

Här inleds den tredje och sista delen i den nordiska artikelserien med temat keramer, som startade i Tandläkartidningen nummer 1/2019.



Översikt. Del av den nordiska artikelserien Keramer. Godkänd för publicering den 22 maj 2018. Artikeln är översatt från engelska av Cecilia Hallström, Köpenhamn, Danmark.

Kliniska resultat av behandling med keramer

Överlevnaden för keramiska tandersättningar är god och jämförbar med metallkeramik. Vanligaste komplikationen hos kronor är frakturer av den marginala kronskarven, medan det hos broar är frakturer i konnektorerna. God kännedom om faktorer som påverkar överlevnad och komplikationer hos olika material och ersättningar är avgörande vid planeringen av protetiska rehabiliteringar.

Det finns ett överflöd av keramiska material för kliniker att välja bland, men begränsad vetenskaplig evidens för vilket material som är bäst i det specifika fallet. Det har varit en stadig ökning i antalet kliniska prövningar av keramiska material, men än så länge finns få randomiserade kliniska prövningar, vilka anses ha högst evidens.

Stora skillnader i studiepopulation, använda metoder, kriterier för lyckande och överlevnad samt uppföljningstid bland de olika prospektiva och retrospektiva kliniska prövningarna gör det svårt att jämföra olika material och behandlingsalternativ. Denna artikel granskar aktuell klinisk evidens för olika behandlingsmöjligheter med keramiska material. Vidare görs en analys av förekommande misslyckanden och orsakerna till dessa diskuterar.

När man bedömer graden av kliniskt lyckande behöver man ta hänsyn till ett flertal kriterier. De flesta kliniska prövningar rapporterar graden av överlevnad men utan vidare upplysningar om vad som betraktas som "överlevnad" [1]. Överlevnad kan således betyda allt från "inga problem alls" till att rekonstruktionen "fortfarande är på plats" (figur 1). Enligt Tan et al [2] är en överlevd rekon-



Författare

Ritva Näpänkangas (bild), docent, DDS, PhD, Research unit of oral health sciences, Faculty of medicine, University of Oulu, Finland.

E-post: ritva.napankangas@oulu.fi

Christel Larsson, docent, DDS, PhD, Avd för materialvetenskap och teknologi, Odontologiska fakulteten, Malmö universitet, Sverige.

Marit Øilo, docent, DDS, PhD, Institutt for klinisk odontologi, Det medisinsk-odontologiske fakultet, Universitetet i Bergen, Norge.

struktion fortfarande i funktion vid uppföljnings-tillfället, med eller utan reversibla komplikationer. Däremot är lyckande en term som används för "en rekonstruktion utan komplikationer under observationsperioden" [2]. Patienttilfredsställelse inkluderas förvånansvärt sällan i utvärderingarna.

Det finns skäl att tro att behandlingar utförda i allmänpraxis uppvisar lägre lyckandefrekvens än vad som vanligtvis rapporteras i kliniska prövningar, då specialister med gott om tid har utfört behandlingarna.

ÖVERLEVNAD OCH LYCKANDEFREKVENNS Tandstödda singelkronor

Flera systematiska översikter har utvärderat lyckande och överlevnad hos keramiska singelkronor [3–5], men få studier har längre än fem års uppföljning. Vid bedömning av lyckande och överlevnad hos olika material och rekonstruktionstyper måste man ta hänsyn till att behandlingarna ofta är utförda på olika indikationer och under olika förhållanden.

En del översikter inkluderar metaanalyser, där alla individuella data från var och en av de inkluderade studierna är tillräckligt lika för att kunna slås samman som i en studie, för att därigenom öka styrkan i den statistiska analysen. Metaanalyserna har visat likvärdig överlevnad för keramiska och metallkeramiska kronor med en femårsöverlevnad på 94 procent [5]. Metallkeramik betraktas fortfarande som "golden standard" avseende det kliniska evidensläget. Det förefaller vara mer sannolikt att posteriora keramiska kronor misslyckas än kronor i fronten [5].

Skalfasader och adhesivt cementerade porslinskronor

Användandet av skalliknande adhesivt cementerade porslinskronor och skalfasader är väl dokumenterat i flera studier [6, 7]. Överlevnaden är hög, runt 90 procent efter 5–10 år och komplikationerna är få.

Den vanligaste komplikationen är frakturer (4 procent), följt av lossnade konstruktioner (2 procent) och sekundärkaries (1 procent). Fler komplikationer förekommer när preparationsgränsen sträcker sig utanför emaljen eller när cementeringen görs utan tillräcklig kontroll av fuktigheten.

Ersättningsarna som utvärderats i dessa studier är oftast lokaliserade i fronten och på tänder som har måttliga, eller inga, skador, vilket signifikant underlättar underhållet och möjligheterna för lyckande och överlevnad. Porslin används i tvåskiktsskeram och metallkeramik samt i estetiska fasader och skalkronor, då glaskeram och zirkonia inte uppfyller kraven för optimal estetik.

Inlägg och onlays

Överlevnad och lyckande för inlägg och onlays har undersökts i flera studier [8]. Den samlade tioårsöverlevnaden är omkring 90 procent.

Emellertid är det stora skillnader i inklusions- och exklusionskriterierna i de olika studierna, omfattande allt från MOD-inlägg till onlays som är så stora att de snarare är ¾-kronor och så kallade "table top"-onlays som används i kraftigt nerslitna bett. Tidiga studier på "chair side"-tillverkade inlägg visar en relativt hög förekomst av komplikationer i form av marginal chipping, missfärgning och sekundärkaries [9].

Intraoral skanning och CAD/CAM-tillverkning har emellertid förbättrats avsevärt sedan introduktionen på 1990-talet och lyckandegraden har naturligtvis förbättrats som en konsekvens av det. Frakturer är den vanligast förekommande komplikationen (4 procent) följt av endodontiska komplikationer (3 procent), sekundärkaries (1 procent) och lossnade rekonstruktioner (1 procent) [8].

Glaskeramiska kronor

Litiumdisilikatförstärkta (LiO₂) glaskeramkronor är bland de bäst dokumenterade behandlingsalternativen för att restaurera tänder, mätt i antalet publicerade kliniska prövningar [10]. Baserat på en metaanalys av ett stort antal ersättningar var den uppskattade femårsöverlevnaden för glaskeramiska (leucit eller litiumdisilikatförstärkta) kronor 96,6 procent, medan glasinfiltrerade aluminiumoxidkronor hade en femårsöverlevnad på 94,6 procent.

Lyckandet på lång sikt är emellertid mindre säkert eftersom få studier har en uppföljningstid längre än fem år. Återigen måste man beakta att informationen om de restaurerade tändernas utgångsstatus är begränsad och därmed är det svårt att jämföra överlevnadsgraden för varje enskilt fall.



Foto: Ritva Näpänkangas

Foto: Christel Larsson

Figur 1 a–b. Exempel på krona respektive bro som registrerats som "överlevnad" med små reversibla skador. a) Gingivit på grund av cementöverskott, svarta pilar. Skadan läkte efter inslipning och polering. Mindre incisal chipping som kunde putsas, vita pilar. b) Frakturer i ytporslinet hos en bro som fortsatt är i funktion, vita pilar visar begränsningslinjerna.

Zirkonia och aluminiumdioxid (polykristallin keram)

Under många år var aluminiumoxidkronor de mest använda keramiska tandersättningarna i Norden. Aluminiumoxidkronor har i studier visat sig ha en femårsöverlevnad på cirka 93 procent [3–5]. Utifrån personlig kommunikation och återkopplingar från tandtekniker är komplikationsförekomsten betydligt högre än den som rapporterats i vetenskapliga artiklar.

Såväl lossnade kronor som frakturer har varit en frekvent förekommande erfarenhet. Aluminiumoxid har under de senaste tio åren mer eller mindre fullständigt ersatts av zirkonia som förstahandsvalet för keramiska rekonstruktioner av tänder med måttlig till omfattande substansförlust och behov av ett hållfast material.

Relativt få prospektiva kliniska studier har utvärderat singelkronor i zirkonia, men färsk rapport indikerar en femårsöverlevnad på 96 procent, dock med en avsevärd förlust i överlevnad, 75–93 procent, under de följande två åren [11–14]. Två retrospektiva studier av upp till fem års produktionsdata från tandtekniska laboratorier uppvisar en frakturprevalens av 3,35 procent hos tvåskiktsskronor och 2,0 procent hos monolitiska tandersättningar [15–16].

Det är få studier av keramiska rekonstruktioner

"Patienttillfredsställelse inkluderas förvånansvärt sällan i utvärderingarna."

som i medeltal har en uppföljningstid av mer än fem år. Man ska hålla i minnet att förbättringen av de keramiska materialen gått snabbt under de senaste åren och att resultaten i långtidsuppföljningar kan innehålla gamla material. Än så länge finns det ingen klinisk dokumentation längre än ett år av hur de nyligen introducerade translucenta eller högranslucenta zirkoniamaterialen (kubisk/anterior) fungerar kliniskt.

Tandstödda broar

Två nya systematiska översikter har tittat på överlevnaden hos tandstödda broar [17–18]. Ingen av dem finner någon signifikant skillnad mellan keramik och metallkeramik efter fem års uppföljning.

Den beräknade överlevnaden för förstärkt glaskeramik var 89,1 procent, för glasinfiltrerad aluminiumoxid 86,2 procent och för zirkonia ungefär 91 procent.

Överlevnaden för broar i metallkeramik var 94,4 procent efter fem år. Vad gäller uppföljningar av zirkonia under längre tid (7–10 år) har studier av broar publicerats, och överlevnaden i dessa sträcker sig mellan 75 och 100 procent [12, 19–21]. Chipping av ytporslinet var den vanligast förekommande komplikationen i dessa tidiga studier.

Resinretinerade keramiska broar

Keramiska resinretinerade etsbroar har tidigare varit tämligen misslyckade. På senare tid har emellertid utvecklingen inom adhesiv retention till zirkonia visat lovande resultat. En studie av 188 etsbroar i zirkonia som ersatte saknade incisiver uppvisade en överlevnad på 98 procent efter tio år [22].

Av de 188 ersätningarna hade sex lossnat men alla kunde recementeras adhesivt med gott resultat. Det är viktigt att notera att i båda dessa studier har endast en ”vinge” använts för att retinera konstruktionen. Vidare följdes ett strikt protokoll för cementering i syfte att uppnå tillräcklig bonding.

Studier av keramiska etsbroar med två retentionsvingar har signifikant lägre lyckandefrekvens eftersom de frakturerar och lossnar oftare än de med en vinge [23]. Emellertid är antalet publikationer väldigt litet och fler resultat bör inväntas.

Implantatstödda singelkronor

En överlevnad på 97,1–100 procent efter tre till fem år har rapporterats för keramiska kronor på implantat [14, 24, 25]. Både implantatstödda monolitiska singelkronor i litiumdisilikat och monolitiska zirkoniakronor har studerats. Även om överlevnaden var hög i alla studier var lyckandefrekvensen

signifikant lägre (87,5–91,7 procent), vilket indikerar att det förekommit komplikationer under uppföljningstiden.

Implantatstödda broar

Femårsöverlevnaden för implantatstödda zirkoniabaserade broar har i två studier avseende skiktade [18] och monolitiska [24] ersättningar rapporterats vara 100 procent. Antalet patienter i studierna var emellertid lågt och resultaten måste betraktas med försiktighet.

BIOLOGISKA KOMPLIKATIONER

Tandstödda rekonstruktioner

Som nämnts ovan, är lyckande och överlevnad av keramiska ersättningar god. Biologiska komplikationer är ovanliga och överskrider sällan 2 procent under fem års uppföljning [3, 4, 17, 27]. Emellertid är de tidiga komplikationerna hos keramiska ersättningar oftare biologiska än tekniska och kan relateras till marginala cementöverskott [28].

De biologiska komplikationerna förefaller vara oberoende av rekonstruktionstyp och material [3, 4, 27]. Glasinfiltrerade aluminiumoxidkronor har i några studier visat sig ha högre kariesincidens, men keramiska kronor i allmänhet fungerar bättre än kronor i metallkeramik, sett ur ett biologiskt perspektiv [3]. En annan studie visade en signifikant högre förekomst av parodontal sjukdom hos patienter med broar i glasinfiltrerad aluminiumoxid eller glaskeramik jämfört med dem som hade broar i metallkeramik [17]. Dessutom fanns en signifikant högre prevalens av karies kring zirkoniabroarna jämfört med dem i metallkeramik. Författarna diskuterar inte skillnaderna i förekomsten av parodontal sjukdom, men förklarar skillnaderna i kariesförekomst genom att föreslå en koppling mellan förekomst av karies och ersätningens passform, vilken inte var optimal i början på grund av begränsningar i tidiga framställningsmetoders precision.

En del biologiska komplikationer förknippade med keramiska broar kan vara associerade med den ökade dimension av konnektorerna som är nödvändig på grund av materialets hållfasthet. Det därmed minskade utrymmet för approximal rengöring medför en ökad risk för plackorsakade sjukdomar. Dessutom kan den skiktade design som ännu föredras i fronten resultera i en lätt överkonturering av ersätningarna, vilket ytterligare försvårar plackkontrollen.

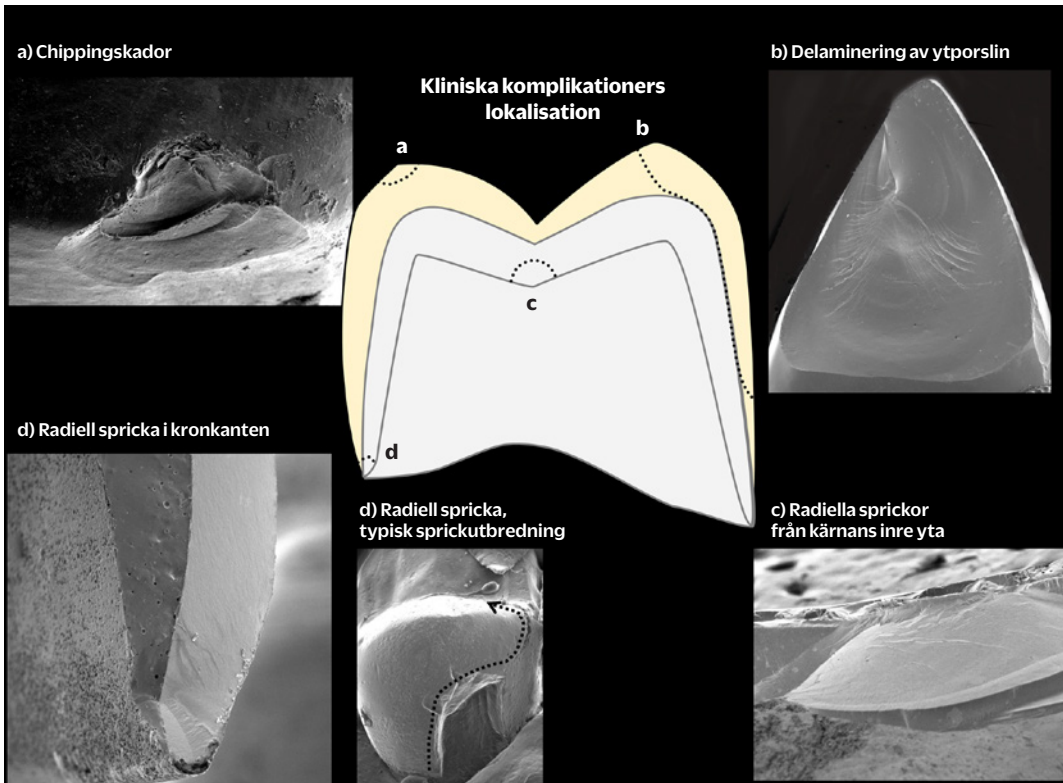
Implantatstödda rekonstruktioner

Tillgången på information från kliniska prövningar av implantatstödda keramiska ersättningar är knapp. Typen av material förefaller inte påverka implantat- eller konstruktionsöverlevnaden och inte heller förekomsten av komplikationer [29]. Andra litteraturöversikter inriktar sig huvudsakligen på zirkoniabaserade tandersättningar [14, 18]. Precis

”Biologiska komplikationer är ovanliga och överskrider sällan 2 procent under fem års uppföljning.”



Foto: Marit Øilo



Figur II a–d. Olika typer av kliniska frakturer.
a) Chipping.
b) Delaminering av ytkeram.
c) Spricka som utgår från kronans inneryta.
d) Sprickor som utgår från kronskarv.

som för de tandstödda ersättningarna är biologiska komplikationer sällsynta.

Kring singelkronor har en del blödning vid sondering noterats [14], men inga biologiska komplikationer noterades vid broar [18]. Keram är också ett populärt material i implantatdistanser. Huruvida keramiska distanser påverkar förekomsten av biologiska komplikationer är okänt. En översikt som jämförde metall- och keramdistanser fann lägre förekomst av biologiska komplikationer kring keramiska distanser men skillnaden var inte statistiskt signifikant [30].

Iakttagelsen att biologiska komplikationer är sällsynta är uppmuntrande. Keramiska material har visat sig ackumulera mindre plack och plack med lägre vitalitet jämfört med andra rekonstruktionsmaterial, men den kliniska betydelsen är osäker [31, 32]. Biologiska komplikationer inkluderar en rad sjukdomar, till exempel karies, parodontit och pulpaskador, vilka har ett multifaktoriellt orsakssamband, oftast påverkade av patientrelaterade faktorer och mindre av faktorer såsom typen av material i protetiska ersättningar.

Ingen av litteraturoversikterna nämner biverkningar av dentala material. Keramiska material uppvisar excellent biokompatibilitet i jämförelse med de flesta metaller [33]. Men även om prevalensen av metallallergier är relativt hög i befolk-

ningen är kliniska manifestationer ovanliga och den potentiella risken ska inte överdrivas [34, 35]. För det lilla antalet patienter med känd överkänslighet mot metaller kan keramiska material, titan och titanlegeringar vara fördelaktiga.

TEKNISKA KOMPLIKATIONER

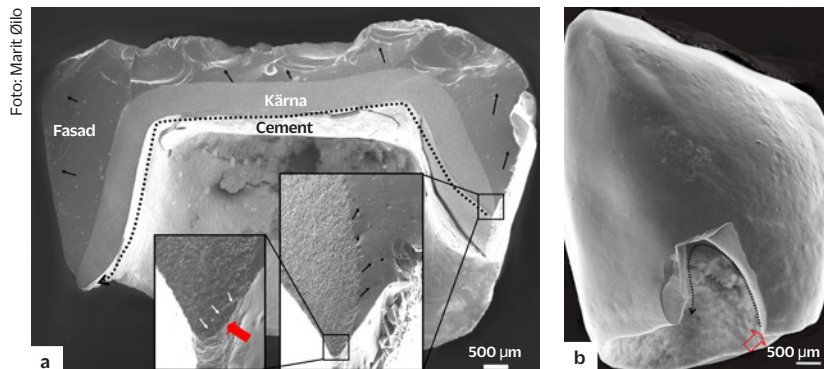
Såsom diskuterats ovan, förekommer relativt få tekniska misslyckanden i de flesta publicerade kliniska studier. Frakturer kvarstår som den vanligaste tekniska komplikationen och svarar för mellan 0,5 och upp till nästan 6 procent årlig komplikationsfrekvens i olika studier, beroende på typ av fraktur och rekonstruktion (singel eller bro respektive tand- eller implantatstött konstruktion) [3, 17].

Det finns i huvudsak två typer av frakturer; fraktur i fasadmaterialet (chipping) och fraktur av kärnan (totala eller katastrofala frakturer). Dessa två kan i sin tur delas in i fyra former av frakturer, beroende på lokalisering och svårighetsgrad (figur II). Det är emellertid osäkert huruvida lyckandefrekvensen är lika god i allmänpraxis. Baserat på kommunikation med allmäntandläkare och tandtekniker fortsätter frakturer att vara ett kliniskt problem.

Ett stort brittiskt register av omgörningsfrekvensen och överlevnaden hos dentala tandersättningar utförda inom allmäntandvården visar att keramiska kronor har kortare klinisk funktionstid jämfört med

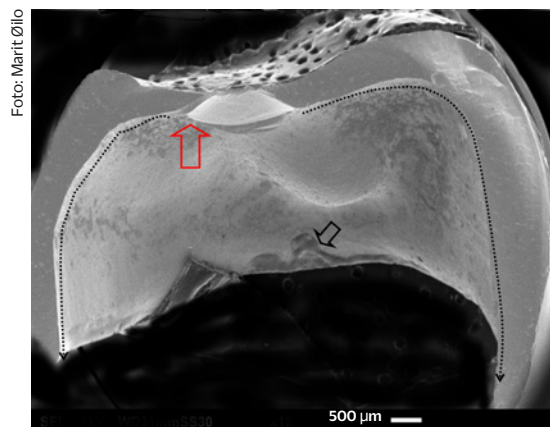
”Frakturer ... svarar för mellan 0,5 och upp till nästan 6 procent årlig komplikationsfrekvens ...”

”Analyser av totalfrakturer hos kronor tillverkade i moderna keramer visar att skadan oftast har sitt ursprung från sprickor i den cervikala kanten ...”

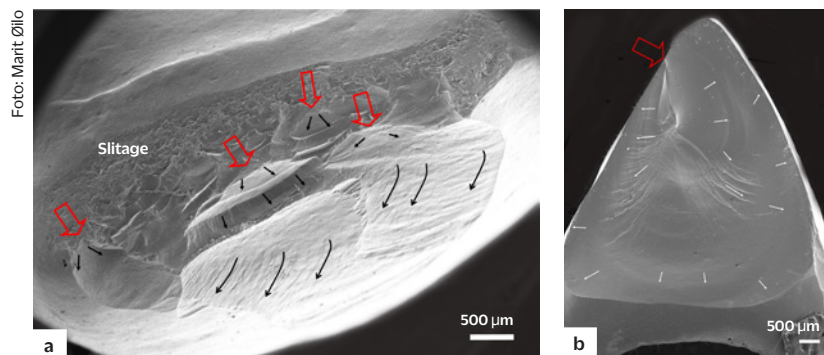


Figur III a–b.

a) Ett typiskt frakturmönster i gränssnittet mellan kärna och ytkeram. Frakturen startar i cervikala delen, kronskarven, propagerar genom kronan mot ocklusalytan och delar kronan i två delar. Röd pil pekar på sprickans startpunkt.
b) Ett typiskt frakturmönster för monolitiska fullanatomikronor. En mindre halvcirkelformad del har lossnat från kronskarven. Röd pil pekar på sprickans startpunkt.



Figur IV.
Monolitisk zirkonokrona som frakturerat i två delar. Frakturursprung (röd pil) är vid den ocklusala innerytan.



Figur V a–b.

Typiska chipping- (a) och delamineringsfrakturer (b). Båda förefaller orsakade av slitage och undermåligt understöd för ytkeramen.

metallkeramik [36]. Den exakta orsaken är inte uppenbar, grundat på registrets uppgifter, men frakturer anses vara den i huvudsak bidragande faktorn.

Lossnade kronor är den andra betydande tekniska komplikationen, med en årlig förekomst av mellan 0,11 och 1 procent i olika undersökningar [3, 17]. Avsaknaden av parodontala receptorer runt implantat kan troligen förklara den höga förekomsten av tekniska komplikationer (framför allt chip off-frakturer) hos implantatkonstruktioner, eftersom försämrade tuggprecision leder till ett högre tuggtryck än hos naturliga tänder. Dessutom har implantatkonstruktioner ofta långa kliniska kronor jämfört med tandstödda broar, vilket skapar ogynnsamma kraftvektorer.

De flesta artiklar som innehåller systematiska fraktografiska analyser av frakturer i tandkronor som havererat i klinisk praxis är fallrapporter eller fallserier. Att samla in kronor med komplikationer i form av chipping är svårt, utan att förstöra de kvarvarande ersättningarna. Dessutom justeras de ”chippade” kronorna oftast *in situ* i stället för att bli ersatta, åtminstone så länge inte funktion eller estetik är allvarligt reducerade. Kronor med haverierna lokaliserade till kärnan är lättare att samla in, och ett relativt stort antal fall har identifierats av flera författare [37–45].

Det förhållande antagandet har varit att keramiska kronor havererar på grund av skador i ocklusionskontakterna. Emellertid visar analyser av totalfrakturer hos kronor tillverkade i moderna keramer att skadan oftast har sitt ursprung från sprickor i den cervikala kanten, och då vanligtvis approximalt eller palatinalt (figur III). En del kronor frakturerar på grund av inre radiella sprickor, som ibland refereras till som kärnsprickor, belägna i området som svarar mot den ocklusala belastningen (figur IV).

Å andra sidan tycks chipping (figur V) ha sitt ursprung i dåligt understöd av ytporlinet, traumatisk ocklusion, felaktig ocklusal inslipning, defekter eller porer i ytporlinet eller oavsiktlig bitning på hårda föremål [46–48]. Chipping är vanligare på implantatstödda än tandstödda konstruktioner. Dessutom har frakturer av zirkoniadistanser observerats, men det är osäkert hur vanligt det är (figur VI).

Emellertid är antalet ersättningar som analyserats med standardiserad fraktografi än så länge inte stort nog för att man ska kunna dra några definitiva slutsatser om orsakssambandet avseende kliniska frakturer i sin helhet. De analyserade ersättningarna varierar avsevärt i storlek, form och typ av material. Frakturen kan bero på många saker, till exempel nötning, slipning, brister i materialet, kvarstående spänning, tunna marginala kanter, bearbetnings-sprickor eller en kombination av två eller flera av dessa faktorer [49].

Brokonstruktioner, däremot, frakturerar oftast i konnektorumrådet mellan två led. De få publikationer som avhandlat detta visar att konnektorena



i de frakturerade ersättningarna ofta är dåligt konstruerade med skarpa vinklar och asymmetrisk form samt är klenare än vad som rekommenderas. Dessutom förekommer ofta spår efter slipning som orsakat sprickor i materialet (figur VII). Baserat på befintliga publikationer, kan man konstatera att kronskarvsfrakturer är en vanlig orsak till kärnfrakturer hos kronor. Broar frakturerar på grund av klena dimensionerade konnektorer. Traumatisk ocklusion eller dåligt inslipad ocklusion är vanliga orsaker till chipping.

I vetenskapliga publikationer inkluderas sällan orsaken till att kronor lossnar, olyckligtvis. Det finns många möjliga anledningar till att en krona lossnar; dålig retentionsform på stödtand, för tjock cementfog, felaktig cementhantering, föroreningar av ytorna eller att adhesionen är dålig mellan cement och konstruktion/tand. Alla dessa faktorer kan samverka hos keramiska kronor. Behovet av rundade kanter och preparationsgräns reducerar ytan som är tillgänglig för mekanisk retention. Dessutom pågår fortfarande en diskussion kring hur effektiv adhesiv bonding är till aluminiumoxid och zirkonia, även om Kern et al visar lovande kliniska resultat med sin metod att adhesivt cementera till zirkonia [50].

KONKLUSION

Trots det faktum att de i dag tillgängliga keramiska materialen är starkare och mer mångsidiga än någonsin tidigare, förekommer kliniska misslyckanden. Även om förekomsten av biologiska komplikationer är sällsynta jämfört med hos metallkeramiska konstruktioner, förekommer tekniska komplikationer i lika hög eller högre grad som hos metallkeramiska ersättningar.

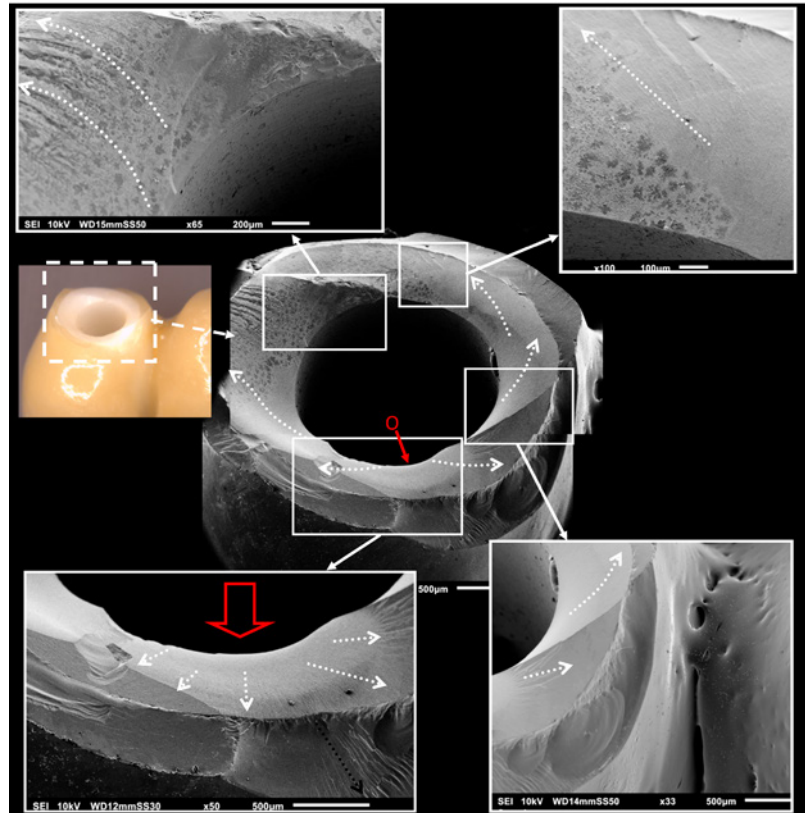
Att välja rätt material för varje enskilt fall och korrekt handhavande av materialen är avgörande och kan reducera antalet komplikationer.

ENGLISH SUMMARY

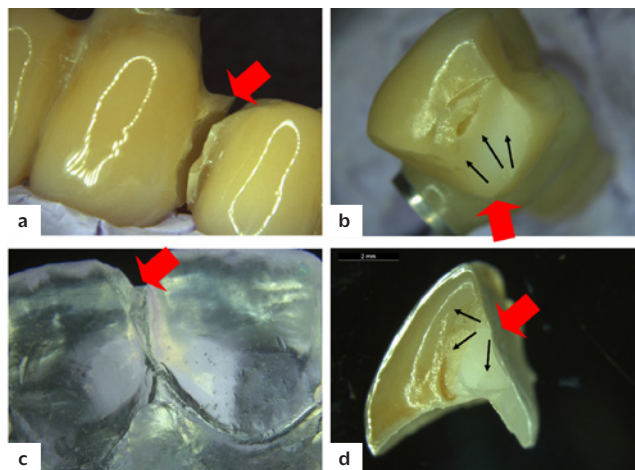
Clinical outcomes of ceramic restorations
Ritva Näpänkangas, Christel Larsson and Marit Øilo
Tandläkartidningen 2019; 111 (3): 56–62

This paper addresses the available recent clinical evidence for different treatment possibilities with ceramic materials. Furthermore, an analysis of the failures that occur and the reasons for these are discussed. The paper focuses on single and multi-unit restorations (fixed dental prostheses, FDPs) supported on teeth or implants.

The survival of ceramic restorations is favourable and comparable with metal ceramic ones. Biological complications are rare. The cause-effect relationship is multifactorial and mostly influenced by host-related factors rather than by the type of restorative material. Fractures are the main technical complications, with margin fractures being the most common complication for crowns, and connector fractures for FDPs. ●



Figur VI. Frakturerad implantatstött krona där frakturen startar vid insidan av distansen (röd pil) på grund av starka böjkrafter.



Figur VII a–d. Brokonstruktioner frakturerar oftast i konnektorumrådet. Fraktografisk analys visar ofta en underdimensionerad konnektor med ofördelaktig design som orsakar spänningskoncentrationer vid smala delar. Flera fall har även visat skador efter beslipning av konnektorn under ytkeramen.
a) Implantatstött 4-ledsbro som frakturerat i konnektor (röd pil).
b) Kraftigt underdimensionerad konnektor.
c) Tandstött 3-ledsbro som frakturerat mellan stöd och konnektor (epoxy-modell efter avtryck av frakturen *in situ* innan bron avlägsnades).
d) Bristande konnektordesign, skarp kant gentemot incisala skäret leder till spänningskoncentration i området (röd pil).



Referenser

- Anusavice KJ. Standardizing failure, success, and survival decisions in clinical studies of ceramic and metal-ceramic fixed dental prostheses. *Dent Mater* 2012; 28: 102–11.
- Tan K, Pjetursson BE, Lang NP, Chan ES. A systematic review of the survival and complication rates of fixed partial dentures (FPDs) after an observation period of at least 5 years. *Clin Oral Implants Res* 2004; 15: 654–66.
- Sailer I, Makarov NA, Thoma DS, Zwahlen M, Pjetursson BE. All-ceramic or metal-ceramic tooth-supported fixed dental prostheses (FDPs)? A systematic review of the survival and complication rates. Part I: Single crowns (SCs). *Dent Mater* 2015; 31: 603–23.
- Aldegheshim A, Ioannidis G, Att W, Petridis H. Success and survival of various types of all-ceramic single crowns: a critical review and analysis of studies with a mean follow-up of 5 years or longer. *Int J Prosthodont* 2017; 30: 168–81.
- Kassardjian V, Varma S, Andiappan M, Creugers NH, Bartlett D. A systematic review and meta-analysis of the longevity of anterior and posterior all-ceramic crowns. *J Dent* 2016; 55: 1–6.
- Layton DM, Clarke M. A systematic review and meta-analysis of the survival of non-feldspathic porcelain veneers over 5 and 10 years. *Int J Prosthodont* 2013; 26: 111–24.
- Morimoto S, Albanesi RB, Sesma N, Özcan M, Braga MM. Main clinical outcomes of feldspathic porcelain and glass-ceramic laminate veneers: a systematic review and meta-analysis of survival and complication rates. *Int J Prosthodont* 2016; 29: 38–49.
- Morimoto S, Rebello de Sampaio FB, Braga MM, Sesma N, Özcan M. Survival rate of resin and ceramic inlays, onlays, and overlays: a systematic review and meta-analysis. *J Dent Res* 2016; 95: 985–94.
- Sjögren G, Bergman M, Molin M, Bessing C. A clinical examination of ceramic (Cerec) inlays. *Acta Odontol Scand* 1992; 50: 171–8.
- Pieger S, Salman A, Bidra AS. Clinical outcomes of lithium disilicate single crowns and partial fixed dental prostheses: a systematic review. *J Prosthet Dent* 2014; 112: 22–30.
- Näpänkangas R, Pihlaja J, Raustia A. Outcome of zirconia single crowns made by predoctoral dental students: a clinical retrospective study after 2 to 6 years of clinical service. *J Prosthet Dent* 2015 Apr; 113 (4): 289–94.
- Tartaglia GM, Sidoti E, Sforza C. Seven-year prospective clinical study on zirconia-based single crowns and fixed dental prostheses. *Clin Oral Invest* 2015; 19: 1137–45.
- Passia N, Stampf S, Strub JR, Kassardjian. Five-year results of a prospective randomised controlled clinical trial of posterior computer-aided design-computer-aided manufacturing ZrSiO₄-ceramic crowns. *J Oral Rehabil* 2013; 40: 609–17.
- Larsson C, Wennerberg A. The clinical success of zirconia-based crowns: a systematic review. *Int J Prosthodont* 2014; 27: 33–43.
- Abdulmajeed AA, Donovan TE, Cooper LF, Walter R, Sulaiman TA. Fracture of layered zirconia restorations at 5 years: a dental laboratory survey. *J Prosthet Dent* 2017; 118: 353–6.
- Sulaiman TA, Abdulmajeed AA, Donovan TE, Cooper LF, Walter R. Fracture rate of monolithic zirconia restorations up to 5 years: a dental laboratory survey. *J Prosthet Dent* 2016 Sep; 116 (3): 436–9.
- Pjetursson BE, Sailer I, Makarov NA, Zwahlen M, Thoma DS. All-ceramic or metal-ceramic tooth-supported fixed dental prostheses (FDPs)? A systematic review of the survival and complication rates. Part II: Multiple-unit FDPs. *Dent Mater* 2015; 31: 624–39.
- Le M, Papia E, Larsson C. The clinical success of tooth- and implant-supported zirconia-based fixed dental prostheses. A systematic review. *J Oral Rehabil* 2015; 42: 467–80.
- Häff A, Löf H, Gunne J, Sjögren G. A retrospective evaluation of zirconia fixed partial dentures in general practices: an up to 13-year study. *Dent Mater* 2015; 31: 162–70.
- Solá-Ruiz MF, Agustín-Panadero R, Fons-Font A, Labaig-Rueda C. A prospective evaluation of zirconia anterior partial fixed dental prostheses: Clinical results after seven years. *J Prosthet Dent* 2015; 113: 578–84.
- Rinke S, Wehle J, Schulz X, Bürgers R, Rödiger M. Prospective evaluation of posterior fixed zirconia dental prostheses: 10-year clinical results. *Int J Prosthodont* 2018; 31: 35–42.
- Kern M, Passia N, Sasse M, Yazigi C. Ten-year outcome of zirconia ceramic cantilever resin-bonded fixed dental prostheses and the influence of the reasons for missing incisors. *J Dent* 2017; 65: 51–5.
- Kern M, Sasse M. Ten-year survival of anterior all-ceramic resin-bonded fixed dental prostheses. *J Adhes Dent* 2011; 13: 407–10.
- Spitznagel FA, Horvath SD, Gierrthmehlen PC. Prosthetic protocols in implant-based oral rehabilitations: a systematic review on the clinical outcome of monolithic all-ceramic single- and multi-unit prostheses. *Eur J Oral Implantol* 2017; 10 Suppl 1: 89–99.
- Spies BC, Balmer M, Jung RE, Sailer I, Vach K, Kohal RJ. All-ceramic, bi-layered crowns supported by zirconia implants: Three-year results of a prospective multicenter study. *J Dent* 2017; 67: 58–65.
- Spies BC, Pieralli S, Vach K, Kohal RJ. CAD/CAM-fabricated ceramic implant-supported single crowns made from lithium disilicate: Final results of a 5-year prospective cohort study. *Clin Implant Dent Relat Res* 2017; 19 (5): 876–83.
- Araujo NS, Moda MD, Silva EA, Zavanelli AC, Mazarro JV, Pellizzer EP. Survival of all-ceramic restorations after a minimum follow-up of five years: a systematic review. *Quintessence Int* 2016; 47: 395–405.
- Pihlaja J, Näpänkangas R, Raustia A. Early complications and short-term failures of zirconia single crowns and partial fixed dental prostheses. *J Prosthet Dent* 2014 Oct; 112 (4): 778–83.
- Abou-Ayash S, Strasding M, Rücker G, Att W. Impact of prosthetic material on mid- and long-term outcome of dental implants supporting single crowns and fixed partial dentures: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Oral Implantol* 2017; 10 Suppl 1: 47–65.
- Sailer I, Philipp A, Zembic A, Pjetursson BE, Hammerle CHF, Zwahlen M. A systematic review of the performance of ceramic and metal implant abutments supporting fixed implant reconstructions. *Clin Oral Implants Res* 2009; 20 (suppl 4): 4–31.
- Hanh R, Weiger R, Netuschil L, Bruch M. Microbial accumulation and vitality on different restorative materials. *Dent Mater* 1993; 9: 312–6.
- Kawai K, Urano M. Adherence of plaque components to different restorative materials. *Oper Dent* 2001; 26: 396–400.
- Anusavice KJ, Phillips RW. Biocompatibility. In: Anusavice KJ, Shen C, Rawls HR, editors. *Phillips' science of dental materials*. 11th ed. St. Louis, Mo: Saunders; 2003 p. 111–47.
- Lygre H. Prosthodontic biomaterials and adverse reactions: a critical review of the clinical and research literature. *Acta Odontol Scand* 2002; 60: 1–9.
- Thyssen JP, Menne T. Metal allergy – a review on exposures, penetration, genetics, prevalence, and clinical implications. *Chem Res Toxicol* 2010; 23: 309–18.
- Burke F, Lucarotti P. Ten-year outcome of crowns placed within the general dental services in England and Wales. *J Dent* 2009; 37: 12–24.
- Scherrer S, Lohbauer U, Della Bona A et al. Adm guidance-ceramics: Guidance to the use of fractography in failure analysis of brittle materials. *Dent Mater* 2017; 33: 599–620.
- Pang Z, Chughtai A, Sailer I, Zhang Y. A fractographic study of clinically retrieved zirconia-ceramic and metal-ceramic fixed dental prostheses. *Dent Mater* 2015; 31: 1198–206.
- Du Q, Swain M, Zhao K. Fractographic analysis of anterior bilayered ceramic crowns that failed by veneer chipping. *Quintessence Int* 2014; 45: 369–76.
- Øilo M, Quinn G. Fracture origins in twenty-two dental alumina crowns. *J Mech Behav Biomed Mater* 2016; 53: 93–103.
- Kern M. Bonding to oxide ceramics – laboratory testing versus clinical outcome. *Dent Mater* 2015; 31: 8–14.
- all-ceramic crowns. *Eur J Oral Sci* 2014; 122: 245–50.
- Øilo M, Hardang A, Ulsund A, Gjerdet N. Fractographic features of glass-ceramic and zirconia-based dental restorations fractured during clinical function. *Eur J Oral Sci* 2014; 122: 238–44.
- Øilo M, Gjerdet N. Fractographic analysis of all-ceramic crowns: a study of 27 clinically-fractured crowns. *Dent Mater* 2013; 29: e78–e84.
- Quinn G, Hoffman K, Scherrer S et al. Fractographic analysis of broken dental restorations. *Fractography of glasses and ceramics VI*. *Ceram Trans* 2012; 230: 161–74.
- Lohbauer U, Amberger G, Quinn G.D, Scherrer S. Fractographic analysis of a dental zirconia framework: a case study on design issues. *J Mech Behav Biomed Mater* 2010; 3: 623–9.
- Aboushelib M, Salameh Z. Zirconia implant abutment fracture: Clinical case reports and precautions for use. *Int J Prosthodont* 2009; 22: 616–9.
- Taskonak B, Yan J, Mecholsky JJ Jr, Sertgöz A, Koçak A. Fractographic analysis of zirconia-based fixed partial dentures. *Dent Mater* 2008; 24: 1077–82.
- Moraguez O, Wiskott H, Scherrer S. Three- to nine-year survival estimates and fracture mechanisms of zirconia- and alumina-based restorations using standardized criteria to distinguish the severity of ceramic fractures. *Clin Oral Invest* 2015; 19: 2295–307.
- Pang Z, Chughtai A, Sailer I, Zhang Y. A fractographic study of clinically retrieved zirconia-ceramic and metal-ceramic fixed dental prostheses. *Dent Mater* 2015; 31: 1198–206.