

werkt. Later gaven Bang c.s. (Acta Odontol Scand 1970) als hun mening te kennen dat men zou kunnen volstaan met de meting van de transparantie van het worteltandbeen aan nog intacte elementen. Anderen baseren hun schattingen weer op getallen, verkregen uit het quotiënt tussen de lengtewaarde van het wortelkanaal en die van de bovenbedoelde transparante zone, weliswaar naar eigen zeggen met redelijk betrouwbaar resultaat, maar intussen toch met afwijkingen tot vijf jaar.

Het desbetreffend onderzoek van de auteurs (Medizinische Akademie 'Carl Gustav Carus' te Dresden) geschiedde aan 524 nagenoeg gave eenwortelige elementen, ontnomen aan 214 lijken (97 mannen en 117 vrouwen: leeftijden 13-99 jaar). Van deze

elementen werden met behulp van doorvallend licht eerst de afmetingen van de reeds genoemde transparante zone vastgesteld. Vervolgens werden de elementen evenwijdig aan hun lengte-as in mesio-distale richting beslepen tot aan de grootste uitbreiding van het wortelkanaal.

Aan deze 'Zahnhalbschliffen' werden de genoemde afmetingen opnieuw geregistreerd. Onder de microscoop werd bij 66-voudige vergroting tevens een aantal andere parameters zo nauwkeurig mogelijk bepaald, o.a. de wortellengte, de diameter van het wortelkanaal op verschillende hoogten, de afzetting van onregelmatig tandbeen tegen het pulpapak e.d. Uit de aard van de zaak waren de onderzoekers tijdens deze handelingen niet bekend met

de herkomst der elementen.

Uit dit onderzoek kwam bij statistische analyse naar voren dat de transparante zone van het worteltandbeen het betrouwbaarste criterium voor de leeftijd van de betrokkenen verschaftte, gevolgd door de afzettingen van onregelmatig dentine tegen het pulpapak. Al te hoge verwachtingen mag men overigens van deze methode ook weer niet koesteren. Ondanks alle voorzorgen ter wille van de nauwkeurigheid heeft men altijd rekening te houden met een door de individuele variabiliteit in de genoemde parameters gedicteerde incongruentie tussen biologische leeftijd en kalenderleeftijd.

Visser - Laren

ONDERZOEK

EEN NIEUWE METHODE VOOR VISUELE TANDKLEURBEPALING

T. P. VAN DER BURGT *Uit het Instituut Conserverende Tandheelkunde voor Volwassenen van de Katholieke Universiteit te Nijmegen*

J. J. TEN BOSCH *en de vakgroep Materia Technica van de rijksuniversiteit te Groningen.*

Trefwoorden: Prothetische tandheelkunde - Tandkleurbepaling

Inleiding

De kleur van een object kan in principe op twee manieren worden bepaald: door directe visuele waarneming of met behulp van optisch instrumentarium.¹

Bij visuele kleurbepaling wordt de kleur van een object vergeleken met gekleurde standaarden. Het object en de standaard worden tegelijkertijd en onder dezelfde belichting beoordeeld. Dit systeem wordt in de tandheelkunde veelvuldig toegepast, waarbij de kleurstandaarden in de prothetische tandkleurringen zijn ondergebracht.

Deze methode heeft echter een drietal tekortkomingen. Ten eerste is het assortiment beschikbare kleurnuances te klein, tevens zijn de kleuren niet logisch gerangschikt.² In de tweede plaats is er slechts een geringe mate van overeenstemming tussen tandartsen onderling bij het beoordelen van tandkleur.^{3,4} Ten derde is het niet mogelijk de verkregen informatie te vertalen naar officiële C.I.E.*-kleurspecificaties.

Met optisch instrumentarium wordt het licht geanalyseerd, dat door een object wordt gereflecteerd. In de literatuur wor-

den een aantal pogingen beschreven om met reflectiemetingen de kleur van gebits-elementen instrumenteel vast te stellen.^{2,5,6,7} De verschillende onderzoekers vonden de natuurlijke tandkleuren in verschillende gebieden in de kleuruimte.⁷ Waarschijnlijk wordt deze discrepantie voornamelijk veroorzaakt doordat in deze studies onvoldoende rekening is gehouden met de optische eigenschappen van troebele (doorschijnende) materialen.^{8,9} Een tand is namelijk opgebouwd uit relatief opaak (ondoorzichtig) dentine bedekt met een laag troebel glazuur, hetgeen belangrijke consequenties heeft voor de kleurbepaling.

Samenvattend kan geconcludeerd worden dat momenteel geen betrouwbare methode voor tandkleurbepaling beschikbaar is. Het doel van deze studie was een nieuwe methode te ontwikkelen om tandkleur visueel te kwantificeren, aangepast aan de optische verschijnselen in tandglazuur.

Materiaal en methode

De gebitselementen

Geëxtraheerde menselijke bovenincisieven werden gebruikt. De tanden werden visueel geselecteerd teneinde een groot gebied van natuurlijke tandkleuren te bestrijken. Om verkleu-

Samenvatting:

In dit verslag wordt een nieuwe visuele methode gepresenteerd om tandkleur te kwantificeren. In principe wordt de tandkleur bepaald door visuele vergelijking met opake kleurstandaarden, welke logisch zijn gerangschikt volgens de drie visuele kleurdimensies. De standaarden zijn met een spectrofotometer geanalyseerd en de C.I.E.-kleurcoördinaten zijn berekend. De belichting en de waarneming zijn gestandaardiseerd tijdens de kleurbepalingsprocedure. De methode is gebaseerd op de fysisch-optische verschijnselen die in tandglazuur optreden. Met deze methode is het mogelijk de kleur van gebitselementen in drie kleurdimensies te kwantificeren. De methode is intra-oraal toepasbaar en de betrouwbaarheid is aangetoond.

ring van de tandkroon tijdens de studie te voorkomen, werd het buitenoppervlak van de tanden mechanisch gereinigd en gepolijst. Daarnaast werden de pulpae verwijderd, de pulpakamers schoongemaakt (met geschikt endodontisch instrumentarium) en gevuld met Consize*. Gedurende de gehele experimentele periode werden de elementen in water bewaard.

De kleurstandaarden

De collectie van standaarden bestond uit glanzende opake kartonnen stripjes** (22x40 mm), gerangschikt volgens de drie visuele kleurdi-

*3M, St. Paul, V.S.

**Uit: Sikkens Kleurcollectie 20/21, Sikkens, Sassenheim.

*1 Commission Internationale d'Eclairage, Parijs.

mensies: *hue*, *value* en *chroma* (afb. 1).¹⁰ Deze rangschikking is analoog aan die van Munsell.¹¹ De *hue* of tint is datgene wat in de normale spreektaal wordt aangeduid als de kleur: rood, groen, blauw, etc. De *value* of helderheid is de vergelijkbare grijswaarde tussen wit en zwart via vele gradaties van grijs. De term *chroma* beschrijft de intensiteit of verzadigingsgraad van een kleur bij gegeven *hue* en *value* (afb. 2). Iedere standaard werd geanalyseerd met een spectrofotometer^{*)}. Uit de verkregen reflectiecurven werden de C.I.E.-kleurspecificaties X, Y en Z berekend.¹² Teneinde de interpretatie van deze fysische grootheden te vergemakkelijken, werden de gegevens getransformeerd naar de *hue*, *value*, *chroma* kleurruimte.¹⁰ Ter voorkoming van misverstanden dient te worden vermeld dat de verkregen waarden niet overeenkomen met de Munsell *hue*, *value* en *chroma*. In de collectie kleurstandaarden waren zeven verschillende *hue*-stappen, acht *value*- en zes *chroma*-stappen te onderscheiden. De grootte van de kleurafstand tussen opeenvolgende standaarden was ongeveer 0.1 voor *hue*, 5.0 voor *value* en 0.12 voor *chroma*. De collectie was niet compleet voor alle mogelijke combinaties, voornamelijk omdat de kleuren alternerend gesorteerd waren voor *value* en *chroma*.

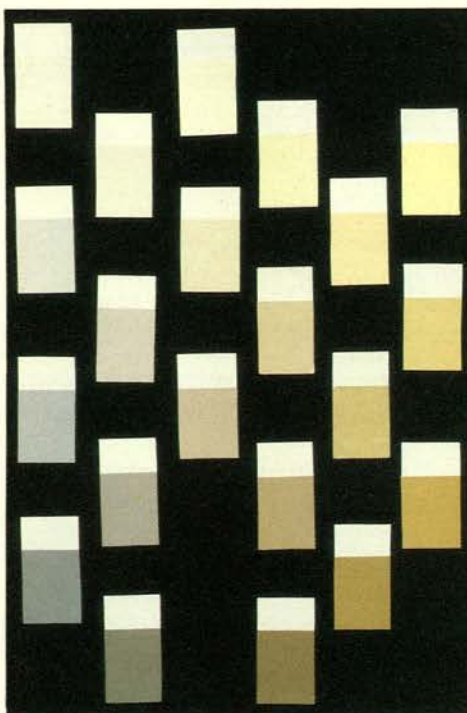
De belichting

De achtergrond en de omgeving werden constant gehouden en voor beide werden neutrale kleuren gekozen. Om de klinische situatie na te bootsen, werd de te beoordelen tand frontaal in de tandboog van een fantoomkop geplaatst. De waarnemers droegen een witte jas. De belichting was uitsluitend afkomstig van daglicht gecorrigeerde TL-buizen^{**)}. De lichtintensiteit op het tandoppervlak was 1500 Lux.

De waarneming

De waarnemers waren tandartsen of tandheelkunde-studenten met een normaal kleur-onderscheidingsvermogen^{***)}. Nadat het systeem van kleurindeling was uitgelegd, werd de waarnemers gevraagd die standaard te selecteren waarvan de kleur het meest overeenkwam met het te beoordelen element.

De kleur van het mid-cervicale gedeelte van het labiale vlak van de tand, werd vergeleken met de kleur van de standaard. De standaard werd in hetzelfde vlak gehouden als het labiale tandoppervlak. Beide oppervlakken werden tegelijkertijd bekeken door twee gaatjes (doorsnede 4 mm; 6 mm van elkaar) in een neutraal grijs maskertje (15x35 mm). Met behulp van een speciale houder werd het maskertje parallel aan het



Afb. 1. Gedeelte uit de verzameling kleurstandaarden voor tandkleurbeoordeling. In dit voorbeeld is de *hue*-waarde van de standaarden constant. Van boven naar beneden neemt de *value*-waarde af; van links naar rechts wordt de *chroma*-waarde hoger.

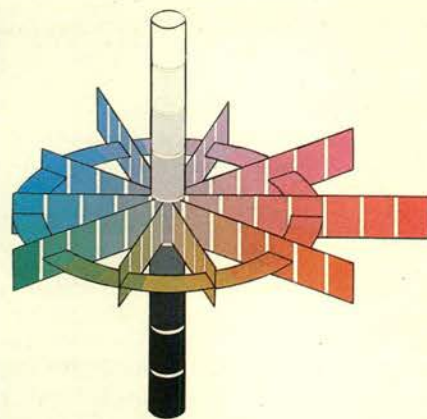
tandoppervlak gehouden op een afstand van 30 mm (afb. 3 en 4). Door de open ruimte tussen het maskertje en de tand, werd de gehele tandkroon vanuit de omgeving belicht.

De beoordelingsafstand was ongeveer 25 cm. De beschouwingshoek werd zodanig gekozen dat directe glans vanaf de tand of de standaard werd vermeden. Voorts werd steeds slechts enkele seconden gekeken, terwijl in de tussentijd de ogen even werden afgewend. Op deze wijze werd de kleur van tien tanden tweemaal bepaald door 25 waarnemers.

Resultaten

Na een korte uitleg van de *hue*-, *value*-, *chroma*-kleurindeling, waren alle waarnemers in staat bij een tand systematisch een passende kleurstandaard te selecteren. Door de waarnemers werd vaak geconstateerd, dat de kleur van een tand tussen twee opeenvolgende standaarden was gelegen. In dergelijke gevallen werd gevraagd een tussenliggende kleur te definiëren op een driepuntsschaal tussen standaarden. De bijbehorende kleurwaarden werden berekend door lineaire interpolatie.

De resultaten van de variantie-analyse voor respectievelijk *hue*, *value* en *chroma* zijn weergegeven in tabel I. De variantiebron 'tussen waarnemingen' blijkt significant te zijn en moet voor alle kleurdimensies worden verklaard door de verschillen tussen waarnemers. Binnen waarnemers blijkt geen significant verschil te bestaan.



Afb. 2. De indeling van kleuren volgens het Munsell-systeem. (Overgenomen met toestemming van Munsell Color Corp., Baltimore, MD, V.S.).

Vergeleken met de zeer significante verschillen tussen tanden (tabel II), dragen de verschillen tussen waarnemers slechts in geringe mate bij tot de totale variatie. Tabel II geeft de gemiddelde kleurwaarden en de standaarddeviaties van de biologische spreiding van de eerste kleurbeoordeling aan tien tanden door 25 waarnemers.

Discussie

In de beschreven kleurbeoordelingsmethode zijn de omstandigheden optimaal voor het visueel vergelijken van de kleur van objecten. Voor de belichting zijn daglicht gecorrigeerde TL-buizen gekozen, vanwege hun constante karakter en uitstekende kleurweergave. Natuurlijk daglicht is niet gebruikt omdat het varieert al naar gelang de atmosferische omstandigheden en bovendien relatief veel blauw licht bevat. Om de tanden te beoordelen, is een middelhoge lichtintensiteit geselecteerd. Het vermogen om tandkleur te bepalen blijkt onafhankelijk te zijn van het belichtingsniveau, extreem hoge of lage intensiteiten uitgezonderd.⁴ De kleur van ieder object is bepaald in dezelfde omgeving, omdat de waargenomen kleur indirect wordt beïnvloed door gereflecteerd licht afkomstig van omringende gekleurde voorwerpen.

De tand en de standaard zijn beoordeeld tegen dezelfde achtergrond door een geperforeerd grijs maskertje te gebruiken. De interpretatie van een kleur wordt namelijk onder meer bepaald door de achtergrond waartegen het object wordt gezien, als gevolg van fysische processen in het netvlies. Tenslotte was de grote verzameling van logisch gesorteerde kleurstandaarden ongetwijfeld bevorderlijk bij het maken van een weloverwogen keuze. Om de kleurbeoordelingsmethode op juiste

*) Huntelab spectrofotometer D54P-5, Hunter Associate, Laboratory Inc., Reston, V.S.

**) Philips TL-47 (kleurtemperatuur 5000 °C; kleurweergave-index 98), Philips, Eindhoven.

***) 100 Hue Farnsworth-Munsell Test.

Tabel I. Variantie-analyse voor de hue-, value- en chroma-scores van 10 tanden 2 maal beoordeeld door 25 waarnemers. DF = aantal vrijheidsgraden; MS = kwadraatsom; F = F-ratio;

Variantie-bron	DF	Hue		Value		Chroma	
		MS	F	MS	F	MS	F
Tussen tanden	9	0.44476	855.3077***)	2138.320	402.242***)	0.72911	513.458***)
Tussen waarnemingen	49	0.00078	1.5000*)	12.798	2.407**)	0.00309	2.176***)
Tussen waarnemers	24	0.00109	2.0962***)	15.976	3.005***)	0.00444	3.127***)
Binnen waarnemers	1	0.000	0.00	1.364	0.250	0.00061	0.429
Interactie	24	0.00050	0.9615	10.095	1.899**)	0.00185	1.303
Residu	441	0.00052		5.316		0.00142	
Totaal	499						

*) $p < 0.1$; **) $p < 0.01$; ***) $p < 0.001$.

wijze te gebruiken, dient aan enkele voorwaarden te worden voldaan. Het is noodzakelijk het vochtgehalte in het tandweefsel zorgvuldig te handhaven, omdat de doorschijnendheid van het glazuur drastisch verminderd na uitdrogen.¹³ Hierdoor zal de kleur van het onderliggende dentine niet meer zichtbaar zijn, zodat de tand een mat wit uiterlijk krijgt. De volgende voorwaarden hebben betrekking op de belichting van de tanden. Het is zeer essentieel dat het geperforeerde maskertje op een afstand van het tandoppervlak wordt gehouden. In dit verband is het interessant de resultaten uit een voorgaande studie te vermelden. In deze studie is de kleurwaarneming op tanden in twee situaties vergeleken: met het geperforeerde maskertje op 30 mm afstand van de tand ofwel met het maskertje dicht tegen het tandoppervlak aan.¹⁴ Het bleek dat in beide situaties voor dezelfde tand zeer verschillende standaarden werden geselecteerd. Bovendien bleek dat de kleur van de standaard, geselecteerd terwijl het masker tegen de tand werd gehouden, geheel niet overeenstem-

de met de klinische indruk van de tandkleur.

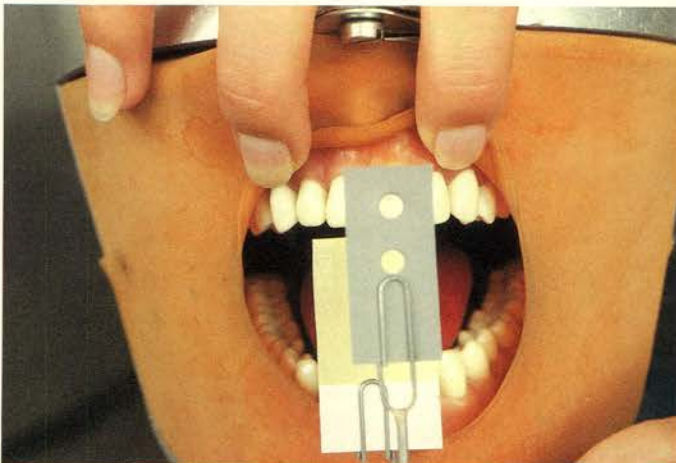
De noodzaak van een afstand tussen tand en maskertje kan theoretisch worden verklaard door een beschouwing van de lichtverstrooiing in troebele materialen. Bij vrijwel alle voorwerpen ontstaat reflectie doordat opvallend licht in het materiaal wordt verstrooid en vervolgens door het belichtingsoppervlak weer uit het materiaal treedt. Dit proces wordt aangeduid als *volumereflectie*. Omdat het licht in het materiaal doorschijnt, treedt het ook op een andere plaats uit dan waar het inviel. De weglengte die daarbij in het materiaal wordt afgelegd is afhankelijk van de verstrooiingscoëfficiënt van het materiaal en de golflengte van het licht. In tandglazuur is deze weglengte gemiddeld in de orde van enkele millimeters. Wanneer het geperforeerde maskertje dicht tegen het tandoppervlak wordt gehouden, wordt de tand gedeeltelijk afgedekt. De belichting en de waarneming vinden dan plaats door hetzelfde kleine venster. In een dergelijke situatie zal relatief veel licht op een andere

Tabel II. Gemiddelde hue-, value- en chromawaarden (\pm standaarddeviaties in de biologische variatie) van de eerste kleurbeoordeling aan 10 tanden door 25 waarnemers.

Hue	1.02 \pm 0.08
Value	71.45 \pm 6.6
Chroma	0.48 \pm 0.13

plaats dan het venster uittreden. Omdat deze processen golflengte-afhankelijk zijn, zullen onvermijdelijk fouten in de kleurwaarneming optreden. Wanneer voldoende ruimte tussen de tanden en het geperforeerde maskertje aanwezig is, wordt de gehele tand vanuit de omgeving verlicht. Dit is van belang om volumereflectie en interne diffusie van licht in de tand in de waarneming te kunnen betrekken.

Voorts is het belangrijk dat geen glans vanaf de tand of de standaard wordt gezien, daar glans uitsluitend informatie over de lichtbron geeft. Tenslotte dient schaduwvorming op de tand of de standaard te worden vermeden.



Afb. 3. Vooraanzicht van de visuele methode voor tandkleurbepaling.



Afb. 4. Zijaanzicht van de visuele methode voor tandkleurbepaling.

Voor sommige tanden was het onmogelijk een perfect passende standaard te selecteren, omdat tussenliggende kleuren benodigd waren. Een suggestie voor verbetering van de methode is dan ook de collectie kleurstandaarden uit te breiden.

De kleurbepalingsmethode kan worden toegepast om intra-oraal de kleur van frontelementen vast te stellen. De methode is zeer geschikt voor onderzoeksdoel-einden, zoals bijvoorbeeld longitudinale klinische studies naar interne of externe tandverkleuring. De verkleurende eigenschappen van een aantal wortelkanaalce-menten is recent onderzocht met behulp van deze visuele kleurbepalingsmetho-de.¹⁵ Wellicht is de methode ook te gebrui-ken voor intra-orale studies naar de kleur-stabiliteit van tandheelkundige materialen. Daarnaast hebben de resultaten van de visuele kleurbepalingsmethode geleid tot de ontwikkeling van een nieuwe colorime-ter voor tandkleurmeting.¹⁶ Mogelijker-wijs levert de methode een bijdrage tot verbetering van de kleurbepaling ten be-hoeve van de fabricage van kunsttanden.

Conclusies

In de beschreven kleurbepalingsmethode is een aantal belangrijke factoren met be-trekking tot visuele tandkleurbepaling ge-combineerd:

- Een groot assortiment van logisch ge-sorteerde kleurstandaarden is beschik-baar.
- Door spectrofotometrische analyse van de standaarden is het mogelijk de verkren-gen resultaten uit te drukken in C.I.E.-kleurspecificaties.
- De kleurbepalingsmethode is gestan-daardiseerd en gebaseerd op de optische

verschijnselen welke in tandweefsel op-treden.

- De reproduceerbaarheid van de metho-de is aangetoond.

De auteurs willen de afdeling Oogheelkunde (K.U.N.) bedanken voor de kleurenblindheids-testen, de Sikkens Color Match Department (Sikkens, Sassenheim) voor de waardevolle me-dewerking en de heer W. J. P. M. Kortsmid (afdeling Conserverende Tandheelkunde voor Volwassenen, K.U.N.) voor de gegevensver-werking.

Summary:

Title: A new method for visual tooth color deter-mination.

Keywords: Prosthetic dentistry - Tooth color determination

A new method for visual tooth color determina-tion is presented in this paper. Basically, the tooth color is assessed by visual comparison with opaque color standards, which are logically arranged according to the three visual color dimensions. The standards were analysed spec-trophotometrically and the C.I.E. color coordi-nates were computed. Illumination and obser-vation were standardised during the matching procedure. The method is based on the physical-optical processes occurring in dental enamel. Using this method, the color of teeth can be quantified into three separate color dimensions. The method can be applied intra-orally and the reliability is proven.

Literatuur:

1. Billmeyer FW, Saltzman M. Principles of color technology. 2nd ed. New York: Wiley, 1981: 1-110.
2. Sproull RC. Color matching in dentistry part II: Practical applications for the organisation of color. J Prosthet Dent 1973; 29: 556-66.
3. Culpepper WD. A comparative study of shade-matching procedures. J Prosthet Dent 1970; 24: 166-73.
4. Barna GJ, Taylor JW, King GE, Pelleu GB. The influence of selected light intensities on color perception within the color range of natural teeth. J Prosthet Dent 1981; 46: 450-3.
5. Ishikawa T, Ishikawa T, Ohsone M, Sikine N. Trial manufacture of photo-electric colorimeter using optical fibers. Bull Tokyo Dent Coll 1969; 10: 191-7.
6. Graiower R, Revah A, Swain S. Reflectance spectra of natural and acrylic resin teeth. J Prosthet Dent 1976; 36: 570-9.
7. MacEntee M, Lukowski R. Instrumental colour measurement of vital and extracted human teeth. J Oral Rehabil 1981; 8: 203-7.
8. Hunter RS. The measurement of appearance. 1st ed. New York: Wiley, 1975: 261 + 300-5.
9. Ten Bosch JJ, Borsboom PCF, Van der Burgt TP. Measurement of reflectivity and color of translucent materials. European Conference on Optics, Optical Systems and Applications: Prog & Abst P3.
10. Commission Internationale de l'Eclairage. Official recommendations on uniform color spaces, color difference equations and metric color terms, supplement no. 2 to publication C.I.E. 15. Paris 1971, 1976.
11. Munsell AH. A color notation. 11th ed. Baltimore: Munsell Color Co., 1961.
12. Driscoll WG, Vaughan W. Handbook of optics. New York: McGraw-Hill, 1978: 9.6, 9.7, 9.12.
13. Ten Bosch JJ, Borsboom PCF, Ten Cate JM. A non-destructive optical method to study de- and remineralisation of enamel. J Dent Res 1979; 58B: 1027.
14. Van der Burgt TP, Ten Bosch JJ, Borsboom PCF, Plasschaert AJM. A new method for matching tooth colors to color standards. J Dent Res 1985; 64: 837-41.
15. Van der Burgt TP, Plasschaert AJM, Mullaney TP, Eronat C. Tooth discoloration induced by endodontic sealers. Oral Surg 1985; geaccepteerd voor publicatie.
16. Van der Burgt TP, Ten Bosch JJ, Borsboom PCF, Kortsmid WJPM, Plasschaert AJM. Colorimeter for tooth color quantification. J Dent Res 1985; 64: CED abstract 188 (wordt gepubliceerd).

April 1985.

Postbus 9101,
6500 HB Nijmegen.