arm verricht. Er was sprake van necrose van de spier en vaatzenwstreng distaal van de nervus axialis (foto 4). Er werd een hoge bovenarmsamputatie verricht. De eschar op thorax en buik werd geavulseerd en een necrotomie van spier necrose werd verricht. Intra-abdominaal was alleen het peritoneum intact. Een ischemische plek van 3 cm ter plaatse van segment IV van de lever werd gezien. Tevens waren er tekenen van veneuze stuwung in het colon transversum en het omentum, zonder dat deze structuren avitaal waren. Het abdomen werd gesloten met een vicrylmat. De full thickness defecten van het rechterbeen werden geëxci-deerd. Gedurende opname werden nog vijf operaties verricht, waarbij gedeeltelijke resectie van het colon transversum, bij herhaling necrotectomieën, een partiële rib- en thoraxwandresectie. Met behulp van een vacuüm-systeem werd een geschikt wondbed gecreëerd voor definitieve sluiting met huidtransplantaties. Patiënt kon na tien weken uit het ziekenhuis ontslagen worden naar een revalidatiecentrum. Wel waren twee heropnamen nodig vanwege pijnklachten en hypergranulaties (24 dagen) (foto 5).

Beschouwing Epidemiologie

In Nederland zijn drie brandwondencentra: Beverwijk, Groningen en Rotterdam. In deze brandwondencentra zijn vanaf 2002 t/m 2011 66 elektriciteitsverbrandingen (1% van alle opnames) geregistreerd. Daarvan waren elf patiënten met hoogvoltagebrandwonden, waarbij de mannen zijn oververtegenwoordigd. Ongevallen met hoogvoltageverbrandingen gebeuren buitenshuis: op het werk of op de openbare weg. Het TVLO is relatief hoog, vier van de elf patiënten had een TVLO >20%. Bij drie van de elf patiënten vonden er amputaties plaats (2).

Pathofysiologie

Elektrische brandwonden kunnen grofweg ingedeeld worden in laagvoltageletsel (<1000 volt), hoogvoltageletsel (>1000 volt) en blikseminslag. De ernst van de elektriciteitsverbrandingen is afhankelijk van het voltage (laag- of hoogvoltage), soort stroom, duur van het contact, lokale weefselweerstand en de weg die de stroom kiest. Bij laagvoltageletsel blijven de brandwonden veelal beperkt tot de plaats van in- en uittrede, terwijl bij hoog voltageletsels ook de route die de elektrische stroom door het lichaam



Bij hoogvoltageverbrandingen kunnen op meerdere manieren brandwonden ontstaan:

1. Door directe inslag van stroom. Brandwonden die op deze manier ontstaan kunnen gezien worden op de plaats waar de huid contact maakte met de elektrische intredende stroom of op de uittredende plaats waar het slachtoffer contact maakt met het aardpotentiaal. Beide patiënten ondergingen een amputatie van de extremititeit waar de stroom zijn intrede deed ten gevolge van spier necrose, zenuwletsel en rhabdomyolyse. Ook werden op de plaats waar de stroom zijn uittrede deed brandwonden gezien.
2. Lichtboog-of vlamboogverbrandingen, ontstaan wanneer de lucht door ionisatie tussen de elektrische



Foto 2. Amputatie linker onderarm en fasciotomie van de linker bovenarm, waarbij de vitale bicepsspiers uitpuilden.

heeft gemaakt ernstige schade kan veroorzaken. Bij hoogvoltagegestromen fungeert het volledige lichaamsdeel als geleider met een uniforme weerstand en kiest de stroom de weg naar de grond via de zenuwen, bloedvaten, spieren en zelfs botten (3,4).

De laagvoltageletsels en verbrandingen ten gevolge van blikseminslag worden in dit artikel buiten beschouwing gelaten.



Foto 3. Drieënhalve maand na het ongeval, gedurende opname heeft wegens voortschrijdende necrose van de biceps een inkorting van de linker stomp plaatsgevonden en bedekking van de huiddefecten met split skin graft's (SSG's)

geleider en het slachtoffer doorslaat. Er kunnen extreem hoge temperaturen worden ontwikkeld (3000-4500 C).

3. Vlamverbranding. Bij hoogvoltage verbrandingen is er een kans op een vonkenregen, zodat het slachtoffer naast interne weefselbeschadiging ook brandwonden ten gevolge van een vlam kan oplopen (3,4).

Eerste opvang

Alvorens hulpverlening kan plaatsvinden, dient men zeker te zijn dat het slachtoffer niet meer in contact is met de elektriciteit. De eerste opvang vindt plaats volgens het ATLS principe. Indien de patiënt brandwonden heeft, kan in tweede instantie worden gekoeld. De opvang in het brandwondencentrum vindt plaats volgens het EMBS-principe. Dit principe is een aanvulling op de ATLS en specifiek gericht op de opvang van brandwondenpatiënten. Aan ABCDE (airway, breathing, circulation, disability en exposure) is F toegevoegd, welke staat voor vocht: Fluid resuscitatie. Bij grote brandwonden ontstaat, door het vrijkomen van ontstekingsmediatoren, een capillair lek met daarbij een vochtshift van intravasculair naar het interstitium. Ernstige brandwondenpatiënten worden gerehydrateerd om een hypovolemische shock te voorkomen. De hoeveelheid kristalloïde infusievloeistof voor rehydratie in de eerste 24 uur wordt berekend door middel van de Parkland formule: $4 \text{ ml/kg gewicht} \times \% \text{TVLO}$. De helft wordt gegeven in de eerste acht uur na de verbranding en de andere helft in de volgende zestien uur. Berekeningsvoorbeeld patiënt A: $4 \text{ ml} \times 80 \text{ kg} \times 10\% = 3200 \text{ ml}$ in de eerste 24 uur. Myocardschade en aritmieën manifesteren zich vroeg na het ongeval. Patiënten met hoogvoltageverbrandingen dienen de eerste 24 uur cardiaal bewaakt te worden, door middel van een ECG-bewakingsmonitor en het vervolgen van de cardiale enzymen. Bij laag voltageverbrandingen en een blanco cardiale voorgeschiedenis zonder bewustzijnsverlies of ritmestoornissen en een normaal ECG bij opvang is geen cardiale monitoring nodig is (5,6,7).

Rhabdomyolyse/ myoglobinurie-syndroom

Bij een patiënt met hoogvoltageverbranding wijst de aanwezigheid van myoglobine en hemoglobine pigmenten in de urine op significante spierschade (rhabdomyolyse). Door neerslag van sludge in de proximale tubuli kan rhabdomyolyse leiden tot acute nierinsufficiëntie. De eerste behandeling bestaat uit hyperhydratie. Wanneer myoglobinurie zichtbaar blijft moet de patiënt behandeld worden met continue veno-veneuze hemofiltratie (CVVH) (8). Verhoogde CK-waarden kunnen worden gecorreleerd aan de omvang van spierschade. In meerdere studies werd gezien dat bij de patiënten met een significante stijging van het serum CK op de eerste dag een amputatie verricht moest worden (1,5,6,8). Bij beide patiënten was het CK verhoogd, passend bij rhabdomyolyse. Bij patiënt B werd



Foto 4. Opname patiënt B in het brandwondencentrum, TVLO 15% (bovenste en middelste foto). De onderste foto is een maand na het ongeval gemaakt. Er heeft een hoge bovenarmsamputatie rechts wegens spier necrose plaats gevonden. Daarnaast een escharotomie van de thorax, excisie van full thickness defecten en meerdere huidtransplantaties



Foto 5. Twee jaar na het ongeval

gestart met CVVH om de nierfunctie te optimaliseren.

Compartment syndroom

Hoogvoltageletsel van de extremiteiten kunnen zich in de eerste 48 uur na het ongeval ontwikkelen tot een compartmentsyndroom. Beschadiging van spieren en zwelling binnen de fascia kunnen de druk zodanig doen toenemen, dat de bloedstroom in de spieren gecompromiteerd wordt. De eerste symptomen zijn gespannen spiercompartimenten, pijn in rust en distaal een verminderd gevoel. Verlies van pulsatie is een van de laatste signalen van een compartmentsyndroom. Deze symptomen komen overeen met de symptomen bij circulaire diepe verbrandingen (eschar) van een extremiteit. Bij hoogvoltageverbrandingen kan sprake zijn van zowel circulaire verbranding als een compartmentsyndroom. Het is dan ook belangrijk om beide aandoeningen te herkennen zodat de juiste behandeling, escharotomie en/of fasciotomie verricht wordt.

Een escharotomie is een insnede door genecrotiseerde huid om de druk veroorzaakt door oedeem in de omliggende weefsels te ontlasten (1,5,7,8). Door een fasciotomie kan de druk in de spiercompartimenten worden verlaagd. Gedurende chirurgische exploratie van de linker onderarm van patiënt A werd vanwege necrose besloten deze te amputeren. Bij fasciotomie van de linker bovenarm werden vitale bicepsspieren gezien. De fasciotomie van de rechterarm van patiënt B liet avitaal weefsel zien en werd direct overgegaan tot amputatie. Tijdige identificatie van 'niet te redden' ledematen kan de kans op infecties verlagen en de overlevingskansen van de patiënt verbeteren (1).

Mogelijk betrokken orgaansystemen

De vroege primaire complicaties van elektrische letsels kunnen neurologisch, cardiaal, renaal, gastro-intestinaal,

oftalmisch en psychiatrische manifestaties zijn. Neurologische schade kan zich vroeg of laat, tot twee jaar na het letsel, presenteren. Stroomdoorgang door de medulla kan het ademcentrum verstoren, wat een ademstilstand kan veroorzaken. Nierfalen en sepsis zijn te voorkomen door een adequate resuscitatie en tijdige necrotectomieën. Renale beschadiging kan ook direct door de stroomdoorgang. Ook cardiale schade moet tijdig worden herkend en behandeld. Ter plaatse van het ongeval is ventrikelfibrilleren de meest voorkomende doodsoorzaak. Stroomdoorgang door het lichaam kan spieren doen contraheren en tot fracturen en luxaties leiden (1,5,9).

Conclusie

Hoogvoltage-elektriciteitsverbranding gaat gepaard met een hoge morbiditeit en grote kans op amputaties. Om de mortaliteit en morbiditeit van patiënten met hoogvoltage-elektriciteitsverbrandingen te verlagen zijn adequate vochtresuscitatie, het bedacht zijn op acuut nierfalen, het tijdig verrichten van necrotectomieën, fasciotomieën en amputaties van essentieel belang.

Leerpunten

- Traumaopvang van brandwondenpatiënten volgens het Emergency Management of Severe Burns (EMBS). Aan ABCDE (airway, breathing, circulation, disability en exposure) is F toegevoegd, welke staat voor vochtresuscitatie (Fluid resuscitation).
- Het verschil tussen hoogvoltage- en laagvoltageverbrandingen is de weg die de stroom kiest. Bij hoogvoltage vindt stroom de weg naar de grond met het gehele lichaamsdeel als geleider met een uniforme weerstand. Bij laagvoltage kiest de stroom de weg met de minste weerstand, via de zenuwen, bloedvaten en spieren.
- Hoogvoltage-elektriciteitsverbrandingen gaat gepaard met een hoge morbiditeit en grote kans op amputaties.
- Hoogvoltage-elektriciteitsverbranding kan een complex beeld laten zien met betrokkenheid van multiple orgaansystemen, welke een grote impact kunnen hebben op functioneren in het dagelijks leven.
- Adequate vochtresuscitatie, necrotectomie, fasciotomie en amputaties, adequate resuscitatie zijn van belang in de behandeling van patiënten met hoogvoltageverbranding.

Literatuur

1. Handschin AE, Vetter S, Jung FJ et al. **A case-matched controlled study on high-voltage electrical injuries vs thermal burns.** Journal of Burn Care & Research, 2009;30:400-7.
2. Beverwijk, Groningen, Rotterdam: **Werkgroep Nederlandse Brandwonden Registratie**, 2012.
3. Vierhapper FM, Lumenta DB, Beck H et al. **Electrical Injury A**

- Long-Term Analysis With Review of Regional Differences.**
Annals of Plastic Surgery, 2011;6:43-6.
4. Duis HJ ten. **Etiologie: Elektrische en chemische verbrandingen.** WCS Nieuws, 1996;12;27-1.
 5. Maghsoudi H, Adyani Y, Ahmadian N. **Electrical and Lightning Injuries.** Journal of Burn Care & Research, 2007;28:255-61.
 6. Arnaldo B, Klein M, Gibran NS. **Practice Guidelines for the Management of Electrical Injuries.** Journal of Burn Care & Research, 2006;27:439-47.
 7. Haberal M, Abali AES, Karakayali H. **Fluid management in major burn injuries.** Indian Journal of Plastic Surgery, 2010;43:29-36.
 8. Hsueh YY, Chen CL, Pan SC. **Analysis of factors influencing limb amputation in high-voltage electrically injured patients.** Burns, 2011;37:673-7.
 9. Hussmann J, Kucan JO, Russell RC et al. **Electrical injuries-morbidity, outcome and treatment rationale.** Burns, 1995;21:530-5.

* *Drs. T.C. (Toscane) Noordhoff, coassistent, Maasstad Ziekenhuis Rotterdam*
Contact: t.c.noordhoff@gmail.com

Drs. J. (Jan) Dokter, arts brandwondencentrum Maasstad Ziekenhuis Rotterdam,
Contact: DokterJ@maasstadziekenhuis.nl

Drs. B.I. (Berry) Cleffken, chirurg-intensivist, Maasstad Ziekenhuis Rotterdam,
Contact: Cleffkenb@maasstadziekenhuis.nl

Dr. M.E. (Margriet) van Baar, hoofd Epidemiologie en Registratie, Vereniging van Samenwerkende Brandwondencentra (VSBN), Maasstad Ziekenhuis Rotterdam,
Contact: BaarM@maasstadziekenhuis.nl

Dr. C.H. (Kees) van der Vlies, Traumachirurg Maasstad Ziekenhuis Rotterdam,
Contact: VliesC@maasstadziekenhuis.nl