



J.P. Moss
R.J. Hennessey

Lasers in de tandheelkunde 7

Het gebruik van driedimensionale beelden in de tandheelkunde

Samenvatting

Trefwoorden:

- Laser
- Orthodontie
- Gelaatsgroei

Uit het Department of Medical Imaging and Graphics, Medical Physics and Bioengineering Department, van de University College London en The Royal College of Surgeons in Ierland.

Optische oppervlakteaftasting legt de driedimensionale aard van het gelaat non-invasief en kwantitatief nauwkeurig vast. Met de nu beschikbare analyseprogrammatuur kan een analyse gemaakt worden van veranderingen in het gelaat als gevolg van groei of behandeling. Ook kan het 'gemiddelde' gelaat van een groep personen of patiënten worden berekend. Zo'n 'gemiddeld gelaat' is nu beschikbaar voor jaargroepen van jongeren van 5 tot 18 jaar. Zo kan de groei van een individu of het effect van een behandeling worden vergeleken met de norm voor die leeftijd. Voorspelling van gelaatsvorm voor forensische doelen of voor een discussie over een voorgestelde orthodontische of kaakchirurgische behandeling is ook mogelijk. Er is ook programmatuur ontwikkeld die de kromming en de vorm van delen van het gelaat bepaalt en categoriseert. Dergelijke vormanalyses zijn zinvol voor onderzoeken naar groei, behandeling, effecten van farmacotherapie en genetische invloeden.

MOSS JP, HENNESSEY RJ. Lasers in de tandheelkunde 7. Het gebruik van driedimensionale beelden in de tandheelkunde. Ned Tijdschr Tandheelkd 2002; 109: 378-382.

Dit artikel werd vertaald en bewerkt door J.J. ten Bosch en A.M. Kuijpers-Jagtman.

Datum van acceptatie:
18 juli 2002.

Adres:
Prof. J.P. Moss
St. Bartholomew's and the Royal London
Hospital, Dental Hospital,
New Road, Whitechapel, London, E1 1BB34
Engeland
Jamespm34@aol.com

Inleiding

Er is een groeiende belangstelling bij behandelaars en patiënten voor niet-invasieve diagnostische methoden. Patiënten vragen om een lagere stralenbelasting en willen meer inspraak hebben in hun behandeling. Voor de orthodontie betekent dit bijvoorbeeld dat patiënten willen weten hoever zij afwijken van de norm voor de populatie en wat het effect van de behandeling op hun uiterlijk zal zijn. Kan dit worden voorspeld en zo ja, hoe nauwkeurig is die voorspelling? Om aan deze behoeften te voldoen moesten systemen voor orthodontische diagnostiek worden ontwikkeld die het probleem driedimensionaal (3D) aanpakken. Zo'n systeem mag niet invasief zijn en moet het gelaat in drie dimensies weergeven, met de mogelijkheid het van welke kant dan ook te bekijken.

In de laatste tien jaar is de ontwikkeling van 3D-beeldvormende technieken snel gegaan. Computertomografie (CT) heeft een revolutie veroorzaakt in de radiologische wereld, omdat het bot en weke delen in elke richting kan laten zien. De nauwkeurigheid ervan hangt af van aantal en dikte van de beelduitsneden, maar bij toename van het aantal sneden neemt de dosis ook toe. Om dit probleem op te lossen is magnetische resonantiebeeldvorming (MRI) ontwikkeld, maar daarin is het verschil tussen bot en lucht slecht te zien, zodat de nauwkeurigheid van MRI voor diagnostiek in het hoofd met zijn luchtgevulde bijholten maar matig is, ondanks de 3D-beelden.

Beschrijving van het opnamesysteem

In de laatste vijftien jaar is door de afdelingen Orthodontie, Medische Fysica en Bioengineering van het University College in Londen een 3D-systeem ontwikkeld voor de simulatie, de planning en de voorspelling van

de resultaten van maxillofaciale chirurgische ingrepen. Door middel van optische laserscanning wordt het gezicht afgetast en de coördinaten van meer dan 60.000 punten van het oppervlak van het gelaat worden in minder dan acht seconden vastgelegd. De methode is niet-invasief en geheel onschadelijk (Arridge *et al*, 1985; Moss *et al*, 1987; Moss *et al*, 1988). Het systeem gebruikt een helium-neonlaser met een vermogen van 0,5 mW, de straling is niet gepolariseerd. Een cilinderlens maakt van de bundel een dunne verticale lijn licht, die op het gelaat wordt gericht (afb. 1). Een videocamera kijkt via een spiegel vanuit een andere richting naar de lichtlijn, zodat de plaats waar het licht het gelaat raakt, kan worden berekend. Door de patiënt op een draaiende stoel te plaatsen, kan het gelaat worden afgetast over een hoek van 200°. Een tweede spiegel zorgt er daarbij voor dat de camera het gelaat vanuit twee richtingen kan zien om te vermijden dat bijvoorbeeld de neus in de weg komt te zitten bij het aftasten van het gelaatsoppervlak. Een speciale processor bewerkt de gegevens van de camera en de draaistoel. Gedurende de draai kunnen de gegevens van hoogstens 256 verticale lijnen worden vastgelegd. Zowel de grootte als de snelheid van draaiing kan in de computer worden ingesteld overeenkomstig het doel van de opname en het gewenste detail.

Het gegevensbestand bevat gewoonlijk de 3D-coördinaten van 20.000 tot 60.000 punten van het anatomisch oppervlak van het gelaat. De nauwkeurigheid en de reproduceerbaarheid zijn zowel bij modellen als bij het gelaat uitvoerig onderzocht en zijn beter dan 0,5 mm (Moss *et al*, 1989).

Kort geleden is door McCallum en medewerkers (1996; 1998) een scanner ontwikkeld die in de hand wordt gehouden en die werkt volgens dezelfde principes (Polthemus FastScan, Polthemus Inc., Vermont, VS). De positie van de camera ten opzichte van de patiënt wordt daarbij vastgelegd en de resultaten wor-

den direct getoond. Eventuele onvoldoende waargenomen gelaatsdelen kunnen dan opnieuw worden gemeten, waarbij de nieuwe gegevens aan de reeds bestaande kunnen worden toegevoegd. De nauwkeurigheid van dit systeem is gelijkwaardig aan die van het systeem met een vaste camera.

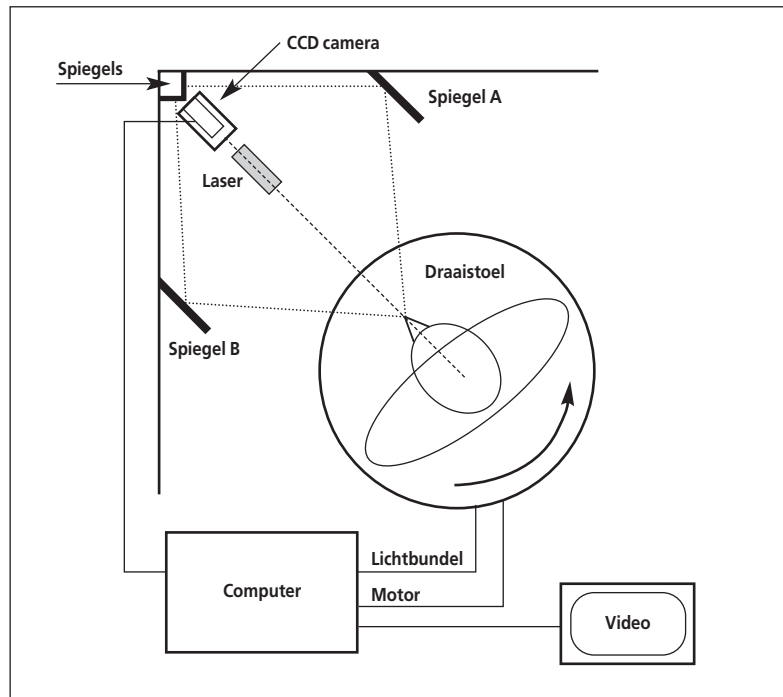
Analytische rekenprogramma's zijn ontwikkeld om de grote hoeveelheid gegevens te kunnen verwerken. Het systeem is daardoor gebruikersvriendelijk geworden en klinisch bruikbaar (Moss *et al*, 1989).

Visualisatietechniek

De grafische rekenprogramma's en overige programmatuur zijn tegelijk met het opnamesysteem ontwikkeld. Aanvankelijk werd parallelle verwerking gebruikt, maar door de huidige snelheid van processoren is dit niet meer nodig en kan het opnamesysteem gekoppeld worden aan vele verschillende computers. Daarmee kunnen de verkregen gegevens direct zichtbaar worden gemaakt. Ook is het systeem geïntegreerd met tekstverwerkers, spreadsheets, databanken en publicatieprogrammatuur. De gegevens kunnen zo direct worden ingevoerd in het patiëntendossier en de beelden kunnen worden afgedrukt met een laserprinter.

Met behulp van speciale programma's kan de gebruiker in het beeld merktekens aanbrengen en de afstand hiertussen berekenen, zowel gemeten over het gelaatsoppervlak als ook als kortste afstand langs de rechte lijn. De coördinaten van deze merkpunten, hoeken, oppervlakken en volumes kunnen worden berekend. Door verschillende beelden die na elkaar zijn opgenomen te vergelijken, kunnen de mate en de richting van groei worden bepaald. Vervolgens kan deze groei statistisch met de gemiddelde groei worden vergeleken.

Afbeelding 2 laat een serie standaardpunten zien die met het 'merk en meet'-programma op een gelaat zijn vastgelegd (Farkas, 1994). De onderlinge afstanden en de hoeken tussen de verbindingslijnen kunnen worden bepaald en met verschillende analyseprogramma's worden bewerkt om klinische vragen te beantwoorden. Deze kunnen bijvoorbeeld de ver-

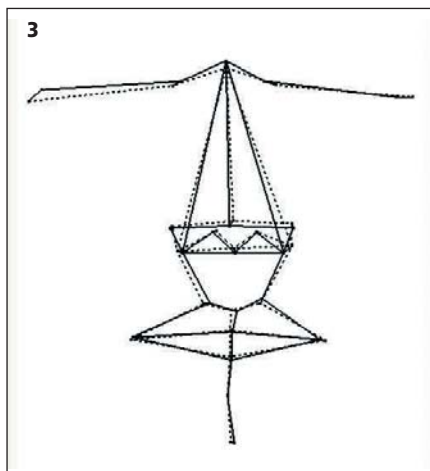
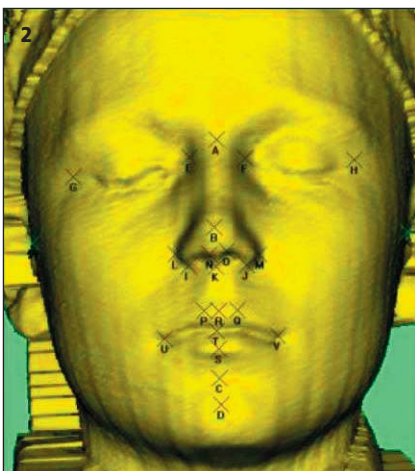


Afb. 1. Schematische tekening van de opstelling voor optische laser-scanning van het hoofd.

andering van de gelaatsvorm met de leeftijd betreffen, maar ook een vergelijking tussen twee groepen personen.

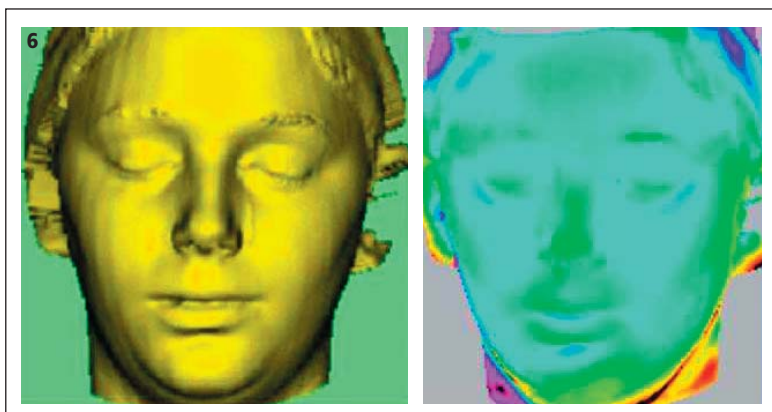
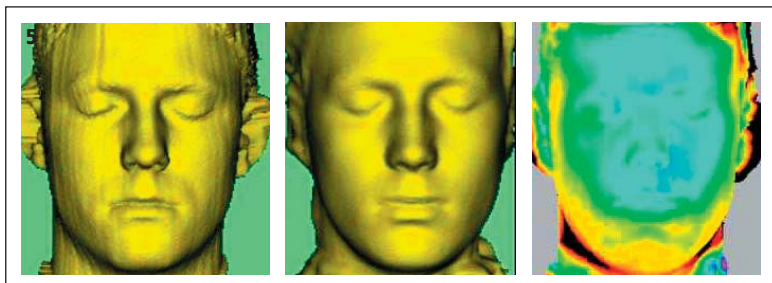
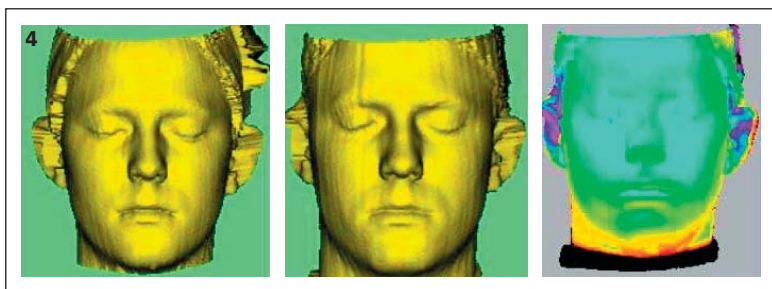
Afbeelding 3 bijvoorbeeld toont door enkele lijnen verbonden standaardpunten bij een individueel groeionderzoek van 6 tot 22 jaar. Enkele punten zijn gesuperponeerd om vergelijking mogelijk te maken. Het blijkt dat de punten op de bovenste gelaats helft alle naar dorsaal bewogen, het nasion bewoog naar boven en de binnenste ooghoeken vertoonden een binnenwaartse verplaatsing. De neus werd langer en smaller. De mond en de plica mentalis vertoonden weinig veranderingen over deze periode, terwijl de kinpunt meer naar voren kwam.

Analyseresultaten kunnen ook met behulp van 3D-visualisatietechnieken worden getoond. Om twee complete beelden met elkaar te vergelijken, is het eerst nodig structuren die geen of weinig verandering ondergaan hebben, op elkaar te superponeren. Vaak wordt het voorhoofd hiervoor gebruikt. De verschillen in de overige delen van het gelaat worden dan met een kleurcodering weergegeven die in mm is geijkt (afb. 4).

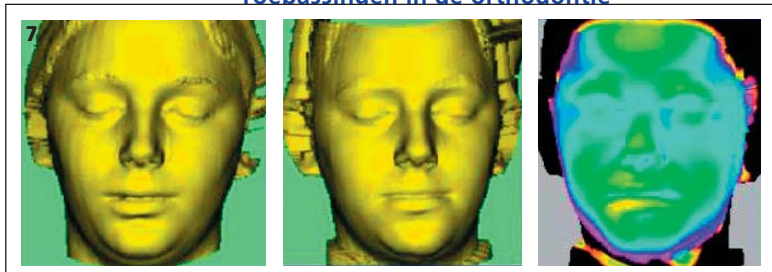


Afb. 2. Gereconstrueerd beeld van het hoofd met daarin aangegeven een aantal meetpunten, die voor berekeningen gebruikt kunnen worden.

Afb. 3. Veranderingen in het aangezicht (frontale opname) bij een individu gemeten op 6 jaar (gestippeld) en 22 jaar (getrokken lijn). Op sommige standaardpunten is gesuperponeerd.



Toepassingen in de orthodontie



Afb. 4. Vergelijking van complete beelden (zie toelichting bij het einde van 'Visualisatietechniek'). Opnamen van een jongen die een Klasse III-malocclusie ontwikkelt, op 14-jarige leeftijd (links) en op 16-jarige leeftijd (midden). Het rechter beeld toont de veranderingen: de neerwaartse groei van de onderkaak bedroeg 6 mm, de voorwaartse groei van neus, lippen en kin was 2-3 mm. De schaal van kleuren is in mm, de warme kleuren van groen tot rood zijn positief, dat wil zeggen naar de waarnemer toe.

Afb. 5. Dezelfde jongeman als in afbeelding 4 op 16-jarige leeftijd (links) wordt vergeleken met de norm voor jongens van die leeftijd (midden). Het rechter beeld geeft de afwijkingen van de norm. De schaal van kleuren is hetzelfde als bij afb. 4. Het middelste 1/3 deel van het gelaat is aan de linkerkant 4 mm te laag, de breedte en de lengte van de onderkaak zijn 6 mm te groot en de kinpunt staat 8 mm te ver naar voren vergeleken met de norm.

Afb. 6. Vergelijking van een meisje met een Klasse II/1-malocclusie vóór behandeling (links) met de norm voor meisjes op die leeftijd. Het rechter beeld toont de verschillen: het gelaat is 6 mm langer dan het gemiddelde en de plica mentalis is 2-3 mm te klein. De neus en lip steken 2-3 mm vooruit ten opzichte van de norm.

Afb. 7. Dezelfde patient als in afbeelding 6 vóór behandeling (links) en erna (midden). Het rechter beeld toont de verschillen: de gelaatshoogte is verkleind en de neus, lippen en onderkaak zijn 2-6 mm naar voren verplaatst.

gemiddelde gelaatsvormen in 3D voor iedere leeftijd van 5 tot 18 jaar. De verschillen tussen een individu en het gemiddelde kunnen daarmee worden bepaald en weergegeven. Afbeelding 5 geeft zo'n vergelijking. Met dergelijke beelden kan een orthodontist voorafgaand aan de behandeling van een patiënt vaststellen wat de verschillen zijn tussen de patiënt en de norm voor dezelfde leeftijd en geslacht, en zodoende het probleem exact vaststellen (afb. 6).

Bij de patiënt van afbeelding 6 leidde de behandeling tot een verkleining van de gelaatshoogte en een voorwaartse verplaatsing van de onderkaak, de lippen en de neus van 2-6 mm. Ook het resultaat kon weer met de norm worden vergeleken (afb. 7). Dergelijke programmatuur maakt het ook mogelijk om de behandelingsresultaten bij groepen patiënten die met verschillende apparatuur behandeld zijn, te vergelijken.

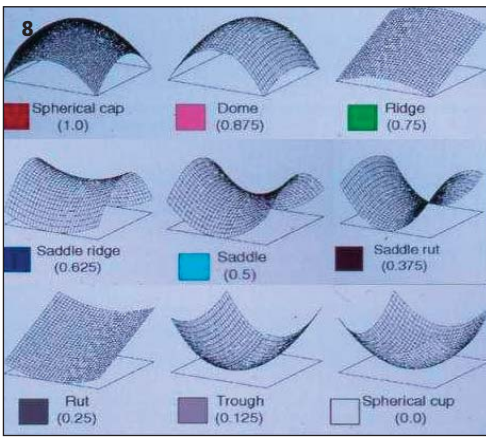
Toepassingen in de kaakchirurgie

Bij kaakchirurgische ingrepen ter verbetering van de gelaatsvorm is het voor de patiënt belangrijk om vooraf een indruk te hebben hoe het resultaat zal uitvallen. Laserscanning van het gelaat, gecombineerd met speciale programma's, maakt dit mogelijk. Daarbij wordt het hoofd afgetast en het gebied van de verwachte verandering aangegeven. Daarna worden merkpunten in het beeld van dat gebied aangebracht die vervolgens worden verplaatst overeenkomstig het verwachte operatieresultaat. De programmatuur construeert dan het tussenliggend gelaatsoppervlak tussen de merkpunten. Het resultaat kan dan in 3D aan de patiënt worden getoond voordat de operatie is uitgevoerd. Een soortgelijke toepassing, waarin het effect van chirurgie op de faciale weke delen wordt getoond, werd ontwikkeld door Coombes et al (1991).

Erfelijkheidsonderzoeken

Analyse van gelaatsvorm begint zijn waarde te bewijzen in de genetica. Doel is na te gaan welke delen van het gelaat meer erfelijk bepaald zijn en welke meer milieubepaald. Pionierswerk is daarbij gedaan door Besl en Jain (1986). Zij pasten de methoden van krommingsberekening uit de differentiële meetkunde op het gelaat toe. Koenderink en Van Doorn (1992) voerden de begrippen vormindex en oppervlaktekromming in om de brug te slaan tussen de praktijk van waarneming en meting enerzijds en de statistische methoden van driedimensionale vorm anderzijds. Deze methoden zijn ook op het gelaat toegepast.

Er zijn negen oppervlaktevormen gedefinieerd (afb. 8). Met de bolle vormen kan het gelaat in verschillende anatomische gebieden worden verdeeld. Het meest opvallend zijn de kamvormige gebieden ('ridge'), die aanduiden waar het onderliggend skelet onder zacht weefsel zichtbaar is. Deze vormen geven een bruikbare beschrijving van bijvoorbeeld de jukbogen en de neus-



Afb. 8. De negen vormen die gebruikt kunnen worden om een gelaat digitaal te karakteriseren.

Afb. 9. Het gelaat van één van de eeneiige tweeling uit afbeelding 10, opgedeeld in digitaal karakteriseerbare gebiedjes. De gebiedjes zijn kleurcodeerd overeenkomstig de kleuren die in afbeelding 8 bij de verschillende vormen worden aangegeven.

rug. De twee bolle vormen ('spherical cap' en 'dome') worden gebruikt voor de punt van de neus en de kin. De zadelvorm ('saddle ridge') is kenmerkend voor de neusbrug, het zadel voor de zijkanten van de neusvleugels en de plica mentalis. Het totale gelaatsbeeld kan met behulp van dergelijke digitale vormen worden gekarakteriseerd. Afbeelding 9 geeft hier een voorbeeld van.

Afbeelding 10 toont de gezichten van een eeneiige tweeling naast elkaar, afbeelding 11 de gezichten van een twee-eiige tweeling. Het is duidelijk te zien dat de twee-eiige tweeling veel meer van elkaar verschilt dan de eeneiige. Met deze methode zijn deze verschillen nu ook kwantitatief te beschrijven.

Andere toepassingen

Oppervlaktelaserscanning is zeer waardevol gebleken voor forensische toepassingen, waarbij weke delen over gevonden schedels worden gesimuleerd om identificatie te ondersteunen. Daarbij worden gegevens over de dikte van de weke delen gecombineerd met CT-gegevens van de schedel zodat een oppervlaktebeeld kan worden gevormd dat met de beschreven programmatuur kan worden weergegeven. Dit levert een aanzienlijke besparing van tijd en kosten vergeleken met het opbouwen in klei door een kunstenaar. Ook is oppervlaktelaserscanning nuttig gebleken bij het identificeren van een verdachte. Het hoofd van de verdachte wordt dan afgetast en het beeld zo gepositioneerd dat het kan worden vergeleken met het videobeeld van de misdadiger dat bij de misdaad is opgenomen (Linney en Coombes, 1998).

In de geneeskunde is optische laserscanning gebruikt om bepaalde ziekten, zoals het ontwikkelingsmodel van schizofrenie, te onderzoeken (Waddington *et al*, 1999; Hennessey *et al*, 2002). Het is ook gebruikt om gelaatsveranderingen door het gebruik van geneesmiddelen te bestuderen.

Conclusie

Optische laserscanning van het gelaat is een bruikbare methode voor de tandarts-algemeen practicus, de orthodontist en de kaakchirurg, zowel voor diagnos-

tie als voor het volgen van de effecten van groei en behandeling. De methode is ook nuttig voor voorspelling en analyse van behandelingsresultaten.

Literatuur

- ARRIDGE S, MOSS JP, LINNEY AD, JAMES DR. Three dimensional digitization of the face and skull. *J Maxillofac Surg* 1985; 13: 136-143.
- BESL PJ, JAIN RC. Invariant surface characteristics for 3D object recognition in range images. *Computer Vision Graphics and Image Processing* 1985; 33: 33-80.
- COOMBES AM, MOSS JP, LINNEY AD, RICHARDS R, JAMES DR. A mathematical method for the comparison of three-dimensional changes in the facial surface. *Eur J Orthod* 1991; 13: 95-110.
- FARKAS LG. *Anthropometry of the head and face*. New York: Raven Press, 1994.
- HENNESSEY RJ, KINSELLA A, WADDINGTON JL. 3D Laser scanning and geometric morphometric analysis of craniofacial shape as an index of cerebro-craniofacial morphogenesis: Initial application to sexual dimorphism. *Biol Psychiatry* 2002; 51: 507-514.
- KOENDERINK JJ, DOORN AJ VAN. Surface shape and curvature scales. *Image Vision Computing* 1992; 10: 557-565.
- LINNEY A, COOMBES AM. Computer modelling of facial form. In: Clement JG, Ranson DL (eds). *Craniofacial identification in forensic medicine*. London: Edward Arnold, 1998.
- McCALLUM BC, FRIGHT WR, NIXON MA, PRICE NB. A feasibility study of hand-held laser surface scanning. In: Pairman D (ed). *Proceedings, image and vision computing New Zealand, Lower Hutt, 29-*



Afb. 10. De gezichten van een eeneiige tweeling, gesegmenteerd volgens de vormen van afbeelding 8. De kammen, zadels en dalen worden aangeduid. Te zien is dat de gebieden rond de ogen en de neusbasis goed overeenkomen, maar dat er in de onderkant van het gezicht aanzienlijke verschillen zijn.



Afb. 11. Segmentaties van de gezichten van een twee-eiige tweeling. De verschillen zijn veel groter dan bij de eeneiige tweeling uit afbeelding 10.

30 August 1996. Wellington, N.Z.: Manaaki Whenua-Landcare Research, 1996: 103-108.

• McCALLUM BC, NIXON MA, PRICE NB, FRIGHT WR. Hand-held laser scanning in practice. In: Klette R, Gimel'farb G, Kakarala R (eds). Proceedings, image and vision computing New Zealand, the University of Auckland, 16-18 November 1998. Auckland, N.Z.: University of Auckland, 1998: 17-22.

• MOSS JP, LINNEY AP, GRINDROD SR, ARRIDGE SR, CLIFTON JS. Three-dimensional visualization of the face and skull using computerized tomography and laser scanning techniques. Eur J Orthod 1987; 9: 247-253.

• MOSS JP, GRINDROD SR, LINNEY AD, ARRIDGE SR, JAMES D. A computer system for the interactive planning and prediction of maxillo-facial surgery. Am J Orthod Dentofacial Orthop 1988; 94: 469-475.

• MOSS JP, LINNEY AD, GRINDROD SR, MOSSE CA. A laser scanning system for the measurement of facial surface morphology. Optics and Lasers in Engineering 1989; 10: 179-190.

• WADDINGTON JL, LANE A, SCULLY P, ET AL. Early cerebro-craniofacial dysmorphogenesis in schizophrenia. A lifetime trajectory model from neurodevelopmental basis to neuroprogressive process. J Psychiatr Res 1999; 33: 477-489.

Summary

Key words:

- Laser
- Orthodontics
- Facial growth

Lasers in dentistry 7. The use of 3D imaging in dentistry

Optical surface scanning accurately records the 3D nature of the face non-invasively and quantitatively. Programmes to analyse the data now enable the clinician to compare the changes in the face as the result of growth or of treatment and also to average groups of patients to provide an assessment of treatment. An average face has been obtained from groups of patients each year from 5 to 18 years. Growth of an individual can be compared with the norm for that age to determine which areas of the face show abnormal growth. Prediction of facial form for forensic and surgical purposes is possible. Programmes have been developed that analyse shape and curvature of areas of the facial surface. Such an analysis can be used to determine the changes in the facial surface as the result of growth, treatment, or drug therapy and to study genetic effects.