

ABSTRACT

Nøjagtig placering af implantater kan reducere risikoen for kirurgiske komplikationer og optimere både funktionelle og protetiske resultater. Med statisk computerassisteret implantatkirurgi (SCAIS) kan man på baggrund af Cone Beam Computed Tomography, intraoral scanning og computersoftwareprogrammer fremstille en guideskinne, der overfører den virtuelt planlagte implantatposition til patienten.

Der kan være udfordringer ved metoden, hvorfor kliniske og teknologiske aspekter, herunder dens begrænsninger og indikation på patienter med partielt tandtab, vil blive udfoldet i denne artikel.

EMNEORD

Dental implants | surgery, computer assisted | cone-beam computed | tomography | dental implantation, endosseous | computer-aided design



Korrespondanceansvarlig førsteforfatter:

ELIAS REZAI

ere98@dent.au.dk

Statisk computerassisteret implantatkirurgi

ELIAS REZAI, tandlæge, klinisk lærer, Sektion for Kæbekirurgi og Oral Patologi, Institut for Odontologi og Oral Sundhed, Aarhus Universitet, og privat praksis, Brædstrup, Aarhus

MARTIN PERSSON, tandlæge, EAO Master Diploma in Implant Dentistry, privat praksis, Brædstrup, Aarhus

SVEN ERIK NØRHOLT, klinisk professor, overtandlæge, ph.d., Sektion for Kæbekirurgi og Oral Patologi, Institut for Odontologi og Oral Sundhed, Aarhus Universitet, og Tand-, Mund- og Kæbekirurgisk Klinik, Aarhus Universitetshospital

Accepteret til publikation den 21. januar 2025

[Online før print]

TANDIMPLANTATER SKAL PLACERES MED TILPAS AFSTAND TIL OMKRINGLIGGENDE ANATOMISKE STRUKTURER samt i den bedst mulige position i forhold til den efterfølgende protetiske behandling (1). Med Cone Beam Computed Tomography (CBCT), intraoral scanning og computersoftware kan anatomen visualiseres (2). Når disse teknologier kombineres til at understøtte kirurgisk planlægning og udførelse, betegnes metoden som computerassisteret implantatkirurgi (CAIS) (3).

CAIS kan yderligere inddeles i statisk computerassisteret implantatkirurgi (sCAIS), også refereret som statisk implantatkirurgi og dynamisk implantatkirurgi (3). Desuden findes frihåndsimplantatkirurgi, som har været anvendt siden implantatkirurgiens begyndelse.

Ved sCAIS anvender man en guideskinne, der kan støtte på tænder, mucosa eller knogle (4). Skinnen støtter boretts retning og dybde, således at den virtuelt planlagte implantatposition overføres til patienten. Dermed søges at placere implantatet i overensstemmelse med den virtuelt planlagte position samt at forebygge skader på kritiske strukturer såsom nabotænder, rødder, sinus maxillaris og nerver (5).

Denne oversigtsartikel har til formål at gennemgå den aktuelle viden om sCAIS hos patienter med partielt tandtab. Artiklen vil belyse fordele, ulemper og indikationer for metoden. Endvidere vil relevante studier, der undersøger metodens nøjagtighed, blive inddraget.

INDIKATIONER FOR sCAIS

sCAIS er indiceret, når placering af implantater er vigtig i forhold til nabostrukturer, og når et implantat skal vinkles, hvilket er særlig kritisk i den æstetiske zone, hvis en skrureretineret protetisk løsning ønskes (1). sCAIS kan derudover anvendes til at styre implantatets dybde for at undgå skade på n. alveolaris inferior, for at placere borehullet svarende til sinusbunden i forbindelse med internt sinusløft og for at inddrage bunden af sinus, næsehulen eller basis mandibulae for at opnå bikortikal implantatforankring (6,7). sCAIS kan give mulighed for præoperativ fremstilling af en provisorisk protese og/eller immediat implantat med suprastruktur i samme seance (5).

Anvendelse af sCAIS kan desuden minimere risikoen for perforation af blodkar lingvalt for mandiblen, som kan medføre livstruende blødning i mundbunden (8,9).

Endelig kan sCAIS være en hjælp ved behov for vertikal knoglereduktion i forbindelse med immediat implantatisættelse efter tandekstraktioner (10). Formålet ved knoglereduktion er at skabe et jævnt knogleforløb med tilstrækkelig knoglehøjde og bredde forud for implantatisættelse. Fordelen ved knogle-reduktion med guideskinne er, at man præcist kan planlægge, hvor meget knogle der skal fjernes i forhold til udformningen af suprastrukturen (10).

PLANLÆGNING AF sCAIS

Planlægningen af sCAIS forudsætter en CBCT-scanning og en intraoral scanning. CBCT-scanning giver et tredimensionelt overblik over relevante anatomiske strukturer og omkringliggende væv i området for implantatisættelse: afstand til nabo-tænder, positionen af sinus maxillaris og identificering af canalis mandibularis, foramen mentale og canalis incisivus (5). Ved en intraoral scanning opnås et detaljeret 3D-billede af mundens anatomi, herunder overkæbe, underkæbe og sammenbid (11).

Data fra CBCT-scanning og intraoral scanning fusioneres, og på baggrund af disse data fremstilles en guideskinne ved hjælp af et computersoftwareprogram. I softwareprogrammet kan man planlægge placering af implantatet ud fra protetiske hensyn med hensyntagen til æstetik, peri-implantært væv og implantatbelastning (2) (Figs. 1-4).

Hos patienter med få okklusionskontakter falder nøjagtigheden for fusioneringen af scanningerne (1,12). Ligeledes kan metalrestaureringer medføre dårlig billedkvalitet på CBCT-scanning og derved vanskeliggøre fusionering af scanningerne, desto flere metalrestaureringer der er (13-15). I disse tilfælde kan man lave en stereolitografisk radiografisk guideskinne med radiopake markører, eksempelvis guttaperka, som er jævnt fordelt på skinnen og strategisk placeret væk fra de artefaktinducerende strukturer (16). Den stereolitografiske radiografiske skinne fremstilles i et dentallaboratorie ud fra en intraoral scanning. Herefter tages CBCT-scanning af patienten med skinnen indsat. På baggrund af de radiopake markører kan den intraorale scanning overlejres med CBCT-scanningen. Metoden er mere tidskrævende, omfattende og mere omkostningstung, da en ny skinne skal fremstilles (15) (Fig. 5).

Overlejring af den intraorale scanning og CBCT-scanning kan også gøres semiautomatisk eller automatisk. Semiautomatisk overlejring sker på baggrund af manuelt registrerede referencepunkter via et softwareprogram, og automatisk overlejring foretages med kalibrerings- og overlejningsfunktion fra algoritmer i de anvendte softwareprogrammer (17,18). Schnutenhaus et al. har undersøgt nøjagtigheden af fusionering af CBCT og intraoral scanning manuelt, semiautomatisk og ved anvendelse af en stereolitografisk radiografisk skinne med radiopake markører (18). Manuel fusionering og fusionering med en stereolitografisk radiografisk skinne har begge vist en nøjagtighed på 0,2 mm. Semiautomatisk fusionering har vist højere nøjagtighed end de to andre metoder, men det understreges i artiklen, at der fortsat er potentiale til forbedring (18).

Nøjagtigheden af automatisk og semiautomatisk fusionering af intraoral og CBCT-scanning er undersøgt af Preda et al. ►

Præoperativ panoramarøntgen



Fig. 1. Hos denne patient foretages der implantatbehandling regio +4,6 med immediat provisorisk bro. Patienten er henvist til implantatbehandling, da bro fra regio +3 til +5 er gået tabt. +3 rodbehandles og forsynes med fuldkeramisk krone, og implantatkirurgi regio +4 til +6 planlægges.

Fig. 1. In this case, implant treatment is performed in region 24 and 26 with an immediate provisional bridge. The patient was referred for implant treatment as the bridge from region 23 to 25 was lost. Root canal treatment and crown is made on tooth 23, and implant surgery in region 24 to 26 is planned.

Virtuel implantatplanlægning

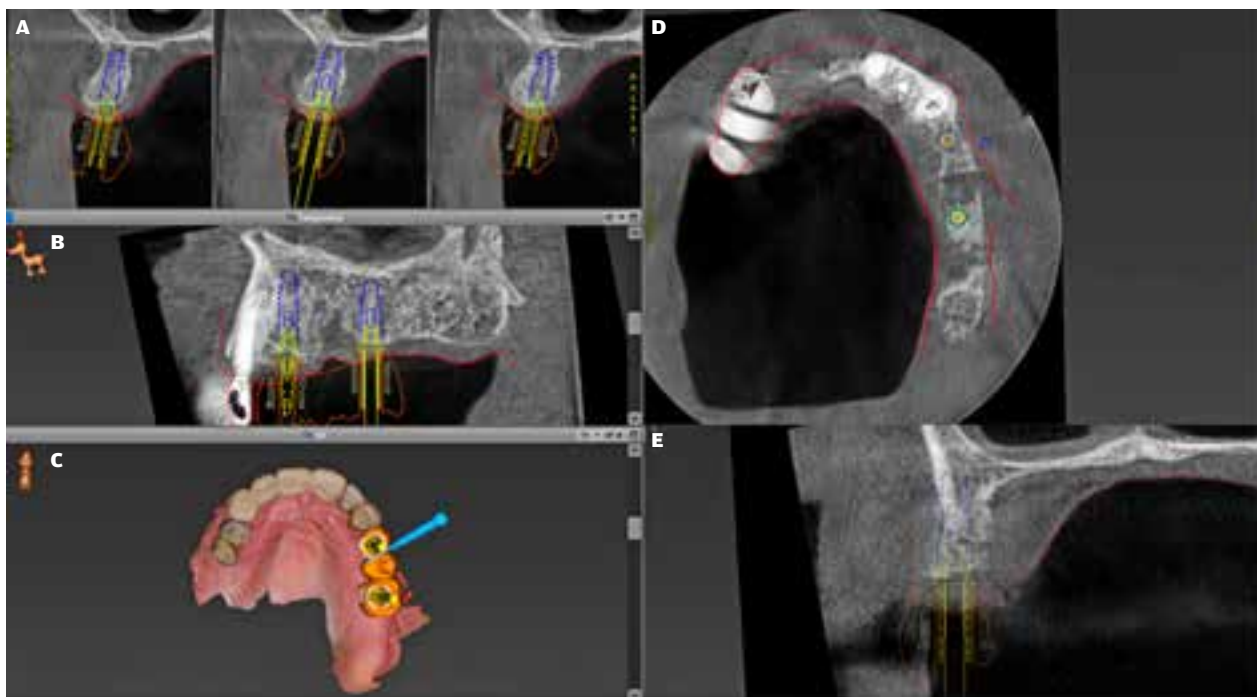


Fig. 2. A. Tværsnitsbilleder med CBCT af processus alveolaris. Snit i sagittalt plan, som viser de anatomiske forhold facalt og palatalt for implantatet regio +6. **B.** Snit i sagittalt plan, som viser implantaternes relation til nabotanden +3 og sinus maxillaris. **C.** Virtuel implantatplanlægning, hvor placeringen af implantaterne og suprastrukturens udformning og lokation samt placeringen af fikseringsskruen er inddraget. **D.** Snit i aksialt plan. **E.** Snit i koronalt plan af regio +4, som viser, at der intraoperativt skal foretages knogleopbygning, da gevindene fenestrerer knoglen.

Fig. 2. A. Cross-sectional images using CBCT of the alveolar process. Sagittal plane slice showing the anatomical structures buccally and palatally for the implant in region 26. **B.** Sagittal plane slice showing the relationship between the implants, adjacent tooth 23, and the maxillary sinus. **C.** Virtual implant planning, including implant placement, design and location of the superstructure, and the placement of the fixation screw. **D.** Axial plane slice. **E.** Coronal plane slice showing that bone augmentation will likely need to be performed region 24, as the threads fenestrate the bone.

Præoperativt klinisk foto og røntgenbillede

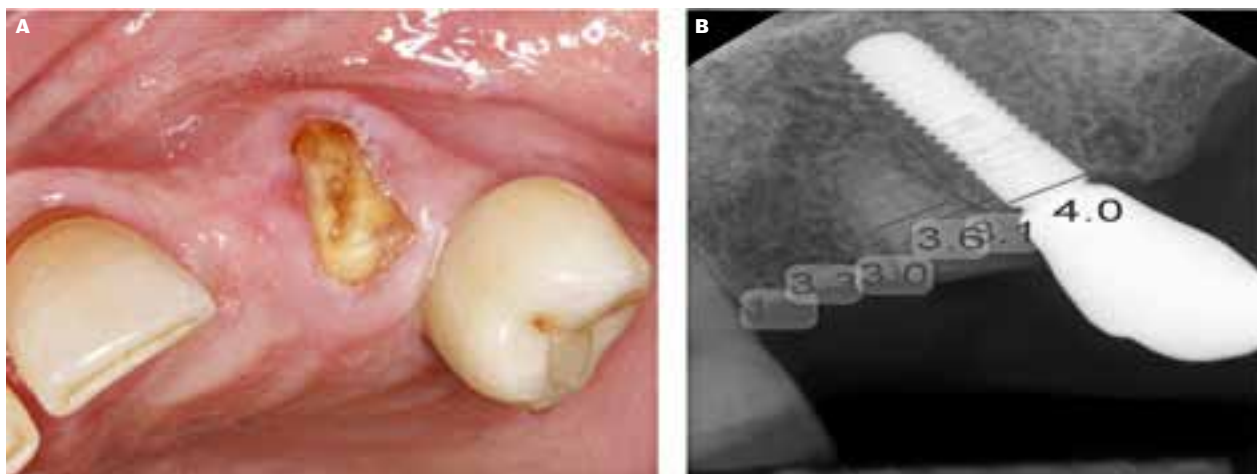


Fig. 3. A. Klinisk foto af affraktureret +3. +3 var kronet med ekstensionsled regio +2. **B.** Enoralt præoperativt røntgenbillede.

Fig. 3. A. Clinical photograph of fractured tooth 23. Tooth 23 was crowned with a cantilever in region 22. **B.** Intraoral preoperative radiograph.

al. (17). Artiklen præsenterede, at automatisk fusionering er hurtigere, mere konsistent og lige så nøjagtig som ved semi-automatisk registrering udført af en ekspert (17).

DESIGN AF SKINNE

En af de væsentligste faktorer for nøjagtigheden af sCAIS er, hvordan skinnen er designet, og herunder hvordan skinnen er understøttet (19). Ved en tandunderstøttet skinne, som normalt anvendes i situationer med delvist tandtab, kan et vindue fremstilles på skinnen for at vurdere, om skinnen er helt på plads (Fig. 6).

En mucosaunderstøttet skinne hviler alene på slimhinden. En tandunderstøttet skinne benytter tænderne som stabiliserende element, mens en knogleunderstøttet skinne hviler direkte på knoglen (4).

Mucosa- og tandunderstøttet sCAIS kan foretages med eller uden mobilisering af en mucoperiostal lap. Ved knogleunderstøttet sCAIS er eksponering af alveolarknoglen en forudsætning for, at proceduren kan gennemføres (19,20).

SKINNENS KOMPONENTER

En skinne kan fremstilles med eller uden en indlejret cylinder. Cylinderen, der er fremstillet af plast eller metal, styrer position

klinisk relevans

I tilfælde, hvor implantater skal indsættes tæt på vigtige anatomiske strukturer eller i den æstetiske zone, kan statisk computerassisteret implantatkirurgi (sCAIS) være et alternativ til frihåndsimplantatkirurgi. Denne form for kirurgi kræver yderligere planlægning og tid til fremstilling af en specialfremstillet guideskinne, der kan hvile på tænder, tandkød eller knogle. Skinnen støtter boret retning og dybde, således at den virtuelt planlagte implantatposition overføres til patienten.

og vinkling af boret (20) (Fig. 7). Dette opnås ved at bruge indsatser, som fungerer som adaptorer inden i cylindrene i forskellige diametre svarende til det implantatbor, der bruges (21,22).

Kliniske studier har vist, at der er risiko for, at skinnen bevæger sig undervejs i proceduren og derved påvirker nøjagtigheden af implantatets endelige position. For at undgå dette kan man fikse skinnen med fikseringsskruer med henblik på at fastholde skinnens position (19,23), (Figs. 6 og 8). ▶

Virtuel implantatplanlægning

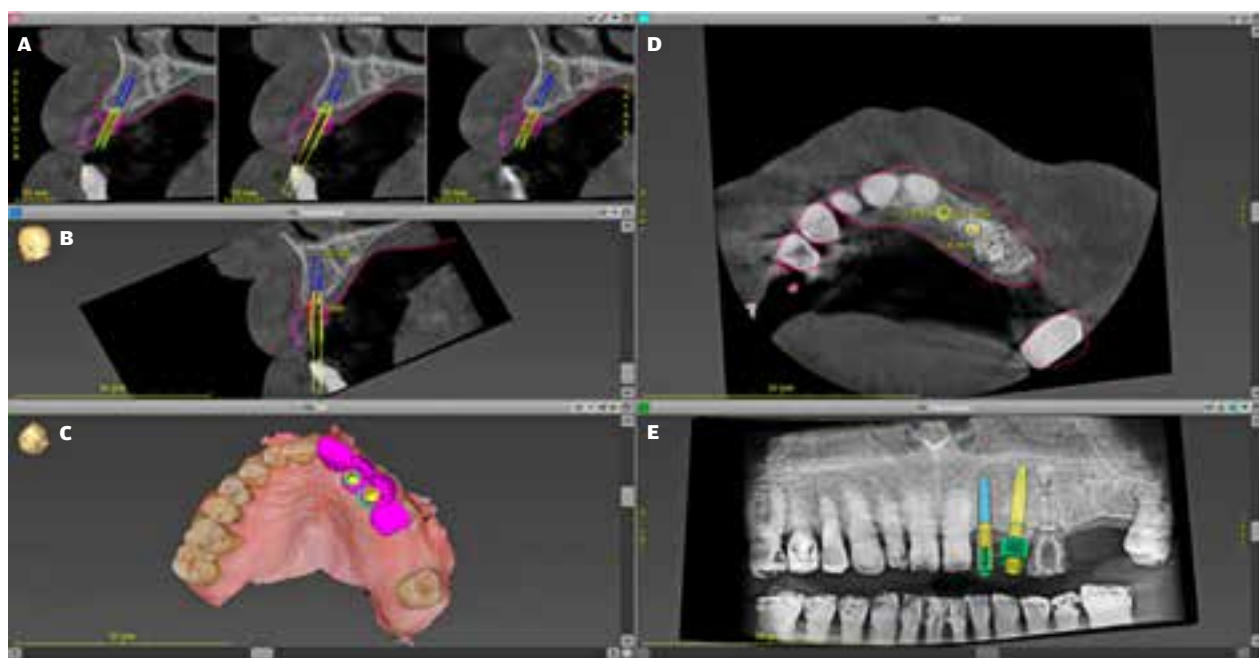


Fig. 4. A. Tværsnitsbilleder med CBCT af processus alveolaris. Snit i sagittalt plan, som viser de anatomiske forhold facielt og palatalt for implantaterne. **B.** Snit i fortsat sagittalt plan. **C.** Virtuel implantatplanlægning, hvor placeringen af implantaterne og suprastrukturens udformning og lokation bestemmes. **D.** Snit i aksialt plan. **E.** Skitsering af implantaternes lokation på et panoramamøntgenbillede.

Fig. 4. A. Cross-sectional images using CBCT of the alveolar process. Sagittal plane slice showing the anatomical structures buccally and palatally for the implants. **B.** Continuation of the sagittal plane slice. **C.** Virtual implant planning, including determination of implant placement, the design of the superstructure, and its location. **D.** Axial plane slice. **E.** Sketch of implant positions on a panoramic radiograph.

Workflow

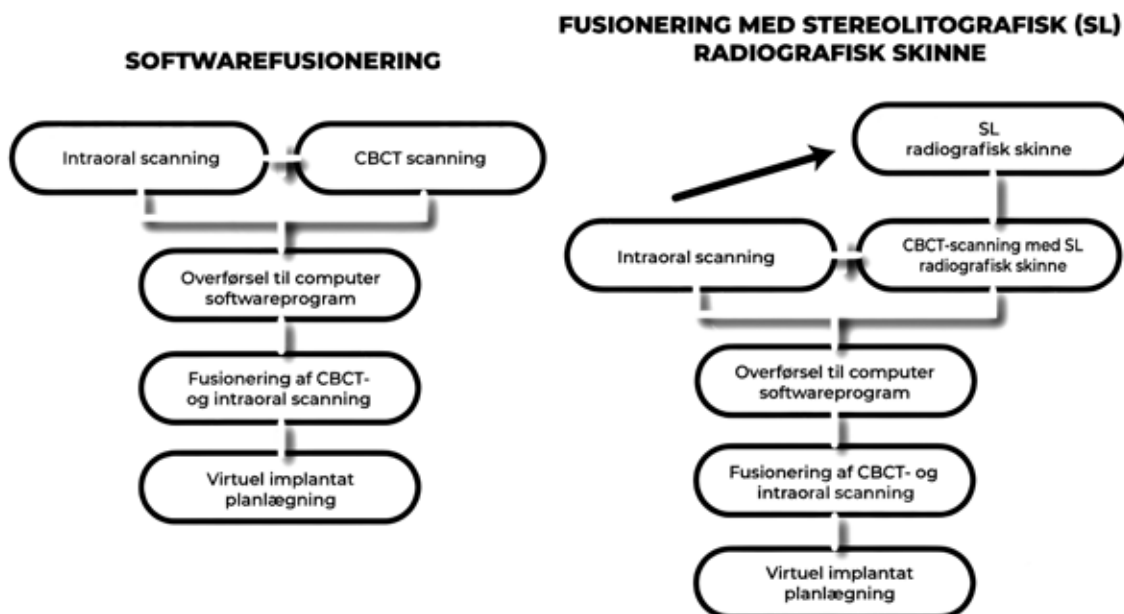


Fig. 5. Workflow for planlægning af SCAIS.
Fig. 5. Workflow for planning SCAIS.

Virtuel implantatplanlægning

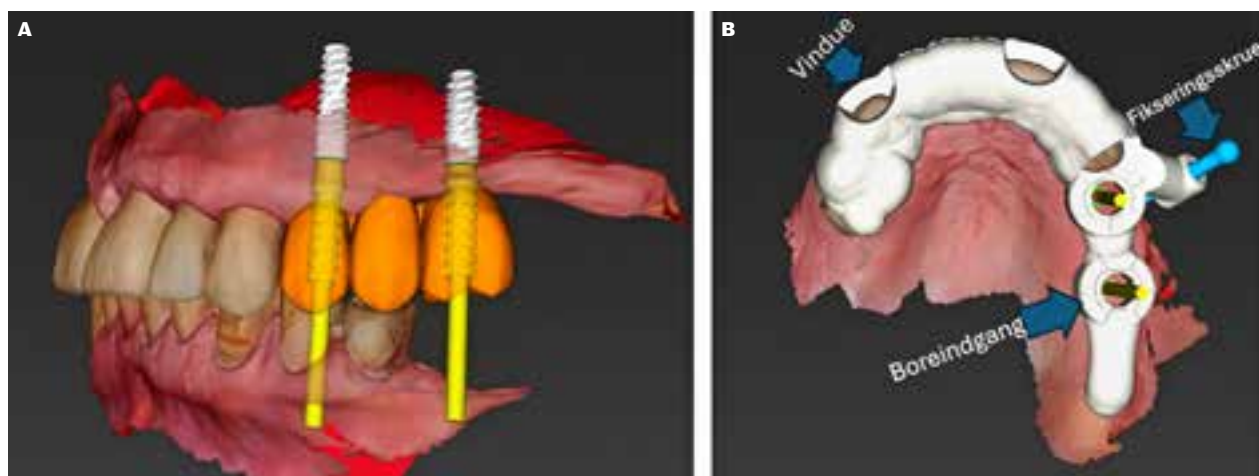


Fig. 6. **A.** Implantaterne placeres protetisk drevet, hvorfor der også laves en digital tandopstilling. **B.** Skinnens udstrækning udformes via computersoftwareprogram. Boreindgange til implantaterne, vindue på skinnen samt fikseringsskrue er markeret med blå pile med dertilhørende tekst.
Fig. 6. **A.** The implants are placed prosthetically driven, which is why a digital tooth setup is also created. **B.** The extent of the guide is designed using computer software. Drill entries for the implants, a window on the guide, and the fixation screw are marked with blue arrows accompanied by descriptive text.

KIRURGISK PROCEDURE VED SCAIS

Ved anvendelse af sCAIS på patienter med partielt tandtab skal skinnen stabiliseres, tilpasses bløddel og passe entydigt på tænderne. Proceduren kan foretages med eller uden eksponering af alveolarknoglen. Implantatoperation uden eksponering

af alveolarknoglen kan have sine fordele som bevarelse af papil og derved forbedret æstetik, færre postoperative smerter og hurtigere heling (24-26). En systematisk oversigtsartikel inkl. metaanalyse har dog konkluderet, at overlevelseshraten, komplikationsraten og marginalt knogleniveau er ens, uan- ►

Guideskinne

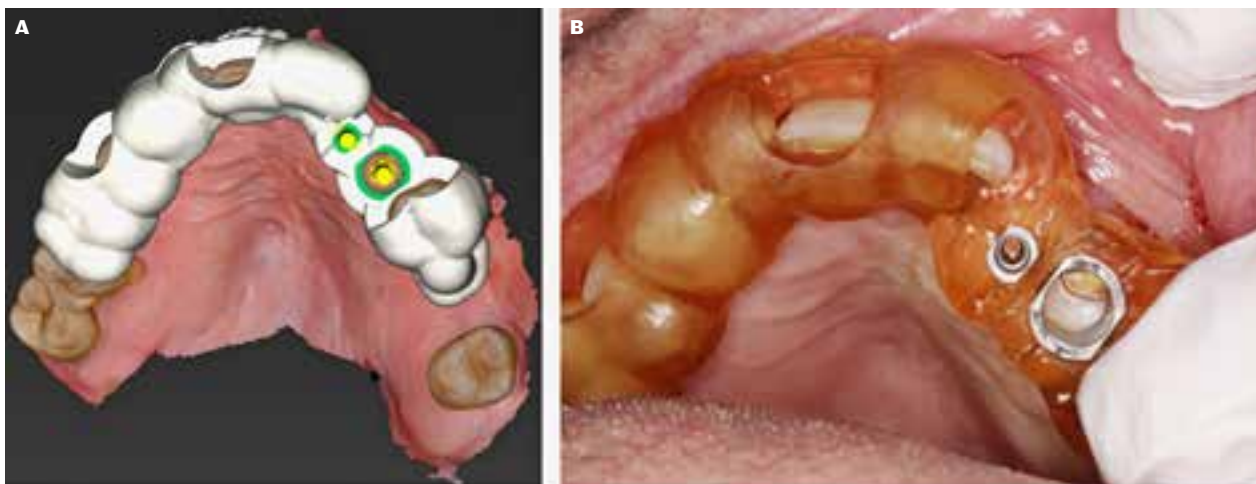


Fig. 7. A. Skinnens udstrækning udformes via computersoftwareprogram. **B.** I dette scenarie planlægges der både fuldt og delvist sCAIS, da der i regio +2 laves en boreindgang kun til pilotudboring og boreindgang til fuldt sCAIS regio +3.

Fig. 7. A. The extent of the guide splint is designed using computer software. Drill entry points for the implants and a window on the guide are marked. **B.** In this scenario, both fully and partially sCAIS are planned. For region 22, only pilot drilling is prepared, whereas fully sCAIS is planned for region 23.

Perioperative fotos



Fig. 8. A. Skinnen placeres, således at den hviler på tænder. Herefter skrues fikseringsskruen fast for at fastholde skinnens position. **B.** Et håndtag hviler på skinnens plastcylinder, som sikrer boret's retning og dybde. Der er nu gjort klar til udbo- ring til implantat.

Fig. 8. A. The guide is placed to rest on the teeth. The fixation screw is then tightened to secure the guide's position. **B.** A handle rests on the guides plastic cylinder, ensuring the drill's direction and depth. The preparation for drilling the implant site is now complete.

set om man foretager operationen med eller uden eksponering af alveolarknoglen (26).

Den kirurgiske procedure er enten fuldt eller delvist guidet. Ved fuldt guidet sCAIS anvendes skinnen under hele proceduren fra udboring til indsættelse af implantatet. Ved delvist guidet sCAIS anvender man kun skinnen ved pilotudboring eller

ved udboring til implantatet. Efter udboringen er foretaget, skal man i frihånd isætte implantatet, og derfor kaldes proceduren for delvist guidet sCAIS. Delvist guidet sCAIS kan med pilotudboring være relevant i tilfælde med pladsmangel (27). En guideskinne, der alene er baseret på et wax-up eller en intraoral scanning, er en konventionel guideskinne, som udelukkende

Intraoperative fotos

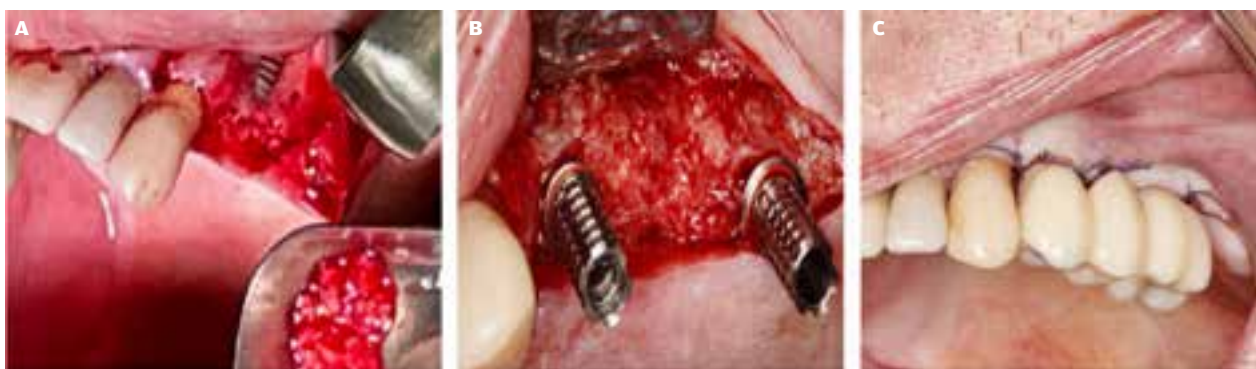


Fig. 9. A. Knoglebygning facialt regio +4 foretages grundet forventet fenestration. **B.** Fortsættelse af knogleopbygning omkring kraven på implantaterne. Skruemonte-ring af provisorisk abutment. **C.** Postoperativt klinisk foto med immediat provisorisk bro. Der bør igen udvises særlig opmærksomhed på artikulation og okklusion ved provisorisk immediate løsninger. I dette tilfælde er broen fuldstændig fri for okklusion og artikulation, da knogleopbygning er foretaget.

Fig. 9. A. Bone augmentation buccally in region 24 is performed due to expected fenestration. **B.** Continuation of bone augmentation around the neck of the implants. Screw-mounted provisional abutment. **C.** Postoperative clinical photo with immediate provisional bridge. Special attention should again be paid to articulation and occlusion in provisional immediate solutions. In this case, the bridge is completely free of occlusion and articulation, as bone augmentation has been performed.

Radiologisk kontrol og klinisk foto

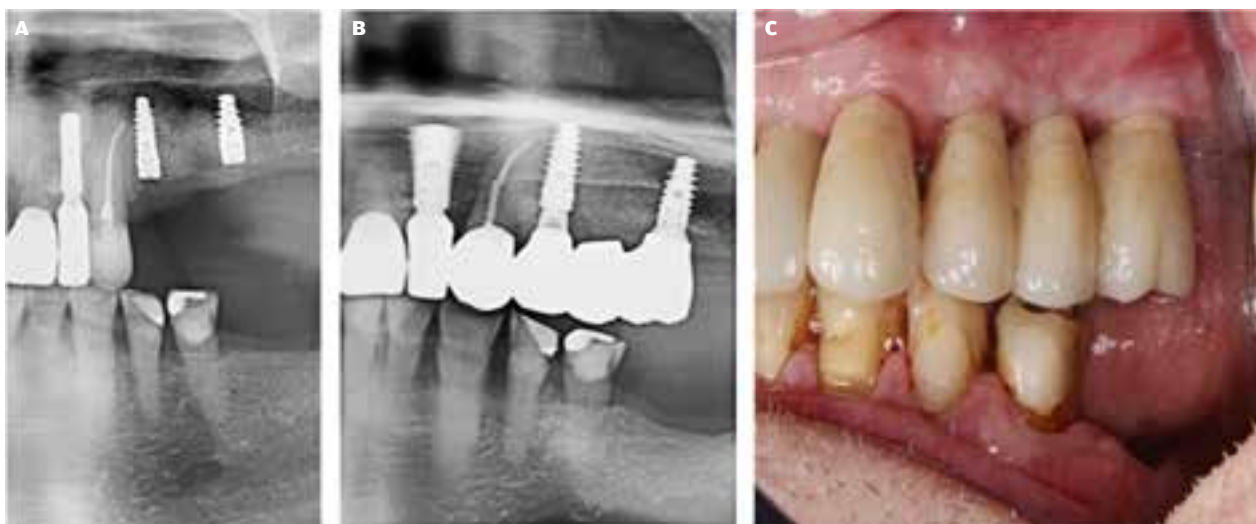


Fig. 10. A. Postoperativ panoramarøntgen uden suprastruktur. **B.** Postoperativ panoramarøntgen med endelig suprastruktur. Grundet reflekser var enorale billeder vanskelige at tage, hvorfor panoramarøntgen tages. **C.** Klinisk foto af endelig brokonstruktion strækkende regio +4 til +6 set lateralt fra.

Fig. 10. A. Postoperative panoramic radiograph without the superstructure. **B.** Postoperative panoramic radiograph with the final superstructure. Due to gag reflexes, intraoral images were difficult to obtain, so panoramic radiographs were taken. **C.** Clinical photo of the final bridge construction extending from region 24 to 26, viewed laterally.

tager udgangspunkt i, hvilken position der er mest hensigtsmæssig fra et protetisk synspunkt (23,25).

PERIOPERATIVE OVERVEJELSER OG KOMPLIKATIONER VED sCAIS

Skinnen er fremstillet til et specifikt implantatsystem og kan derfor ikke ændres, når den først er produceret. Desuden kan man heller ikke ændre positionen af implantatet undervejs i

proceduren ved fuldt guidet sCAIS, medmindre kirurgen seponerer skinnen og overgår til frihåndsimplantatkirurgi. Hvis skinnen ikke passer, kan man kun lave minimale justeringer, da det ellers kan påvirke nøjagtigheden. Dog kan det i visse tilfælde være muligt at dele skinnen i mindre dele og alligevel indsætte implantatet i den planlagte position. Ligeledes må man enten opgive at indsætte implantatet eller overgå til frihåndsimplantatkirurgi, hvis skinnen ikke passer, eller hvis skinnen knækker.

sCAIS er forbundet med en større risiko for varmeudvikling end konventionel udboring til implantater, da skinnen begrænser muligheden for vandkøling af boret. Man kan øge kølingen i operationsområdet ved hyppige intermitterende bevægelser samt ved at være opmærksom på at minimere pres på implantatboret (28).

Ved patienter med begrænset gabeevne, eller hvis implantatet skal placeres posteriort, kan sCAIS være vanskeligt på grund af dårlige pladsforhold. Patientens gabeevne og implantatets position skal derfor medtages i planlægning af sCAIS (6) (Figs. 9-13).

NØJAGTIGHEDEN VED sCAIS

Ved nøjagtigheden af sCAIS forstås, hvor tæt den endelige implantatposition er på den virtuelt planlagte (29). Nøjagtigheden for proceduren afgøres ved kvantitativ evaluering af position og vinkling i et tredimensionelt perspektiv (13,29). Følgende parametre måles for at afgøre implantatets placering:

1. Angular afvigelse (måles i grader): angiver vinkel mellem den longitudinale akse af det planlagte og isatte implantat.
2. Koronal afvigelse (måles i mm): angiver en lineær afvigelse fra midten af implantatets platform mellem det planlagte og indsatte implantat.

Intraoperativt klinisk foto



Fig. 11. Der foretages koronal knogleopbygning efter isættelse af implantater regio +2 og +3.

Fig. 11. A coronal bone augmentation is performed following the placement of implants in region 22 and 23.

Provisorisk immediat loading



Fig. 12. A. Klinisk foto af provisorisk sammenloddede kroner. **B.** Postoperativt klinisk foto af immediate provisoriske kroner. Der bør udvises særlig opmærksomhed på artikulation og okklusion samt patient compliance ved provisoriske immediate løsninger.

Fig. 12. A. Clinical photo of provisionally splinted crowns. **B.** Postoperative clinical photo of immediate provisional crowns. Special attention should be paid to articulation, occlusion, and patient compliance with provisional immediate solutions.

Postoperativ radiografisk kontrol

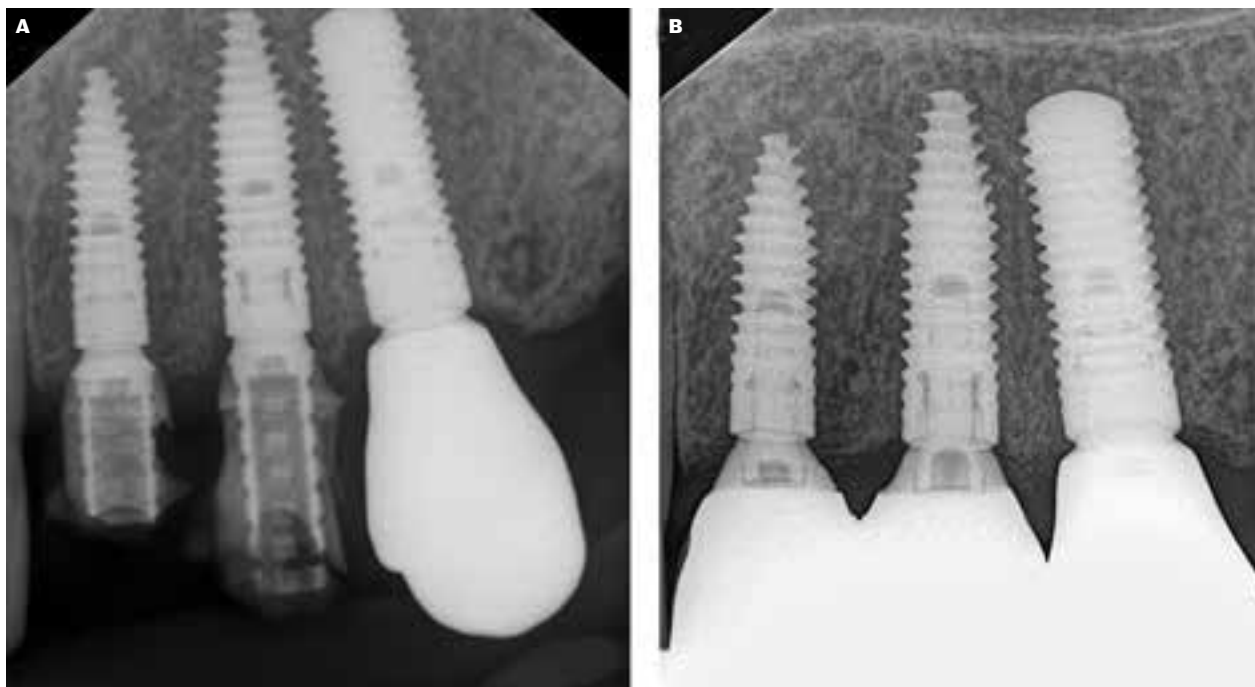


Fig. 13. A. Kontrol efter indsættelse af implantater med immediat protetisk suprastruktur. **B.** Kontrol efter endelig protetisk behandling.
Fig. 13. A. Examination after implant placement with immediate prosthetic superstructure. **B.** Examination after final prosthetic treatment.

Parametre for implantatnøjagtighed

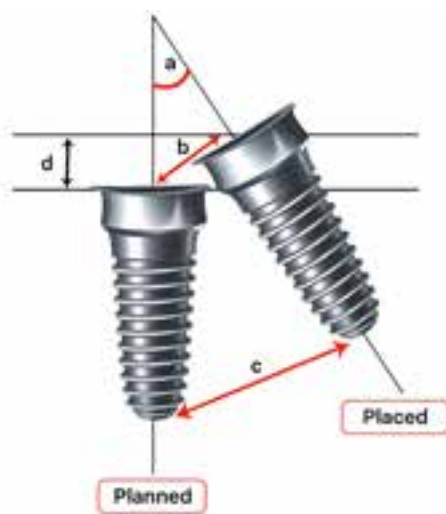


Fig. 14. (a) Angular afvigelse, (b) koronal afvigelse, (c) apikal afvigelse og (d) dybdeafvigelse.

Fig. 14. (a) Angular deviation, (b) coronal deviation, (c) apical deviation and depth deviation.

3. Apikal afvigelse (måles i mm): angiver en lineær afvigelse mellem apex på det planlagte og isatte implantat.
4. Dybdeafvigelse (måles i mm): angiver en lineær afvigelse af dybden på det planlagte og isatte implantat (Fig. 14).

I flere studier har man taget CBCT-scanninger før og efter implantatbehandling for at vurdere nøjagtigheden, hvilket dog kan være i strid med principperne om mindst mulig strålebelastning (ALARA) (30,31). I Danmark er dette ikke normal procedure, da CBCT-scanning, af hensyn til strålebelastning, kun bør foretages, hvis der ikke kan opnås tilstrækkelig information ved den kliniske undersøgelse, periapikale optagelser og/eller panoramarøntgenbilleder (31).

Nyere studier har anvendt metoder uden ioniserende stråling til vurdering af implantatpositionen (19,32). Pyo et al. har undersøgt, inddelt og beskrevet de forskellige metoder til at sammenligne nøjagtigheden mellem det virtuelt planlagte og det kliniske resultat (32). Studier har vist, at der ingen klinisk relevant forskel er mellem den radiografiske og nonradiografiske metode til at måle nøjagtigheden af implantater på (33,34).

Nøjagtigheden af sCAIS på partielt tandløse patienter er belyst af Tahmaseb et al. I et systematisk review med følgende gennemsnitlige standardafvigelser (mean $\pm$ SD: angular afvigelse på 3,5 grader (3,0 grader til 3,96 grader), koronal afvigelse på 1,20 mm (1,04 mm til 1,44 mm) og apikal afvigelse på 1,40 (1,28 mm til 1,58 mm) (35).

Younes et al. har i et randomiseret klinisk studie undersøgt nøjagtigheden ved fuldt guidet sCAIS, delvist guidet sCAIS til pilotudboring og ved frihåndsimplantatkirurgi. Studiet viste, at man opnår størst nøjagtighed ved fuldt guidet sCAIS efterfulgt af delvist guidet sCAIS med pilotudboring, og metoden med lavest nøjagtighed er frihåndsimplantatkirurgi. Ved frihåndsimplantatkirurgi er angivet gennemsnitlige afvigelser med standardfejl (mean $\pm$ SE): en angulær afvigelse på 6,99 grader $\pm$ 0,87 grader, koronal afvigelse på 1,45 mm $\pm$ 0,10 mm, apikal afvigelse på 2,11 mm $\pm$ 0,18 mm og en dybdeafvigelse på 0,53 mm $\pm$ 0,09 mm. Ved pilotguidet sCAIS er der angivet følgende: en angulær afvigelse på 5,95 grader $\pm$ 0,87 grader, koronal afvigelse på 1,12 mm $\pm$ 0,10 mm, apikal afvigelse på 1,43 mm $\pm$ 0,18 mm og dybdeafvigelse på 0,68 mm $\pm$ 0,09 mm. Ved fuldt sCAIS er der angivet følgende: en angulær afvigelse på 2,30 grader $\pm$ 0,92 mm, koronal afvigelse på 0,73 mm $\pm$ 0,10 mm, apikal afvigelse på 0,97 mm $\pm$ 0,18 mm og en dybdeafvigelse på 0,43 mm $\pm$ 0,09 mm (27).

Derudover har et andet randomiseret klinisk studie sammenlignet nøjagtigheden af implantatpositionen mellem fuldt sCAIS og frihåndsimplantatkirurgi. Medianafvigelserne ved sCAIS er angivet med en angulær afvigelse på 2,8 grader (2,6 grader), koronal afvigelse på 0,9 mm (0,8 mm) og apikal afvigelse på 1,2 mm (0,9 mm). Ved frihåndsimplantatkirurgi er medianafvigelserne med en angulær afvigelse på 7,0 grader (7,0 grader), koronal afvigelse på 1,3 mm (0,7 mm) og apikal afvigelse på 2,2 mm (1,2 mm). sCAIS var karakteriseret ved signifikant større nøjagtighed end frihåndsimplantatkirurgi, men på den anden side viste studiet lavere primær stabilitet ved sCAIS på patienter med partielt tandtab (36).

DISKUSSION

Det er vigtigt at være opmærksom på potentielle begrænsninger og fejlkilder ved sCAIS. Fejlkilder kan optræde under optagelserne af CBCT- og intraoral scanning og under databehandlingen fra softwareplanlægning til konvertering, segmentering, volumengengivelse og manuel fjernelse af artefakter samt overførsel af data. Nøjagtigheden er essentielt for sCAIS, og denne er især afhængig af korrekt dataregistrering ved de digitale scanninger samt korrekt fusionering af CBCT- og intraoral scanning (1,5,13).

Desuden arbejder man ved sCAIS med en sikkerhedsmargin på 2 mm omkring kritiske strukturer. På den måde tages forbehold for de mulige fejlkilder i proceduren (35). Tilsvarende arbejdes der også med en sikkerhedsmargin på 2 mm omkring

kritiske strukturer ved frihåndsimplantatkirurgi på baggrund af traditionelle 2D-røntgenbilleder (39). Dette understreger, at man skal bevare en konservativ tilgang til implantatplanlægning, uanset hvilken teknologi der anvendes.

Der er øget planlægningstid i forbindelse med fremstilling af en guideskinne, og man skal tilegne sig ny viden om hardware, softwareprogrammer, borkassetter og CBCT- og intraoralscannere (5). Man kan vælge at fremstille skinnerne in-house, hvilket kræver investering i en printer, der kan fremstille skinnerne, og i softwareprogrammer. Derved påtager man sig et ansvar som producent af medicinsk udstyr og skal derfor overholde MDR-regulativer. Alternativt kan man selv tilrettelægge den virtuelle behandlingsplanlægning og få skinnen fremstillet i et dentallaboratorium.

Flere implantatsystemer tilbyder endvidere systematisk assistance til behandlingsplanlægningen, hvor – oftest – en ingeniør på baggrund af CBCT og intraoral scanning fremkommer med oplæg til en behandlingsplan, der herefter skal godkendes af en fagprofessionel (5). Derved inddrages flere i behandlingsplanlægningen, hvilket potentielt kan være til gavn for patientens endelige resultat.

Termen ”protetisk drevet” refererer til, at man tager udgangspunkt i den endelige udformning af den protetiske løsning, så implantatet bliver optimalt placeret med hensyn til funktion og æstetik (40). Overvejelser om, hvorvidt implantatet skal indsættes let vinklet og udnytte den eksisterende knogle versus at placere implantatet fuldstændig protetisk drevet med knogleopbygning, er et af de dilemmaer, der kan visualiseres og overvejes ved planlægningen af sCAIS. Hvorvidt implantatet skal placeres protetisk drevet, eller der vælges et kompromis, bør vurderes under hensyntagen til den enkelte patients anatomi, funktion, forventninger og behov.

For implantater, der indsættes med frihåndsimplantatkirurgi, kan det være svært at vurdere nøjagtigheden, da der ikke er nogen forudbestemt implantatposition tilgængelig. Derfor er tilgængeligheden af studier, der viser nøjagtigheden ved frihåndsimplantatkirurgi, begrænset (35).

KONKLUSION

Samlet set er sCAIS en metode, der øger nøjagtigheden af implantatbehandling. I forhold til frihåndsimplantatkirurgi indebærer processen flere trin i den præoperative planlægning, herunder CBCT-scanning, intraoral scanning, virtuel planlægning og fremstilling af en guideskinne. ♦ ▶

ABSTRACT (ENGLISH)

STATIC COMPUTER-ASSISTED IMPLANT SURGERY

The accurate placement of implants can reduce surgical complications and optimise both functional and prosthetic outcomes. With static computer-assisted implant surgery (sCAIS), a guide stent can be fabricated based on cone-beam computed tomography (CBCT), intraoral scanning, and computer software programmes. This guide can rest on teeth, mucosa, or bone. This technology enables preoperative

planning, allowing for the virtual placement of implants. Thus, sCAIS aims to position implants in accordance with the virtually planned position.

Despite the advantages of the method, there may be challenges associated with it. Hence, this article will focus on the clinical and technological aspects, including its benefits, limitations, and indications for patients with partial edentulism.

LITTERATUR

1. Chackartchi T, Romanos GE, Parkanyi L et al. Reducing errors in guided implant surgery to optimize treatment outcomes. *Periodontol* 2000 2022;88:64-72.
2. Kalaivani G, Balaji VR, Manikandan D et al. Expectation and reality of guided implant surgery protocol using computer-assisted static and dynamic navigation system at present scenario: evidence-based literature review. *J Indian Soc Periodontol* 2020;24:398-408.
3. Jaemsuwan S, Arunjarosuk S, Kaboosaya B et al. Comparison of the accuracy of implant position among freehand implant placement, static and dynamic computer-assisted implant surgery in fully edentulous patients: a non-randomized prospective study. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2023;52:264-71.
4. Chen P, Nikoyan L. Guided implant surgery: a technique whose time has come. *Dent Clin North Am* 2021;65:67-80.
5. Sindhusa BV, Rajasekar A. A short review on guided implant surgery and its efficiency. *Bioinformation* 2022;18:764-7.
6. Block MS, Emery RW. Static or dynamic navigation for implant placement-choosing the method of guidance. *J Oral Maxillofac Surg* 2016;74:269-77.
7. Kernen F, Kramer J, Wanner L et al. A review of virtual planning software for guided implant surgery – data import and visualization, drill guide design and manufacturing. *BMC Oral Health* 2020;20:251.
8. Longoni S, Sartori M, Braun M et al. Lingual vascular canals of the mandible: the risk of bleeding complications during implant procedures. *Implant Dent* 2007;16:131-8.
9. Peñarrocha-Diago M, Balaguer-Martí JC, Peñarrocha-Oltra D et al. Floor of the mouth hemorrhage subsequent to dental implant placement in the anterior mandible. *Clin Cosmet Investig Dent* 2019;11:235-42.
10. Mijiritsky E, Ben Zaken H, Shacham M et al. Variety of surgical guides and protocols for bone reduction prior to implant placement: a narrative review. *Int J Environ Res Public Health* 2021;18:2341.
11. Kihara H, Hatakeyama W, Komine F et al. Accuracy and practicality of intraoral scanner in dentistry: a literature review. *J Prosthodont Res* 2020;64:109-13.
12. Vercruyssen M, Laleman I, Jacobs R et al. Computer-supported implant planning and guided surgery: a narrative review. *Clin Oral Implants Res* 2015;26 (Suppl 11):69-76.
13. Cassetta M, Di Mambro A, Giannanti M et al. The intrinsic error of a stereolithographic surgical template in implant guided surgery. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2013;42:264-75.
14. Flügge T, Derksen W, Te Poel J et al. Registration of cone beam computed tomography data and intraoral surface scans – a prerequisite for guided implant surgery with CAD/CAM drilling guides. *Clin Oral Implants Res* 2017;28:1113-8.
15. Kim JE, Park YB, Shim JS et al. The impact of metal artifacts within cone beam computed tomography data on the accuracy of computer-based implant surgery: an in vitro study. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2019;34:585-94.
16. Hamilton A, Jamjoom F, Doliveux S et al. Radiographic markers for merging virtual data sets. *J Prosthet Dent* 2019;122:5-9.
17. Preda F, Nogueira-Reis F, Stanciu EM et al. Validation of automated registration of intraoral scan onto cone beam computed tomography for an efficient digital dental workflow. *J Dent* 2024;149:105282.
18. Schnutenhaus S, Gröller S, Luthardt RG et al. Accuracy of the match between cone beam computed tomography and model scan data in template-guided implant planning: a prospective controlled clinical study. *Clin Implant Dent Relat Res* 2018;20:541-9.
19. Nulty A. A literature review on prosthetically designed guided implant placement and the factors influencing dental implant success. *Br Dent J* 2024;236:169-80.
20. Shi Y, Wang J, Ma C et al. A systematic review of the accuracy of digital surgical guides for dental implantation. *Int J Implant Dent* 2023;9:38.
21. Oh KC, Shim JS, Park JM. In vitro comparison between metal sleeve-free and metal sleeve-incorporated 3D-printed computer-assisted implant surgical guides. *Materials (Basel)* 2021;14:615.
22. Tallarico M, Czajkowska M, Cicciù M et al. Accuracy of surgical templates with and without metallic sleeves in case of partial arch restorations: a systematic review. *J Dent* 2021;115:103852.
23. Mora MA, Chenin DL, Arce RM. Software tools and surgical guides in dental-implant-guided surgery. *Dent Clin North Am* 2014;58:597-626.
24. Becker W, Goldstein M, Becker BE et al. Minimally invasive flapless implant surgery: a prospective multicenter study. *Clin Implant Dent Relat Res* 2005;7 (Suppl 1):S21-7.
25. Yogui FC, Verri FR, de Luna Gomes JM et al. Comparison between computer-guided and freehand dental implant placement surgery: a systematic review and meta-analysis. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2021;50:242-50.
26. Lemos CAA, Verri FR, Cruz RS et al. Comparison between flapless and open-flap implant placement: a systematic review and meta-analysis. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2020;49:1220-31.
27. Younes F, Cosyn J, De Bruyckere T et al. A randomized controlled study on the accuracy of freehanded, pilot-drill guided and fully guided implant surgery in partially edentulous patients. *J Clin Periodontol* 2018;45:721-32.

28. dos Santos PL, Queiroz TP, Margonar R et al. Evaluation of bone heating, drill deformation, and drill roughness after implant osteotomy: guided surgery and classic drilling procedure. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2014;29:51-8.
29. Van Assche N, Quirynen M. Tolerance within a surgical guide. *Clin Oral Implants Res* 2010;21:455-8.
30. Fang Y, An X, Jeong SM et al. Accuracy of computer-guided implant placement in anterior regions. *J Prosthet Dent* 2019;121:836-42.
31. Matzen LH, Spin-Neto R, Kruse C et al. Cone Beam CT-undersøgelse i tandlægepraksis. *Tandlægebladet* 2024;128:300-9.
32. Pyo SW, Lim YJ, Koo KT et al. Methods used to assess the 3D accuracy of dental implant positions in computer-guided implant placement: a review. *J Clin Med* 2019;8:54.
33. Skjervén H, Olsen-Bergem H, Rønold HJ et al. Comparison of postoperative intraoral scan versus cone beam computerised tomography to measure accuracy of guided implant placement – a prospective clinical study. *Clin Oral Implants Res* 2019;30:531-41.
34. Tang T, Liao L, Huang Z et al. Accuracy of the evaluation of implant position using a completely digital registration method compared with a radiographic method. *J Prosthet Dent* 2019;122:537-42.
35. Tahmaseb A, Wu V, Wismeijer D et al. The accuracy of static computer-aided implant surgery: a systematic review and meta-analysis. *Clin Oral Implants Res* 2018;29 (Suppl 16):416-35.
36. Smitkarn P, Subbalekha K, Mattheos N et al. The accuracy of single-tooth implants placed using fully digital-guided surgery and freehand implant surgery. *J Clin Periodontol* 2019;46:949-57.