

Computerautomatiserede diagnostiske støttesystemer

Ann Wenzel

I begyndelsen af den digitale æra var computeren dyr og langsom, og lagerkapaciteten var lille. Dette var hovedårsagen til computerens begrænsede anvendelse i tandlægepraksis. Siden er prisen på en megabyte faldet med en faktor 10^8 , samtidig med at hastigheden er øget. Der er hermed åbnet mulighed for at pc'en fra mest at være et værktøj til administration og patientbooking kan anvendes til en mangfoldighed af nye opgaver på tandklinikken. Mange data på klinikken vil i fremtiden blive opsamlet og lagret digitalt: journalen vil blive ført vha. talegenkendelse, pochedybdemål og cariesregistrering fra elektroniske sonder vil opsamles og overføres direkte i journalen, og alle billeder – såvel kliniske fotos som røntgenbilleder – vil være digitale. Der er herved skabt mulighed for at computerprogrammer kan hjælpe i den daglige diagnostik og behandlingsplanlægning til fordel for patienten. Denne oversigt omtaler sådanne programmer inden for flere fagområder og beskriver mere indgående programmer der findes på markedet i dag til hjælp ved røntgenologisk diagnostik.

I begyndelsen af den digitale æra var computeren dyr og langsom, og lagerkapaciteten var lille. Dette var hovedårsagen til computerens begrænsede anvendelse i tandlægepraksis. Siden er prisen på en megabyte faldet med en faktor 10^8 samtidig med at hastigheden er øget. Der er hermed åbnet mulighed for at pc'en fra mest at være et værktøj til administration og patientbooking kan anvendes til en mangfoldighed af nye opgaver på tandklinikken. Blandt de nye muligheder er uddannelse gennem computertransmitterede undervisningsprogrammer hvor informationsteknologien kan anvendes på et utal af måder (oversigt se: (1)). Direkte digitale billeder, såvel kliniske billeder som intra- og ekstraorale digitale røntgenbilleder (2,3), er et andet område der er ved at vinde en vis udbredelse. Teletransmission af elektroniske data (4-6) er en nærliggende kommunikationsform over almindelige telefonlinier eller ISDN-linier, eksempelvis via Internettet som web- eller simpelt e-mail-baseret.

I dag udgives nye lærebøger og opslagsværker ofte på cd-rom såvel som i bogform. Den elektroniske udgave af en ordbog kan lette arbejdet ved computeren, men ellers er den elektroniske bogs største berettigelse at værket er hurtigere at opdatere, og prisen på »trykning« og forsendelse lavere. De bedste opslagsværker er dog multimediebaserede og indeholder lyd og levende billeder. Det elektroniske medies styrke ligger i programmer med en høj grad af interaktion mellem brugeren og programmet. Der findes på markedet en del sådanne programmer som responderer forskelligt i henhold til brugerens fremgangsmåde, spørgsmål og svar.

Endnu stærkere forgrenede, komplekse programmer er de såkaldte diagnostiske »støttesystemer«, der tidligere mere ambitiøst kaldtes »kunstig intelligens« eller »ekspert«-systemer (oversigt se: (7)). I disse programmer er der søgt inkorporeret evner eller attituder der anses for »intelligente« når de findes hos mennesker, fx at stille en diagnose eller et behandlingsforslag. Formålet med systemerne er at øge kvaliteten af den behandling man yder patienten ved at støtte klinikerne til en forbedret diagnostik. Fordelen ved systemerne er at de baserer sig på en mængde samlet erfaring, som det ville tage et liv at tilegne sig for et enkelt individ. Desuden er et program systematisk i sin fremgangsmåde i modsætning til mennesker, og det glemmer aldrig at få alle relevante oplysninger med. Alle sådanne diagnostiske støttesystemer er principielt bygget op af tre primære ingredienser: 1) en database med informationer om sygdommens prævalens og deres subjektive og objektive manifestationer; 2) et modul, der kan samle de oplysninger der gives om en patient – enten passivt, hvor klinikerne afgiver informationerne til systemet eller aktivt, hvor systemet bruger data det selv eller andre digitale værktøjer har »samlet« automatisk; samt 3) en proces

der »matcher« de indsamlede oplysninger om patienten med dem der findes som baggrund, for dermed at fremsætte en diagnose og eventuelt differentialdiagnoser (7).

I den universitære tandlægeverden har man siden computeren vandt indpas, været optaget af at udvikle diagnostiske støttesystemer til forskellige områder af tandlægens virkefelt (8-10). To relativt nye oversigtsartikler har beskrevet forskellige programtyper og deres anvendelse i odontologien i detaljer (7,11), og her skal kun nævnes at der eksisterer støttesystemer af varierende beskaffenhed inden for traumebe-

handlingen (12,13), kraniofacial smertediagnostik (14,16), pulpadiagnostik (17,19) og aftagelig protetik (20-22). På nogle områder har man været mere konstant i sine anstrengelser for at videreudvikle systemerne til klinisk brug. Inden for ortodontien har det længe været muligt at få programmer der kan udføre cefalometrisk analyse efter at ortodontisten har markeret referencepunkterne (23,24). Et dansk udviklet program kan anvendes på alle typer digitale billeder (Fig. 1,2) og indeholder adskillige veldefinerede cefalometriske analyser (25). Andre programmer går et skridt videre og tilbyder at vurdere effekten af en given behandling på tænder og ansigtsskelet (26,27). Et stort anlagt program, DART (28), er udviklet inden for oral medicin til at assistere brugeren i diagnostikken og behandlingen af orale sygdomme. Databasen indeholder 600 sygdomme og informationer om deres kliniske og radiologiske manifestationer. I samarbejde med Dansk Tandlægeforening har to klinikere udviklet et system der foreslår diagnoser på slimhindeforandringer efter at man har svaret på et antal spørgsmål om læsionens farve, lokalisation, etc. (1). Et andet godt eksempel er et program til differentialdiagnostik af sygdomme i tænder og kæber på røntgenbilleder. Programmet er udviklet på University of California (UCLA)(29). Dette program kan køres gratis fra adressen:

http://www.dent.ucla.edu/sod/depts/oral_rad/orad.html

Sygdommene i programmet er beskrevet ved deres prævalens og deres fordeling på køn, alder, race, forekomsten af smerte, antal, størrelse og lokalisation af læsionen, sammenhæng med tænderne, ekspansion, begrænsning og indhold samt, hvorvidt der er påvirkning af de omgivende tænder. Brugeren følger en menu med 16 spørgsmål hvorigennem patienten og læsionen karakteriseres. Programmet giver herefter en liste med diagnoser på sygdomme prioriteret efter deres estimerede sandsynlighed. I Fig. 3 ses en intraoral rønt-



Fig. 1. Cefalometrisk analyse udført af PorDios-programmet (25) efter mærkning af referencepunkter.

Fig. 1. Cephalometric analysis performed by the PorDios program (25) after marking of reference points.

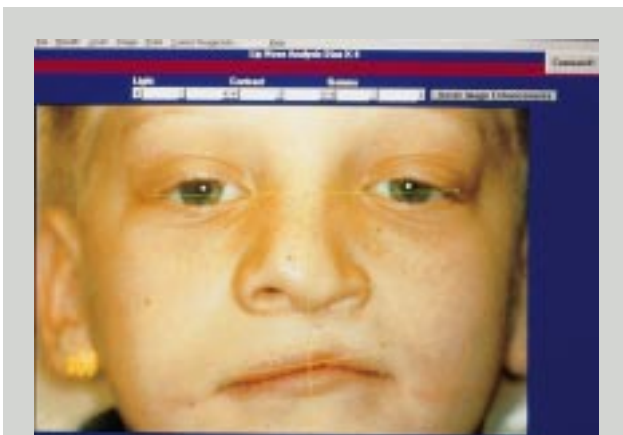


Fig. 2. Analyse af ansigtsmorfometrien hos ganespaltepatient udført med PorDios-programmet (25).

Fig. 2. Morphometric face analysis in a patient with cleft lip and palate using the PorDios program (25).

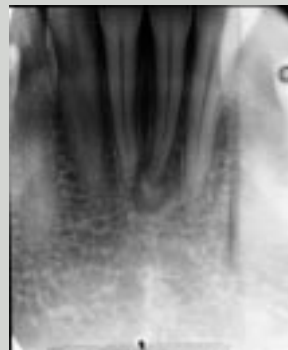


Fig. 3. Intraoral røntgenoptagelse af underkæbefrontregionen hos en 30-årig kvinde.

Fig. 3. Intraoral radiograph of the mandibular incisor region in a 30-year-old woman.

genoptagelse af underkæbefrontregionen hos en 30-årig kvindelig patient. Fig. 4 viser indtastningen af de 16 oplysninger om patienten og læsionens udseende. Fig. 5 viser

det svar der er givet for denne læsion. Læsionen er i dette tilfælde så entydig at programmet kun foreslår den ene diagnose: periapikal cementdysplasi. I det andet eksempel (Fig.

The screenshot shows a web browser window titled "ORAD for the Web - Patient Information - Microsoft Internet Explorer". The page content is titled "Patient Information" and contains 16 questions with dropdown menus for answers. The questions and their selected answers are: "What is the sex of your patient?" (Female), "What is the race of your patient?" (Mixed), "What is the age of your patient?" (20-50), "Does your patient have pain or paresthesia?" (No pain), "Please estimate the number of lesions." (One), "Which jaw contains the lesion?" (Mandible only), "The lesion center is in what region?" (Incisor region), "The contents of the lesions are:" (Mixed), "What is the maximum size of the lesion?" (Less than 2 cm), "The borders of the lesion are" (Defined but not calcified), "The localization of the lesion is:" (Not localized), "Where is the origin of the lesion?" (Central), "The relationship of the lesion to teeth is:" (Apex associated (initial tooth)), "Does the lesion expand the bony cortex?" (No), "Does the lesion cause root resorption?" (No), "Does the lesion cause tooth displacement or impaction?" (No), and "Shall we consider prevalence?" (Yes).

Fig. 4. De 16 spørgsmål i ORAD II-programmet og svarene på disse i forbindelse med læsionen i Fig. 3 (nedtaget fra homepage-adressen: http://www.dent.ucla.edu/sod/depts/oral_rad/orad.html.)

Fig. 4. The 16 questions in the ORAD II programme and their answers in relation to the lesion in Fig. 3 (downloaded from the homepage address: http://www.dent.ucla.edu/sod/depts/oral_rad/orad.html.)

The screenshot shows a web browser window titled "ORAD for the Web - Patient Information - Microsoft Internet Explorer". The page content is titled "Differential Diagnosis" and displays the "Top Ten Significant Lesions (greater than 0.5%)". A single lesion is listed: "100% Periapical cemental dysplasia II" with a "Total percent is 99.98%". Below this, there is a note: "By selecting the check box(es) above you may remove one or more lesions. To view the lesion database, touch the lesion name." There are three buttons: "Remove Lesion(s)", "Change", and "New". At the bottom, there is a link for "ORAD HOME".

Fig. 5. ORAD II-programmets diagnose efter at informationerne om læsionen er givet som vist i Fig. 4 (nedtaget fra homepage-adressen: http://www.dent.ucla.edu/sod/depts/oral_rad/orad.html.)

Fig. 5. The diagnosis stated by the ORAD II program after the information has been given as seen in Fig. 4 (downloaded from the homepage address: http://www.dent.ucla.edu/sod/depts/oral_rad/orad.html.)



Fig 6. Intraoral røntgenoptagelse af ÷7 hos en 42-årig mand.

Fig. 6. Intraoral radiograph of ÷7 in a 42-year-old male.

6) ses en læsion med samme udseende, men hos en mandlig patient og i forbindelse med 2. molar. Programmet giver her væsentligt flere differentialdiagnostiske muligheder (Fig. 7). Da tanden er under rodbehandling på det senest optagne billede, kunne der være tale om en kunstfejl fra tandlægens side. Dette indikerer at et diagnostisk støtteprogram kunne være nyttigt i almen tandlægepraksis til differentialdiagnostik af sjældnere sygdomme (29). Andre programmer inden for oral radiologi tilbyder støtte til at differentialdiagnosticere odontogene cyster og tumorer (30), knogletumorer (10) og ossøse patologiske tilstande (31). Begrænsningen ved alle støttesystemer er at de som regel ikke tilbyder nogen forklaring eller forståelse; de er kun at betragte som en »køgebog«.

En anden type programmer kan kaldes »neurale netværk«. Disse programmer kan til stadighed »lære« når der tilføjes nye patienttilfælde hvor diagnosen kan verificeres. Programmet aflæser selv et digitalt datasæt og fremkommer derefter med en sandsynlighed for hver diagnose.

I den medicinske verden er der opstået en del diagnostiske støttesystemer i løbet af de sidste årtier, men kun på et enkelt område er et system blevet generelt udbredt og implementeret i almen lægepraksis. Dette gælder den automatiske aflæsning og bearbejdning af ekg- (elektrokardiogram-) data som i dag udføres uden at lægen blander sig i eller betvivler computerens fortolkning af patientens data. At ekg-diagnostikken er bragt til dette niveau, har naturligvis krævet en massiv indsats både i udviklingen og evalueringen (32-34).

Automatisk aflæsning af digitale billeder har også været forsøgt i en årrække. I den medicinske radiologi har man forsøgt sig med automatisk diagnostik på lungerøntgenbilleder (35,36) og på mammarøntgenbilleder (37,38); men dette er stadig på det eksperimentelle plan. Analyse af mønstret i den trabekulære knogle har vist sig at kunne danne grundlag for diagnose af osteoporotiske patienter (39,40).

På det tandlægelige område er der også en række udviklingsprojekter i gang. En del af de anatomiske referenc punkter der anvendes af ortodontister i den cefalometriske analyse af kranierøntgenbilleder, kan en computer i dag selv

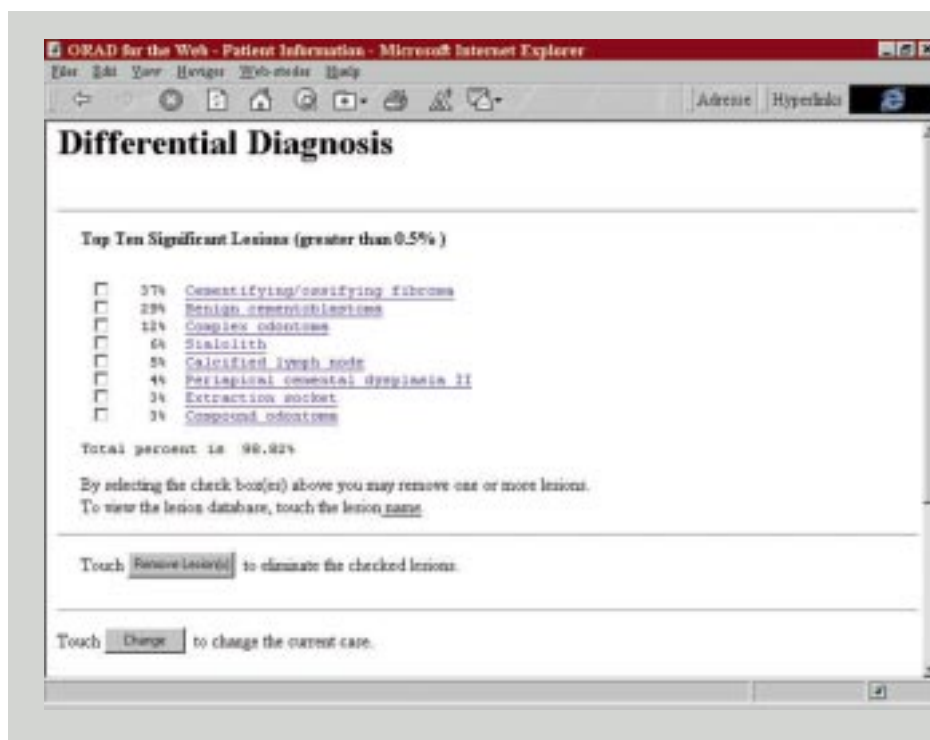


Fig. 7. ORAD II-programmets differentialdiagnoser efter at informationerne om læsionen i Fig. 6 er givet til programmet (nedtaget fra homepage-adressen: http://www.dent.ucla.edu/sod/depts/oral_rad/orad.html)

Fig. 7. The differential diagnoses stated by the ORAD II program after providing the information about the lesion in Fig. 6 (downloaded from the homepage address: http://www.dent.ucla.edu/sod/depts/oral_rad/orad.html)

finde med rimelig nøjagtighed (41-44), og dermed er vejen banet for totalt automatiseret cefalometrisk analyse, vækstprædiktation og behandlingsforslag. Ligeledes til brug for ortodontisten findes der nu fuldautomatiske programmer til aflæsning af håndrøntgenbilleder, som helt uden indblanding

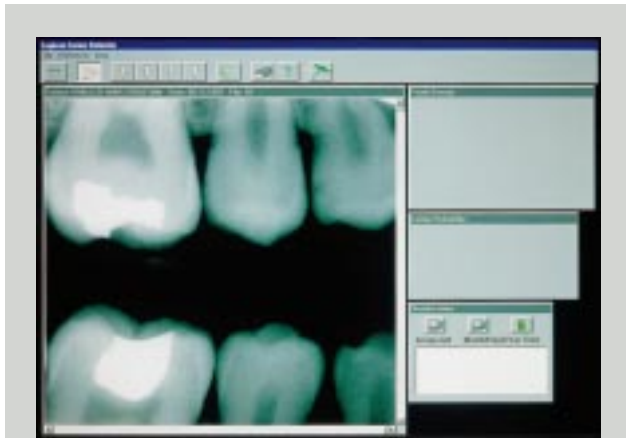


Fig. 8. Bitewing-optagelse vist i LOGICON program. Der ses en carieslæsion i distalfladen af 14.

Fig. 8. Bitewing radiograph displayed in the LOGICON program. A caries lesion is seen in the distal surface of 14.

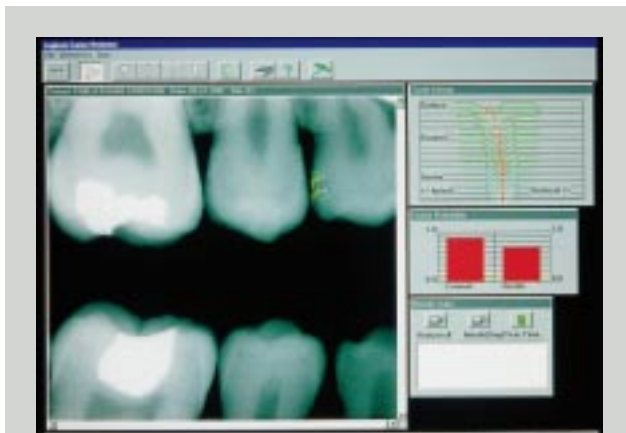


Fig. 9. LOGICON-programmets estimat for læsionen i 14 er næsten 100% sandsynlighed for caries i emalje og over 70% sandsynlighed for caries i dentin. Programmet tegner læsionens udbredelse og markerer med prikker, hvor demineraliseringen forløber (øverste højre hjørne).

Fig. 9. The estimate for the lesion in 14 by the LOGICON program is almost 100% probability for caries in enamel, and more than 70% probability for caries in dentine. The program draws the extent of the lesion and marks the demineralisation with red dots (upper right corner).

fra klinikeren fremkommer med en fuldt færdig rapport om knoglemodning og alder baseret på *Tanner & Whitehouses* (45) velkendte metode til modningsbedømmelse (46,47).

Til diagnostik af parodontale og periapikale knogledefekter og knogletab omkring implantater har en automatisk analyse af røntgenbilledet også været forsøgt (48-53); dog kun på eksperimentelt plan og uden at der er kommet kommercielt tilgængelige programmer på markedet.

Et område der er blevet viet megen interesse, er røntgen-diagnostik af approximalcaries. De første undersøgelser blev udført i 1980'erne af *Pitts* (54,55), og senere har også andre udviklet programmer som i en automatisk analyse kan genkende caries (56-58). Programmerne har vist lovende resultater, men kan ikke fås kommercielt. Det kan derimod et nyt »automated caries detection program«, *Logicon*, som er udviklet i Californien med hjælp fra røntgenafdelingen på UCLA. Programmet kan kun anvendes på digitale røntgenbilleder optaget med RVG-sensoren fra *Trophy*, Paris. Det baserer sin diagnostik på en sammenligning med røntgenbilleder i en database hvor den rigtige diagnose er verificeret gennem mikroskopi af tanden efter sektionering og fremkommer herefter med et sandsynlighedsestimater for om der er caries i emalje og i dentin separat. Fig. 8 viser et bitewing-billede med en carieslæsion i distalfladen af 14. Programmets estimat er næsten 100% sandsynlighed for caries i emalje og over 70% sandsynlighed for caries i dentin (Fig. 9). Programmet er lovende, men er endnu ikke evalueret af uafhængige instanser. Endelig findes et program der foretager automatisk analyse af digitale slimhindebilleder mhp. at skelne mellem orale lichen-læsioner og oral leukoplaki (59).

Den store fordel ved programmer der yder automatisk sygdomsdiagnostik, er at aflæsningen er objektiv og reproducerbar, dvs. at udfaldet er det samme når computeren aflæser et givet billede flere gange i modsætning til når flere mennesker fortolker det samme billede. Dette vil være specielt velkomment i cariesdiagnostikken hvor det er velkendt at observatørforskellene kan være enorme (60). Hvis computerens aflæsning samtidig er en rigtig aflæsning (en høj sensitivitet og specificitet), så har man opnået dét man ønskede, således som det er lykkedes i ekg-diagnostikken.

I begyndelsen af den æra hvor de første diagnostiske »ekspertsystemer« blev udviklet, var optimismen stor. Man mente at udviklingen snart ville resultere i at klinikerne kunne læne sig tilbage og se på at maskinen arbejdede, hvorefter behandlingsplanen for patienten ville ligge klar og utvetydig. Siden er målene blevet mere modererede. Fokus er nu ikke kun sat på at computerens diagnostiske formåen hele tiden skal øges, men mere på at systemerne skal være en støtte for klinikerne til at forbedre behandlingen (7). På nogle områder

vil computeren kunne udføre diagnostiske opgaver mere pålideligt end klinikeren, som det er sket i ekg-diagnostikken. På de fleste vil disse systemer imidlertid også fremover fortrinsvis tjene som konsulentprogrammer i det daglige arbejde og forhåbentlig medvirke til mere sikker diagnostik til gode for patienten.

English summary

Computer-based decision-support systems

In the future most data in the dental clinic will be collected and stored digitally: The patient's record will be run by speech recognition, data gathered by electronic periodontal and caries probes will be directly transferred to the record and all images, clinical and radiographic, will be digital. This opens up for possibilities that »decision-support« computer programs can assist the clinician in the daily diagnosis and treatment planning. The present review describes such programs with emphasis on those aiding in radiographic diagnosis. Figs. 3-7 show two case reports for which the decision-support program, ORAD II, suggests differential diagnoses after information about the patient and the lesion has been given. Figs. 8 and 9 show a digital bitewing exposed to automated computer analysis by the LOGICON caries detection program.

In the beginning of the digital era, there were great expectations to such »expert« or »artificial intelligence« programs. In recent years, however, they are viewed mostly as support or »second opinion« systems to assist the clinician in his decisions.

Litteratur

- Nattestad A, Attström R. Information technology in oral health education. *Eur J Dent Educ* 1997; 1: 101-7.
- Wenzel A, Gröndahl H-G. Digital teknik til intraorale røntgenundersøgelser. *Tandlægebladet* 1995; 99: 789-96.
- Gröndahl H-G, Wenzel A, Borg E, Tammissalo E. An image plate system for digital intra-oral radiography. *Dent Update* 1996; 23: 334-7.
- Wenzel A, Frovin T. Teletransmission of radiographs: a review and a description of a prototype system. *Tandlægebladet* 1988; 92: 502-9.
- Wenzel A, Gotfredsen E, Frovin T. A telecommunication system for the dental practitioner as an aid in oral diagnostics and remote education. *Medinfo* 1989; 32: 717-21.
- Farman AG, Farag AG. Teleradiology for dentistry. *Dent Clin North Am* 1993; 37(4): 669-81.
- White SC. Decision-support systems in dentistry. *J Dent Educ* 1996; 60: 47-63.
- Wagner I-V, Schneider W. Computer-based decision support in dentistry. *J Dent Educ* 1991; 55: 263-7.
- Stheeman SE, van der Stelt PF, Mileman PA. Expert systems in dentistry. Past performance – future prospects. *J Dent* 1992; 20: 68-73.
- Siegel MA, Firriolo FJ, Finkelstein MW. Computer applications in oral diagnosis. *Dent Clin North Am* 1993; 37(1): 113-31.
- Vandre RH, Webber RL. Future trends in dental radiology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1995; 80: 471-8.
- Hyman JJ, Diehl MA. A dental trauma diagnostic program. In: *Proceedings of the 7th annual symposium on computer applications in medical care* 1983; 133-4.
- Ralls SA, Southard TE, Cohen ME. A system for computer-assisted dental emergency diagnosis. *Mil Med* 1980; 151: 639.
- Leonard MS, Roberts SD, Fast TB, Mahan PE. Automated diagnosis of craniofacial pain. *J Dent Res* 1973; 52: 1297-302.
- Leonard MS, Kilpatrick KE, Fast TB, Mahan PE, Mackenzie RS. Automated diagnosis and treatment planning for craniofacial pain. *J Dent Res* 1974; 53: 1155-9.
- Friction JR, Nelson A, Monsein M. IMPATH: microcomputer assessment of behavioral and psychosocial factors in craniomandibular disorders. *J Craniomandibular Pract* 1987; 5: 372-81.
- Hyman JJ, Doblecki W. Computerized endodontic diagnosis. *J Am Dent Assoc* 1983; 107: 755-8.
- Monteith BD. Computerized expert system for the diagnosis of pulp-related pain. *Int J Prosthodont* 1991; 41: 30-6.
- Hill CM. Computer-aided diagnosis. *Dent Update* 1992; 19: 148-50.
- Beaumont AJ, Bianco HJ. Microcomputer-aided removable partial denture design. *J Prosthet Dent* 1989; 62: 417-21.
- Davenport JC, Hammond P, Fitzpatrick FJ. Computerized design of removable partial dentures: A knowledge-based system for the future. *Dent Update* 1993; 20: 221-6.
- Hammond P, Davenport JC, Potts AJC. Knowledge-based design of removable partial dentures using direct manipulation and critiquing. *J Oral Rehabil* 1993; 20: 115-23.
- Levy-Mandel AD, Venetsanopoulos AN, Tsotsos JK. Knowledge-based landmarking of cephalograms. *Computers and Biomedical Research* 1986; 19: 282-309.
- Davis DN, Taylor CJ. A blackboard architecture for automating cephalometric analysis. *Med Inform* 1991; 16: 137-49.
- Gotfredsen E, Kragsskov J, Wenzel A. Development of a system for craniofacial analysis from monitor-displayed digital images. *Dentomaxillofac Radiol* 1999 (i tryk).
- Sims-Williams JH, Brown ID, Matthewman A, Stephens CD. A computer-controlled expert system for orthodontic advice. *Br Dent J* 1987; 163: 161-6.
- Brown ID, Adams SR, Stephens CD, Erritt SJ, Sims-Williams JH. The initial use of a computer-controlled expert system in the treatment planning of class II division 1 malocclusion. *Br J Orthod* 1991; 18: 1-7.
- Rudin J. DART (diagnostic aid and resource tool): a computerized clinical decisions support system for oral pathology. *Compendium* 1994; 15: 1316-28.
- White S. Computer-aided differential diagnosis of oral radiographic lesions. *Dentomaxillofac Radiol* 1989; 18: 53-9.
- Wiener F, Laufer D, Ribak A. Computer-aided diagnosis of odontogenic lesions. *Int J Oral Maxillofac Surg* 1986; 15: 592-6.
- Hubar JS, Manson-Hing LR, Heaven T. COMRADD: Computer-

- ized radiographic differential diagnosis. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1990; 69: 263-5.
32. Kyle MC, Klingeman JD, Conad JD, Freis ED, Pipberger HV. A new microcomputer-based ECG analysis system. *Clin Cardiol* 1983; 6: 447-55.
33. McLaughlin SC, Aitchison TC, McFarlane PW. Methods for improving the repeatability of automated ECG analysis. *Method Inform Med* 1995; 34: 272-82.
34. Schijvenaars BJA, Kors JA, van Herpen G, Kornreich F, van Bommel JH. Effect of electrode positioning on ECG interpretation by computer. *J Electrocardiol* 1997; 30: 247-56.
35. Katsuragawa S, Doi K, MacMahon H. Image feature analysis and computer-aided diagnosis in digital radiography: Detection and characterization of interstitial lung disease in digital chest radiographs. *Med Phys* 1988; 15: 311-9.
36. Nakamori N, Doi K, Sabeti V, MacMahon H. Image feature analysis and computer-aided diagnosis in digital radiography: Automated analysis of sizes of heart and lung in chest images. *Med Phys* 1990; 17: 342-50.
37. Chan H-P, Lo S-C B, Sahier B, Lam KL, Helvie MA. Computer-aided detection of mammographic microcalcifications: Pattern recognition with an artificial neural network. *Med Phys* 1995; 22: 1555-67.
38. Byng JW, Boyd NF, Fishell E, Jong RA, Yaffe MJ. Automated analysis of mammographic densities. *Phys Med Biol* 1996; 41: 909-23.
39. Geraets WGM, van der Stelt PF, Netelenbos CJ, Elders PJM. A new method for automatic recognition of the radiographic trabecular pattern. *J Bone Miner Res* 1990; 5: 227-33.
40. Geraets WGM, van der Stelt PF, Lips P, van Ginkel FC. The radiographic trabecular pattern of hips in patients with hip fractures and in elderly control subjects. *Bone* 1998; 2: 165-73.
41. Pass B, Gregson PH. Automated identification of landmarks in cephalometric radiographs. *J Dent Res* 1991; 70: 528 (Abstract No. 2099).
42. Davis DN, Taylor CJ. A blackboard architecture for automating cephalometric analysis. *Med Inform* 1991; 16: 137-49.
43. Rudolph DJ, Sinclair PM, Coggins JM. Automatic computerized radiographic identification of cephalometric landmarks. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1998; 113: 173-9.
44. Stamm T, Brinkhaus HA, Ehmer U, Meier N, Bollmann F. Computer-aided automated landmarking of cephalograms. *J Orofac Orthop* 1998; 59: 73-81.
45. Tanner JM, Whitehouse RH, Cameron N, Marshall WA, Healy MJR, Goldstein H. Assessment of skeletal maturity and prediction of adult height (TW2 Method). 2nd ed. London Academic Press 1983.
46. Cox LA. Preliminary report on the validation of a grammar-based computer system for assessing skeletal maturity with the Tanner-Whitehouse 2 method. *Acta Paediatr* 1994; 406: 84-5.
47. Hill K, Pynsent PB. A fully automated bone-aging system. *Acta Paediatr* 1994; 406: 81-3.
48. Hildebolt CF, Vannier MW. Automated classification of periodontal disease using bitewing radiographs. *J Periodontol* 1988; 59: 87-94.
49. Reddy MS, Mayfield-Donahoo TL, Jeffcoat MK. A semi-automated computer-assisted method for measuring bone loss adjacent to dental implants. *Clin Oral Implant Res* 1992; 3: 28-31.
50. van der Stelt PF, Geraets WGM. Computer-aided interpretation and quantification of angular periodontal bone defects on dental radiographs. *IEEE Trans Biomed Eng* 1991; 38: 334-8.
51. van der Stelt PF. Computer-assisted interpretation in radiographic diagnosis. *Dent Clin North Am* 1993; 37(4): 683-96.
52. Mol A, van der Stelt PF. Application of computer-aided image interpretation to the diagnosis of periapical bone lesions. *Dentomaxillofac Radiol* 1992; 21: 190-4.
53. Mol A, van der Stelt PF. Locating the periapical region in dental radiographs using digital image analysis. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1993; 75: 373-82.
54. Pitts NB. Detection of approximal radiolucencies in enamel: a preliminary comparison between experienced clinicians and an image analysis method. *J Dent* 1987; 15: 191-7.
55. Pitts NB, Renson CE. Monitoring the behaviour of posterior approximal carious lesions by image analysis of serial standardised bitewing radiographs. *Br Dent J* 1987; 162: 15-21.
56. Heaven TJ, Firestone AR, Feagin FF. Computer-based image analysis of natural approximal caries on radiographic films. *J Dent Res* 1992; 71: 846-9.
57. Heaven TJ, Weems RA, Firestone AR. The use of a computer-based image analysis program for the diagnosis of approximal caries from bitewing radiographs. *Caries Res* 1994; 28: 55-8.
58. Duncan RC, Heaven T, Weems RA, Firestone AR, Greer DF, Patel JR. Using computers to diagnose and plan treatment of approximal caries detected in radiographs. *J Am Dent Assoc* 1995; 126: 873-82.
59. Mattsson U, Heyden G, Chodorowski A, Gustavsson T, Jontell M, Bergquist F. Computer analysis in oral lichenoid reactions. *Acta Odontol Scand* 1994; 52: 86-92.
60. Hintze H, Wenzel A. Clinically undetected dental caries assessed by bitewing screening in children with little caries experience. *Dentomaxillofac Radiol* 1994; 23: 19-23.

Forfatter

Ann Wenzel, professor, lic. et dr. odont.

Afdeling for Oral Radiologi, Odontologisk Institut, Det Sundhedsvidenskabelige Fakultet, Aarhus Universitet