



GERRIT KEMERING

## Over elektrocutie in de vroege radiologie en de ontwikkeling van elektrisch veilige röntgentoestellen<sup>1</sup>

Vrijwel iedereen weet dat in er in de begintijd van de radiologie slachtoffers onder de gebruikers van röntgentoestellen zijn gevallen als gevolg van blootstelling aan hoge doses straling. Het beroemde Ehrenbuch [1] en diverse andere boeken en artikelen, houden de herinnering aan deze personen levendig. In MemoRad is niet zo lang geleden aandacht besteed aan slachtoffers uit Nederland die in het Ehrenbuch geheel en al ontbraken [2]. Wat daarentegen maar weinigen zullen weten, is dat in de vroege radiologie ook slachtoffers gevallen zijn door elektrocutie.

In 2010 hebben we in Maastricht röntgenexperimenten herhaald die daar in januari en februari 1896 zijn uitgevoerd door Hoffmans en Van Kleef met apparatuur die destijds gewoon beschikbaar was op de Hogere Burgerschool. Uniek is dat die apparatuur behouden is gebleven, evenals een in druk verschenen verslag van de destijds uitgevoerde proeven samen met de originele opnamen op fotografische glasplaten. Bij de experimenten kregen we af en toe een elektrische tik van de niet afgeschermd contacten en bedrading. Niks ergs, maar wel rees toen de vraag of zo'n tik ook fataal kon aflopen. Destijds hadden we geen idee. Na enig zoeken bleken er wel degelijk fatale ongelukken te zijn gebeurd, alleen was daarover in de literatuur van de laatste decennia helemaal niets terug te vinden: ze leken vergeten, in tegenstelling tot de nog altijd tot de verbeelding sprekende stralingsongevallen. Dit was de aanleiding om de geschiedenis van de elektrische veiligheid in de radiologie eens uit te zoeken. Hier volgt een beknopt verslag; meer informatie en referenties zijn te vinden in het onderaan deze pagina genoemde artikel en bijbehorende supplement.

Een redelijk afgerond en begrijpelijk verhaal over de elektrische risico's in de vroege radiologie kan worden verkregen door te kijken naar een beperkt aantal aspecten. Die zullen we hieronder de revue laten passeren.

### Het risico van elektriciteit voor het menselijk lichaam

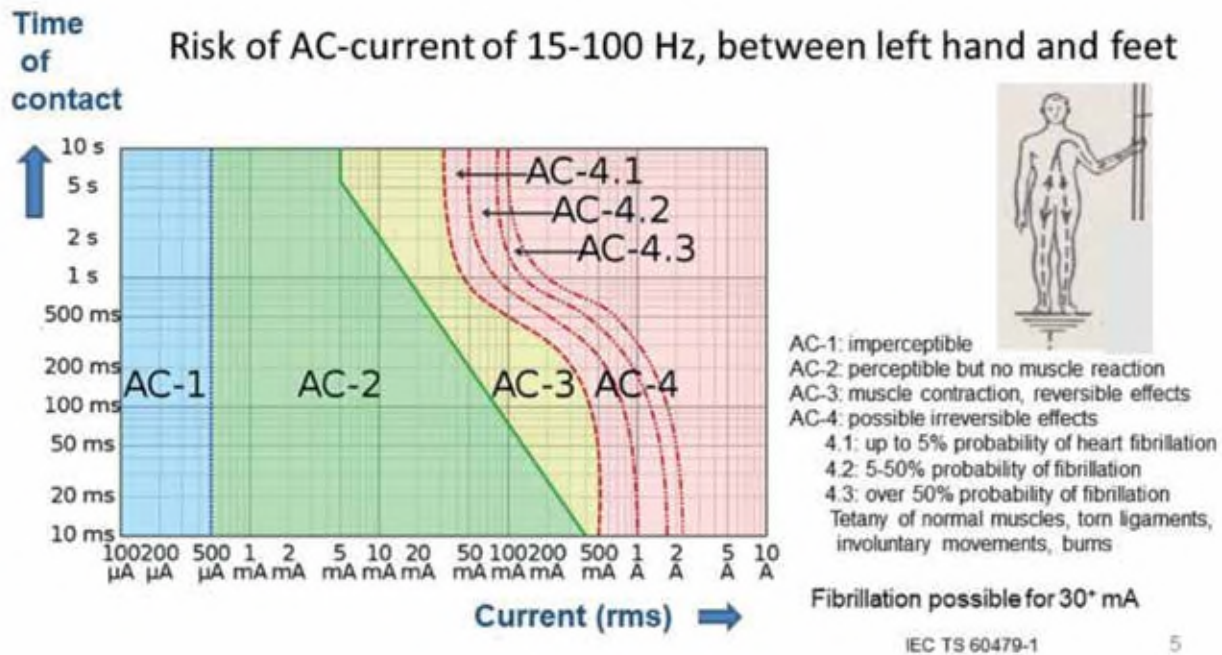
In IEC/TS 60479-1 & -2 staat zeer gedetailleerde informatie over de risico's van elektriciteit [3,4]. Daaruit blijkt dat de grootte van de elektrische stroom

die door het lichaam gaat de belangrijkste factor is voor het risico, niet de hoogte van de spanning, al is die wel nodig voor de stroom. Daarnaast speelt de duur van de stroomdoorgang een rol, net als de pulsform en de frequentie

van de stroom (denk bijv. aan gewone wisselstroom, gelijkgerichte wisselstroom of echte gelijkstroom). Stroom kan brandwonden veroorzaken en ook andere schade in weefsels aanrichten, maar het meest ernstige risico bestaat uit de inductie van ventrikelfibrilleren. Dat heeft immers meestal een fatale afloop als er geen defibrillatie plaatsvindt. *Figuur 1* (aangepast) op de volgende pagina is afkomstig uit IEC/TS 60479-1.

Uit genoemde IEC-documenten is af te leiden dat de drempelstroom, corresponderend met een risico van 5% op inductie van ventrikelfibrilleren, voor gewone wisselstroom gelijk is aan 50 mA, aan 100 mA voor wisselstroom die dubbel gelijkgericht is ('tweepuls'), aan 71 mA als die enkel gelijkgericht is ('eenpuls') en 141 mA als het pulsen van een Ruhmkorff-inductor betreft. Voor echte gelijkstroom is die drempel 150 mA, en voor een wisselstroom van 300 Hz al 250 mA. Het betreft hier in alle gevallen de effectieve stroomsterkte (in het Engels 'root-mean-square current'), behalve bij de inductor, waar het de piekstroom is, en er wordt verondersteld dat er enkele seconden contact is met de stroombron. Uit deze gegevens valt te concluderen dat voor kleine stromen (zeg kleiner dan 30 mA) van levensgevaar meestal geen sprake is. Stromen van 100 mA en meer daarentegen kunnen levensgevaarlijk zijn.

<sup>1</sup> Dit artikel is gebaseerd op een uitgebreider Engelstalig artikel (free access): Forgotten electrical accidents and the birth of shockproof X-ray systems. Kemering GJ, Kütterer G, Wright A, et al. Insights Imaging 2013;4:513-23. .



**Figuur 1.** Het risico van sinusvormige elektrische wisselstroom voor de mens als functie van de (effectieve) stroomsterkte en de contactduur. De figuur geldt voor het frequentiegebied 15-100 Hz, waarbinnen het risico op fibrilleren het grootste is, en een stroom die loopt tussen linkerhand en beide voeten [3].

## Hoogspanningsbronnen gebruikt in de radiologie

In de jaren na de ontdekking van 'X-Strahlen' door Röntgen (d.w.z. in 1896 en daarna) gebruikte men de al goed ontwikkelde elektriseermachines en Ruhmkorff-inductoren als spanningsbron voor de röntgenbuizen. De elektriseermachines leverden als regel niet meer dan 1 mA aan gelijkstroom. De gemiddelde stroom van inductoren was in het begin ook van die orde, maar al gauw werd die stroomsterkte opgevoerd tot maximaal enkele tientallen mA (nog hogere waarden waren in principe mogelijk). De langzame ontwikkeling van röntgenbuizen bepaalde eigenlijk steeds de stroom die generatoren moesten kunnen leveren. Op basis van deze gegevens kunnen we concluderen dat schokken van deze generatoren, die iedereen op zijn tijd wel kreeg [5], in principe geen fatale afloop gekend zullen hebben.

Vanaf 1907 deed de transformator op grotere schaal zijn entree. Deze systemen leverden stromen van een aantal mA voor therapiedoeleinden, en een tiental mA of meer voor diagnostiek. In latere jaren liep die stroom op tot wel meer dan een ampère. Verder hebben transformatoren de eigenschap dat ze bij kortsluiting (bijv. door een gebruiker) een veelvoud van hun nominale stroom kunnen leveren. Aan dit laatste droeg ook de introductie in 1909 van de 'autotransformator' bij: eerder werden weerstandsnetwerken gebruikt om de juiste

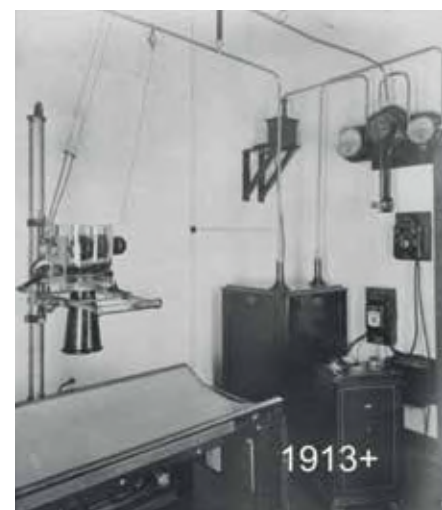
buisspanning en stroom in te stellen, later de autotransformator. Deze laatste heeft een lage impedantie, begrenst de stroom dus in veel mindere mate dan de vroegere weerstanden. Daarbij kwam dat voor transformatoren meestal netspanning gebruikt werd, en ook die heeft een lage inwendige weerstand en kan als regel grote stromen leveren. Dat maakte de combinatie netspanning, autotransformator en hoogspanningstrafo potentieel levensgevaarlijk, zeker toen het vermogen van de systemen mettertijd nog groeide.

## De elektrische bedrading in röntgensystemen

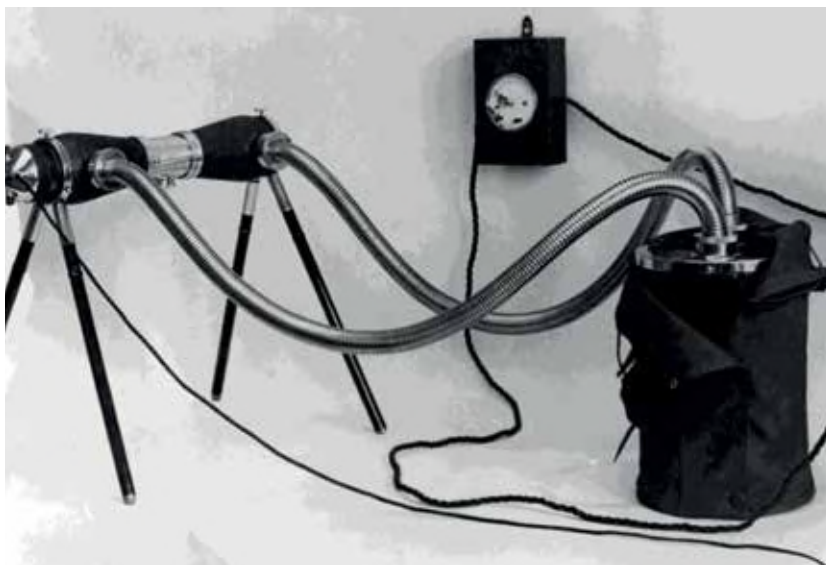
Heel lang waren alle elektrische contac-

ten en verbindingdraden in een röntgensysteem bloot. Het maken van een betrouwbare, afgeschermd en flexibele hoogspanningskabel bleek heel lastig, dat lukte pas rond 1928. Tot die tijd was altijd oplettendheid geboden om onder spanning staande delen niet aan te raken, sterker, er ook niet bij in de buurt te komen. Bij 100 kV kan bijv. al doorslag door lucht plaatsvinden over een afstand van 15 cm.

Hieronder staan een paar foto's van röntgensystemen met hun ongeïsoleerde hoogspanningsverbindingen (Figuur 2). Men ziet direct hoe gemakkelijk men in aanraking kwam met hoogspanning (denk aan doorlichting in het donker). ►



**Figuur 2.** Twee voorbeelden van de ongeïsoleerde bedrading van röntgentoestellen. Links röntgenkamer van Albers-Schönberg in Hamburg. Rechts een Victor-systeem met Coolidgebuis (foto uit collectie van dr. D.O. Cuscuela).



**Figuur 3.** Een vroege versie van een elektrisch 'shockproof' röntgensysteem, de draagbare Philips Metalix uit 1928.

Pas in 1928 lukte het Philips goede hoogspanningskabels te maken (Figuur 3). Daarna kwamen er steeds meer elektrisch veilige toestellen op de markt. Uit advertenties in Radiology en de British Journal of Radiology blijkt dat rond 1935 alle nieuw aangeboden systemen elektrisch 'shockproof' waren.

### Aanbevelingen en regelgeving om de elektrische veiligheid te vergroten

Het besef dat röntgentoestellen elektrisch levensgevaarlijk waren geworden zal zeker voor een deel ontstaan zijn door steeds ernstiger incidenten. Grote beroering veroorzaakte de dood in 1919 van een bekende Franse radioloog, François Jaugeas. In 1920 werd door de American Roentgen Ray Society een commissie in het leven geroepen om naar de elektrische problematiek te kijken. In 1923 kwam deze commissie met

aanbevelingen [6]. In Duitsland volgden aanbevelingen in 1931 in de vorm van DIN RÖNT I. Deze initiatieven hebben zeker bijgedragen aan de ontwikkeling van veiligere werkomstandigheden en veiligere apparatuur.

### Slachtoffers van elektrische ongelukken en hun karakteristieken

Wij hebben gezocht naar slachtoffers in gedigitaliseerde krantenarchieven, tijdschriften, boeken en verslagen van juridische procedures (dat laatste kon alleen in de VS). Behalve fataal afgelopen ongelukken hebben we ook naar ernstige maar niet-fatale incidenten gekeken (criterium: het ongeluk werd destijds zo belangrijk gevonden dat het in druk verscheen). We vonden 51 fatale en 62 niet-fatale elektrische ongelukken. De werkelijke aantallen zijn waarschijnlijk aanmerkelijk groter: waar mogelijk zal

aan ongelukken geen ruchtbaarheid gegeven zijn. Enkele karakteristieken van de ongelukken staan in de *Tabellen I en II* en in *Figuur 4*.

*Figuur 4* toont dat de toename van elektrische ongelukken achterloopt op de technische ontwikkelingen die krachtigere röntgeneratoren mogelijk maakten (de ontwikkelingen binnen rode ellips in *Figuur 4*; zie hiervoor bij [7]). Dit lijkt begrijpelijk; het zal immers een tijd geduurd hebben eer de de nieuwe ontwikkelingen op brede schaal op de werkvloer aanwezig geweest zullen zijn. Ook zal de ontwikkeling naar zwaardere systemen geleidelijk gegaan zijn. Een soortgelijke vertraging zien we in de afname van ongelukken die het gevolg waren van de ontwikkeling van de flexibele en afgeschermd hoogspanningskabel. Daarmee, en met het inbouwen in veilige behuizingen van de hoogspannings-

**Tabel I.** Gegevens betreffende slachtoffers van elektrische ongelukken.

	Arts	Helper <sup>1</sup>	Patiënt	Monteur	Anders	Totaal
<b>Fataal ongeluk</b>						
Aantal	24	9	15	3	0	51
Leeftijd, gem. [jr] <sup>2</sup>	40 (n=15)	25 (n=4)	32 (n=11)	24 (n=3)		
<b>Niet-fataal ongeluk<sup>3</sup></b>						
Aantal	29	14	17	0	2 <sup>4</sup>	62

<sup>1</sup>Helper: verpleger, assistent, laborant, fysicus (man of vrouw).

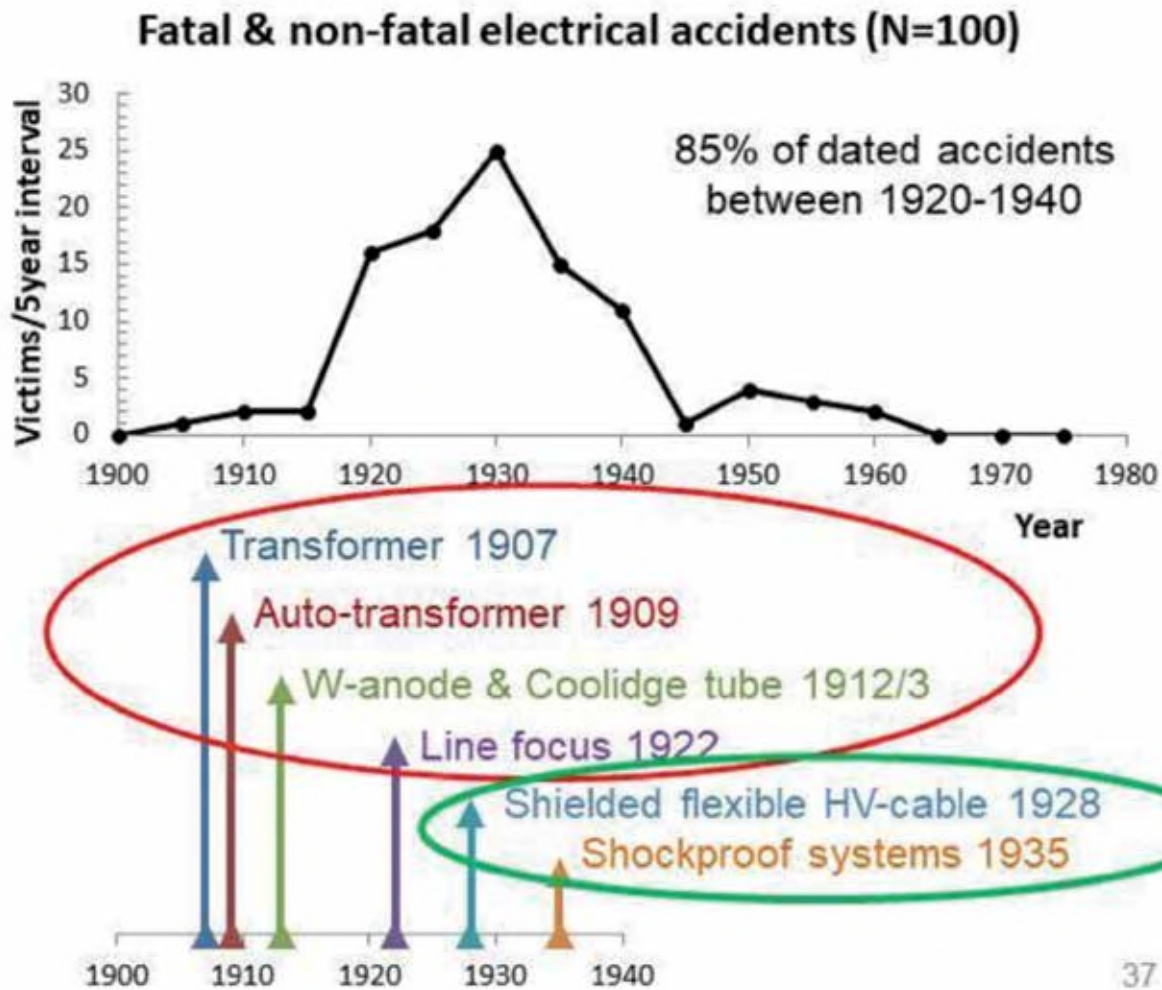
<sup>2</sup>Tussen haakjes het aantal keren dat de leeftijd vermeld werd.

<sup>3</sup>Van 26 personen van de 62 werd vermeld dat ze bewusteloos waren geraakt.

<sup>4</sup>Een brandweerman en een onbekende.

**Tabel II.** Röntgenwerk dat werd verricht tijdens het ongeluk.

	Doorlichting & Radiografie	Tand	Therapie	Onbekend & Anders	Totaal
<b>Fataal ongeluk</b>	24	8	3	16	51
<b>Niet-fataal ongeluk</b>	34	10	3	15	62



**Figuur 4.** Fatale en niet-fatale ongelukken samengenomen als functie van de tijd (boven) en technische ontwikkelingen die bepalend waren voor de elektrische risico's (onder). NB: dertien ongelukken waren niet nauwkeurig gedateerd en konden niet in deze figuur worden gebruikt.

transformator en de Coolidge-röntgenbuis, kwamen elektrisch volledig veilige systemen binnen bereik (groene ellips). Nu vinden we elektrische veiligheid al decennialang vanzelfsprekend.

#### Conclusies puntsgewijs samengevat

- De ontwikkeling van elektrisch veilige röntgentoestellen duurde ongeveer vier decennia: van 1895-1935.
- Tussen 1895 en 1920 waren elektrische schokken heel gewoon, maar ze hadden zelden ernstige gevolgen.
- Dit geringe risico was het gevolg van de kleine stroom die elektriseermachines en Ruhmkorff - inductoren konden leveren.
- Na 1920 waren transformatoren, die stromen boven de inductiedrempel voor ventrikelfibrilleren konden leveren, verantwoordelijk voor dodelijke ongelukken.

- Wij vonden informatie over 51 dodelijke en 62 ernstige maar niet-dodelijke elektrische ongelukken die bijna allemaal plaatsvonden tussen 1920 en 1940;
- Elektrische veiligheid vinden we nu vanzelfsprekend; dat het ooit anders was is grotendeels vergeten.

**Gerrit J. Kemerink, Gerhard Kütterer, Andrew Wright, Frank Jones, Jeff Behary, Jan A.M. Hofman, Joachim E. Wildberger**  
 Afdeling Radiologie en Nucleaire Geneeskunde MUMC+  
 P. Debyelaan 25,  
 6229 HX Maastricht

#### Literatuur

1. Molineus W, Holthusen H, Meyer H, red. Ehrenbuch der Radiologen aller Nationen. Berlin: Blackwell, 1992.
2. Kemerink GJ, Haeseker B, Engelshoven JM van, Simon KJ. Nederlandse 'Röntgenmartelaren'. Memo-Rad 2015;20:25-33.
3. International Electrotechnical Commission. Effects of current on human beings and livestock. Part 1. General aspects. IEC/TS 60479-1. Edition 4 2005-7.
4. International Electrotechnical Commission. Effects of current on human beings and livestock. Part 2. Special aspects. IEC/TS 60479-2. Edition 3 2005-7.
5. Gunther ML. Précautions à prendre dans les installations radiologiques intensives. J Radiol Electrologie 1919;3:544-5.
6. Imboden HM. Report of the safety committee presented at the Los Angeles Meeting of the A.R.R.S. Am J Roentgenol RadiumTher 1923;10:246-7.
7. Grigg ERN. The trail of the invisible light. Charles C Thomas, Springfield, 1965.