

ABSTRACT

Avancerede metoder til billeddiagnostik inden for tandlægens arbejdsfelt

Cone Beam Computer Tomografi (CBCT) er en avanceret 3-d-røntgenundersøgelse, der i nogen udstrækning har vundet indpas på danske tandklinikker. Udviklingen sker i øjeblikket på flere punkter: 1) mindre billedfelt og lavere stråledosis til samme billedkvalitet og 2) korrektion for både metalartefakter og patientbevægelse i billedvolumenet. Kan der opnås billedsnit uden bevægelsesartefakter, undgås formentlig nogle omtagninger og en øgning i den diagnostiske rigtighed. SIS (Strålebeskyttelse i Sundhedsstyrelsen) fører tilsyn med tandlæger, der arbejder med CBCT, og ønsker skærpede krav til rapportering af billedfeltets størrelse og dosisafsætning. Evidensen for, hvornår CBCT er indikeret, vokser hvert år, og Styrelsen for Patientsikkerhed overvejer at udgive retningslinjer for brugen af CBCT. Billeddannelse med magnetisk resonans (MR) anvendes inden for flere odontologiske diagnostiske områder, og med øget opløsning i billederne spås metoden yderligere udbredelse. MR er røntgenmetoderne langt overlegen, hvad angår blodtvævsdiagnostik, men også hårdtvæv kan for nogle diagnostiske områder tolkes med en rigtighed svarende til CBCT's. En ultralydsundersøgelse (US) er en "real-time", smertefri, ikke-invasiv diagnostisk metode, som benytter lydølger frem for ioniserende stråling. US spiller en vigtig rolle i diagnostik af mange sygdomme i hoved- og halsområdet, som fx i lymfeknuder, spytkirtler, tyggemusklér, kæbeled og tunge. Ny forskning viser, at intraorale ultralydsundersøgelser kan have et fremtidigt potentiale som supplerende diagnostisk metode inden for odontologien med forbedret billedkvalitet og specialtilpasset lydhoved for vanskeligt tilgængelige områder i mundhulen. Alle tre billeddannende undersøgelsesmetoder, beskrevet i denne artikel, kræver specielle kompetencer for at kunne anvende udstyret korrekt og tolke de resulterende billeder.



Henvendelse til forfatter:
Ann Wenzel, email: awenzel@dent.au.dk

Aktuelle udviklinger inden for billeddiagnostik

Ann Wenzel, professor, dr.odont., ph.d., Sektion for Oral Radiologi, Institut for Odontologi og Oral Sundhed, Health, Aarhus Universitet

Anne Møystad, professor, dr.odont., specialist i kjeve- og ansiktsradiologi, Institutt for klinisk odontologi, Universitetet i Oslo

Accepteret til publikation den 22. maj 2017

I denne korte oversigt gennemgås tre væsentligt forskellige billeddannende undersøgelsesmetoder, der i større eller mindre udstrækning har vundet indpas i odontologisk diagnostik: Cone Beam Computer Tomografi, magnetisk resonans- og ultralydsundersøgelse. Kun den førstnævnte af disse teknikker har i øjeblikket nogen udbredelse i almen tandlægepraksis, men det spås, at den vigtigste fordel ved de to andre teknikker, nemlig anvendelsen af ikke-ioniserende stråling, vil fremme udviklingen af disse undersøgelsesmetoder også på det odontologiske område.

Cone Beam Computer Tomografi (CBCT)

CBCT er en volumetrisk (3-d) røntgenmetode, som i stigende grad anvendes i behandlingsplanlægning og kontrol af forskellige odontologiske diagnostiske problemstillinger. Undersøgelsen er forbundet med højere stråledosis (1) til patienten og større ressourceforbrug (2,3) end konventionelle 2-d-røntgenmetoder. CBCT-teknikken opererer med én røntgendetektor, som roterer en gang rundt om patienten under en eksponering. Disse forhold betyder, at spatialopløsningen i CBCT-billeder generelt er højere og stråledosis lavere end ved en medicinsk CT-undersøgelse (4); dog varierer dosis betydeligt mellem apparater og afhænger desuden af størrelsen af billedfeltet (FOV) og opløsningen (5). Når CBCT-undersøgelsen er udført, har man et datavolumen (voxels) til rådighed. Data består af aksiale snit, der kan rekonstrueres i en software til at gengive forskellige planer med udgangspunkt i det aksiale, koronale og sagittale plan. Der kan også fremstilles en virtuel 3-d-model. De tekniske aspekter af CBCT er gennemgået i en nylig rapport (5).

Stråledosis til patienten og ressourcer

EMNEORD

Cone-beam computed tomography; magnetic resonance imaging; ultrasound imaging

Inden en CBCT-undersøgelse skal brugeren vælge størrelsen af FOV og spatialopløsning, foreneligt med de diagnostiske krav til billederne. I reglen hænger højere billedopløsning sammen med mindre FOV, men sammenhængen er

Vedvarende symptomer efter endodontisk behandlet 7,6+

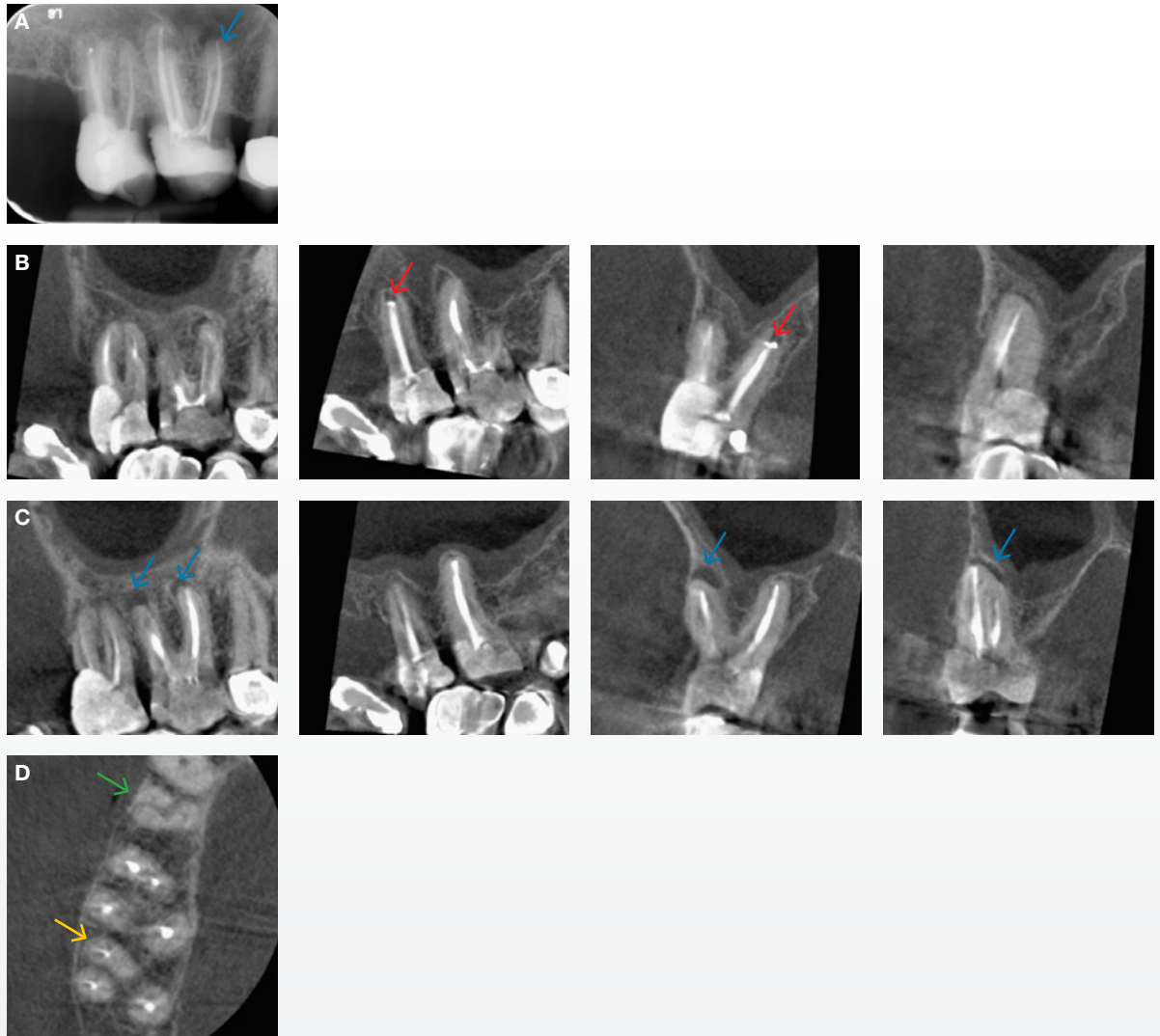


Fig. 1. A: Periapikal optagelse af 7,6+. **B-D:** CBCT-undersøgelse af 7,6+ foretaget med Cranex 3D-udstyr med metalartefakt-reduktionsfilter og 0,085 mm voxel-opløsning. **B:** CBCT-snit af 7+; sagittale snit af de to faciale rødder samt den palatinale rod og koronale snit af disto-faciale og palatinale rod samt mesio-faciale rod. **C:** CBCT-snit af 6+; sagittale snit af de to faciale rødder samt den palatinale rod og koronale snit af disto-faciale og palatinale rod samt mesio-faciale rod. **D:** Aksialt snit af 7,6+.

Blå pile: periapikal læsion. **Røde pile:** apikal resorption, gul pil: 7+ mesio-faciale rod fyldt bukkalt i roden (indikerer, at der muligvis er en ekstra ikke-fyldt rodkanal). **Grøn pil:** 5+ har tre rødder (tilfældigt fund).

Fig. 1. A: Periapical image of 17,16,15. **B-D:** CBCT examination of 17,16,15 with Cranex 3D unit including metal artefact-reduction filter in 0.085 mm voxel resolution. **B:** CBCT section of 17; sagittal sections of the two buccal roots as well as the palatal root and coronal sections of the disto-buccal and palatal root as well as the mesio-buccal root. **C:** CBCT sections of 16; sagittal sections of the two buccal roots as well as the palatal root and coronal sections of the disto-buccal and palatal root as well as the mesio-buccal root. **D:** Axial section of 17,16,15.

Blue arrows: periapical lesion. **Red arrows:** apical resorption, yellow arrow: 17 mesio-buccal root filled buccally in the root (indicates the possibility of an additional non-filled root canal). **Green arrow:** 15 has three roots (coincidental finding).

Cervikal resorption 5+

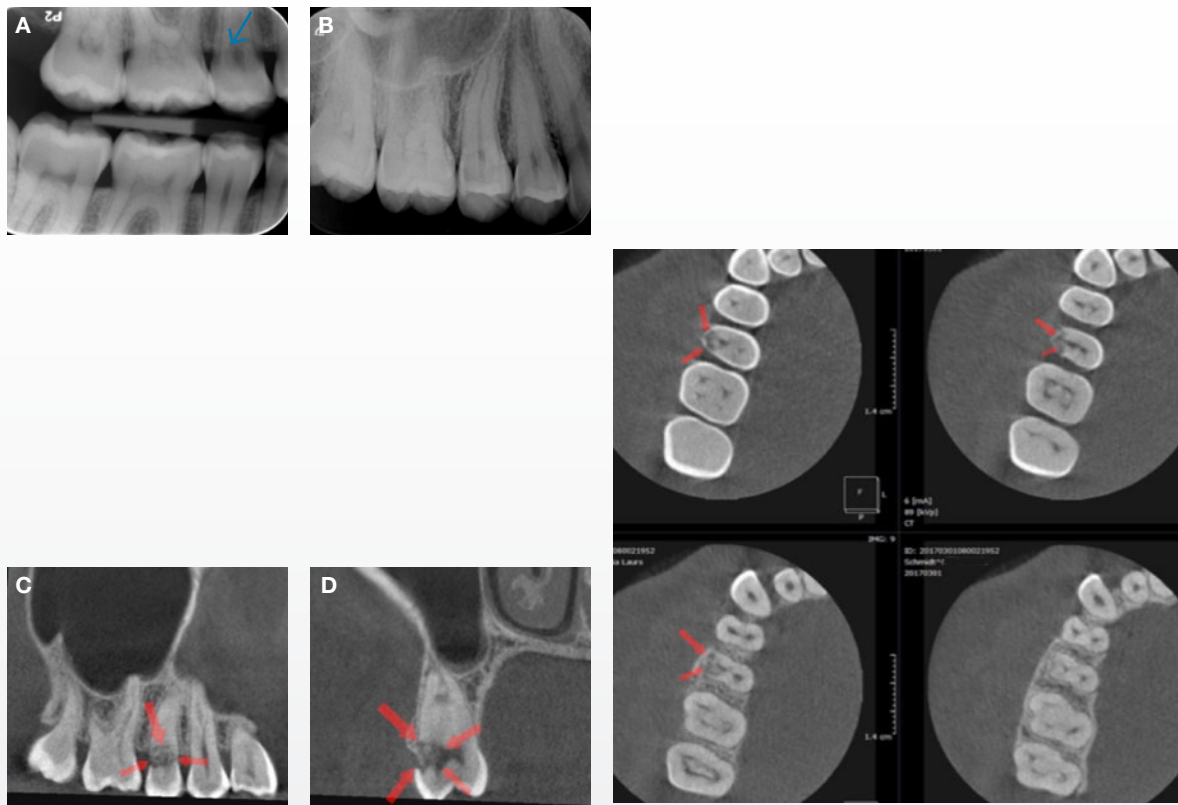


Fig. 2. Resorption i kronen af 5+. Læsionen kunne ikke identificeres i sin helhed klinisk. **A:** Bitewing viser et mindre radiolucent område (blå pil) i den apikale del af kronen (optaget fem måneder før de andre billeder). **B:** Periapikalt billede viser intet patologisk. **C:** CBCT-snit i det sagittale plan viser stor radiolucent læsion (røde pile). **D:** CBCT-snit i det koronale plan viser stort overfladebrud facialt og dyb læsion med pulpainvolvering (røde pile). **E:** CBCT-snit i det aksiale plan viser samme udbredelse af læsionen som **D** (røde pile).

Fig. 2. Resorption in the crown of 15. The lesion could not be identified fully clinically. **A:** Bitewing image shows small radiolucent area (blue arrow) in the apical part of the crown (exposure 5 months prior to the other images). **B:** Periapical image shows no pathology. **C:** CBCT section in the sagittal plane shows large radiolucent lesion (red arrows). **D:** CBCT section in the coronal plane shows a large surface break and a deep lesion involving the pulp (red arrows). **E:** Sections in the axial plane show same extent of lesion as **D** (red arrows).

ikke lineær, og for et givet FOV kan der ofte vælges forskellige voxel-opløsninger. Det er ukendt, om der hos danske tandklinikker, der arbejder med CBCT, findes protokoller (guidelines) for, hvilken CBCT-indstilling der skal vælges til en given diagnostisk opgave. Interessen for stråledosis til populationen fra en CBCT-undersøgelse er relevant, da der gennem de senere år er sket en væsentlig øgning i antallet af CBCT-enheder. Den tilsynsførende myndighed (6) er ikke i besiddelse af oplysninger om stråledosis ved en given CBCT-undersøgelse. I en rapport udgivet af SIS (6) kan læses, at der var anmeldt 81 CBCT-anlæg pr. 1. jan. 2015, mens en liste fra SIS fra primo juni 2016 indeholder 98 enheder fordelt over hele landet. SIS har oplysninger

om adressen, hvor CBCT-apparatet er placeret, samt fabrikat og systemnavn og naturligvis den ansvarlige tandlæge, men ingen oplysninger om hyppigheden af CBCT-undersøgelse eller størrelse og opløsning af billedfeltet og dermed heller ikke om den afsatte stråledosis. Udviklingen i CBCT-udstyr går mod en reduktion i stråledosis og mod mindre FOV, således at tandlægen kun undersøger 2-3 tænder i billedfeltet. Nyere CBCT-units arbejder med et dynamisk, brugerskaleret FOV, som derfor kan indstilles nøjagtigt til den diagnostiske opgave.

En væsentlig parameter ud over strålebelastningen er de samfundsøkonomiske konsekvenser, der er forbundet med at implementere en ny og dyrere teknologi. Et studie har vist, at



der er fire gange så høje omkostninger forbundet med at foretage en CBCT-undersøgelse med et 6 x 6 cm FOV af en visdomstænd i underkæben som med en panoramaoptagelse (3). Studiet forklarer yderligere, at den mest indflydelsesrige faktor er antallet af CBCT-undersøgelser udført pr. år, hvilket er væsentligt i overvejelserne om investering og afskrivning. Det er således helt afgørende, at der beskrives skarpe, evidensbaserede retningslinjer for CBCT-undersøgelse. Beregninger foretaget på Tandlægeskolen, AU viser, at det næppe kan betale sig for fx en dansk kommunal tandpleje at investere i et CBCT-udstyr, hvis indikationerne for en CBCT-undersøgelse er betinget af evidens for, om patienten har gavn af undersøgelsen. I privat tandpleje vil investering muligvis være rentabel på større klinikker, der rutinemæssigt udfører store implantatbehandlinger og anden kompliceret kirurgi.

Diagnostisk indikation

Ifølge regelsæt fra SIS skal der på danske klinikker, hvor der foretages CBCT-undersøgelse, foreligge en beskrivelse af indikationerne for undersøgelsen, dosisbelastning ved undersøgelsen, og hvilke personer på klinikken der er certificeret til at foretage patientoptagelse, tolkning og beskrivelse af billederne (7,8). Der foreligger oftest en 2-d-optagelse (fx intraoralt billede eller panorama), før det afgøres, om CBCT er indiceret i det foreliggende tilfælde. Det påhviler klinikken at verificere indikationen, ligesom det efterfølgende er samme klinik, der har ansvaret for at tolke hele det scannede volumen og beskrive billederne.

På Sektion for Oral Radiologi, Institut for Odontologi og Oral Sundhed (IOOS), Aarhus Universitet, arbejdes der kontinuerligt for at tilvejebringe nye forskningsresultater for værdien for patienten af CBCT-undersøgelse. Resultaterne fører løbende til en opdatering af guidelines, som kan ses på <http://www.au.dk/tls/for-tandlaeger/>. Indikationer for en CBCT-undersøgelse vil derfor ikke i detaljer blive gennemgået i denne artikel, men der henvises til nyere oversigter for forskellige områder. Der er nyligt publiceret en oversigt i Tandlægebladet om anvendelsen af CBCT hos børnepatienter i Danmark (9), ligesom der eksisterer flere reviews in den engelsksprogede litteratur for andre diagnostiske problemstillinger: retinerede visdomstænder i underkæben (10-12); overtallige tænder (13); retinerede hjørnetænder i overkæben (14), parodontalt knogletab (15), endodontiske problemstillinger (16,17), rodfrakturer (18), kæbeledssygdomme (19), implantatbehandling (20) og ortodontisk behandlingsplanlægning (21). Siden udgivelsen af sådanne oversigter har udviklingen i CBCT-undersøgelse bevæget sig mod flere undersøgelser på endodontisk indikation. Dette er begrundet i, at nyere CBCT-units tilbyder et lille FOV med høj opløsning og reduktion af metalartefakter, som kan bidrage med detaljeret information, fx om forholdene i og omkring en rodbehandlet, men symptomgivende tand (Fig. 1), eller ved den tentative diagnose cervikal resorption, hvor lokalisation og dybde af læsionen ikke kan afgøres på 2-d-optagelser (Fig. 2).

KLINISK RELEVANS

Tandlægen skal kende muligheder og begrænsninger for avancerede billeddiagnostiske metoder. CBCT har i nogen grad vundet indpas på tandklinikker, men der mangler undersøgelser for flere diagnostiske områder, hvornår metoden er til gavn for patienten. MR har nogen udbredelse på større insti-

tutioner fortrinsvis til blødtvævsdiagnostik, men spås en udvikling også til hårdtvævsdiagnostik i odontologien på grund af fraværet af ioniserende strålings skadelige virkninger. Ultralydsundersøgelser kan have et fremtidigt potentiale som supplerende diagnostisk metode inden for odontologien.

Effekt af metalartefakt-reducerende filtre

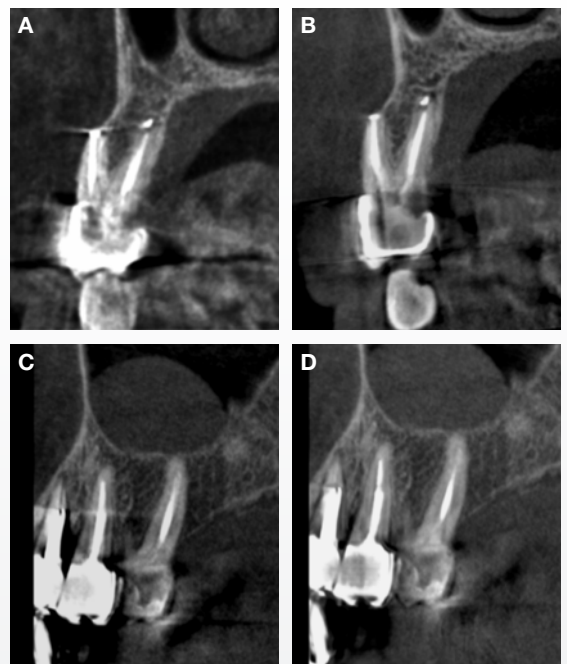


Fig. 3. Effekten af metalartefakt-reducerende filtre. **A:** Scanora 3D, opløsning 0,133 mm uden filter; **B:** Cranex 3D, opløsning 0,085 mm, endo-mode med filter; **C:** Cranex 3D, opløsning 0,085 mm, endo-mode uden filter; **D:** Cranex 3D, opløsning 0,085 mm, endo-mode med filter.

Fig. 3. The effect of metal artefact-reduction filter. **A:** Scanora 3D, resolution 0,133 mm without filter; **B:** Cranex 3D, resolution 0,085 mm, endo-mode with filter; **C:** Cranex 3D, resolution 0,085 mm, endo-mode without filter; **D:** Cranex 3D, resolution 0,085 mm, endo-mode with filter.

Artefakter i billederne

Under eksponeringen af et vævsvolumen med CBCT opstår der artefakter, som ikke er kendt fra 2-d-billeder. Eksponeringstiden er forholdsvis lang i en CBCT-undersøgelse, og selv små patientbevægelser vil influere på billedkvaliteten, da rekonstruktionen af de volumetriske data ikke korrigerer for, at patienten undervejs befinder sig forskellige steder i billedfeltet. Problemet forværres med stigende voxel-opløsning i billedfeltet. For klini-

keren er der således to afgørende artefakttyper, som influerer på den endelige billedkvalitet: patientbevægelse under optagelsen og metalrestaureringer eller andet tæt materiale med højt atomnummer (inkl. emalje) i billedfeltet (22). Artefakterne ses som sort-hvide streger og uskarpe områder eller dobbeltkontur af strukturer i billedsnittene (23,24).

Flere CBCT-units indeholder nu metalartefakt-reducerende algoritmer, som subjektivt får billedsnittene til at fremstå skar-

Patientovervågning uden og med videokameraer

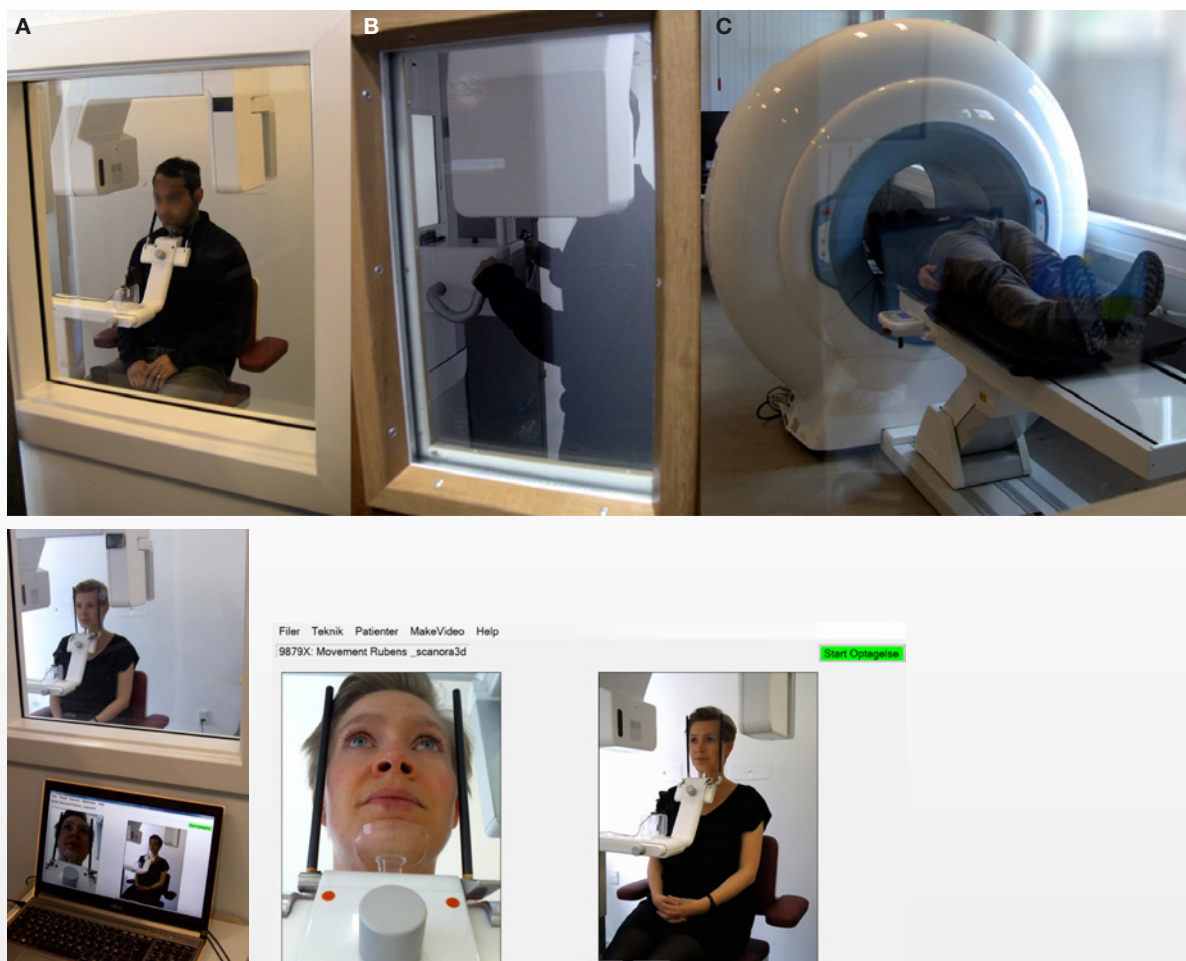


Fig. 4. Øverste række viser tre CBCT-udstyr (A: Scanora 3D; B: Cranex 3D; C: NewTom 5G) med henholdsvis siddende, stående og liggende patient. Det er ikke muligt at observere, om patienten bevæger hovedet under optagelsen (B, hvor patienten dækkes af CBCT-armen). Nederste række viser billeder af patienten fra to kameraer på den type monitor, som anvendes ved alle CBCT-enheder på Oral Radiologi, Aarhus Universitet, og som øger muligheden for patientovervågning.

Fig. 4. Upper row shows three CBCT units (A: Scanora 3D; B: Cranex 3D; C: NewTom 5G) including a sitting, standing, and lying patient, respectively. It is not possible to observe whether the patient moves during exposure (B, where the patient is covered by the CBCT arm). Lower row shows images of the patient from two cameras on the monitor that is connected to all CBCT units at Oral Radiology, University of Aarhus, to enhance patient monitoring.

pere og næsten uden streger (Fig. 3). Der findes endnu ikke undersøgelser af effekten af disse filtre for det diagnostiske udbytte af CBCT-optagelsen. Studier har vist, at der logisk nok er betydeligt flere bevægelsesartefakter i CBCT-optagelser hos børn end hos ældre (24). Det er yderligere vist, at hvis der ses en bevægelse i løbet af de første tre sekunder af CBCT-undersøgelsen (hvor der endnu ikke er stråling til patienten), kan man med fordel afbryde optagelsen, reinstruere patienten og foretage en ny optagelse (25). Det anbefales derfor, at patienten observeres endnu mere koncentreret under en CBCT-undersøgelse end ved den konventionelle panoramaundersøgelse. At stå uden for rummet og se patienten gennem et vindue, som måske er flere meter fra apparatet, giver ikke optimal mulighed for at observere patientens eventuelle hovedbevægelser, og det anbefales (25), at man monterer kameraer ved apparatet, som på en monitor uden for rummet gengiver patientens ansigt close-up (Fig.

4). Nye tiltag til objektivt at følge patientbevægelse inkluderer et accelerometer-gyroskop-system, der er monteret på patientens hoved i et hovedbånd under optagelsen og gengiver patientens bevægelsesmønster i et 3-d-kordinatsystem. Derved kan operatøren undervejs i CBCT-undersøgelsen aflæse, hvornår og hvor meget en patient bevæger sig (26). Bevægelsesmønsteret hos patienten under undersøgelsen er afgørende for, om radiologen senere kan diagnosticere på billederne og udfærdige en beskrivelse ud fra de volumetriske data (27). Der findes forskellige hjælpemidler, som fx kan støtte patientens hoved under eksponeringen, men der findes ingen undersøgelser af effekten af disse, ligesom en eventuel forskel i bevægelsesartefakter mellem forskellige typer CBCT-units (stående, siddende, liggende patient) ikke er dokumenteret. Samarbejde mellem forskere og udviklere har resulteret i yderligere raffinerede metoder til at følge og kortlægge patientbevægelser i et 3-d-modeldiagram

Bevægelsesartefakter og korrektion for bevægelse

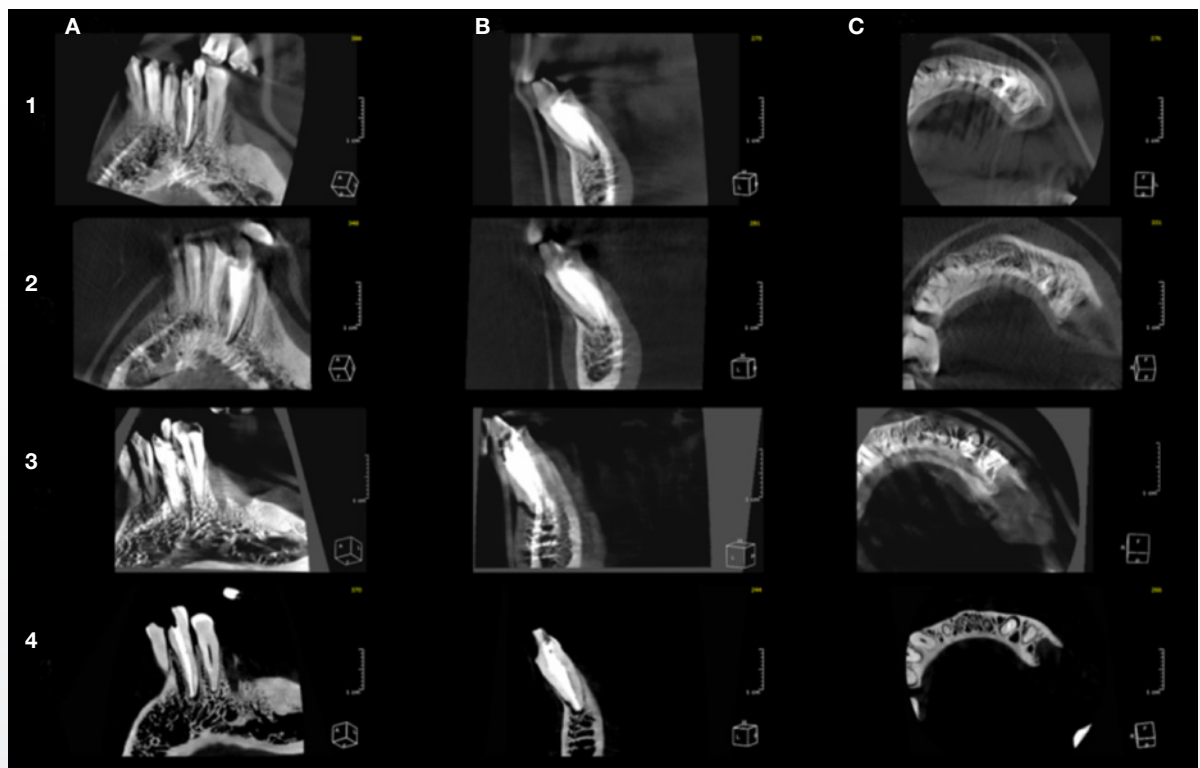


Fig. 5. Bevægelsesartefakter på CBCT efter anterior-posterior translationsbevægelse ("turtle neck") og korrektion for bevægelsen efter rekonstruktion af data. Snit i tre planer (A,B,C) med tre CBCT-units; række 1: Cranex 3D, række 2: Orthophos SL, række 3: 3Shape X1 uden korrektion af billeddata, række 4: 3Shape X1 med korrektion af billeddata.

Fig. 5. Section in three planes (columns A,B,C) with three CBCT units after anterior-posterior translation ("turtle neck" movement); row 1: Cranex 3D, row 2: Orthophos SL, row 3: 3Shape X1 without correction of data, row 4: 3Shape X1 with correction of data.

under undersøgelsen (28). Når patientens hovedposition kan identificeres med minutøs rigtighed under optagelsen, kan der derefter korrigeres for hovedets forskellige positioner (dvs. en bevægelse har fundet sted) under rekonstruktionen af de volumetriske data (29). Fig. 5 viser CBCT-snit fra en human kæbe, der under scanningen er bevæget i en anterior-posterior translation (såkaldt "turtle-neck" bevægelse, der ofte ses hos børn) ved hjælp af en robotarm. I figuren ses tre CBCT-units; den nyeste af disse (række 4) har indbygget et tre-kamera-system, der detekterer hovedbevægelser under undersøgelsen og efterfølgende matematisk korrigerer for disse under datarekonstruktionen. Denne udvikling kan resultere i betydelig forbedret billedkvalitet og desuden eliminere overvejelser om, hvorvidt en igangværende CBCT-undersøgelse skal afbrydes; eller, efter fuldførelsen af undersøgelsen, om patienten skal geninstrueres og undersøgelsen gentages på grund af bevægelsesartefakter.

Konklusion

CBCT er en relativt avanceret diagnostisk røntgenundersøgelsesmetode, der anvendes til at belyse odontologiske problemstillinger, der ikke kan afklares med 2-d-røntgenteknikker. Udviklingen går mod lavere stråledosis, dynamisk billedfelt, højere billedopløsning og reduktion af metalartefakter. Nyeste tiltag er en indbygget korrektion for bevægelsesartefakter i volumenet. Dette vurderes at kunne øge den diagnostiske værdi af scanningen og spare patienten for omtagning. Gennem forskning udvikles til stadighed evidensbaserede guidelines, der ligger til grund for, hvornår CBCT-undersøgelse er til gavn for patienten.

Magnetisk resonans-scanning (MR)

MR eller MRI (Magnetic Resonance Imaging) er en teknik, hvor radiobølger og magnetisme anvendes til at danne billeder af kroppen. De resulterende billeder vises med bedre kontrast mellem forskellige væv, specielt blødtvæv, end røntgenbaserede optagelser, og undersøgelsen anvendes derfor bredt i medicinsk billeddiagnostik. MR er baseret på, at visse atomkerner er magnetiske og dermed opfører sig som små kompasnåle. Når kroppen anbringes i scannerens magnetfelt, magnetiseres den ganske svagt. Når radiobølgesenderen efterfølgende slukkes, vil kroppens magnetisering fortsat svinge i ca. et sekund, før den falder til ro. I denne periode udsendes der svage radiobølger fra kroppen. Disse opsamles ved hjælp af antenner, og ved en efterfølgende analyse af signalerne dannes billeder af kroppens indre (30).

Som konsekvens af det kraftige magnetfelt og de anvendte radiobølger kan ikke alle patienter blive MR-scannet. Har man fx pacemaker eller metalsplinter i kroppen, kan man normalt ikke blive scannet. De fleste dentalmaterialer, inkl. dentale implantater kan scannes, men det er vigtigt på forhånd at kende materialesammensætningen (30).

En nylig oversigtsartikel om udviklinger inden for billeddiagnostik gennemgår områder af odontologisk interesse, hvor

MR kan anvendes (31). Det fremhæves, at MR har vundet indpas til odontologiske diagnostiske opgaver, specielt hvor både hårdtvæv og forskellige typer blødtvæv skal visualiseres. Fig. 6 viser MR-billedsnit af kæberne hos to patienter.

MR har i en lang årrække været anvendt til tumordiagnostik i hoved-hals-regionen (32) og til kæbeledsdiagnostik, når det er vigtigt for diagnose og behandlingsplan at visualisere bruskskiven i leddet (33). Med dette formål er det vist, at MR øgede den diagnostiske rigtighed sammenlignet med klinisk undersøgelse alene (34). Det er yderligere vist, at en real-time dynamisk MR-undersøgelse i høj opløsning kan beskrive kæbeleddets funktion med filmsekvenser gennem undersøgelsen (35).

I forbindelse med patienter, der led af atypisk odontalgi, sås i flere tilfælde et ændret MR-signal i smerteregionerne og en betydelig sammenhæng med periapikale fund på røntgenoptagelser (36). Til intraoral diagnostik af knogle og tænder er

MR-snit af kæberne

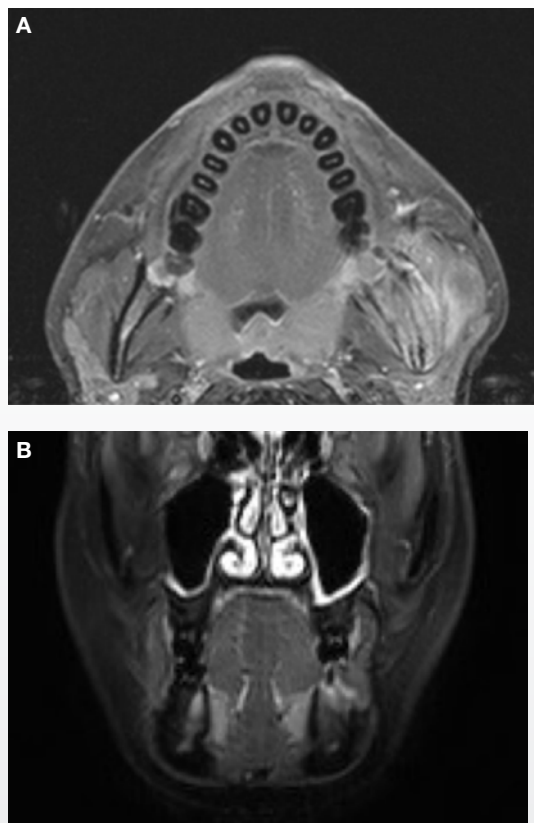


Fig. 6. MR-undersøgelse af kæberne. **A:** Aksialt snit gennem maksillen. **B:** Koronalt snit i molarplanet.

Fig. 6. MRI of the jaws. **A:** Axial section through the maxilla. **B:** Coronal section in the molar plane.

det nyligt vist, at den diagnostiske rigtighed af MR var lige så høj som for CBCT (37). MR er desuden vist at være en lige så korrekt billeddiagnostisk metode til at vurdere knogle omkring tandimplantater, specielt zirkonium-implantater, som radiologiske undersøgelsesmetoder, herunder CBCT-scanning, og med færre metalartefakter i billedsnittene (38).

På områder, hvor unge, raske individer skal undergå en undersøgelse med det formål at bestemme ukendt kronologisk alder, kan det være en etisk overvejelse, om der bør foretages undersøgelse med ioniserende stråling. Til bedømmelse af tandmodning og deraf derivet kronologisk alder er MR vist at være en sufficient metode til at visualisere visdomstanden og dens rødder, også ikke-rodslukkede tænder (39).

Konklusion

Der menes ikke at være nogen skadelig effekt forbundet med MR-scanning. Nye tiltag inden for MR-teknologien har vist, at ikke kun blødtvæv, men også tand- og knoglevæv kan visualiseres med en MR-undersøgelse. Det er for nuværende en endnu mere omkostningstung teknologi end CT/CBCT-scanning, men metoden spås øget udbredelse inden for odontologisk diagnostik.

Ultralydsundersøgelser

Ultralydsundersøgelser har været anvendt som metode i medicinsk diagnostik siden begyndelsen af 1950'erne, da Wild og Reid (40) og Howry og Bliss (41) lykkedes med at afbilde indre organer ved hjælp af ultralyd. I odontologisk sammenhæng blev anvendelsen af ultralyd først beskrevet i 1963 af Baum og medarbejdere (42). Deres målsætning var at visualisere tændernes indre struktur; men billedkvaliteten var dengang ikke god nok. I de senere år er man begyndt at udforske flere nye anvendelsesområder for ultralyd inden for odontologien, og der er indikationer på, at ultralyd har en lovende fremtid som diagnostisk metode inden for alle odontologiske discipliner. Af den grund er det vigtigt, at tandlæger har kendskab til anvendelsesområder for ultralydsdiagnostik inden for hoved- og halsregionen, hvordan ultralydsvejledning kan anvendes i forbindelse med nålebiopsier, injektionsbehandling og kirurgisk behandling, og hvordan intraorale ultralydsundersøgelser kan bruges diagnostisk på tænder og kæbeknogler.

En ultralydsundersøgelse er en "real-time", smertefri, ikke-invasiv procedure, hvor man benytter lydølger frem for ioniserende stråling. Ultralydsundersøgelser er baseret på lydølger med en frekvens på 1-20 megahertz (MHz), som er højere, end menneskets øre kan opfatte. Lydhovedet på et ultralydsapparat virker både som sender og modtager. Lydølger sendes ind i vævet, reagerer med vævet, reflekteres tilbage og producerer elektriske signaler, som omdannes til et billede på en skærm. Sammenlignet med andre undersøgelsesmetoder er ultralydsundersøgelser i særlig grad baseret på undersøgerens anatomiske og patofysiologiske viden, manøvrering af lydhovedet og tolkning af ultralydssnitbilleder i sand tid. Der kan udføres

både ekstraorale og intraorale ultralydsundersøgelser, og der benyttes forskellige lydhoveder og forskellig frekvens på lydølgerne afhængigt af, hvor dybt strukturerne, man skal undersøge, ligger.

Ekstraorale ultralydsundersøgelser

I hoved- og halsområdet har ultralydsundersøgelser hidtil mest været brugt til spytkirteldiagnostik og tumordiagnostik (Fig. 7); men nu benyttes teknikken også i forbindelse med diagnostik af kæbefrakturer i mellemansigtet, hævelser i ansigtsmuskulaturen, evaluering af tyggemusklernes og diagnostik af kæbeledet (43-45).

Mellemansigtsfrakturer. Computertomografi (CT) og CBCT har været de mest anvendte metoder til diagnostik af kæbefrakturer; men nu er ultralydsundersøgelser taget i brug som førstevalgsmetode i klinikken ved bl.a. mellemansigtsfrakturer, især ved mistanke om næsebensfrakturer. Ved at bruge "real-time" ultralydsbilleder kan man diagnosticere og reponere små displacerede knoglefragmenter, som er vanskelige at palpere klinisk.

Mistanke om abscess fra rodfyldt 7-

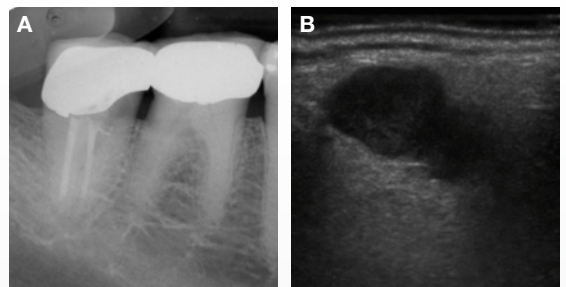


Fig. 7. Kvinde på 82 år henvist til oral kirurg med hævelse i højre side og mistanke om abscess udgående fra rodfyldt 7-. Ny klinisk undersøgelse tydede ikke på, at hævelsen var af odontogen oprindelse, og ultralydsundersøgelse blev udført. **A:** Intraoralt røntgenbillede af rodfyldt 7-. **B:** Ultralydsundersøgelse udført umiddelbart viser rund, veldefineret, hypoeokogen læsion i glandula parotis i højre side, som giver mistanke om tumor. Histologisk diagnose: pleomorft adenom.

Fig. 7. Woman 82 yrs, referred to oral surgeon with a right side swelling and suspicion of abscess from root-filled 47. A new clinical examination of the swelling did not indicate an odontogenic origin, and ultrasound was performed. A: Intraoral radiograph of root-filled 47. B: Ultrasound immediately after shows round, well-defined, hypoeccogenic lesion in the right side parotid gland giving rise to suspicion of tumour. Histologic diagnosis: pleomorphic adenoma.

Hævelser i ansigtsmuskulatur. Thiruchelvam og medarbejdere (46) har beskrevet en patient med en stor hævelse i højre side af ansigtet, hvor sædvanlig blind ekstraoral incision og drænage ikke førte til reduktion af hævelsen. Ved hjælp af intraoperativ ultralydsundersøgelse kunne kirurgen lokalisere resterende væske og pusansamlinger, lægge nyt dræn og kontrollere, at væskevolumenet blev mindre.

Tyggemusklernes funktion og interaktioner i det kranio-mandibulære system. Masseter- og temporalismusklerne er bedst undersøgt, og metoden har vist sig at være bedre til at evaluere massetykkelse end konventionelle metoder. Arijji og medarbejdere har med ultralyd studeret muskeltykkelsen i musculus masseter hos TMD-patienter og fundet en forøget muskeltykkelse på TMD-patienter (47) og en signifikant reduktion i muskeltykkelse på den symptomatiske side efter behandling med massage (48).

Kæbeled. MR er i dag standardmetoden til påvisning af inflammation og diskusfor skydning i kæbeledet. Ultralydsundersøgelse kan være en relevant diagnostisk metode, før man går videre med mere avancerede radiologiske undersøgelser. I en litteraturoversigt viser Manfredini og Guarda-Nardini (44) stor variation i forbindelse med ultralydsundersøgelser og kæbeledsdiagnostik. Forfatterne understreger, at metoden er meget operatørafhængig, og at der er behov for standardisering af teknikken. I kæbeledene bruges injektioner med cortison og natriumhyaluronsyre som behandling af patienter med stærke smerter og påviselig osteoarthritis i kæbeledene (49,50). Det er påvist, at behandlingen har god klinisk effekt på gabebevne og smertereduktion. På grund af anatomiske forhold er injektionerne forholdsvis enkle at foretage uden nogen form for ultralydsvejledning.

Interventioner. I dag bruges ultralydsundersøgelser i stigende grad som metode til at vejlede eller "guide" under biopsitagning, medikamentel behandling og før, under og efter kirurgiske indgreb. I en oversigtsartikel fra 2010 understreger Wakasugi-Sato og medarbejdere (51) den kliniske betydning af ultralydsvejledte nålebiopsier ("ultrasound-guided fine-needle aspiration biopsy", FNAB) i forbindelse med diagnostik af lymfeknudemetastaser. I spytkirtlerne kan ultralydsvejledte injektioner af botulinumtoksin A benyttes på patienter, som har store sociale problemer med forøget spytskretion (52,53).

Intraorale ultralydsundersøgelser

Inden for tumordiagnostik i mundhulen bliver intraorale ultralydsundersøgelser anvendt til at vurdere udbredelse af tungecancer og mulighed for lymfeknudemetastaser samt til at definere tilstrækkelige resektionsrande i forbindelse med et kirurgisk indgreb (51). Inden for odontologien er anvendelsen af intraorale ultralydsundersøgelser stadig på forsøgsstadiet. Forskellige ultralydssystemer med små lydhoveder er under udvikling med henblik på diagnostik af tænder og alveoler, og bærbare ultralydsapparater bliver mere og mere udbredte (54,55). Ny litteratur (45,56) har vist spændende resultater,

hvor intraorale ultralydsundersøgelser er forsøgt som metode til at diagnosticere caries og vurdere emaljetykkelse i forbindelse med erosioner, emaljetab i forbindelse med abrasioner og emaljesprækker i tænder samt til at vurdere marginal knogle og periapikale læsioner. Flere nye studier viser, at diagnostik af periapikale læsioner ved hjælp af ultralydsundersøgelser stemmer overens med histopatologisk diagnostik af både endodontiske og ikke-endodontiske læsioner, granulomer og cyster (45). Gundappa og medarbejdere har udført en *in vivo*-undersøgelse, hvor formålet var at undersøge, hvor egnede ultralydsundersøgelser samt konventionelle og digitale røntgenundersøgelser var til at identificere periapikal sygdom (57). De fandt, at ultralydsundersøgelse var den eneste af de tre metoder, der kunne differentiere mellem granulom og cyste.

Ultralydsundersøgelser er i dag non-invasive, billige, let tilgængelige og reproducerbare undersøgelser, som ikke indebærer ioniserende stråling for patienten. Derfor bruges metoden i stigende grad før, under og efter forskellige typer kirurgisk behandling. Før implantatbehandling er det en fordel at vide, hvor tykt blødtvævet er (45). Med ultralyd kan man måle blødtvævsstykkelse både før og efter indsættelse af implantater. Ydermere kan en ultralydsundersøgelse angive den eksakte placering af implantater før distanceoperation. Ultralyd kan også være et alternativ til computertomografi, når man skal vurdere bukkal og lingval knogle efter implantatbehandling (58). Machtei og medarbejdere har beskrevet en ultralydsteknik til måling af afstanden til sinusgulvet og nervus mandibularis inferior ved implantatbehandling (59). Præ- og peroperativ kan en ultralydsundersøgelse være nyttig til lokalisering af blodkar og nerver ved fx mandibularanæstesi (60). Enkelte undersøgelser har vist, at nervus lingualis kan lokaliseres ved hjælp af ultralyd (61,62). Der er også gjort forsøg på at vurdere prognosen for nerveskader efter visdomstandsfjernelse ved hjælp af ultralydsundersøgelser af foramen mentale (63).

Konklusion

Ultralydsundersøgelser spiller en vigtig rolle i diagnostik af mange sygdomme i hoved- og halsområdet, som fx i lymfeknuder, spytkirtler, tyggemusklernes kæbeled og tunge. Ny forskning viser, at intraorale ultralydsundersøgelser kan have et fremtidigt potentiale som supplerende diagnostisk metode inden for odontologien. Ultralydsundersøgelse er meget operatørafhængig og vil kræve særlig kompetence, oplæring og udstyr med forbedret billedkvalitet og særligt tilpasset lydhoved til vanskeligt tilgængelige områder i mundhulen.

Tak

Nedenstående kolleger takkes for lån af billeder:

Fig. 1. (Case: Casper Kruse, Sektion for Oral Radiologi, IOOS, AU).

Fig. 2. (Case: Julie Suhr Villefrance, Sektion for Oral Radiologi, IOOS, AU).

Fig. 3. (Case: Casper Kruse, Sektion for Oral Radiologi, IOOS, AU).

Fig. 4. (Rubens Spin-Neto, Sektion for Oral Radiologi, IOOS, AU).

Fig. 5. (Case: Rubens Spin-Neto, Oral Radiologi, IOOS, AU).

Fig. 6. (Case: Sven Erik Nørholt, Tand-, mund- og kæbekirurgisk Afdeling O, Aarhus Universitetshospital, og IOOS, AU).

Fig. 7. (Case: Anne Møystad, Institutt for klinisk odontologi, Universitetet i Oslo).

ABSTRACT (ENGLISH)

Recent developments in diagnostic imaging

Cone-beam computed tomography (CBCT) is an advanced 3D radiographic examination, which to some extent has gained ground in general dental practice. Recent developments are: 1) smaller, dynamic image fields (FOVs) and lower radiation dose for achieving the same image quality and, 2) correction for metal artefacts and patient motion in the volume. If image sections without motion artefacts can be obtained, re-takes can be avoided and a general increase in diagnostic accuracy may be the result. SIS (Strålebeskyttelse i Sundhedsstyrelsen) supervises dentists, who work with CBCT, and the authorities need more information on the frequency of CBCT imaging and the size of the FOV and patient dose. The evidence on indications for a CBCT examination is growing annually and Styrelsen for Patientsikkerhed may provide guidelines for the use of CBCT. Magnetic resonance imaging (MRI) may be used for several dental diagnostic tasks,

and with an increase in the spatial resolution in the images, it is predicted that the method will gain further attention in dentistry. MRI is highly superior to radiographic methods in the diagnosis of soft tissues, but also some hard tissues may be visualized with an accuracy on a par with CBCT. Ultrasound imaging (US) is a "real-time", pain-free, non-invasive diagnostic method, which uses sound waves instead of ionizing radiation. US plays an important role in the diagnosis of many diseases in the head and neck region, e.g. lymph nodes, salivary glands, muscles, the temporomandibular joint and the tongue. Recent research shows that intraoral ultrasound examination may have further potential as an adjunct diagnostic method in dentistry with enhanced image quality and dedicated soundheads for areas in the mouth with low accessibility. All three diagnostic methods described in this article demand special qualifications in order to operate the equipment correctly and interpret the imaging results.

Litteratur

- Ludlow JB, Timothy R, Walker C et al. Effective dose of dental CBCT – a meta analysis of published data and additional data for nine CBCT units. *Dentomaxillofac Radiol* 2015;44:20140197.
- Christell H, Birch S, Horner K et al. A framework for costing diagnostic methods in oral health care: An application comparing a new imaging technology with the conventional approach for maxillary canines with eruption disturbances. *Community Dent Oral Epidemiol* 2012;40:351-61.
- Petersen LB, Christensen J, Olsen KR et al. Image and surgery-related costs comparing cone beam computed tomography and panoramic imaging before removal of impacted mandibular third molars. *Dentomaxillofac Radiol* 2014;43:201400001.
- Brüllmann D, Schulze RK. Spatial resolution in CBCT machines for dental/maxillofacial applications – what do we know today? *Dentomaxillofac Radiol* 2015;44:20140204.
- Pauwels R, Araki K, Siewerdsen JH et al. Technical aspects of dental CBCT: state of the art. *Dentomaxillofac Radiol* 2015;44:20140224.
- SUNDHEDSSTYRELSEN, Statens Institut for Strålebeskyttelse. Udvikling i brug af røntgenundersøgelser i Danmark – med fokus på CT 2013-2014. Sundhedsstyrelsen, 2015.
- SUNDHEDSSTYRELSEN, Statens Institut for Strålebeskyttelse. Krav til 3D dental. Vejledning 11. februar 2009.
- SUNDHEDSSTYRELSEN, Statens Institut for Strålebeskyttelse. Brug af CBCT-skannere. Vejledning 29. januar 2014.
- Matzen LH, Wenzel A. Cone-beam CT-undersøgelse af børnepatienter. *Tandlægebladet* 2015;12:1048-57.
- Matzen LH, Schou S, Christensen J et al. Audit of a 5-year radiographic protocol for assessment of mandibular third molars before surgical intervention. *Dentomaxillofac Radiol* 2014;43:2014172.
- Matzen LH, Wenzel A. Efficacy of CBCT for assessment of impacted mandibular third molars: a review – based on a hierarchical model of evidence. *Dentomaxillofac Radiol* 2015;44:20140189.
- Petersen LB, Vaeth M, Wenzel A. Neurosensoric disturbances after surgical removal of the mandibular third molar based on either panoramic imaging or cone beam CT scanning: A randomized controlled trial (RCT). *Dentomaxillofac Radiol* 2016;45:20150224.
- Mossaz J, Kloukos D, Pandis N et al. Morphologic characteristics, location, and associated complications of maxillary and mandibular supernumerary teeth as evaluated using cone beam computed tomography. *Eur J Orthod* 2014;36:708-18.
- Eslami E, Barkhordar H, Abramovitch K et al. Cone-beam computed tomography vs conventional radiography in visualization of maxillary impacted-canine location: A systematic review of comparative studies. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2017;151:248-58.
- Nikolic-Jakoba N, Spin-Neto R, Wenzel A. Cone-beam computed tomography for detection of intrabony and furcation defects: A systematic review based on a hierarchical model for diagnostic efficacy. *J Periodontol* 2016;87:630-44.
- Kruse C, Spin-Neto R, Wenzel A et al. The diagnostic efficacy of cone-beam computed tomography and periapical lesions: a systematic review analysing studies on diagnostic efficacy by a hierarchical model. *Int Endod J* 2015;48:815-28.
- Rosen E, Taschieri S, Del Fabbro M et al. The diagnostic efficacy of cone-beam computed tomography in endodontics: a systematic review and analysis by a hierarchical model of efficacy. *J Endod* 2015;41:1008-14.
- Ma RH, Ge ZP, Li G. Detection accuracy of root fractures in cone-beam computed tomography images: a systematic review and meta-analysis. *Int Endod J* 2016;49:646-54.
- Larheim TA, Abrahamsson AK,

- Kristensen M et al. Temporomandibular joint diagnostics using CBCT. *Dentomaxillofac Radiol* 2015;44:20140235.
20. Bornstein MM, Scarfe WC, Vaughn VM et al. Cone beam computed tomography in implant dentistry: a systematic review focusing on guidelines, indications, and radiation dose risks. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2014;29 (supp):55-77.
21. Kapila SD, Nervina JM. CBCT in orthodontics: assessment of treatment outcomes and indications for its use. *Dentomaxillofac Radiol* 2015;44:20140282.
22. Schulze R, Heil U, Bruellmann DD et al. Artefacts in CBCT: a review. *Dentomaxillofac Radiol* 2011;40:265-73.
23. Spin-Neto R, Mudrak J, Christensen J et al. Cone Beam CT image artifacts related to head motion simulated by a robot skull: visual characteristics and impact on image quality. *Dentomaxillofac Radiol* 2013;42:32310645.
24. Spin-Neto R, Matzen LH, Schropp L et al. Movement characteristics in young patients and the impact on CBCT image quality. *Dentomaxillofac Radiol* 2016;45:20150426.
25. Spin-Neto R, Gotfredsen E, Matzen LH et al. Radiographic observers' ability to recognize patient motion during cone beam CT. *Dentomaxillofac Radiol* 2014;43:20130449.
26. Spin-Neto R, Matzen LH, Schropp L et al. Detection of patient movement during CBCT examination using video observation compared with an accelerometer-gyroscope tracking system. *Dentomaxillofac Radiol* 2017;47:20160289.
27. Spin-Neto R, Costa C, Salgado DMRA et al. Patient movement characteristics and the impact on CBCT image quality and observers' ability to report. *Dentomaxillofac Radiol* 2017; submitted.
28. Spin-Neto R, Matzen LH, Schropp L et al. Accuracy of video observation and a three-dimensional head tracking system for detecting and quantifying robot-simulated head movements in cone beam computed tomography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol* 2017; 123:721-28.
29. Spin-Neto R, Matzen LH, Schropp L et al. Correcting motion artefact in CBCT and impact on image quality. Abstract at NOF/CED IADR Congress, Vienna, Austria, 2017.
30. DANSK SELSKAB FOR MEDICINSK MAGNETISK RESONANS. MR-skanning kort fortalt. (Set 2017 auni). Tilgængelig fra: URL: <http://www.dsmmr.dk/>.
31. Shah N, Bansal N, Logani A. Recent advances in imaging technologies in dentistry. *World J Radiol* 2014;6:794-807.
32. Edwards MK. Magnetic resonance imaging of the head and neck. *Dent Clin North Am* 1993;37:591-611.
33. Aiken A, Bouloux G, Hudgins P. MR imaging of the temporomandibular joint. *Magn Reson Imaging Clin N Am* 2012;20:397-412.
34. Pupo YM, Pantoja LL, Veiga FF et al. Diagnostic validity of clinical protocols to assess temporomandibular disk displacement disorders: a meta-analysis. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol* 2016;122:572-86.
35. Krohn S, Gersdorff N, Wassmann T et al. Real-time MRI of the temporomandibular joint at 15 frames per second – a feasibility study. *Eur J Radiol* 2016;85:2225-30.
36. Pigg M, List T, Abul-Kasim K et al. A comparative analysis of magnetic resonance imaging and radiographic examination of patients with atypical odontalgia. *J Oral Facial Headache* 2014;28:233-42.
37. Flügge T, Hövener JB, Ludwig U et al. Magnetic resonance imaging of intraoral hard and soft tissues using an intraoral coil and FLASH sequences. *Eur Radiol* 2016;26:4616-23.
38. Duttonhoefer F, Mertens ME, Vizekely J et al. Magnetic resonance imaging in zioconia-based dental implantology. *Clin Oral Implants Res* 2015;26:1195-202.
39. De Tobel J, Hillewig E, Bogaert S et al. Magnetic resonance imaging of third molars: developing a protocol suitable for forensic age estimation. *Ann Hum Biol* 2017;44:130-9.
40. Wild JJ, Reid JM. Application of Echo-Ranging Techniques to the determination of structure of biological tissues. *Science* 1952;115:226-30.
41. Howry DH, Bliss WR. Ultrasonic visualization of soft tissue structures of the body. *J Lab Clin Med* 1952; 40:579-92.
42. Baum G, Greenwood I, Slawski S et al. Observation of internal structures of teeth by ultrasonography. *Science* 1963;139:495-6.
43. Møystad A, Apajalahti S, Flygare L. Ultralydundersøkelser i hode og halsregionen. *Nor Tannlegeforen Tid* 2009;119:106-13.
44. Manfredini D, Guarda-Nardini L. Ultrasonography of the temporomandibular joint: a literature review. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2009;38:1229-36.
45. Marotti J, Heger S, Tinschert J et al. Recent advances of ultrasound imaging in dentistry-a review of the literature. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol* 2013;115:819-32.
46. Thiruchelvam JK, Songra AK, Ng SY. Intraoperative ultrasound imaging to aid abscess drainage – a technical note. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2002;31:442-3.
47. Arijji Y, Sakuma S, Izumi M et al. Ultrasonographic features of the masseter muscle in female patients with temporomandibular disorder associated with myofascial pain. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2004;98:337-41.
48. Arijji Y, Katsumata A, Hiraiwa Y et al. Masseter muscle sonographic features as indices for evaluating efficacy of massage treatment. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2010;110:517-26.
49. Bjørnland T, Gjaerum AA, Møystad A. Osteoarthritis of the temporomandibular joint: an evaluation of the effects and complications of corticosteroid injection compared with injection with sodium hyaluronate. *J Oral Rehabil* 2007;34:583-9.
50. Møystad A, Mork-Knutsen BB, Bjørnland T. Injection of sodium hyaluronate compared to a corticosteroid in the treatment of patients with temporomandibular joint osteoarthritis: a CT evaluation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2008;105:e53-60.
51. Wakasugi-Sato N, Kodama M, Matsuo K et al. Advanced clinical usefulness of ultrasonography for diseases in oral and maxillofacial regions. *Int J Dent* 2010;2010:639382.
52. Hassin-Baer S, Scheuer E, Buchman AS et al. Botulinum toxin injections for children with excessive drooling. *J Child Neurol* 2005;20:120-3.
53. Nordgarden H, Østerhus I, Møystad A et al. Drooling: are botulinum toxin injections into the major salivary glands a good treatment option? *J Child Neurol* 2012;27:458-64.
54. Salmon B, Le Denmat D. Intraoral sonography: development of a specific high-frequency probe and clinical pilot study. *Clin Oral Investig* 2012;16:643-9.
55. Tina L, Johan KM. An inventory of current available ultrasound devices for dental use. *Open Dent J* 2015;9:319-29.
56. Evirgen S, Kamburo lu K. Review on the applications of ultrasonography in dentomaxillofacial region. *World J Radiol* 2016;8:50-8.
57. Gundappa M, Ng SY, Whites EJ. Comparison of ultrasound, digital and conventional radiography in differentiating periapical lesions. *Dentomaxillofac Radiol* 2006;35:326-33.
58. Bertram S, Emshoff R. Sonography of periimplant buccal bone defects in periodontitis patients: A pilot study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2008;105:99-103.
59. Machtei EE, Zigdon H, Levin L et al. Novel ultrasonic device to measure the distance from the bottom of the osteotomy to various anatomic landmarks. *J Periodontol* 2010;81:1051-5.
60. Chanpong B, Tang R, Sawka A et al. Real-time ultrasonographic visualization for guided inferior alveolar nerve injection. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol* 2013;115:272-6.
61. Olsen J, Papadaki M, Troulis M et al. Using ultrasound to visualize the lingual nerve. *J Oral Maxillofac Surg* 2007;65:2295-300.
62. Benninger B, Kloenne J, Horn JL. Clinical anatomy of the lingual nerve and identification with ultrasonography. *Br J Oral Maxillofac Surg* 2013;51:541-4.
63. Møystad A, Bjørnland T, Friedland B et al. Ultrasound pilot study of mental foramen size, with and without neurosensory dysfunction. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol* 2015;120:275-80.

