

## OORSPRONKELIJKE BIJDRAGEN

*Uit de afdeling Tandheelkundige Röntgenologie van de Katholieke Universiteit te Nijmegen.*

*Hoofd: A. C. M. van de Poel.*

## DE BELICHTINGSTABEL

A. C. M. VAN DE POEL

M. J. G. M. KLOPROGGE

De leesbaarheid van een röntgenfoto is onder meer afhankelijk van de mate van zwarting in de verschillende partijen. Om een tandfilm goed te kunnen beoordelen is het noodzakelijk dat deze zwarting een bepaalde waarde heeft. Een te donkere of te lichte opname vraagt voor zijn interpretatie, naast veel moeite, extra tijd en geeft dan vaak nog niet de gewenste informatie. Voor een optimale beoordelingsmogelijkheid zal de zwarting van de film binnen bepaalde grenzen moeten liggen.

Deze zwarting wordt bepaald door het meten van de verhouding tussen een hoeveelheid op de film vallend licht en het daarvan doorgelaten deel. De logaritme van het quotiënt is de waarde van de zwarting (density = D).

Bijvoorbeeld:

<i>opvallend</i>	<i>doorgelaten</i>	<i>verhouding</i>	<i>zwarting</i>
1	0,1	10	D = 1
1	0,001	1000	D = 3

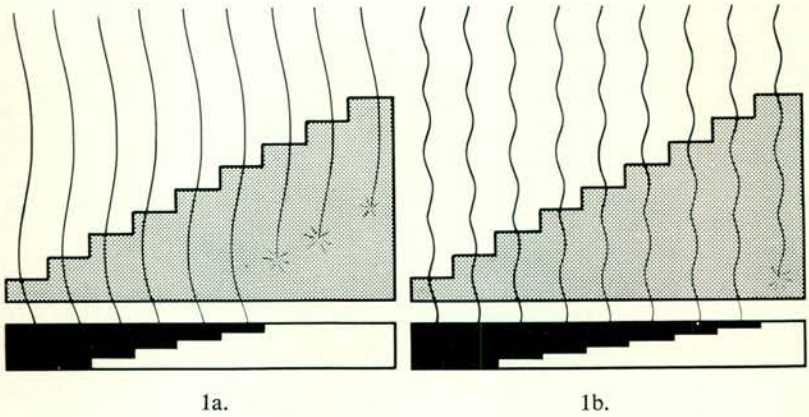
Ligt de zwarting onder 0,5 dan is alles zo licht dat het oog het niet kan waarnemen. Boven 2,7 is het beeld zo donker dat voor het oog alles even zwart lijkt.

De mate van zwarting is afhankelijk van de belichtingstijd. Deze zal daarom nauwkeurig moeten worden bepaald.

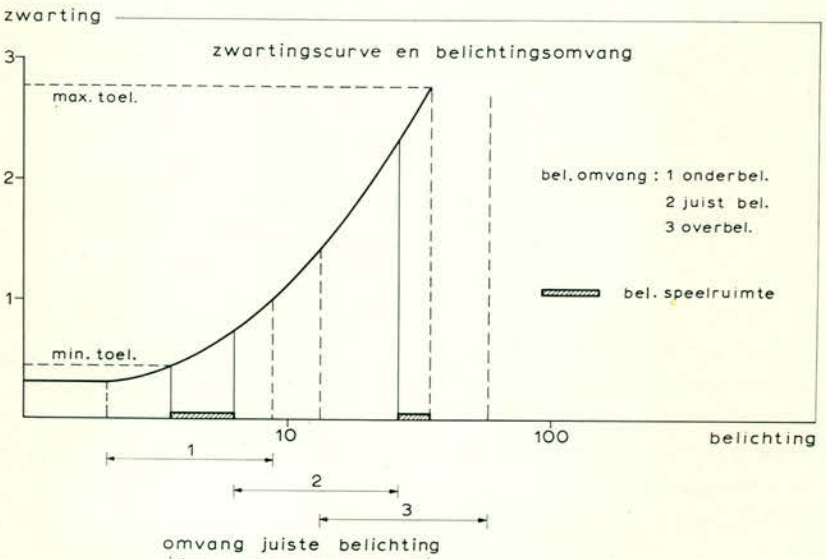
De factoren die de belichtingstijd bepalen zijn:

*A. De samenstelling van de stralenbundel*

De samenstelling van de bundel is afhankelijk van het kilovoltage (kV), het milliampèrage (mA) en het filter.



Afb. 1. (Naar Updegrave.) Doorsnede van een aluminium strip met daarin aangegeven de mate van absorptie voor een lange golflengte (1a) en een korte golflengte (1b). Eronder is schematisch de zwarting op de film weergegeven.  
 1a. Een laag kilovoltage (50 kV) geeft veel stralen met een lange golflengte met als gevolg een groot contrast op de film.  
 1b. Een hoog kilovoltage (65 kV) geeft stralen met een korte golflengte, gevolg weinig contrast op de film maar een lange grijstrap.



Afb. 2. (Naar Van Aken.) Zwartingscurve waarin aangegeven de omvang van de juiste belichting en de belichtingsspeelruimte. Deze ruimte is bij een 50 kV-apparaat bijzonder klein.

1. Het kilovoltage bepaalt de golflengte ( $\lambda$ ) van de stralen. Een hoger kV (60 kV of hoger) geeft een kleinere golflengte. Stralen met een kleine  $\lambda$  hebben een groter doordringend vermogen dan stralen met een grote  $\lambda$  (50 kV of lager).

Bij een cariësonderzoek door 41 Nederlandse tandartsen – verspreid over het hele land – bleek dat 37 van hen werkten met een tandheelkundig röntgenapparaat van het 50 kV type. Daarom zullen de eigenschappen van dit type verder in dit artikel worden besproken.

Een probleem bij deze vrij zachte straling is dat lang moet worden belicht om de dichte structuren en/of dikkere gedeelten voldoende doortekend afgebeeld te krijgen. Immers deze zachte stralen worden al dicht onder de oppervlakte geabsorbeerd. Het gevolg is dat de dunne gedeelten of minder dichte structuren al vrij zwart zijn en de andere nog erg licht (afb. 1). Deze 50 kV-apparaten geven daardoor contrastrijke opnamen.

Bij te lang belichten ontstaat te weinig contrast (verschil in zwarting op twee plaatsen op een foto) in de lichte partijen; te kort belichten geeft te weinig doortekening in de dikke delen.

Deze apparaten hebben maar een kleine belichtingsspeelruimte (afb. 2). Zowel het kV als het mA liggen bij deze apparaten vast. Alleen de belichtingstijd is instelbaar.

2. Het milliampèreage bepaalt de intensiteit – dit is de totale hoeveelheid energie per doorsnede per seconde – van de bundel. Hoe hoger het mA, hoe korter de belichtingstijd.

3. In het algemeen wordt een filter toegepast om de zachtste stralen uit de bundel tegen te houden. Deze zachte stralen worden anders reeds in de oppervlakkige lagen van het object geabsorbeerd. Zij leveren daardoor geen bijdrage aan de beeldvorming, maar verhogen wel onnodig de huiddosis.

De werkzaamheid van een filter wordt vergeleken met die van een aluminiumplaat van bepaalde dikte en uitgedrukt in mm Al. Elk röntgenapparaat heeft een zogenaamd inherent filter, bestaande uit het glas van de röntgenbuis, de olie hieromheen, de mantel van het apparaat en de conus waar de stralen doorgaan. De waarde hiervan komt gewoonlijk overeen met die van 1 à 1,5 mm Al. Aangezien de gewenste filterdikte equivalent is met 2 mm Al zal er dus altijd nog een extra filter moeten worden toegepast. Bij oudere apparaten ontbreekt dit filter veelal.

Een filter van één mm Al vraagt een verlenging van de belichtingstijd met  $\pm 30\%$ .



### B. De patiënt

Tussen de verschillende patiënten onderling bestaan aanzienlijke verschillen, zowel in grootte als in bouw. Ook per patiënt zijn deze nog aanwezig en afhankelijk van de plaats van de opname, de toestand van het parodontium en het aantal aanwezige gebitselementen. De patiënt is een vast gegeven, hieraan kan niets worden veranderd.

### C. Het type film

Gevoeliger films vereisen voor eenzelfde zwarting minder straling dan ongevoeliger soorten. Dit resulteert in een kortere belichtingstijd.

Het is mede in verband met de stralenbescherming dat altijd de meest gevoelige films moeten worden toegepast.

### D. De donkere kamer-techniek

De kwaliteit van de opname wordt sterk beïnvloed door de donkere kamer-techniek. Van belang zijn hierbij de ontwikkeltijd, de samenstelling, de temperatuur van de ontwikkelvloeistof en de beweging van film en vloeistof ten opzichte van elkaar.

De fabrikant van röntgenmateriaal geeft meestal de optimale ontwikkeltechniek aan. Op het grote belang van standaardisatie van deze techniek is nog kortelings in dit tijdschrift uitvoerig gewezen (L. J. W. van der Linden<sup>4</sup>). Een juist belichte film kan alleen bij een optimale ontwikkeling een goed beeld geven.

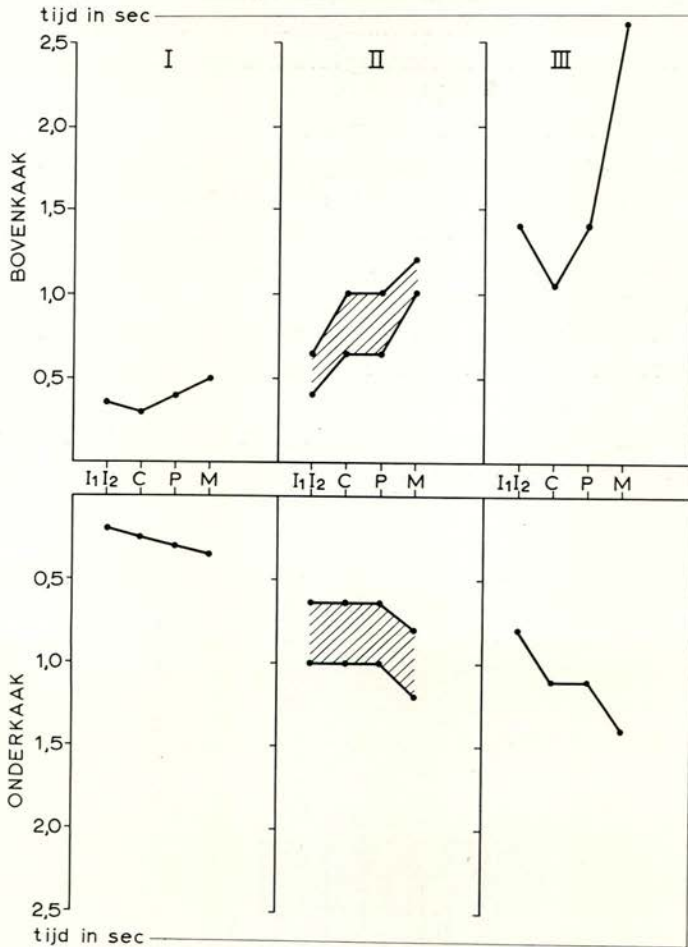
### E. De intensiteit van de lichtbak

Alle röntgenopnamen worden beoordeeld met *doorvallend* licht. Een lichtbak met grote intensiteit maakt het interpreteren van contrastrijkere foto's mogelijk in tegenstelling tot een met een geringere lichtopbrengst, omdat ook de zeer donkere gedeelten nog voldoende worden doorlicht. Een viewer met een geringere intensiteit vereist een lichtere film en dus een kortere belichtingstijd. De gemiddelde waarde van de lichtkasten ligt rond 5000 lux. Van deze waarde zal in dit artikel worden uitgegaan.

### F. Het type masker waarin de film wordt bekeken

In een transparant masker lijkt een film donkerder. Een *niet* doorlatend masker doet de film lichter schijnen door de donkere omgeving. Het voordeel van dit laatste masker is dat de donkere partijen en kleine details hierin makkelijker te beoordelen zijn omdat het oog niet wordt verblind door de zeer lichte rand rondom de foto. Met een lichtsterke kast

en een niet doorlatend masker kunnen donkerder films worden beoordeeld.



Afb. 3. Grafische weergave van:

I. Belichtingstijden, zoals aangegeven door de fabrikant van de Philips' Oralix. De verschillen in de tijden zijn maar gering.

II. Idem voor de Siemens' Heliodent.

De onderlinge verschillen zijn hier groter, vooral voor de bovenkaak. Opvallend is dat een traject wordt aangegeven.

III. Standaardverhoudingentabel, zoals in gebruik op de afd. Tandheelkundige Röntgenologie van het Tandheelkundig Instituut te Utrecht. In deze tabel wordt duidelijk het meest rekening gehouden met de structuur van de patiënt en de plaats van de opname.

*Het samenstellen van de belichtingstabel*

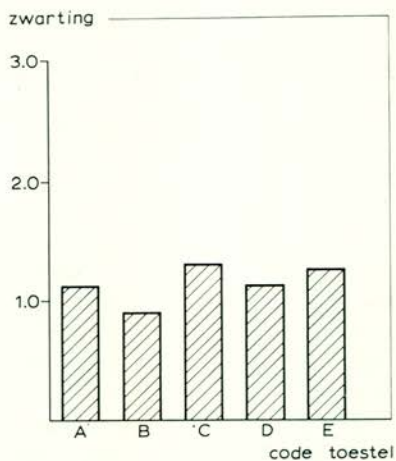
Zoals reeds gesteld, is de enige variabele van de bovenstaande punten de belichtingstijd. Aangezien het object veranderlijk is (punt B) moet door het aanpassen van de belichtingstijd op de diverse opnamen voor dezelfde partijen eenzelfde zwarting tot stand komen. Hiertoe wordt een belichtingstabel samengesteld.

Daarbij wordt als volgt te werk gegaan:

Bij de diverse röntgenapparaten en films bevinden zich tabellen waarop de verschillen in het object in verhoudingen zijn weergegeven (afb. 3). Is eenmaal voor een bepaalde plaats de optimale belichtingstijd bepaald dan kan met behulp van deze standaardverhoudingen een belichtingstabel worden samengesteld.

Er is echter een grote individuele spreiding zowel in de schakeltijden van de mechanische timers, als in de output van de röntgenapparaten van een en hetzelfde merk<sup>7</sup> (afb. 4).

Voor elke combinatie van röntgenapparaat en timer moet dan ook een eigen tabel worden bepaald.



Afb. 4. Het veranderen van de zwarting, bij gebruik van verschillende röntgenapparaat/timer-combinaties van hetzelfde merk (Philips' Oralix). Zowel de belichtingstijd, de ingangsspanning als het object waren voor alle opnamen hetzelfde.



Tabel I. Standaardverhoudingentabel, zoals in gebruik op de afdeling Tandheelkundige Röntgenologie van het Tandheelkundig Instituut te Utrecht.

C	0.7	0.55	0.7	1.3	50 %
B	1.0	0.8	1.0	1.8	70 %
Sup. A	1.4	1.1	1.4	2.6	100 %
<hr/>					
	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub> C	P	M	BW
<hr/>					
Inf. A	0.8	1.1	1.1	1.4	1.4
B	0.55	0.8	0.8	1.0	1.0
C	0.4	0.55	0.55	0.7	0.7

Technische gegevens:

Rö.app.:	film:
kV.:	ontw.:
mA.:	temp.:
focus-huid afstand:	tijd:
toegevoegd filter:	

A, B en C hebben betrekking op de bouw van de patiënt.

A: Een gemiddelde volwassen patiënt waarbij de meeste gebitselementen aanwezig zijn:

B: Patiënten met: gemuteerde gebitten, parodontopathieën (geresorbeerde kaakwallen, losstaande elementen), tengere bouw.

C: Kinderen met een melkgebit.

Bij een laag kV speelt het aantal gebitselementen en de mate van resorptie van de processus alveolaris een grote rol.

Per opname moet dan worden overwogen welke belichting nodig is (A, B of C). Voor zeer forse patiënten is het raadzaam de belichting volgens A nog met 25 % te verlengen.

In tabel I wordt duidelijk rekening gehouden met de structuur van de patiënt en de plaats van de opname. Dit in tegenstelling tot die, vermeld bij de toestellen in afb. 3. Variaties in de resultaten zijn bij het toepassen van tabel I slechts mogelijk òf door een misschatting, òf door een in zijn bouw van het gemiddelde afwijkende patiënt.

De optimale belichtingstijd kan op verschillende manieren worden bepaald:

### A. Door middel van berekenen

Door de gegevens van de film aan te passen aan die van het bewuste röntgenapparaat.

Bijvoorbeeld: gegevens: Kodak Ultra Speed; bij 65 kV, 10 mA, focus-object afstand 20 cm en 2 mm Al filter bedraagt de opnametijd voor ondermolaren  $\frac{1}{4}$  sec.;

Gegevens röntgentoestel: Philips' Oralix 50 kV, 7 mA, 2 mm Al filter, focus-object afstand 10 cm.

Daar de belichtingstijd ongeveer omgekeerd evenredig is met de vierde macht van de hoogspanning (kV) en omgekeerd evenredig met de buisstroom (mA) kan de volgende formule worden toegepast:

$$kV_1^4 \times mA_1 \times T_1 = kV_2^4 \times mA_2 \times T_2$$

Voor het bovengenoemde voorbeeld geldt dan:

$$65^4 \times 10 \times \frac{1}{4} = 50^4 \times 7 \times T_2$$

Hieruit is  $T_2$  te berekenen.

De belichtingstijd is voorts recht evenredig met het kwadraat van de afstand van de focus tot het object. De afstand wordt hier van 20 tot 10 cm teruggebracht, de berekende tijd zal nog door vier gedeeld moeten worden. Hiermede is de belichtingstijd voor het bewuste röntgenapparaat bekend.

Het nadeel van deze methode is dat de aldus berekende belichtingstijd een middelwaarde tijd is.

De berekende waarde zal dus, gezien de reeds vermelde verschillen in output van de röntgenapparaten, met behulp van een aantal proefopnamen nog moeten worden getoetst.

### B. Door proefopnamen bij een patiënt te maken

Bij het bepalen van de plaats voor de proefopnamen dient rekening te worden gehouden met het volgende:

1. De film moet gemakkelijk geplaatst kunnen worden zonder dat de patiënt er veel hinder van heeft.
2. De afstand object-film moet overal gelijk en zo klein mogelijk zijn.
3. De stralen moeten zoveel mogelijk loodrecht het filmoppervlak treffen.



Deze laatste twee voorwaarden staan in verband met de onscherpte; deze is dan zo klein mogelijk en overal van dezelfde grootte.

4. De instelling van het röntgenapparaat moet gemakkelijk reproduceerbaar zijn (een aantal opnamen van hetzelfde object moet vergeleken kunnen worden).
5. Het gebied moet voldoende punten voor een beoordeling bevatten.

Hieruit volgt dat een opname van de ondermolaarstreek of een bitewing opname van de premolaar-molaarstreek het meest geschikt is.

Van het gekozen gebied wordt een aantal proefopnamen gemaakt. Hierbij kan worden uitgegaan van een tijd zoals die bij de gegevens van het toestel staan vermeld. Helaas wordt hier nooit de filmsnelheid van de door de fabriek gebruikte film vermeld.

De tijden liggen veelal te laag. Beter is het daarom uit te gaan van de onder A berekende tijd ( $T_2$ ). Er wordt een serie opnamen gemaakt waarbij de belichtingstijden 20 % verschillen. Een verschil van minimaal 20% is nodig omdat anders zwartingsverschillen optreden, die het oog moeilijk kan waarnemen.

Aan de hand van een aantal criteria wordt vervolgens de beste opname uitgezocht.

- Deze criteria zijn:
1. scherpte glazuur-dentine grens,
  2. zichtbaarheid cement-glazuur overgang,
  3. duidelijkheid van de pulpakamer,
  4. periodontaallijn - lamina dura,
  5. spongiosa structuur,
  6. cariësdefect - voornamelijk bij de bitewing opname.

Zijn de opnamen van de proefserie te donker of te licht, dan moet een nieuwe reeks worden gemaakt, waarbij nu wordt uitgegaan van de tijd van de beste opname uit de eerste serie. Op deze wijze kan de optimale belichtingstijd worden vastgesteld voor dit röntgenapparaat en het bewuste object.

Met de gevonden waarde kan nu de tabel worden berekend door middel van de standaardverhoudingsgetallen (tabel I).

Bezwaren van deze methode zijn:

- a. Voor het maken van proefopnamen moet men uitgaan van de „gemiddelde” patiënt. De gevonden tijden moeten dus nog bij een aantal andere patiënten worden getoetst om zo nodig de tabel aan de nieuw gevonden waarde te kunnen aanpassen.

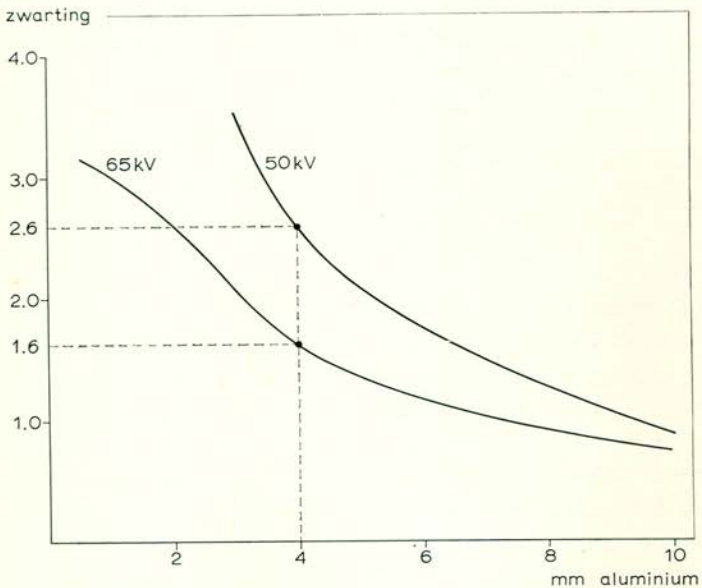
b. De proefpersoon ontvangt een röntgendosis die hoger is dan strikt noodzakelijk.

### C. Met behulp van de penetrometer volgens Wainwright

Met deze methode wordt een aantal van de genoemde bezwaren onderzocht.

De penetrometer werd in 1960 geïntroduceerd door Wainwright en Villanyi. Deze bestaat uit een plexiglasplaatje van  $3 \times 4$  cm (het formaat van de meest gebruikte tandfilm no. 2), waarop in het midden een aluminium strip met een dikte van 4 mm en ernaast een loden plaatje met een dikte van 2 mm is bevestigd (afb. 6).

Een röntgenfoto hiervan geeft een film met een zwart, een grijs en een transparant deel. Belicht met de tijd voor ondermolaren met een röntgenapparaat van 65 kV, 10 mA en 2 mm Al totaal filter, is de zwarting van het grijs 1,6. Volgens Wainwright zou deze waarde onafhankelijk zijn van de samenstelling van de gebruikte bundel. Dit is echter niet juist, want de zwarting is wel degelijk afhankelijk van het gebruikte kilovoltage en de filterwaarde (afb. 5). Om dit aan te tonen werd van de pene-

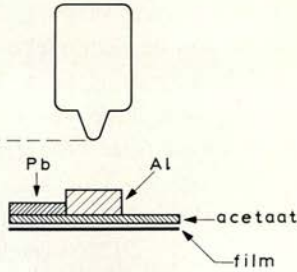


Afb. 5. De zwarting is afhankelijk van het gebruikte kV. Voor de belichtingstijd van de ondermolaar is bij 50 kV, 2 mm Al totaal filter de zwarting 2,6 en bij 65 kV, 2 mm Al totaal filter 1,6.

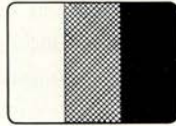
Belicht: met de tijd  
voor de ondermolaar

afstand dop conus  
tot de film: 2,5 cm

leg de penetrometer op de film



ontwikkel:  
film van de penetrometer



moet zijn:

helder

diepgrijs  
D = 2,6

zwart

is het echter:

grijs

te donker

grijs

controleer:

Doka - verlichting  
lichtlekken  
leeftijd film  
opslag van de film  
ontwikkelen o. h. oog

overbelichting

onderbelichting  
onderontwikkeling  
te kort  
te koud  
ontwikkelaar uitgeput  
gecontamineerd  
leeftijd film

te licht

onderbelichting  
onderontwikkeling  
ontwikkelaar te  
veel verdund

Afb. 6. (Naar Wainwright en Villanyi.) Toepassing van de penetrometer.

trometer een aantal opnamen gemaakt (met een 50 kV-apparaat, 2 mm Al totaal filter) en als belichtingstijd die voor de ondermolaren, bepaald volgens methode B. De zwarting hiervan bleek 2,6 te zijn. Deze opname is daarom als standaard gekozen. (De penetrometer en de standaard



( $D = 2,6$ ) zijn op aanvraag verkrijgbaar bij de afdeling Tandheelkundige Röntgenologie van de Katholieke Universiteit te Nijmegen.)

Uitgaande van deze zwarting  $D = 2,6$  kan met behulp van de penetrometer voor elke combinatie van röntgenapparaat en timer van het 50 kV, 2 mm Al totaal filter type een juiste belichtingstabel worden samengesteld.

Hiertoe wordt van de penetrometer een aantal proefopnamen gemaakt (met belichtingstijden die 20 % verschillen), uitgaande van de ondermolaartijd. Deze worden vergeleken met de standaardopname. Met de aldus gevonden waarde en de standaardverhoudingentabel kan nu de gehele belichtingstabel worden berekend. Het voordeel van deze methode is dat de belichtingstabel meer exact kan worden samengesteld, zonder daarbij een patiënt onnodig aan straling bloot te stellen.

Wainwright en Villanyi beschreven nog een aantal andere mogelijkheden van dit fantoom, waarvoor verwezen wordt naar afbeelding 6.

#### *Samenvatting:*

Van de factoren die de belichtingstijd beïnvloeden zijn de samenstelling van de bundel, het type film en de donkere kamer-techniek de meest belangrijke. Nadat deze zijn gestandaardiseerd kan de juiste belichtingstijd worden bepaald.

Beschreven wordt hoe een belichtingstabel voor een bepaalde röntgenapparaat/timer-combinatie kan worden samengesteld. Daarbij biedt de methode met de penetrometer volgens Wainwright bepaalde voordelen.

Om bij de kleine tandheelkundige röntgenapparaten tot goede resultaten te kunnen komen, moet voor elke combinatie röntgenapparaat-tijdschakelaar een individuele belichtingstabel worden samengesteld.

#### *Summary:*

The most important factors to influence the exposure time are the arrangement of the beam, the film type and the method used in the processing-room. Only when these have been standardized it is possible to decide on the exact exposure time.

A description is given on how to arrange an exposure table for a certain X-ray machine-timer combination.

The penetrometer method ascribed to Wainwright offers various advantages. To be assured of better results an individual exposure table has to be arranged for each combination x-ray machine and timer.

#### *Literatuur:*

1. Aken, J. van (1968): Persoonlijke mededeling.
2. Davis, Mrs. M. (1968): Optimum exposure of x-ray film. D. Radiography and Photography 39: 4, 83.

3. *Degering, C. Z.* (1968): Preliminary evaluation radiographs. Aid to optimum radiographic surveys. *D. Radiography and Photography* 41: 3, 62.
4. *Linden, L. W. J. van der* (1968): Gestandaardiseerd ontwikkelen in de tandheelkundige praktijk. *N.T.v.T.* 11: 765.
5. *Manson-Hing, L. R.* (1962): Vision and oral roentgenology. *Oral Surg. M. P.* 15: 2, 173.
6. *Plaats, J. G. van der* (1966): Medische röntgentechniek. *Tijdstroom, Lochem.*
7. *Trouerbach, W. Th., Aken, J. van* (1965): Some properties of six different types of dental x-ray units. *Oral Surg. M. P.* 20: 6, 743.
8. *Updegrave, W. J.* (1960): High or low kilovoltage. *D. Radiography and Photography* 33: 4.
9. *Wainwright, W. W.* (1965): Dental radiology. McGraw-Hill Book Comp.: 346.
10. *Wuehrmann, A. H.* (1960): Radiation protection and dentistry. The C. V. Mosby Comp., St. Louis.

Erasmuslaan 1,  
Nijmegen.