

De impact van vuurwerk: achtergronden van het aangezichtsletsel

Ondanks de bekendheid van de gevaren van vuurwerk, ontstaan elke jaarwisseling vuurwerkongevallen waarbij de slachtoffers een diversiteit aan letsels oplopen. Naast brandwonden komen letsels aan vingers en/of handen het meest voor. Maar ook oogletsel, waarbij tevens het aangezicht kan zijn aangedaan, komt frequent voor. De verwondingen ontstaan vooral door destructieve werking van de drukgolf die vrijkomt bij een explosie. De beste preventieve maatregel zou een verbod zijn op het afsteken van vuurwerk door een amateur. Tot die tijd is het aan te raden tijdens de jaarwisseling buiten een vuurwerkbril te dragen om in elk geval oogletsel door legaal vuurwerk te voorkomen.

Dubois L, Bahalou Hore M, Tjiook RP, Mourits MP, Kloos R, Brons R. De impact van vuurwerk: achtergronden van het aangezichtsletsel. *Ned Tijdschr Tandheelkd* 2017; 124: 619-623
doi: <https://doi.org/10.5177/ntvt.2017.12.17188>

Inleiding

Jaarlijks besteedt de Nederlandse bevolking gemiddeld 60 tot 70 miljoen euro aan vuurwerk om tijdens de jaarwisseling af te steken (Meijer, 2017). Hoewel het inluiden van het nieuwe jaar op deze manier voor veel vreugde zorgt, gaat het regelmatig fout. De casus illustreert dit.

De kracht van een vuurwerkexplosie kan zowel de weke- als benige delen van het aangezicht beschadigen. Ontploffingen in het gezicht kunnen leiden tot oogletsel, fracturen, avulsies, hersenschade, laceraties, brandwonden en tatoeages in de huid (Van der Wal et al, 2002; Hermann et al, 2004). In sommige gevallen leidt het vuurwerkongeval zelfs tot het overlijden van het slachtoffer (Kunz et al, 2011).

Epidemiologie

Uit informatie van het Letsel Informatie Systeem (LIS) is gebleken dat er in Nederland op 31 december 2015 en 1 januari 2016 482 vuurwerksslachtoffers bij de afdelingen Spoedeisende Eerste Hulp behandeld zijn (afb. 1) (Nijman en Valkenberg, 2016). De letsels die deze slachtoffers hebben opgelopen lopen uiteen van brandwonden (26%), letsels aan de ogen (23%) of aan hand of vingers (respectievelijk 38% en 19%). Bij 21% van de patiënten was er sprake van weke delen, ossaal of dentaal letsel van het aangezicht. In 83% van de gevallen was het slachtoffer een man. Deze cijfers zijn weinig afwijkend van de jaren ervoor. Al is er ten opzichte van het jaar 2007/2008 een lichte daling van het aantal slachtoffers. Een kanttekening moet worden geplaatst dat dit niets zegt over de ernst van het letsel. Opvallend is dat meer dan de helft van de slachtoffers (53%) jonger was dan 20 jaar. Hier is wel een stijging te zien van 10% met het jaar ervoor. In alle

Wat weten we?

Het afsteken van vuurwerk maakt jaarlijks enkele honderden slachtoffers die zich met verwondingen op een spoedeisende eerste hulp melden.

Wat is nieuw?

De snelheid van het projectiel is van ondergeschikt belang ten opzichte van de ontstane drukgolf uit de vuurwerkexplosie. Letsel in het aangezicht wordt ook bij siervuurwerk voornamelijk door de drukgolf veroorzaakt. Bij illegaal vuurwerk is de explosieve kracht zo groot dat dit valt onder high-velocity-letsel.

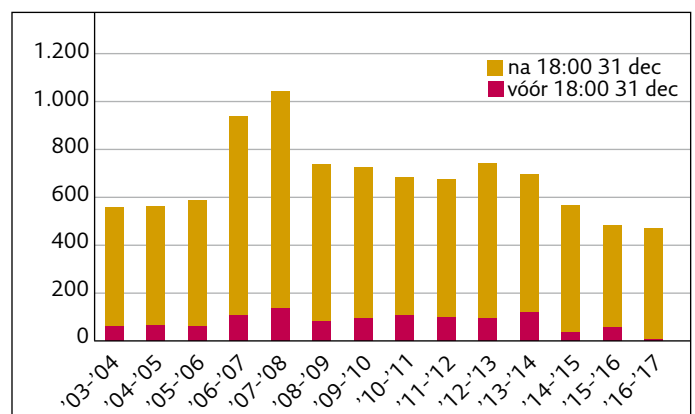
Praktijktoepassing

Tandartsen zullen meestal niet worden geconfronteerd met spoedeisende slachtoffers van vuurwerkongevallen. Als omstaander bij de jaarwisseling is het raadzaam om een vuurwerkbril te dragen ter preventie van oogletsels. De beste preventie is binnen te blijven.

vuurwerkongevallen, waarvan bekend was wie het vuurwerk had afgestoken, bleek dat in 48% van de gevallen het vuurwerk door een omstander was afgestoken (Nijman en Valkenberg, 2016). Legaal vuurwerk is verantwoordelijk voor 75% van de slachtoffers, waarvan 64% veroorzaakt wordt door knalvuurwerk en 36% door siervuurwerk. Hierbij wordt niet genoemd of het om grond- of luchtvuurwerk gaat.

Mechanisme achter het letsel door vuurwerk

Om een beeld van de schadelijke potentie van vuurwerk op de weefsels in het aangezicht te krijgen, is het nodig om het achterliggende mechanisme van het vuurwerk te



Afb. 1. Spoedeisende-eerstehulpbehandelingen als gevolg van vuurwerkongevallen op 31 december en 1 januari, trend 2003/2004 tot en met 2016/2017 (Bron: Nijman en Valkenberg, 2016).

Casus

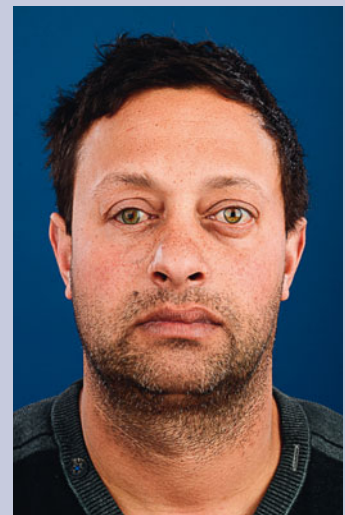
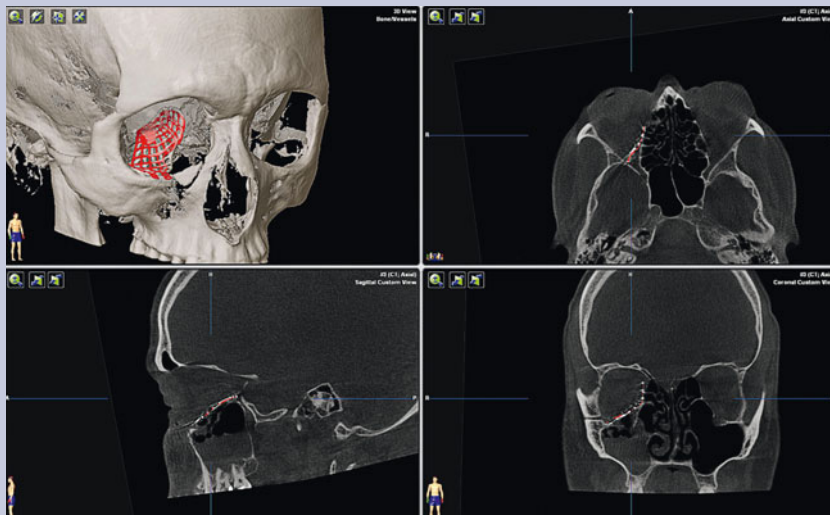
Een 41-jarige man liep als gevolg van een vroegtijdige explosie kort na het afsteken van een doos legaal siervuurwerk ernstige verwondingen aan zijn gelaat op. Bij het onderzoek op de spoedeisende eerste hulp was het gezicht van de patiënt bedekt met diverse snij- en schaafwonden. Er was een diepe laceratie ter plaatse van het onderooglid rechts. De cornea bleek verbrand en was er een ruptuur in de rechter bulbus (afb. a).

Na aanvullend onderzoek bestaande uit computertomografie (CT-scan) bleek er tevens sprake te zijn van een fractuur van de margo infra-orbitalis rechts en een fractuur van de orbitabodem/mediane wand (afb. b). Op de CT-scan was een ruptuur van de oogbol zichtbaar.

De patiënt werd met spoed geopereerd, waarbij een bulbusevisceratie van het rechteroog werd verricht. Bij een bulbusevisceratie wordt een gedeelte van de oogbol verwijderd: het hoornvlies en de ooginhoud (de lens, de iris, het glasvocht, netvlies en het vaatvlies). De sclera (de oogrok) en de bewegelijkheid van het oog blijft behouden. Enkele dagen later werd tijdens een tweede behandeling bestaande uit computerondersteunde chirurgie een orbitareconstructie uitgevoerd (afb. c). In een derde chirurgische behandeling, 6 maanden later, werd een bolvormig, acryl implantaat geplaatst ter correctie van het volumetekort van de weke delen door verlies van de oogbol (afb. d).



Afb. a. Klinische presentatie van een patiënt na vuurwerkletsel van het gelaat. **Afb. b.** Fractuur van de rechter margo infra-orbitalis, de orbitabodem en de mediane orbitawand door de drukgolf van de explosie.



Afb. c. Situatie na reconstructie van de orbitabodem- en mediane orbitawandfractuur rechts met een orbitaimplantaat. **Afb. d.** Klinisch beeld na de orbitareconstructie en plaatsen van acryl bolletje.

begrijpen. Er moet onderscheid worden gemaakt tussen vuurwerk dat de lucht in gaat en vuurwerk dat op de grond blijft, want het type verwonding is afhankelijk van de snelheid van het projectiel. Belangrijk voor de mate van schade is hoe het vuurwerkprojectiel zich in het weefsel gedraagt. Dit wordt wondballistiek genoemd.

De omvang, mate en vorm van het letsel dat in het weefsel kan ontstaan, hangen samen met de hoeveelheid kinetische energie die het bewegende projectiel aan het weefsel afstaat. Deze kinetische energie kan aan de hand van een formule worden berekend (intermezzo 1).

Een projectiel met lage snelheid (low-velocity) zal

Intermezzo 1. Formule kinetische energie

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2}mv^2$$

M is de massa van het projectiel en v de snelheid waarmee het projectiel zich voortbeweegt. Uit toepassing van de formule blijkt dat de kinetische energie van vuurwerk toeneemt naarmate het gewicht en de snelheid van het bewegende projectiel groter wordt. Dit betekent dat het bewegende projectiel in dat geval meer energie aan het weefsel afstaat, waardoor het letsel groter wordt.

na inslag in het lichaam het weefsel in de baan van het projectiel wegdrücken en beschadigen. Het omliggende weefsel zal niet worden aangetast. Dit in tegenstelling tot een projectiel met een snelheid in de categorieën intermediale- of high-velocity, waarbij ook omliggende weefselstructuren worden aangetast door de grotere kinetische energie en de ontstane drukgolf. Er ontstaat bij inslag van deze projectielen een holte in het lichaam, die cavitatie wordt genoemd. Rondom de holte is het weefsel gekneusd. Er zijn meestal secundaire projectielen aanwezig die van invloed zijn op de ernst van de verwonding. Deze secundaire projectielen bestaan bijvoorbeeld uit botsplinters die zich door de kinetische energie in verschillende richtingen kunnen verplaatsen en op andere plaatsen schade aanrichten. Zo kan er door een relatief klein projectiel grote schade worden aangericht worden.

Blast injury

Naast het penetrerende mechanisme speelt dus vooral de drukgolf van de explosie, 'blast' genoemd, een grote rol. Een snelle drukverhoging, waardoor een piekoverdruk



Afb. 2. Verbrijzeling aangezicht ten gevolge van blast injury.

	Snelheid (m/s)	Snelheid (km/u)
Low-velocity	< 305	< 1098
Intermediate-velocity	305 - 914	1098 - 3290,4
High-velocity	> 914	> 3290,4

Tabel 1. Indeling wondballistiek.

ontstaat, is een van de effecten van een explosie. De verhoogde druk zal zich als een golf vanaf de explosie in alle richtingen voortbewegen en is afhankelijk van de afgelegde afstand en de omvang van de explosie. Hoewel het lichaam drukveranderingen goed kan opvangen, is dit niet het geval wanneer dit in een korte tijd gebeurt. In eerste instantie leidt zo'n snelle drukverandering vooral tot beschadiging van de organen, maar kort daarna kan het ook leiden tot fracturen. In sommige gevallen zelfs tot uitgebreide verbrijzelingsfracturen (afb. 2).

Low-high velocity

Bij vuurwerk dat de lucht in gaat, is de ernst van de verwondingen primair het gevolg van de drukgolf die ontstaat door de tweede explosie en niet zozeer door de snelheid van het vliegende object (deze is relatief gering ten opzichte van de explosie). Ook al kan een vuurpijl een behoorlijke snelheid behalen, toch is de maximale snelheid in geen geval hoger dan 314 meter per seconde, waardoor vuurwerk dat de lucht in gaat, zich in de categorie low-velocity bevindt (tab. 1). Toch kan dit soort vuurwerk ook een forse destructie van de weefsels aanrichten zoals die kan ontstaan door een high-velocity projectiel. Er wordt gesproken over een high-velocity verwondingen wanneer de het projectiel een snelheid heeft van meer dan 914 meter per seconde. Buskruit kan een projectiel een snelheid van 400 - 1.000 meter per seconde geven waardoor het een high-velocity verwonding kan veroorzaken. Springstoffen zoals TNT en nitroglycerine kunnen zelfs een snelheid van 6.900-160.000 meter per seconde bereiken (Scilly, 1995). Toch kan buskruit zo'n hoge output hebben dat er afhankelijk van de hoeveelheid druk destructieve verwondingen kunnen ontstaan (Chen et al, 2002, Molendijk et al, 2015).

De primaire verwondingen worden veroorzaakt door de drukgolf die het weefsel direct beschadigt. Secundaire verwondingen zijn meestal penetrerend en het gevolg van rondvliegende objecten. Tertiaire verwondingen, zoals een hersenschudding, worden veroorzaakt wanneer het gehele lichaam door de drukgolf wordt verplaatst. Ten slotte zijn er ook quaternaire verwondingen die indirect veroorzaakt worden door de explosie, zoals brandwonden, toxische gasinhalatie. Deze letsels ontstaan door het vrijkomen van warmte en gassen (Kunz et al, 2011). Bij een explosie komen ook rondvliegende partikels kruit vrij die zich, mede door de gegenereerde hitte, in de dermis penetreren en brandwonden kunnen veroorzaken (Chen et al, 2002; Hermann et al, 2004, Molendijk et al, 2016). Klinisch gezien leidt dit tot zwarte puntjes of tatoeages in de huid. Het ontstane letsel wordt veroorzaakt uit een combinatie van druk en hitte (afb. 3).



Afb. 3. Tatoeage van de huid door kruitresten (a). Na genezing (b).

De ernst van een verwonding is afhankelijk van de sterkte van het vuurwerk en wordt voornamelijk bepaald door de hoeveelheid buskruit. Daarnaast speelt de afstand van de explosie ten opzichte van het gezicht ook een bepalende rol, omdat daarmee de snelheid van de drukgolf gepaard gaat en dus ook de hoeveelheid gegenereerde kinetische energie. Dit is te herleiden tot de formule $E_{kin} = \frac{1}{2}mv^2$, wat een evenredig verband geeft met de massa, oftewel de hoeveelheid buskruit. Aanvullend speelt de dikte van het omhulsel van het vuurwerk een rol: immers hoe dikker het materiaal, hoe meer drukopbouw er plaatsvindt, hetgeen tot een grotere explosie leidt. De dikte van het omhulsel moet echter wel in juiste verhouding tot de hoeveelheid buskruit staan. Het gewicht van het omhulsel en het kruit samen zijn de massa van het geheel.

Discussie

Het jaar op een feestelijk wijze afsluiten met vuurwerk kan snel omslaan in een slechte start van het nieuwe jaar. Niet alleen door het veel voorkomende hand- en vingerletsel maar ook als het vuurwerk in de buurt van het gelaat ontploft. Door verkeerd gebruik, ondeugdelijk vuurwerk of pech kunnen afsteker en omstander voor het leven zijn getekend zijn. Enerzijds letterlijk door de tatoeages van de kruitresten, anderzijds door verlies van een oog, wekedelenverwondingen, botbreuken of gebitsletsel. De casusbeschrijving is hiervan een voorbeeld. Adequate behandeling van deze letsels vraagt een multidisciplinaire aanpak, waarbij een traumachirurg, een mka-chirurg, een oogarts, een plastisch chirurg en eventueel een neurochirurg of een kno-arts intensief moeten samenwerken om de zorgketen te optimaliseren (Dubois et al, 2017). Uiteraard is aandacht voor de brandwonden die de patiënt veelal heeft opgelopen, noodzakelijk (Chen et al, 2002).

Kennis over traumatologische mechanismen draagt bij in de te kiezen behandelstrategie. Hierbij blijkt het verstandig te zijn vuurwerkletsel nooit te onderschatten. Het toont grote vergelijking met oorlogsletsel. Zo kan het gewenst zijn het verbrijzelde letsel van de huid te excideren, kunnen kruitresten het beste goed worden uitgespoeld en

is er grote kans op een infectie als gevolg van het high-velocity karakter en de weefselbeschadigingen en slechte doorbloeding hierdoor. In de wetenschappelijke literatuur zijn er diverse artikelen te vinden over hand- en oogletsels, maar helaas een beperkt aantal over aangezichtsletsel in relatie tot vuurwerk.

Het oog is in 23% van de vuurwerkongevallen betrokken en daarmee het meest kwetsbare onderdeel van het aangezicht. Aan de 'Iraqi Freedom'-operatie van 20 maart 2003 tot 31 augustus 2010 namen de eerste 3,5 jaar 200.000 Amerikaanse soldaten deel. Hiervan liepen er 500 oogletsels op. In 2 nieuwjaarsnachten wordt dit aantal in Nederland ruim gehaald (De Faber, 2009).

Naast oogperforaties, corneabeschadiging en kruit-tatoeages, is er ook vaak sprake van fracturen van een of meerdere wanden van de orbita. Verwijdering van het hele oog (enucleatie) of een deel daarvan (bulbusevisceratie) gebeurt door een oogarts. Een mka-chirurg herstelt meestal de benige wanden. In een later stadium zal een schildje, een soort oogprothese, worden aangemeten wat de afwezigheid van het oog camoufleert. De belangrijkste en meest heftige consequentie is dat een slachtoffer van een vuurwerkongeval een groot deel van zijn gezichtsveld kwijtraakt en minder diepte ziet. Bij letsel aan beide ogen kan de patiënt zelfs blind worden. Vele zaken in het dagelijks functioneren zullen dan lastiger worden en opnieuw moeten worden aangeleerd. De impact van vuurwerk is daarmee zowel letterlijk als figuurlijk enorm.

Een vuurwerkbril zal in veel gevallen bescherming bieden en wordt is derhalve aan te raden om tijdens de jaarwisseling te dragen. Echter, bij sommige soorten illegaal vuurwerk zal door de grote explosieve kracht een vuurwerkbril ter preventie niet voldoende zijn. Er zijn dan ook meerdere variabelen, zoals het type vuurwerk, de afstand ten opzichte van het object, de regio impact, de hoeveelheid kruit, enzovoorts, die per situatie de veroorzaakte schade beïnvloeden.

Conclusie

Vuurwerk is prachtig om naar te kijken, maar kan een des-

tructive impact hebben op het leven van de slachtoffers van vuurwerkongevallen die het elk jaar tijdens de jaarwisseling maakt. Een verbod op het afsteken van vuurwerk door amateurs is de beste preventie. Tot die tijd is het dragen van een vuurwerkbril het beste preventieve middel tegen oogletsels voor zowel degene die het vuurwerk afsteekt als de omstanders.

Literatuur

- * Chen XL, Wang YJ, Wang CR, Hu DL, Sun YX, Li SS. Burns due to gunpowder explosions in fireworks factory: a 13-year retrospective study. *Burns* 2002; 28: 245-249.
- * Dubois L, Schreurs R, Lapid O, Saeed P, Adriaensen GF, Jong VM de. Multidisciplinaire aanpak bij aangezichtsletsels. *Ned Tijdschr Geneesk* 2017; 161: D1537
- * Faber JTHN de. Vuurwerkletsels behandeld door oogartsen. *Ned Tijdschr Geneesk* 2009; 153: A507.
- * Hermann A, Wolhrab J, Marsch WC. Unfälle mit Feuerwerkskörpern und Schreckschusspistolen. *Der Unfallchirurg* 2004; 107: 22-26.
- * Kunz SN, Zinka B, Peschel O, Fieseler S. Accidental head explosion: an unusual blast wave injury as a result of self-made fireworks. *Forensic Sci Int* 2011; 210: 4-6.
- * Meijer R. Vuurwerkschade. *Consumentengids* 2017; 1: 70-71.
- * Molendijk J, Vervloet B, Wolvius EB, Koudstaal MJ. The big bang: facial trauma caused by recreational fireworks. *Craniomaxillofac Trauma Reconstr* 2016; 9: 175-180.
- * Nijman S, Valkenberg H. Vuurwerkongevallen 2015-2016. Rapport: 613. Projectnummer: 20.0004. Amsterdam: VeiligheidNL, 2016.
- * Scilly NF. Measurements of the explosive performance of high explosives. *J Loss Prev Process Ind* 1995; 8: 265-273.
- * Wal KGH van der, Baat C de, Dumans AG. Vuurwerkverwondingen van het aangezicht. *Ned Tijdschr Tandheelkd* 2002; 109: 494-496.

Summary

The impact of fireworks: the context of facial trauma

In the Netherlands the general public can legally use fireworks on New Year's Eve. Despite the fact that the public is well aware of the dangers of fireworks, fireworks accidents occur in which the victims suffer a variety of injuries.

In addition to burns, injuries to fingers and/or hands are most common.

However, injuries to the eye, which can also involve facial trauma, frequently occur as well. Trauma mainly occurs as a result of the destructive effects of the wave of pressure released by the explosion. The best preventive measure would be to prohibit the use of fireworks by amateurs. Until such time, people should be advised to wear protective fireworks glasses when outside so that damage to the eyes from legal fireworks at least can be prevented.

Bron

Dubois L¹, Bahalou Hore M¹, Tjiook RP¹, Mourits MP², Kloos R², Brons R¹
Uit ¹de afdeling Mondziekten, Kaak- en Aangezichts chirurgie van het Academisch Medisch Centrum (AMC) in Amsterdam/ het Academisch Centrum voor Tandheelkunde Amsterdam (ACTA) en ²de afdeling Oogheelkunde van het AMC in Amsterdam

Datum van acceptatie: 24 oktober 2017

Adres: dr. L. Dubois, AMC/ACTA, Meibergdreef 9, 1100 AZ Amsterdam-ZO
L.Dubois@amc.nl

Verantwoording

Afbeeldingen in casusbeschrijving (a t/m d) zijn gepubliceerd met toestemming van de belanghebbende.