

Anvendelse af røntgencefalometri inden for ortodontien

En oversigt

Sven Kreiborg

Den røntgencefalometriske teknik blev introduceret for mere end 75 år siden. I dag anvendes profilrøntgenbilleder rutinemæssigt af specialtandlæger i ortodonti over hele verden ifm. diagnostik, behandlingsplanlægning og followup. Denne artikel giver en oversigt over teknikens udvikling og anvendelse igennem tiden. Derudover gøres der status over teknikens betydning for den kliniske ortodonti og ortodontisk forskning. Det konkluderes, at til trods for, at teknikken i princippet er todimensional, og at der inden for de senere år er udviklet tredimensionale teknikker til opmåling af ansigtets bløddele, kæbeskelet og tænder, så vil profilrøntgenbilledet fortsat være et vigtigt hjælpemiddel inden for den kliniske ortodonti i adskillige år fremover. Der gives i den forbindelse nogle anbefalinger til anvendelse ifm. anskaffelse af nyt cefalometrisk røntgenudstyr og software til cefalometrisk analyse.

Inden for ortodontien anvendes røntgencefalometriske optagelser i lateral projektion og panoramarøntgenbilleder rutinemæssigt i forbindelse med diagnostik, behandlingsplanlægning og followup (1). Inden for de senere år er der derudover udviklet dels ikke-radiografiske cefalometriske målemetoder (fx 3D digitizer teknik (2) og 3D overfladescanning (3)), dels scanningsmetoder som CBCT (Cone Beam CT-scanning) (4,5). Af forskellige årsager har disse teknikker imidlertid endnu ikke vundet større udbredelse (2,6,7), og det ser ud til, at den kliniske ortodonti vil fortsætte med at anvende den røntgencefalometriske teknik i adskillige år fremover. Denne artikel vil alene fokusere på den røntgencefalometriske teknik, mens CBCT-scanning vil blive behandlet i en anden artikel i dette tema.

Baggrund

Den røntgencefalometriske teknik udsprang i 1931 af kraniometrien og antropometrien. Kraniometrien blev anvendt til præcis opmåling af kranier, mens antropometrien anvendte standardiserede direkte målinger på levende individer. Inden for den kliniske ortodonti var der et behov for en objektiv, kvantitativ og reproducérbar metode til analyse af dentitionens relation til kæberne og kæbernes relation til kraniet over tid, som kunne muliggøre vurdering af ændringer forårsaget af vækst og/eller behandling.

Såvel tyskeren Hofrath (8) som amerikaneren Broadbent (9) udviklede i 1931 røntgencefalometriske apparaturer (cefalometriske units), som til dels muliggjorde dette. Hofraths (8) cefalometriske unit havde et enkelt røntgenrør og kunne alene optage den laterale projektion, mens Broadbents (9) udstyr havde to røntgenkilder og kunne optage såvel den laterale som den frontale cefalometriske projektion. Princippet i den røntgencefalometriske teknik er, at der skal kunne optages standardiserede kranierøntgenbilleder med minimal distorsion og kendt forstørrelse i en præcis og reproducérbar stilling af hovedet (10,11). En cefalometrisk unit består derfor af et imaging system med kendt geometri og af et system til præcis og reproducérbar positionering af patientens hoved (cefalostat) under eksponeringen. Næsten alle eksisterende units arbejder med en stor afstand fra røntgenfokus til cefalostatens centrum og en kort afstand fra cefalostatens centrum til filmplanet med henblik på at reducere såvel billedets distorsion som forstørrelsesgraden mest muligt.

Udvikling af teknikken

Siden den røntgencefalometriske teknik blev introduceret for mere end 75 år siden, er der udviklet mange forskellige

cefalometriske units med varierende vægt på billedkvalitet, billedgeometri, typer af mulige projektioner, nøjagtighed af hovedindstilling, pladsbehov og økonomi. Tabel 1 viser nogle af de signifikante trin i udviklingen i den røntgencefalometriske teknik i perioden. Som det fremgår af tabellen, vedrører den tekniske udvikling: (a) flere mulige projektioner (lateral, frontal, skrå lateral, skrå frontal og aksial projektion) (Fig. 1-5); (b) forbedret hovedindstilling med anvendelse af lyskryds eller laserkryds projiceret på ansigt og hoved og gennemlysningssystemer til præcis og reproducérbar hovedindstilling; (c) anvendelse af fast forstørrelsesgrad, som muliggør direkte vækst- og behandlingsanalyse ved overlægning af de longitudinelle serier af billeder optaget over tid; (d) forbedret billedkvalitet og senest (e) digital teknik med mulighed for reduceret røntgendosis til patienten.

Projektioner og kontrol af hovedindstilling

Som nævnt er der i princippet mulighed for at anvende forskellige røntgencefalometriske projektioner (fx lateral, frontal og aksial projektion), hvilket i princippet skulle

give mulighed for en tredimensional analyse af den kraniofaciale region. Problemet er imidlertid, at næsten ingen af de udviklede cefalometriske units giver mulighed for en præcis og reproducérbar indstilling af patientens hoved i forbindelse med den frontale og den aksiale projektion. Den ideelle hovedindstilling fremgår af Fig. 6. Fejl i hovedindstillingen i form af frem-tilbage-kipning, lateral kipning eller rotation (Fig. 6) introducerer forudsigelige fejl i de forskellige røntgenprojektioner (Tabel 3).

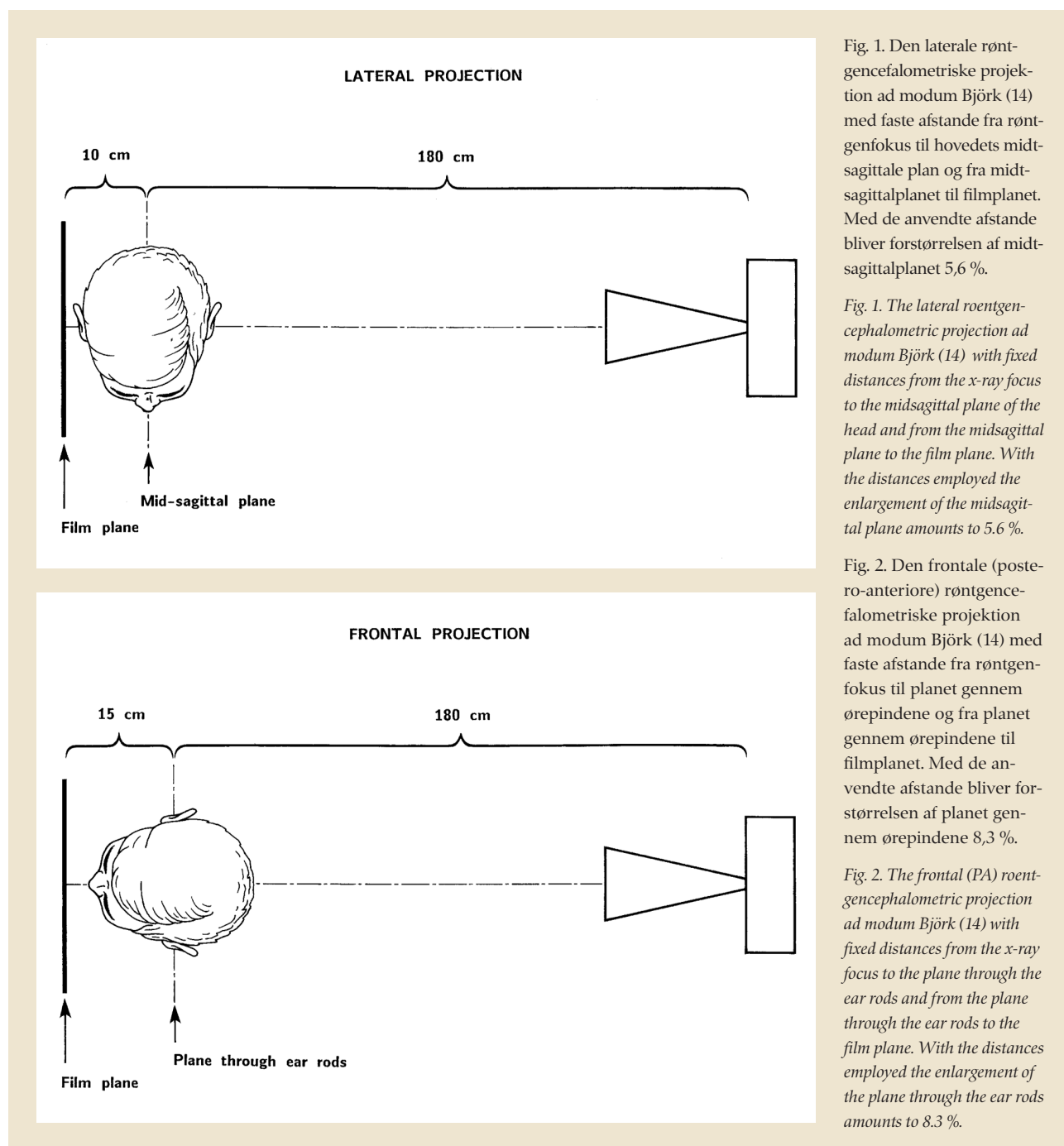
Broadbents (9) cefalometriske unit anvendte to røntgenkilder mhp. simultan optagelse af den laterale og den frontale projektion. Cefalostaten havde ørepinde og næsestøtte. Hovedet blev orienteret i cefalostaten, så Frankfurt-horisontalen var parallel med gulvet og med bedst mulig visuel kontrol af hovedets indstilling mht. frem-tilbage-kipning, rotation og lateral kipning. Björk (18) udviklede et mere avanceret system til indstilling af hovedet; ud over ørepinde og næsestøtte anvendte han et lyskryds projiceret på ansigtet og et gennemlysningssystem. Denne metode førte til en næsten perfekt indstilling af hovedet ved hver optagelse hvad angår den laterale projektion. Men da

Tabel 1. Signifikante trin i udviklingen af den røntgencefalometriske teknik.

Referencer	Trin i udviklingen
Hofrath (8)	Lateral projektion
Broadbent (9)	Lateral og frontal projektion
Margolis (12)	Skrå lateral projektion
Ortiz & Brodie (13)	Spædbarnscefalometri; lateral projektion
Björk (13)	Aksial projektion; fast afstand fra midtsagittalplanet og planet sv.t. ørepindene til filmen; fast forstørrelse
Cartright & Harvold (15)	Høj-kilovolt teknik
Pruzansky & Lis (16)	Spædbarnscefalometri; lateral and frontal projektion; sederingsmetode
Pruzansky (17)	Spædbarnscefalometri; aksial projektion
Björk (18)	Forbedret hovedindstilling med anvendelse af gennemlysning, TV-monitor og et lyskryds projiceret på ansigtet
Björk (18)	Cefalometrisk unit bevægelig i vertikal retning til optagelse af individer i stående stilling
Björk (19)	Skrå frontal projektion
Kreiborg et al. (20)	Spædbarnscefalometri; høj-kilovolt teknik, fast afstand fra midtsagittalplanet og planet sv.t. ørepindene til filmen; fast forstørrelse; forbedret hovedindstilling med lyskryds projiceret på ansigtet; også til den aksiale projektion; simultan optagelse af lateral og frontal projektion
Jackson et al. (21)	Digital cefalometri
Solow & Kreiborg (22)	Forbedret hovedindstilling med anvendelse af gennemlysning, TV-monitor og seks laserstråler projiceret på ansigt og hoved
Näslund et al. (23)	Digital cefalometri med lav stråledosis

Björks cefalometriske unit kun anvendte ét røntgenrør, var det nødvendigt at tage patienten ud af cefalostaten, dreje cefalostaten 90 grader og derefter foretage en ny indstilling af hovedet, inden optagelsen af den frontale projekti- on kunne foretages; det samme gjorde sig gældende for den aksiale projekti- on. Hovedindstillingen ifm. disse

projektioner kunne alene kontrolleres vha. ørepindene og visuel inspektion, og det førte til introduktion af fejl og derved til manglende reproducérbarhed. I forbindelse med konventionel cefalometri med anvendelse af én røntgen- kilde kan det generelt siges, at den frontale og den aksiale projekti- on er forbundet med en uacceptabel kontrol af



hovedindstillingen, mens hovedindstillingen i forbindelse med den laterale projektion er acceptabel, hvis der anvendes ørepinde og et lyskryds projiceret på ansigtet (Tabel 4). Dette er nok den væsentligste forklaring på, at formentlig mere end 95 % af alle optagne røntgencefalometriske billeder er optaget i den laterale projektion.

De røntgencefalometriske units, som blev udviklet af Kreiborg et al. (20) og af Solow & Kreiborg (22) med anvendelse af to røntgenkilder og avancerede systemer til præcis

hovedindstilling, giver mulighed for seriøs anvendelse af såvel den laterale som den frontale og den aksiale projektion og giver derved mulighed for en form for tredimensionel analyse af den kraniofaciale region over tid (24,25). Disse units er imidlertid kostbare og pladskrævende prototyper, som ikke finder rutinemæssig anvendelse inden for klinisk ortodonti.

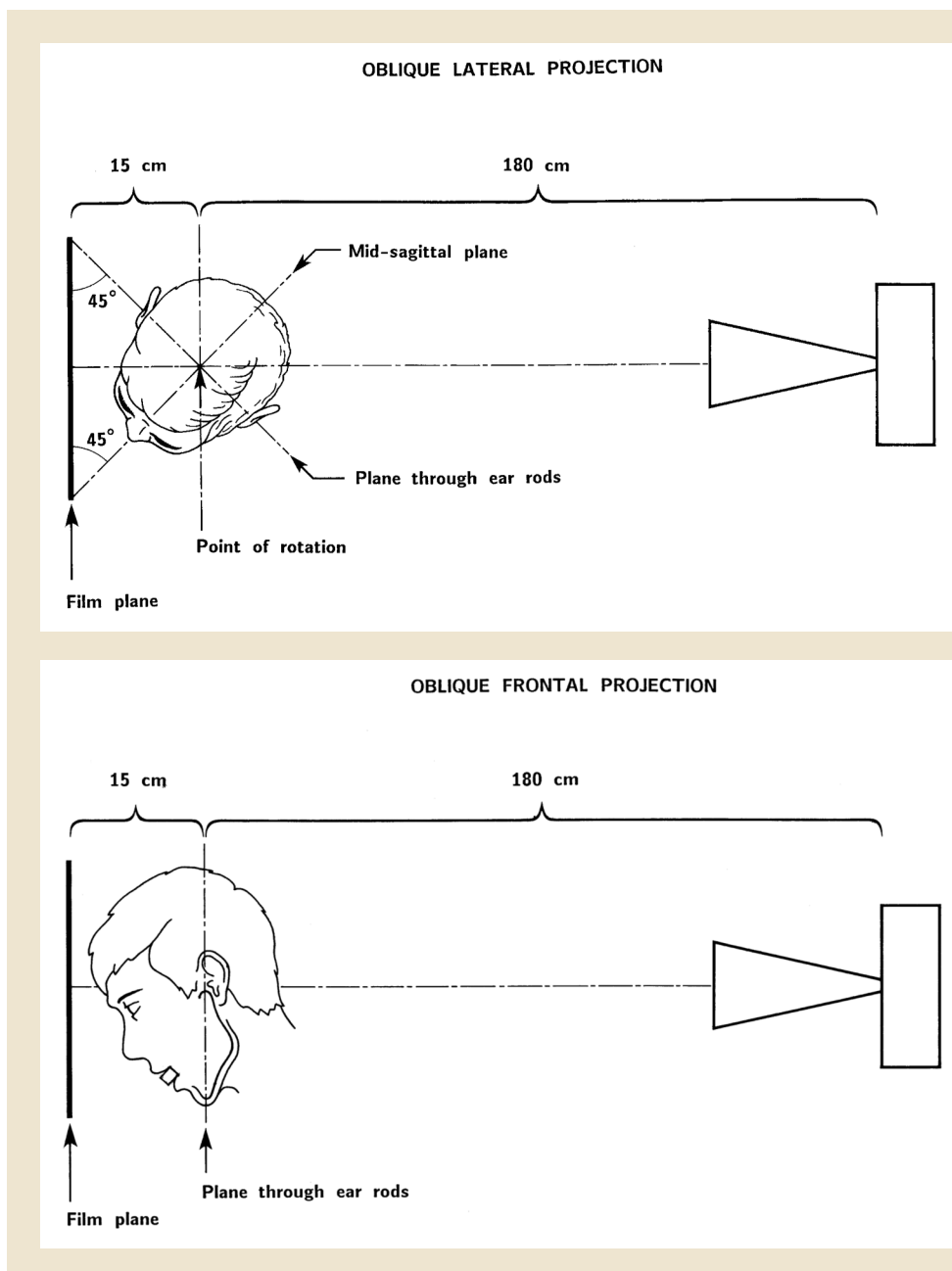


Fig. 3. Den skrå laterale røntgencefalometriske projektion ad modum Margolis (12).

Fig. 3. The oblique lateral roentgencephalometric projection ad modum Margolis (12).

Fig. 4. Den skrå frontale røntgencefalometriske projektion ad modum Björk (19) med faste afstande fra røntgenfokus til planet gennem referencepunkterne condyilion (cd) og prognathion (pgn) og fra dette plan til filmplanet. Med de anvendte afstande bliver forstørrelsen af planet gennem condyilion (cd) og prognathion (pgn) 8,3 %.

Fig. 4. The oblique frontal roentgencephalometric projection ad modum Björk (19) with fixed distances from the x-ray focus to the plane through the reference points condyilion (cd) and prognathion (pgn) and from this plane to the film plane. With the distances employed the enlargement of the plane through condyilion (cd) and prognathion (pgn) amounts to 8.3 %.

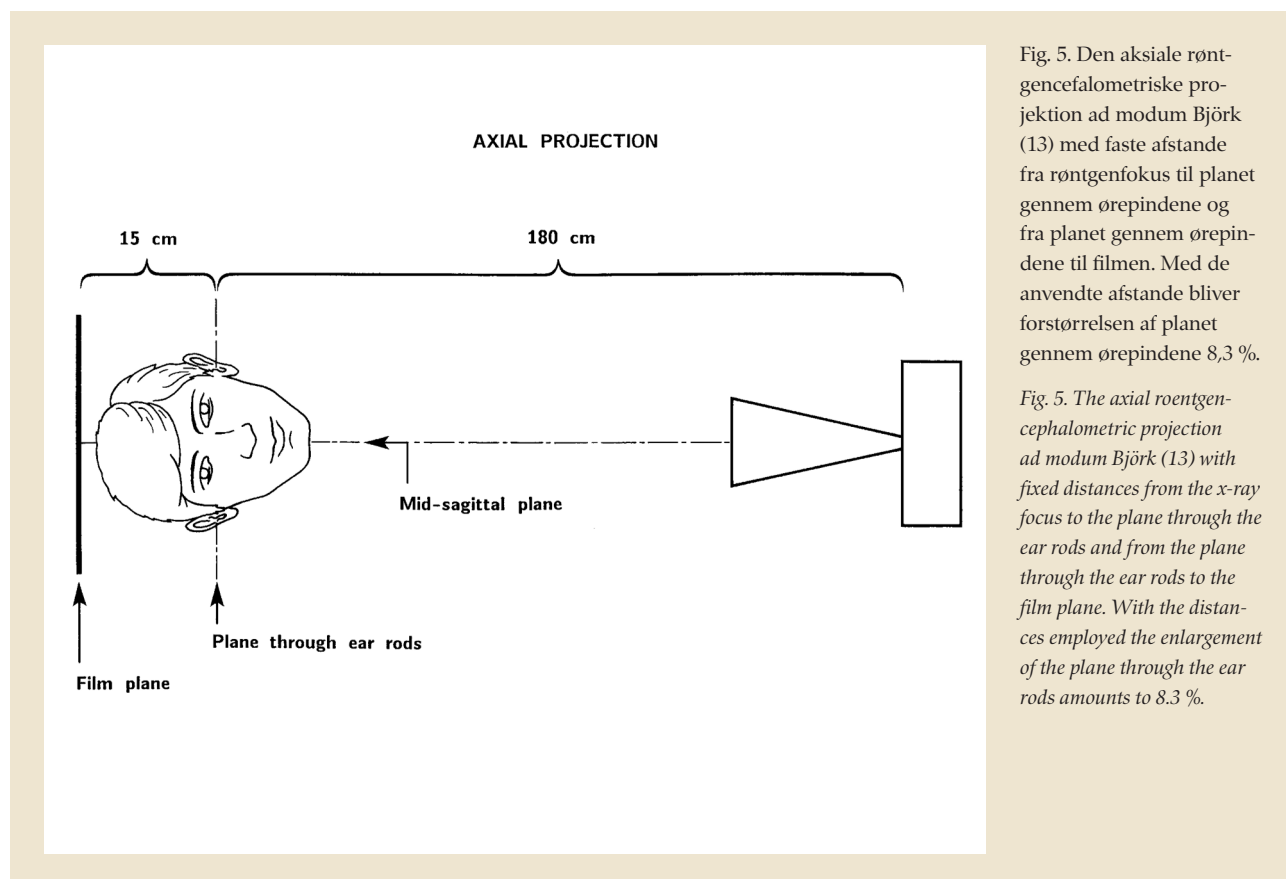


Fig. 5. Den aksiale røntgencefalometriske projektion ad modum Björk (13) med faste afstande fra røntgenfokus til planet gennem ørepindene og fra planet gennem ørepindene til filmen. Med de anvendte afstande bliver forstørrelsen af planet gennem ørepindene 8,3 %.

Fig. 5. The axial roentgen-cephalometric projection ad modum Björk (13) with fixed distances from the x-ray focus to the plane through the ear rods and from the plane through the ear rods to the film plane. With the distances employed the enlargement of the plane through the ear rods amounts to 8.3 %.

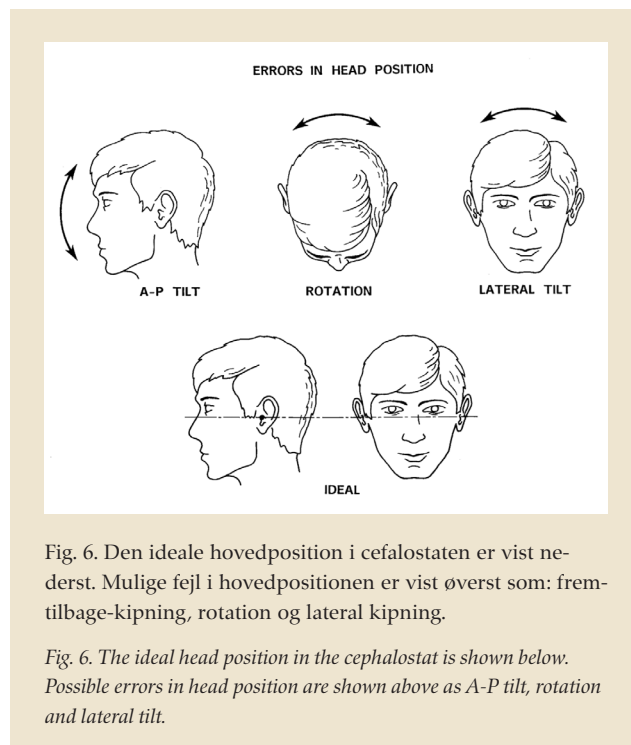


Fig. 6. Den ideale hovedposition i cefalostatet er vist nederst. Mulige fejl i hovedpositionen er vist øverst som: fremtilbage-kipning, rotation og lateral kipning.

Fig. 6. The ideal head position in the cephalostat is shown below. Possible errors in head position are shown above as A-P tilt, rotation and lateral tilt.

Forstørrelsesproblematik

Broadbents (9) cefalometriske unit anvendte en fast afstand på 5 fod (152,4 cm) fra røntgenfokus til cefalostatens centrum. Filmkassetterne blev skubbet så tæt på ansigtet som muligt for at mindske distorsion og forstørrelse af billedet. Afstanden fra kassetten til cefalostatens centrum kunne derefter aflæses på indbyggede målepinde, som skulle aflæses ved hver optagelse. Forstørrelsen af hovedets midsagittale plan og planet gennem ørepindene kunne derefter beregnes for det enkelte billede. Senere og simple cefalometriske units, som baserer sig på Broadbents teknik, anvender af pladshensyn kun én røntgenkilde kombineret med en drejelig cefalostat, som nævnt ovenfor; her vurderes forstørrelsen af billedet ved, at der anbringes en 10 cm lang aluminiumslineal i cefalostatet svarende til midsagittalplanet og planet gennem ørepindene; linealen bliver fotograferet ind på filmen, hvilket muliggør, at der i forbindelse med analysen (målingerne) kan korrigeres for den varierende forstørrelsesgrad. Björk (14) valgte en anden løsning, nemlig faste afstande fra cefalostatens centrum til filmene kombineret med en større afstand fra fokus til cefalostatens centrum (Fig. 1 og 2). Forstørrelsen af midsagitt-

talplanet ved den laterale projektion bliver herved altid 5,6 % ((190 cm x 100)/180 cm) (Fig. 1); for planet gennem ørepindene ved den frontale projektion bliver forstørrelsen altid 8,3 % ((195 cm x 100)/180 cm) (Fig. 2). Denne metode muliggør i princippet direkte vækst- og behandlingsanalyse ved overlægning af to eller flere cefalometriske optagelser i lateral og frontal projektion, taget over tid. Som nævnt ovenfor er dette imidlertid i realiteten kun muligt for den laterale projektion pga. problemerne med en præcis og reproducérbar hovedindstilling i forbindelse med den frontale projek-

tion. Et andet problem med den direkte overlægning af longitudinelle cefalometriske optagelser i den frontale projektion af børn i vækst er, at forstørrelsen af de maksillære strukturer formindskes i forbindelse med, at maksillen ved sin fremadvækst ift. basis cranii kommer nærmere på filmplanet (Fig. 7).

Digital teknik

Digital teknik i forbindelse med røntgencefalometri har i princippet været mulig siden 1985 (21). Adskillige undersø-

Tabel 2. Signifikante trin i udviklingen af cefalometrisk analyse.

Referencer	Trin i udviklingen af cefalometrisk analyse
Brodie (35)	Justering for forstørrelsen; vækstanalyse med sella-nasion som reference
Björk (36)	Fast forstørrelse; direkte vækstanalyse med sella-nasion som reference
Björk (37)	Metalimplantater (fiducials) indsat i kæberne mhp. at differentiere mellem displacering og overfladeremodellering af kæberne
Moorrees & Kean (38)	Spædbarnscefalometri; lateral projektion
Solow & Tallgren (39)	Cefalometriske optagelser i naturlig hovedholdning
Björk (40)	Vækstanalyse med superimponering på anatomiske strukturer i fossa cranii ant.
Brown et al. (41)	Spædbarnscefalometri; lateral and frontal projektion; sederingsmetode
Solow (42)	Spædbarnscefalometri; aksial projektion
Harris et al. (43)	Multivariat statistik appliceret til cephalometriske data
Walker (44)	Cefalometrisk unit bevægelig i vertikal retning til optagelse af individer i stående stilling
Solow (45)	Billedbehandling af cephalometriske film
Walker (44, 46)	Spædbarnscefalometri; høj-kilovolt teknik, fast afstand fra midtsagittalplanet og planet sv.t. ørepindene til filmen; fast forstørrelse; forbedret hovedindstilling med lyskryds projiceret på ansigtet; også til den aksiale projektion; simultan optagelse af lateral og frontal projektion
Ricketts (47)	Digital cefalometri
Kreiborg (48)	Forbedret hovedindstilling med anvendelse af gennemlysning, TV-monitor og seks laserstråler projiceret på ansigt og hoved
Hermann et al. (24)	Computeriseret cephalometri; digitalisering af film i lateral, frontal og axial projektion; computermodeller; gennemsnitsplots m.m.
Hollender et al. (49)	Stereoskopisk cefalometri med anvendelse af metalimplantater (fiducials)
Rune et al. (50)	
Walker & Kowalski (51)	Computeriseret vækst- og behandlingssimulation
Ricketts et al. (52)	
Baumrind et al. (53)	Stereometrisk cefalometri baseret på parrede co-planar images uden anvendelse af metalimplantater
Cohen et al. (54)	Automatisk identifikation af referencepunkter
Grayson et al. (55)	Referencepunkter med tre koordinater (x, y, z)
Brown & Abbott (56)	
www.tiops.com (57)	Direkte vækstanalyse af digitale billeder; prædiktion og simulering af vækst og behandlingseffekt (ortodonti og kæbekirurgi)
Donatsky et al. (58)	
Power et al. (59)	

gelses har vist, at den digitale teknik, hvad enten det drejer sig om anvendelse af CCD (charge-coupled device) -sensor eller optagelser med anvendelse af SP (storage phosphor) image-plade, kan levere billeder af tilstrækkelig kvalitet til røntgencefalometrisk brug (26-33). Teknikken giver en række nye muligheder i form af elektronisk billedbehandling til forbedring af kvaliteten og, for nogle systemer, reduceret stråledosis (23). Endelig åbner teknikken for direkte cefalometrisk analyse af billederne på computerskærmen.

Cefalometrisk analyse

Der er igennem årene udviklet en lang række analyser til cefalometrisk analyse; fx Björk analyse, Downs analyse, McNamara analyse, Ricketts analyse, Steiner analyse og Tweed analyse (11,34). Analyserne baserer sig generelt på opmåling af afstande og vinkler baseret på veldefinerede referencepunkter. Udviklingen er gået fra manuelle målinger på røntgenbilleder eller tegninger af røntgenbilleder til digitalisering af punkterne på en film eller en tegning og videre til direkte opmåling på computerskærmen, især i forbindelse med den digitale røntgenteknik (Tabel 2). Softwarepakken TIOPS (57) giver desuden mulighed for direkte vækstanalyse af digitale billeder ad modum Björk og giver derudover mulighed for prædiktions og simulering af kæbevækst samt ortodontisk og ortodontisk/kæbekirurgisk behandlingseffekt.

I de senere år har der, specielt efter indførelsen af digital teknik, været gjort en række forsøg med systemer til automatisk identifikation af cefalometriske referencepunkter mhp. en automatisk morfologisk analyse (27,54,60-64). Til trods for en aktiv forskningsindsats på området igennem ca. 25 år findes der imidlertid fortsat ingen egnede computerprogrammer til automatisk analyse af dentofacial morfologi og vækst eller analyse af behandlingseffekt.

Status og anbefalinger

Hvis man skal gøre status over den røntgencefalometriske tekniks betydning, her godt 75 år efter at den blev introduceret, må man konkludere, at den har haft en enorm succes. Den røntgencefalometriske optagelse i lateral projektion (profilrøntgenbilledet) er i dag et uundværligt hjælpemiddel for de fleste ortodontister i forbindelse med diagnostik, behandlingsplanlægning og followup. Metoden anvendes i alle verdensdele, og der er over årene publiceret normative data for dentofacial morfologi og vækst for et stort antal etniske grupper. I Europa er der i næsten alle lande publiceret nationale normative data for såvel børn som voksne. Der er desuden udviklet og afprøvet et relativt stort antal røntgencefalometriske analysemetoder.

Metoden har også fundet stor anvendelse inden for ortodontisk forskning og inden for udforskningen af kongenitale kraniofaciale misdannelser (65). Ifølge databasen

Tabel 3. Projektionsfejl forårsaget af fejl i positionering af hovedet. (+) = projektionsfejl; (-) = ingen projektionsfejl.

Projektion	Projektionsfejl forårsaget af fejl i positionering af hovedet		
	A-P kipning	Lateral kipning	Rotation
Lateral	-	+	+
Frontal	+	-	+
Axial	+	+	-

Tabel 4. Mulighed for kontrol af positionering af hovedet ved konventionel cefalometri (én røntgenkilde og cefalostat med ørepinde og lyskryds projiceret på ansigtet).

Projektion	Kontrol af positionering af hovedet		
	A-P kipning	Lateral kipning	Rotation
Lateral	Uden betydning	Acceptabel	Acceptabel
Frontal	Acceptabel	Uden betydning	Ikke acceptabel
Aksial	Acceptabel	Ikke acceptabel	Uden betydning

PubMed (66) er der alene i første halvår af 2008 publiceret mere end 100 internationale videnskabelige artikler, hvor metoden har været anvendt. I Danmark har den røntgencefalometriske metode- og analyseudvikling været domineret af nu afdøde professor Arne Björk, Tandlægeskolen i København. Björk (14,18) udviklede, som tidligere nævnt, en avanceret cefalometrisk unit karakteriseret ved høj billedkvalitet og præcis og reproducérbar indstilling af hovedet i forbindelse med den laterale projektion samt fast, kendt forstørrelse. Dette muliggjorde hans banebrydende cefalometriske analyser baseret på anvendelse af små metalindikatorer (fiducials) i kæberne (18,36,37,67-69). Denne udvikling har haft markant og signifikant indflydelse på såvel udviklingen af den kliniske ortodonti som af ortodontisk og kraniofacial forskning, ikke alene her i landet, men også internationalt.

Den store udbredelse og anvendelse af den røntgencefalometriske teknik hænger utvivlsomt sammen med, at industrien har udviklet prisbillige, relativt lidt pladskrævende, enkle cefalometriske units, ofte kombineret med muligheden for optagelse af panoramarøntgenbilleder, til rutinemæssig, klinisk ortodontisk brug. Denne udvikling har imidlertid også medvirket til, at det i princippet kun er muligt at optage den laterale cefalometriske projektion med acceptabel reproducérbarhed over tid (se ovenfor). Der har været gjort mange forsøg på at medinddrage den tredje dimension i ortodontisk vækst- og behandlingsanalyse med anvendelse af flere projektioner mhp. at fastlægge referencepunkter med tre koordinater (x, y og z) eller med anvendelse af stereometriske optagelser med eller uden anvendelse af fiducials. Disse tiltag har imidlertid ikke ført til egnede tredimensionale analysemetoder til rutinemæssig, ortodontisk brug.

Professor Thomas Graber udtrykte i 2005 på indersiden af omslaget af den seneste udgave af en af de internationalt mest anerkendte lærebøger i ortodonti, nemlig »Orthodontics: Current Principles and Techniques« (70):

»The cover is an artistic interpretation of serial frontal (PA) and lateral (sagittal) cephalometric tracings depicting the Bolton Standard face from Case Western Reserve University. These tracings call attention to the three-dimensional developmental growth and the dentofacial orthopedic challenge at successive ages for each patient. For too long, the PA film has not received adequate consideration by the clinician. We are not only a »generation of profiles«, as Sam Weinstein sagely observed many years ago.

Citatet afspejler et klart og erkendt behov for tredimen-

sional analyse af den kraniofaciale region inden for den kliniske ortodonti. Vi må imidlertid se i øjnene, at den røntgencefalometriske teknik, som den har udviklet sig gennem tiden, ikke giver mulighed for optagelse af den frontale projektion med en præcis og reproducérbar hovedindstilling over tid. De fleste units er i stand til at optage den frontale og den skrå frontale projektion, og disse billeder kan analyseres for forekomst af kraniofacial (frontal projektion) og mandibulær (skrå frontal projektion) asymmetri. Det er imidlertid forudsigtligt, at præcis ortodontisk vækst- og behandlingsanalyse af patienter med kraniofacial og/eller mandibulær asymmetri i frem-

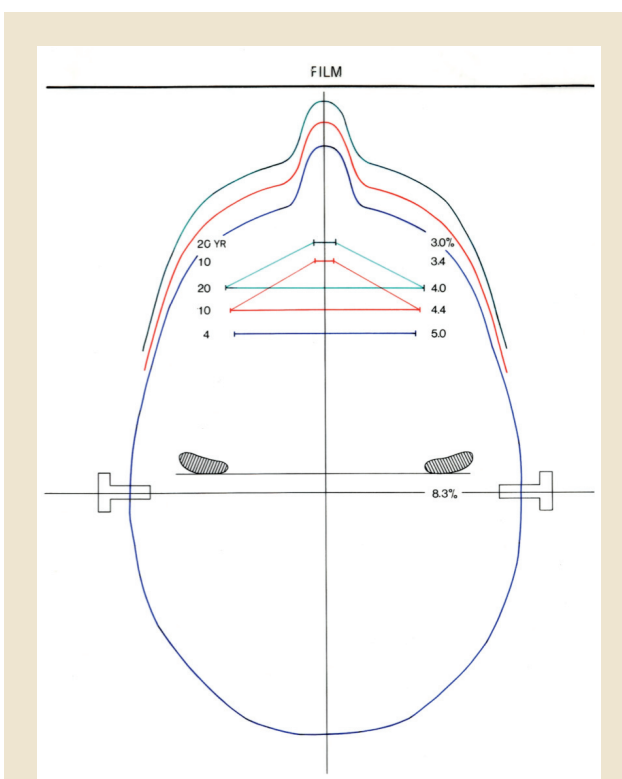


Fig. 7. Illustration af hvordan forstørrelsen af maksillens strukturer på den frontale røntgencefalometriske projektion formindskes ifm. maksillens vækst fremad ift. planet gennem ørepindene. I det viste eksempel reduceres forstørrelsen af maksillens bredde med 1% (nemlig fra 5,0% til 4,0%) fra fireårsalderen til 20-årsalderen.

Fig. 7. Illustration of the reduction in the enlargement factor of the maxillary structures in the frontal (PA) roentgencephalometric projection caused by forward growth of the maxilla in relation to the plane through the ear rods. In the shown example, the enlargement of the width of the maxilla decreases by 1% (from 5.0% to 4.0%) from 4 years to 20 years of age.

tiden vil blive foretaget ved hjælp af CBCT-scanningsmetoden (3,4).

De kommercielt tilgængelige cefalometriske units har således nogle tekniske begrænsninger, som, realistisk vurderet, nok må accepteres, men der er fortsat en række basale tekniske forhold, som bør vurderes og prioriteres før anskaffelsen af nyt udstyr:

- (1) Afstanden fra røntgenfokus til filmen skal være størst mulig (mindst 150 cm).
- (2) Afstanden fra cefalostatens centrum til filmen skal være fast mhp. fast, kendt forstørrelse.
- (3) Cefalostaten skal, ud over ørepinde, være forsynet med et lyskryds/laserkryds projiceret på ansigtet til præcis hovedindstilling til den laterale projektion.
- (4) Kvaliteten af røntgenbillederne skal være høj med hensyn til kontrast og skarphed.

Kombinationen af fast forstørrelse, præcis og reproducerbar hovedindstilling med minimal distorsion af billederne og høj billedkvalitet er en forudsætning for at anvende Björks metode til analyse af dentofacial vækst og behandlingsændringer med direkte overlægning af billederne på stabile anatomiske strukturer i basis cranii, maxilla og mandibula (68,69).

Med anvendelse af digital imaging-teknik er der mulighed for at reducere stråledosis og foretage elektronisk post-processing af billederne for at forbedre billedkvaliteten. Den digitale teknik giver desuden den fordel, at man kan foretage cefalometrisk analyse direkte på computerskærmen med anvendelse af én af de mange tilgængelige softwarepakker på markedet. For de specialtandlæger i ortodonti, som anvender Björks (68,69) analysemetode, vil TIOPS (57) være et oplagt valg.

English summary

Craniofacial imaging in orthodontics

The roentgencephalometric technique was developed more than 75 years ago by researchers looking for a method for objective, quantitative and reproducible analysis of the relation between the dentition and the jaws and the relation between the jaws and the cranium – over time. Today, cephalometric radiographs in the lateral projection are routinely used worldwide by orthodontists for diagnostics, treatment planning and follow-up. Several other cephalometric projections have been suggested to include the third dimension, but with limited success. However, although the technique, in principle, is limited to two dimensions, it must be anticipated that it will still be in routine use for several years to come.

This review deals with the development of the technique

since its introduction and the development of cephalometric analyses. In addition, the article summarizes the current application of the technique within clinical orthodontics, recognizing its limitations.

Finally, some recommendations are given related to the purchase of new equipment and software for cephalometric analysis.

Litteratur

Denne liste indeholder de første 40 referencer; den komplette litteraturliste kan rekvireres hos forfatteren.

1. Sarver DM, Proffit WR. Special considerations in diagnosis and treatment planning. In: Graber TM, Vanarsdall RL, Vig KWL, editors. Orthodontics: current principles and techniques. St. Louis: Elsevier Mosby; 2005. p. 24.
2. Tsang KHS, Cooke MS. Comparison of cephalometric analysis using a non-radiographic sonic digitizer (DigiGraph Workstation) with conventional radiography. Eur J Orthod 1999; 21: 1-13.
3. Weinberg SM, Naidoo S, Govier DP, Martin RA, Kane AA, Marazita ML. Anthropometric precision and accuracy of digital three-dimensional photogrammetry: comparing the Genex and 3dMD imaging systems with one another and with direct anthropometry. J Craniofac Surg 2006; 17: 477-83.
4. Mah JK, Hatcher D. Craniofacial imaging in orthodontics. In: Graber TM, Vanarsdall RL, Vig KWL, editors. Orthodontics: current principles and techniques. St. Louis: Elsevier Mosby; 2005. p. 71-100.
5. Swennen GRJ, Schutyser F, Hausamen J-E. Three-dimensional cephalometry. A color atlas and manual. Berlin Heidelberg New York: Springer Verlag; 2006.
6. Chan HJ, Woods M, Stella D. Three dimensional computed craniofacial tomography (3D-CT): potential uses and limitations. Aust Orthod J 2007; 23: 55-64.
7. Silva MA, Wolf U, Heinicke F, Bumann A, Visser H, Hirsch E. Cone-beam computed tomography for routine orthodontic treatment planning: a radiation dose evaluation. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2008; 133: 640.e1-5.
8. Hofrath H. Die Bedeutung der Röntgenfern- und Abstandaufnahme für die Diagnostik der Kieferanomalien. Fortschr Orthod 1931; 1: 232-58.
9. Broadbent BH. A new X-ray technique and its application to orthodontia. Angle Orthod 1931; 1: 45-66.
10. Broadbent BH Sr, Broadbent BH Jr, Golden WH. Bolton standards of dentofacial developmental growth. St. Louis: The C.V. Mosby Company, 1975.
11. Jacobson A, Jacobson RL, editors. Radiographic cephalometry. From basics to 3-D imaging. 2nd edition. Chicago: Quintessence; 2006.
12. Margolis HI. Standardized x-ray cephalographics. Am J Orthod Oral Surg 1940; 26: 725-40.
13. Ortiz MH, Brodie AG. On the growth of the human head from birth to the third month of life. Anat Rec 1949; 103: 311-33.

14. Björk A. Some biological aspects of prognathism and occlusion of the teeth. *Angle Orthod* 1951; 21: 3-27.
15. Cartright LJ, Harvold EP. Improved radiographic results in cephalometry through the use of high kilovoltage. *Can Dent Assoc J* 1954; 20: 260-3.
16. Pruzansky S, Lis EF. Cephalometric roentgenography of infants: sedation instrumentation, and research. *Am J Orthod* 1954; 51: 159-86.
17. Pruzansky S. Is roentgencephalometry being fully exploited as an instrument for clinical investigation? *Dent Clin North America*. Philadelphia: WB Saunders Company; 1966. p. 211-7.
18. Björk A. The use of metallic implants in the study of facial growth in children. *Am J Phys Anthropol* 1968; 29: 243-54.
19. Björk A. Kæbernes relationer til det øvrige kranium. In: Lundström A, editor. *Nordisk lärobok i ortodonti*. Stockholm: Sveriges Tandläkarförbunds Förlagsförening; 1971. p. 163.
20. Kreiborg S, Dahl E, Prydsø U. A unit for infant roentgencephalometry. *Dentomaxillofac Radiol* 1977; 6: 29-33.
21. Jackson PH, Dickson GC, Birnie DJ. Digital image processing of cephalometric radiographs: a preliminary report. *Br J Orthod* 1985; 12: 122-32.
22. Solow B, Kreiborg S. A cephalometric unit for research and hospital environments. *Eur J Orthod* 1988; 10: 346-52.
23. Näslund EB, Møystad A, Larheim TA, Øgaard B, Kruger M. Cephalometric analysis with digital storage phosphor images: extreme low-exposure images with and without postprocessing noise reduction. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2003; 124: 190-7.
24. Hermann NV, Jensen BL, Dahl E, Darvann TA, Kreiborg S. A method for three projection infant cephalometry. *Cleft Palate Craniofac J* 2001; 38: 299-316.
25. Kreiborg S, Hermann NV, Darvann TA. Characteristics of facial morphology and growth in infants with clefts. In: Berkowitz S, editor. *Cleft lip and palate. Diagnosis, and management*. 2nd ed. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag; 2006. p. 225-35.
26. Scutellari PN, Orzincolo C, Verna C, Vincenzi E, Licci R, Vita F. Cephalometry and digital radiography. Technical note. *Radiol Med* 1993; 86: 899-903.
27. Forsyth DB, Davies DN. Assessment of an automated cephalometric analysis system. *Eur J Orthod* 1996; 18: 471-8.
28. Forsyth DB, Shaw WC, Richmond S, Roberts CT. Digital imaging of cephalometric radiographs, part 2: image quality. *Angle Orthod* 1996; 66: 43-50.
29. Gotfredsen E, Kragsskov J, Wenzel A. Development of a system for craniofacial analysis from monitor-displayed digital images. *Dentomaxillofac Radiol* 1999; 28: 123-6.
30. Moore WS. Dental digital radiography. *Tex Dent J* 2002; 11: 404-12.
31. Wenzel A, Gotfredsen E. Digital radiography for the orthodontist. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2002; 121: 231-5.
32. Chen Y-J, Chen S-K, Huang H-W, Yao C-C, Chang H-F. Reliability of landmark identification in cephalometric radiography acquired by a storage phosphor imaging system. *Dentomaxillofac Radiol* 2004; 33: 301-6.
33. Ross LL, Munn MR. Comparing digital serial cephalogram images for growth or treatment changes. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2005; 128: 161-2.
34. Ricketts RM. Perspectives in the clinical application of cephalometrics. *Angle Orthod* 1981; 51: 115-50.
35. Brodie AG. On the growth pattern of the human head from the third month to the eighth year of life. *Am J Anat* 1941; 68: 209-62.
36. Björk A. Cranial base development: a follow-up x-ray study of the individual variation in growth occurring between the ages of 12 and 20 years and its relation to brain case and face development. *Am J Orthod* 1955; 41: 198-225.
37. Björk A. Facial growth in man, studied with the aid of metallic implants. *Acta Odontol Scand* 1955b; 13: 9-34.
38. Moorrees CFA, Kean MR. Natural head position: a basic consideration in the interpretation of cephalometric radiographs. *Am J Phys Anthropol* 1958; 16: 213-34.
39. Solow B, Tallgren A. Head posture and craniofacial morphology. *Am J Phys Anthropol* 1976; 44: 417-35.
40. Björk A. Roentgencephalometric growth analysis. In: Pruzansky S., editor. *Congenital anomalies of the face and associated structures*. Springfield: Charles C. Thomas Company; 1961. p. 237-50.

Forfatteroplysning:

Sven Kreiborg, professor, dr.odont., ph.d., Odontologisk Institut, Det Sundhedsvidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet