

E.M. Ongkosuwito  
C. Katsaros  
J.C. Bodegom  
A.M. Kuijpers-Jagtman

# Digitale cefalometrie

## Samenvatting

Trefwoorden:

- Orthodontie
- Cefalometrie
- Digitale radiologie

Uit de afdeling Orthodontie  
en Orale Biologie van het  
Universitair Medisch Centrum  
Sint Radboud te Nijmegen.

Datum van acceptatie:  
16 februari 2004.

Adres:  
Mw. prof. dr. A.M. Kuijpers-  
Jagtman  
UMC St Radboud  
Huispost 117  
Postbus 9101  
6500 HB Nijmegen  
a.kuijpers-  
jagtman@dent.umcn.nl

In de praktijk kan op drie manieren een digitale röntgenschedelprofielopname worden gemaakt. Alle methoden hebben hun specifieke voor- en nadelen. Met een digitale röntgenschedelprofielopname en een op de orthodontie toegespitst computerprogramma kan zeer snel een cefalometrische analyse worden uitgevoerd. Alle bestaande digitale analyseprogramma's maken gebruik van standaardreferentiewaarden waaraan de gemeten waarden bij de patiënt worden gerelateerd. Bij gebruik van zulke programma's moet de vergrotingsfactor van de foto's waaraan de standaardwaarden zijn ontleend, overeenkomen met de vergrotingsfactor van de foto's van de gebruiker en zondig moet hiervoor worden gecorrigeerd. Ook dienen de gebruikte referentiewaarden gerelateerd te zijn aan de leeftijd en het geslacht van de patiënt en aan de populatie waartoe de patiënt behoort. De beschikbare computerprogramma's voldoen vaak niet aan de daaraan de stellen eisen. De oplossing is een goed digitaal analyseprogramma dat de juiste referentiewaarden berekent, een serie opnamen kan analyseren en de resultaten in één overzichtelijke grafiek presenteert. Uit een eind 2000 gehouden enquête onder alle in Nederland werkzame orthodontisten bleek dat ongeveer 35% van hen voor de cefalometrie een digitale methode gebruikte en dat bijna 60% voor de analyse de Steiner-Tweed-analyse gebruikte.

ONGKOSUWITO EM, KATSAROS C, BODEGOM JC, KUIJPERS-JAGTMAN AM. Digitale cefalometrie. Ned Tijdschr Tandheelkd 2004; 111: 266-270.

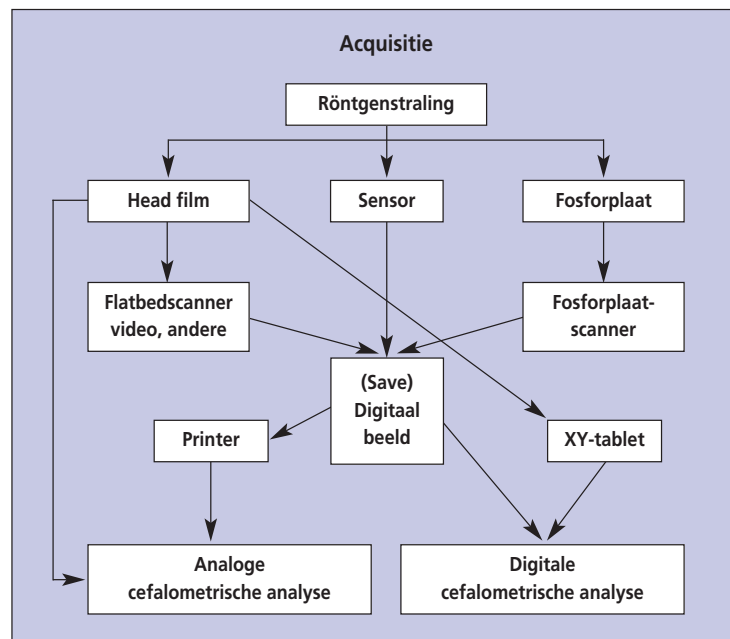
## Inleiding

De moderne tandheelkundige praktijk maakt meer en meer gebruik van elektronische gegevensverwerking. Naast automatisering van de praktijkadministratie, het gebruik van elektronische patiëntdossiers en een elektronisch afsprakenboek worden nu ook steeds vaker röntgenopnamen en gebits- en gelaatsfoto's digitaal vervaardigd. Een zelfde ontwikkeling speelt zich af in de orthodontische praktijk. In 1996 liet een onderzoek onder orthodontisten in de Verenigde Staten zien dat 20% van de respondenten de cefalometrische analyse al digitaal uitvoerde (Gottlieb *et al*, 1996). Dit bleek in 2002 te zijn gestegen tot 29% (Keim *et al*, 2002).

Digitale cefalometrie is voor het eerst beschreven door Houston in 1979. In de loop der jaren is een aantal programma's op de markt verschenen die alle de meest gebruikte analyses in hun pakket hebben. De Steiner-Tweed-analyse bleek in de Verenigde Staten de meest gebruikte analyse te zijn, gevolgd door de analyses van Ricketts, Wits, Downs en McNamara (Keim *et al*, 2002).

In dit artikel wordt ingegaan op de methoden om een röntgenschedelprofielopname (RSP) te digitaliseren en op te slaan, op de eisen die aan een digitale cefalometrische analyse moeten worden gesteld en op de betrouwbaarheid van de digitale methode. Daarnaast worden de resultaten van een enquête over het gebruik van cefalometrische analyses onder de in Nederland praktiserende orthodontisten gepresenteerd.

Afb. 1. Overzicht van de mogelijkheden om röntgenbeelden te digitaliseren.



## Digitale röntgenschedelprofielopname

In de praktijk kan op drie manieren een digitale RSP worden gemaakt (afb. 1). Bij al deze manieren wordt direct of indirect de intensiteit van de uit het object komende röntgenstralen omgezet in digitale waarden die door een computer worden opgeslagen in een beeldbestand. Na het openen van het bestand verschijnt het digitale beeld van de RSP op het beeldscherm van de computer.

Bij de eenvoudigste methode wordt de traditionele RSP door een scanner met doorvallend licht uitgelezen, waarbij de grijswaarden van de foto in digitale waarden worden omgezet. Ongkosuwito *et al* (2002) vergeleken analoge opnamen met digitale opnamen met een standaardresolutie van 300 DPI ('dots per inch') en een hoge resolutie van 600 DPI. Bij dit onderzoek werd een grijswaarde van 8 BIT ('binary digit') gehanteerd. De grijswaarde is belangrijk omdat de

bepaling van anatomische punten meestal is gebaseerd op het inschatten van verschillen in grijze schaduwen. Het gebruik van een grijswaarde van ten minste 8 BIT is een absolute vereiste omdat minder grijze schaduwen kunnen leiden tot problemen met de reproduceerbaarheid van de metingen (Thijssen, 1993). Uit het onderzoek van Ongkosuwito et al (2002) kwam naar voren dat het scannen van een RSP met een resolutie van 300 DPI voldoende was voor klinische doeleinden en dat de kwaliteit vergelijkbaar was met de analoge cefalometrie. Het voordeel van het simpelweg scannen van analoge röntgenopnamen is dat de bestaande röntgenapparatuur kan worden gehandhaafd zodat investeringen beperkt blijven tot de aanschaf van een goede scanner en een goede computer. Ook kan een traditionele RSP die in het verleden is gemaakt, worden gedigitaliseerd en opgeslagen. Nadelen zijn dat het scannen vrij lang kan duren en dat het georganiseerd opslaan van de beeldbestanden, om ze weer gemakkelijk te kunnen terugvinden, vaak niet eenvoudig is.

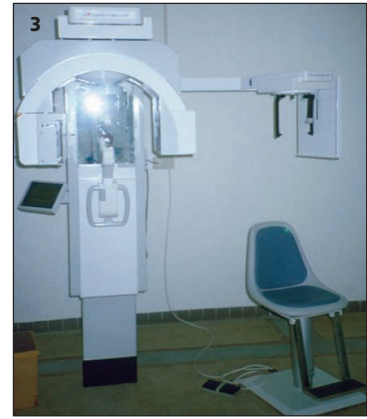
Bij de indirecte methode wordt de traditionele röntgenfilm vervangen door een fluorescerende fosforplaat en speciale versterkingsschermen. Afhankelijk van de intensiteit van de uit het object komende röntgenstralen licht de plaat in meer of mindere mate op. De geactiveerde plaat wordt direct daarna uitgelezen in een speciale scanner die de intensiteit van de lichtstralen omzet in digitale waarden (afb. 2). Daarna wordt de plaat gedeactiveerd voor hergebruik. Met een fosforplaat kunnen ruim duizend opnamen worden gemaakt. Voordelen van deze methode zijn dat de bestaande apparatuur wordt gehandhaafd, dat de belichtingstijd zeer kort is en dat in geval van een storing probleemloos kan worden teruggeschakeld naar de traditionele opnametechniek. Nadelen zijn dat het uitlezen van een foto een paar minuten duurt en dat de cassettes moeten worden geladen en gewisseld. Opslaan en zoeken van de digitale beelden is met de bijgeleverde software eenvoudig.

Bij de directe methode wordt de intensiteit van de uit het object komende röntgenstralen in horizontale of verticale richting direct uitgelezen door een voor röntgenstralen gevoelige CCD-scanner ('charge-coupled device') (afb. 3). Deze scanner zet de intensiteit van de stralen direct om in digitale waarden. Het voordeel van deze methode is dat bij het maken van een opname weinig handelingen nodig zijn. Het nadeel is de lange belichtingstijd waardoor gemakkelijk bewegingsonscherpte van de opname kan ontstaan. Bovendien moet alle bestaande apparatuur worden vervangen. Verder kunnen bij een storing enige tijd geen opnamen worden gemaakt. Ook hier wordt software meegeleverd voor het opslaan en zoeken van de digitale beelden. Overigens betekent de lange belichtingstijd niet dat de hoeveelheid straling navenant toeneemt. Integendeel, die is aanzienlijk minder dan bij het maken van een traditionele opname.

Een tussenvorm van digitaal en analoog werken is de methode waarbij de coördinaten van een aantal anatomische punten met behulp van een xy-tablet worden vastgelegd. Dit is een tussenvorm, omdat alleen de cefalometrische punten worden gedigitaliseerd en niet de röntgenfoto zelf.



**Afb. 2.** Een speciale scanner voor het uitlezen van door röntgenstralen geactiveerde fosforplaten.



**Afb. 3.** Een röntgenmachine waarmee panoramische opnamen en röntgenschedelprofielopnamen kunnen worden gemaakt. De machine is geschikt voor het maken van traditionele én digitale opnamen door middel van fosforplaten.

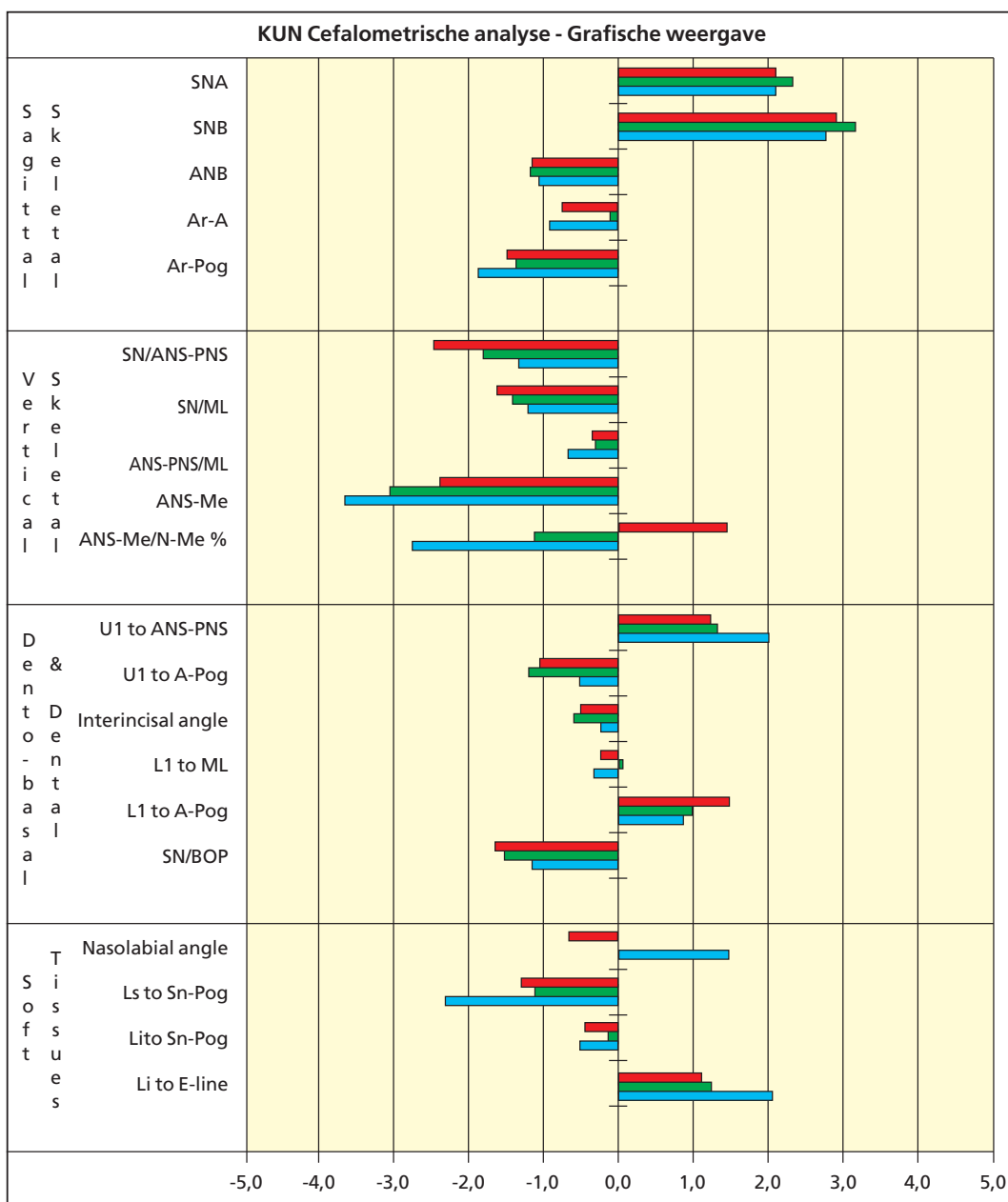
Het opgeslagen beeld heeft verscheidene parameters die de beeldkwaliteit bepalen, zoals het aantal pixels ofwel de resolutie, het aantal grijswaarden en de eventuele compressietechniek ('format'). Een betere beeldkwaliteit van het opgeslagen beeld betekent dat meer opslagruimte nodig is. Een digitale RSP neemt een behoorlijke hoeveelheid opslagruimte in, zeker zonder compressie in bijvoorbeeld de opslagformats TIFF ('tagged image file format'), DICOM ('digital imaging and communications in medicine') of BMP ('bitmap image format'). Daarom lijkt het logisch om digitale röntgenbeelden te comprimeren, bijvoorbeeld in een JPEG-format ('joint photographic expert group'). Er zijn twee compressiemethoden, 'lossless' en 'lossy' (Van der Stelt, 2000a; Van der Stelt, 2000b). Uit onderzoek naar medische digitale beeldvorming blijkt dat een gemiddelde compressie geen invloed heeft op de diagnostische nauwkeurigheid (Goldberg et al, 1994; Good et al, 1994).

Een groot voordeel van het opgeslagen beeld is dat het kan worden bewerkt. Het contrast, de helderheid en de scherpte zijn aan te passen en onderdelen van de opname zijn te vergroten om een betere detailweergave te verkrijgen. Ook zijn digitale beeldbewerkingstechnieken mogelijk, zoals reliëfweergave en kleuromslag, waardoor onduidelijke structuren soms beter zichtbaar worden en de beelden beter te interpreteren zijn (Schols, 2003).

### Recente ontwikkelingen in de digitale cefalometrie

Met een digitale RSP en een op de orthodontie toegespitst computerprogramma kan een correcte analyse zeer snel worden uitgevoerd. Alle bestaande analyseprogramma's maken gebruik van standaardreferentiewaarden waaraan de bij een patiënt gemeten waarden worden gerelateerd. De vergroting van de te analyseren RSP moet overeenkomen met de vergroting van de opnamen waarmee de norm is bepaald. Beide vergrotingsfactoren moeten bekend zijn en met elkaar in overeenstemming worden gebracht alvorens de metingen op de RSP worden verricht. Een computer kan een

Afb. 4. Grafische presentatie van de resultaten van een KUN-analyse. De röntgenschedelprofielopnamen zijn gemaakt aan het begin van de behandeling (BB, rode balken), tijdens de behandeling (TB, groene balken) en bij afbehandling (AB, blauwe balken). De balken geven voor iedere variabele bij iedere behandel fase aan hoeveel standaarddeviaties de gevonden waarde afwijkt van de referentiewaarde en of die groter of kleiner is dan de referentiewaarde.



digitaal beeld met een bekende vergroting simpel in een ander beeld transformeren met een andere bekende vergroting.

Ook dienen de gebruikte referentiewaarden te zijn gerelateerd aan de leeftijd, het geslacht en de etniciteit van de patiënt. Dit betekent dus standaardreferentiewaarden voor mannen en vrouwen en naast de normen voor volwassenen ook een reeks normen voor alle leeftijden tijdens de groei. Bij het handmatig uitvoeren van een analyse met bijvoorbeeld twintig variabelen vóór en na behandeling, moeten veertig tabellen worden nageslagen om de juiste, bij de leeftijd behorende norm voor het gemiddelde en zijn spreiding op te zoeken. Als de leeftijd tussen twee ijkpunten ligt, is bovendien interpolatie noodzakelijk om de juiste waarden te vinden. Het zal duidelijk zijn dat dit bijzonder tijdrovend is en dat dit daarom bij de traditionele handmatige analyse niet werd toegepast.

Traditioneel wordt het resultaat van een analyse

gepresenteerd in de vorm van een tabel. Hierin worden de gevonden waarden voor bepaalde variabelen, de bijbehorende normale waarden en hun spreiding op een rij gezet. De klinische orthodontie is echter in de eerste plaats geïnteresseerd in de grootte van de afwijking van de verschillende variabelen en de samenhang daarvan. Een maat voor de grootte van de afwijking wordt verkregen door de nominale waarde van de afwijking van de norm uit te drukken als een gedeelte van de standaarddeviatie van de norm. In afbeelding 4 is bijvoorbeeld te zien dat bij deze patiënt hoek SNA twee standaarddeviaties groter is dan de norm voor de leeftijd en het geslacht. Een goed overzicht van de samenhang van de grootte van de afwijking van de verschillende variabelen wordt verkregen door de gevonden waarden te presenteren in een overzichtelijke grafiek. Ook hier is sprake van tijdrovend reken- en tekenwerk indien dit handmatig zou moeten gebeuren.

Vrijwel alle bovenstaande taken kunnen door een

computerprogramma zeer snel worden uitgevoerd. Om aan bovengenoemde eisen voor een goed digitaal cefalometrieprogramma tegemoet te komen, werd door Bodegom de KUN-analyse (Katholieke Universiteit Nijmegen) ontwikkeld. Het programma kan twee, drie of vier longitudinale röntgenopnamen tegelijkertijd analyseren. Alle resultaten worden in één tabel en in één overzichtelijke grafiek gepresenteerd. Bij de juiste vergroting van het digitale beeld kan voor het berekenen van de juiste waarden van de variabelen worden volstaan met het lokaliseren en aanklikken van de referentiepunten. Verder berekent het programma voor de gebruikte variabelen aan de hand van vierde- en vijfdegraads functies zowel voor jongens als voor meisjes tussen zes en zestien jaar de juiste norm voor het gemiddelde en de bijbehorende standaarddeviatie. De gegevens waarmee de functies werden gemaakt, zijn afkomstig van de 'Michigan Growth Study' (Riolo *et al*, 1997). Ten slotte presenteert het programma de resultaten van de analyse in een overzichtelijke grafiek waarmee in één oogopslag de grootte van de afwijking van de verschillende variabelen en hun samenhang kan worden vastgesteld (afb. 4). Deze overzichtelijkheid van de presentatie is vooral belangrijk als een serie röntgenopnamen van een individu wordt geanalyseerd om veranderingen in de loop van de tijd vast te stellen.

## Enquête

Onder alle 258 orthodontisten die in oktober 2000 in Nederland in een niet-universitaire setting werkzaam waren, is een enquête gehouden. In een per post toegezonden formulier werd gevraagd naar de wijze waarop en welke cefalometrische analyses de orthodontisten uitvoerden. Van de 192 respondenten (74%) maakte 35% gebruik van een digitale methode, terwijl de overigen nog op de klassieke manier hun analyses uitvoerden. Keim *et al* (2002) vonden voor de Amerikaanse situatie een zelfde verdeling.

De orthodontisten gebruikten veel verschillende analyses (tab. 1). Van al deze werd de Steiner-Tweed-analyse het meest gebruikt (57,8%), gevolgd door de Wits-appraisal (32,8%) en de Downs-analyse (21,9%). Slechts 11,5% paste de analyses volgens Ricketts en Jarabak toe. De helft gebruikte een combinatie van meerdere analyses (tab. 2).

Slechts de helft van de orthodontisten maakte gebruik van functies om de beeldkwaliteit te verbeteren. Dit doet vermoeden dat er weliswaar enthousiast gebruik wordt gemaakt van het nieuwe medium, maar dat de mogelijkheden van digitale beeldbewerking niet optimaal worden benut, mogelijk door gebrek aan kennis ervan.

## Discussie

Er is uitgebreid onderzoek gedaan naar de betrouwbaarheid van de digitale methode ten opzichte van het handmatig uitvoeren van de cefalometrische analyse

**Tabel 1. Gebruikte cefalometrische analyses door Nederlandse orthodontisten in 2002 (respondenten n = 192).**

Analyse	n	%
Downs	42	21,9
Harvold	11	5,7
Hasund	5	2,6
Jarabak	22	11,5
McNamara	7	3,6
Rakosi	3	1,6
Ricketts	22	11,5
Riedel	4	2,1
Steiner-Tweed	111	57,8
Wits	63	32,8
Wylie	2	1,0
Overige	72	37,5

**Tabel 2. Aantal verschillende analyses per orthodontist (respondenten n = 192).**

Aantal analyses	n	%
0	9	4,7
1	85	44,3
2	46	24,0
3	34	17,7
4	11	5,7
5 of meer	7	3,6
<b>Totaal</b>	<b>192</b>	<b>100</b>

(Richardson, 1981; Oliver, 1990; Macri en Wenzel, 1993; Nimkarn en Miles, 1995; Lim en Foong, 1997; Trpkova *et al*, 1997; Geelen *et al*, 1998; Chen *et al*, 2000; Held *et al*, 2001; Ongkosuwito *et al*, 2002). Hieruit komt naar voren dat de verschillende methoden bij benadering vergelijkbaar zijn, maar dat de betrouwbaarheid van alle methoden in aanmerking komt voor verbetering. Omdat het meest onbetrouwbare onderdeel van een analyse nog altijd het bepalen van de anatomische punten door de gebruiker is, vindt er ook onderzoek plaats naar het geautomatiseerd bepalen van deze punten. Deze methode is echter nog niet klinisch toepasbaar (Davis en Mackay, 1991; Rudolph *et al*, 1998; Liu *et al*, 2000).

Nu met 'een druk op de knop' een groot aantal verschillende cefalometrische analyses in een paar seconden kan worden uitgedraaid, komt steeds vaker de vraag op wat de werkelijke diagnostische waarde hiervan is bij de keuze van een behandeling. Onderzoek naar een antwoord op deze vraag staat nog in de kinderschoenen en wordt gefrustreerd door het ontbreken van grote gegevensbestanden van groepen behandelde patiënten en van de juiste controlegroepen.

Geconcludeerd kan worden dat de digitale cefalometrie een duidelijke plaats heeft verworven als hulpmiddel ten behoeve van de orthodontische diagnostiek, behandelplanning en evaluatie van het behandelresultaat. Er lijken echter nog veel onduidelijkheden te bestaan over de voorwaarden waaraan digitale beelden en software moeten voldoen, terwijl de mogelijkheden om de beeldkwaliteit te verbeteren niet optimaal worden benut. Specifieke aandacht hiervoor in de specialistenopleiding en nascholing van gevestigde tandartsen-algemeen practici zijn dan ook logische stappen.

## Literatuur

- CHEN YJ, CHEN SK, CHANG HF, CHEN KC. Comparison of landmark identification in traditional versus computer-aided digital cephalometry. *Angle Orthod* 2000; 70: 387-392.
- DAVIS DN, MACKAY F. Reliability of cephalometric analysis using manual and interactive computer methods. *Br J Orthod* 1991; 18: 105-109.
- GELEN W, WENZEL A, GOTFREDSSEN E, KRUGER M, HANSSON LG. Reproducibility of cephalometric landmarks on conventional film, hardcopy, and monitor-displayed images obtained by the storage phosphor technique. *Eur J Orthod* 1998; 20: 331-340.
- GOLDBERG MA, PIVOVAROV M, MAYO-SMITH WW. Application of wavelet compression to digital radiographs. *Am J Roentgenol* 1994; 163: 463-468.
- GOOD WF, MAITZ GS, GUR D. Joint photographic experts group (JPEG) compatible data compression of mammograms. *J Digit Imaging* 1994; 7: 123-132.
- GOTTLIEB EL, NELSON AH, VOGELS DS. 1996 JCO study of orthodontic diagnosis and treatment procedures. Part 1. Results and trends. *J Clin Orthod* 1996; 30: 615-629.
- HELD CL, FERGUSON D, GALLO MW. Cephalometric digitization: A determination of the minimum scanner settings necessary for precise landmark identification. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2001; 119: 472-481.
- HOUSTON WJ. The application of computer aided digital analysis to orthodontic records. *Europ J Orthod* 1979; 1: 71-79.
- KEIM RG, GOTTLIEB EL, NELSON AH, VOGELS DS. 2002 JCO study of orthodontic diagnosis and treatment procedures. Part 2. Breakdowns of selected variables. *J Clin Orthod* 2002; 36: 627-636.
- LIM KF, FOONG KW. Phosphor-stimulated computed cephalometry: reliability of landmark identification. *Br J Orthod* 1997; 24: 301-308.
- LIU JK, CHEN YC, CHENG KS. Accuracy of computerized automatic identification of cephalometric landmarks. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2000; 118: 535-540.
- MACRI V, WENZEL A. Reliability of landmark recording on film and digital lateral cephalograms. *Eur J Orthod* 1993; 15: 137-148.
- NIMKARN Y, MILES PG. Reliability of computer-generated cephalometrics. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg* 1995; 10: 43-52.
- OLIVER RG. Cephalometric analysis comparing five different methods. *Br J Orthod* 1990; 18: 277-283.
- ONGKOSUWITO EM, KATSAROS C, VAN 'T HOF MA, BODEGOM JC, KUIJPERS-JAGTMAN AM. The reproducibility of cephalometric measurements: a comparison of analogue and digital methods. *Eur J Orthod* 2002; 24: 655-665.
- RICHARDSON A. A comparison of traditional and computerized methods of cephalometric analysis. *Eur J Orthod* 1981; 3: 15-20.
- RIOLO ML, MOYERS RE, MCNAMARA JA, HUNTER WS. An atlas of craniofacial growth. Ann Arbor: Center for Human Growth and Development, University of Michigan, 1997.
- RUDOLPH DJ, SINCLAIR PM, COGGINS JM. Automatic computerized radiographic identification of cephalometric landmarks. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1998; 113: 173-179.
- SCHOLS JGJH. Digitalisering in de orthodontiepraktijk. *Ned Tijdschr Tandheelkd* 2003; 110: 25-30.
- STELT VAN DER PF. Principles of digital imaging. *Dent Clin North Am* 2000a; 44: 237-248.
- STELT VAN DER PF. Capaciteit computer is groot maar niet oneindig. Archivering en compressie van digitale röntgenbeelden. *Ned Tandartsenblad* 2000b; 55: 938-941.
- THIJSSSEN HO. Bepaling en bewaking van de beeldkwaliteit in de radiodiagnostiek. Nijmegen: Katholieke Universiteit Nijmegen, 1993. Academisch proefschrift.
- TRPKOVA B, MAJOR P, PRASAD N, NEBBE B. Cephalometric landmarks identification and reproducibility: a meta analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1997; 112: 165-170.

## Summary

### Key words:

- Orthodontics
- Cephalometrics
- Digital radiology

## Digital cephalometrics

There are different methods to produce digital head films and all have advantages and disadvantages. With a digital head film and a computer programme for digital cephalometry an analysis can be performed easily. All existing computer programmes for digital cephalometry use reference values to compare with the patient's values. However, the magnification factors of the two data sets, which are compared, must be known and correction to the same magnification must be possible within the programme. Furthermore, the reference values should be age, gender, and population related. Many commercially available programmes do not fulfil these criteria. A well-designed programme for digital cephalometry should have the possibility to calculate age and gender-related reference values based on values of the target population. Furthermore it should have the possibility to analyse several longitudinal head films at the same time and to present the data graphically. A national survey among Dutch orthodontists by the end of 2000 demonstrated that 35% of Dutch orthodontists used digital cephalometry in their office. The most commonly used analysis was the Steiner-Tweed analysis, which was performed by nearly 60% of the orthodontists.