

Anne Dybdal Hardang, Amanda Hembre Ulsund og Marit Øilo

Frakturer i helkeramiske restaureringer – årsak og forebygging

Studien belyser frakturanalyse som metode for å studere brudd i helkeramiske konstruksjoner og gi informasjon om frakturs start og forløp i keram. Seks kliniske, havarerte konstruksjoner ble analysert ved hjelp av optisk og SEM-mikroskopi. Sportegn i materialet ble benyttet til å identifisere startpunkt og frakturs forløp for samtlige konstruksjoner. Sportegenene som ble benyttet var: *wake hackle*, *arrest lines* og *gull wings*. Resultatene ble bekreftet ved SEM-mikroskopisk analyse som var viktig for å identifisere materialdefekter ved frakturstart. I samtlige av de studerte eksemplarer startet frakturen approksimale i cervikalområdet. Disse funnene og tidligere studier som omhandler tannens fleksibilitet, indikerer at strekkrefter i cervikalområdet kan være årsaken til at frakturer starter i dette området. Approksimalområdet ser ut til å være området som er mest utsatt. Den geometriske formen på kroneavslutningen er trolig svært viktig for sprekkinitering, men det er uklart hvilken form som er mest gunstig. Faktorer som kan hindre frakturstart diskuteres, slik som kjernetykkelse og form på prepareringsavslutning. Tykkelsen på kjernekeramet i cervikalområdet kan økes ved å redusere eller eliminere dekk-keramet approksimale og /eller lingualt. Prepareringsavslutningen bør utformes slik at stressansamling i den approksimale kurven unngås.

Det er en generell tendens til at komplikasjoner knyttet til helkeramiske (HK) restaureringer i større grad er knyttet til uventede brudd enn for andre typer restaureringer (figur 1)(1–3). Til tross for en utvikling av sterke kjernekeramer, som tåler belastning langt over det en forventer

å finne intraoralt, er frakturer fortsatt en av de hyppigste årsakene til feilslag ved denne typen restaureringer.

Ved frakturer skilles det mellom kohesive (innad i keramet) og adhesive (mellom dekk-keram og kjernekeram/metall) frakturer (3,4). Kohesive frakturer er gjennomgående eller totale frakturer. Adhesive frakturer er den typen hvor keramet skaller av fra enten underliggende kjernekeram eller metall, uten at en har en gjennomgående fraktur. Dette omtales gjerne som «chip-off»/«chipping», blant tannleger og tannteknikere, men vil videre i denne oppgaven bli benevnt som avskalling. Det kan være ulike årsaker til avskalling av dekkkeram eksempelvis svikt i bindingen mellom dekkkeram og kjernekeram eller lite understøttelse av kjernekeramet (5). Denne studien belyser imidlertid bare totalfrakturer.

Ved bruk av frakturanalytisk metode kan bruddflater tolkes for å gi en oppfatning om frakturs startsted, forløp og mulig årsak (6–9). Det er en rekke sportegn eller markører som kan benyttes i en slik analyse: *Hackle* er fellesbenevnelse for radiale merker/spor i keramisk materiale. De er linjer på bruddflaten som følger den lokale retningen til frakturen. Ut fra disse er det mulig for operatøren å spore frakturen tilbake til sitt startpunkt. Det sportegnet som er lettest å identifisere er *wake hackle* (kjølvannspor eller frakturhale) som er et spor fra en pore som brukes til å indikere retning og startpunkt. Frakturretningen indikeres av halen som dannes når frakturen møter en pore eller ujevnheter. Halen peker vekk fra startpunktet. Andre former for *hackle* er *twist hackle* eller *river-*

Forfattere

Anne Dybdahl Hardang, tannlege, tidligere odontologistudent ved det medisinsk-odontologiske fakultet, Bergen
Amanda Hembre Ulsund, tannlege, tidligere odontologistudent ved det medisinsk-odontologiske fakultet, Bergen
Marit Øilo, førsteamanuensis, Institutt for klinisk odontologi, ved Det medisinsk-odontologiske fakultet, Bergen
Artikkelen er basert på en prosjektoppgave for master i odontologi

Hovedpunkter

- Frakturanalyse er en god metode for å finne starten for frakturer i helkeramiske restaureringer.
- Analyser av frakturer i helkeramiske konstruksjoner kan belyse de mekanismer som skaper frakturer.
- Frakturer starter i cervikale kronekant, som regel approksimale.
- Håndtering og design av marginal kroneavslutning er trolig av stor betydning for frakturstyrken til keramiske kroner.



Figur 1. Klinisk foto av frakturert restaurering på tann 21 før fjerning. Frakturlinjen går fra den distocervicale kanten til incisalkanten (Foto Kjell Ulsund).

marks. Forgningene til disse sportegnene indikerer retningen, hvor sprekkeveksten går vekk fra forgningene. *Arrest lines* er skarpe linjer i frakturens overflate som indikerer at frakturerne har beveget seg stegvis ved repeterende belastninger. Starten av en fraktur er alltid lokalisert på den konkave siden av disse linjene. *Wake hackle* går vinkelrett på disse linjene. *Gull wings* (måkevinger) er V-formede sportegn hvor frakturetning indikeres av spissen på V-en, som peker mot bruddstart. *Avskalling* («*Chip-off*»/«*Chipping*») er en fraktur hvor deler eller hele dekk-keramet i et område skaller av. Avskalling kan oppstå når restaureringen utsettes for konsentrert belastning som medfører at en del av materialet fraktureres av. Formen på en avskalling varierer ut fra vinkelen på kraften som konstruksjonen utsettes for. Dette kan være av praktisk nytte da formen på avskallingen vil kunne fortelle operatøren retningen på kraften som resulterte i avskallingen. En avskalling vil ofte oppstå som en sekundærfraktur eller ved fjerning av fastsittende fragment. I tillegg vil frakturflaten ofte ha en buet retningsendring «kompresjonssving» der hvor kreftene går fra å være strekk-krefter til kompresjonskrefter. Ved frakturanalytisk tolkning av bruddflater er det det totale bildet av de ulike sportegnene som gjør det mulig for operatør å lokalisere frakturens retning og opprinnelse (7).

Målet med studien var å undersøke mulige årsaker til kliniske frakturer og hvordan en kan forebygge disse i helkeramiske kroner og broer.

Materiale og metode

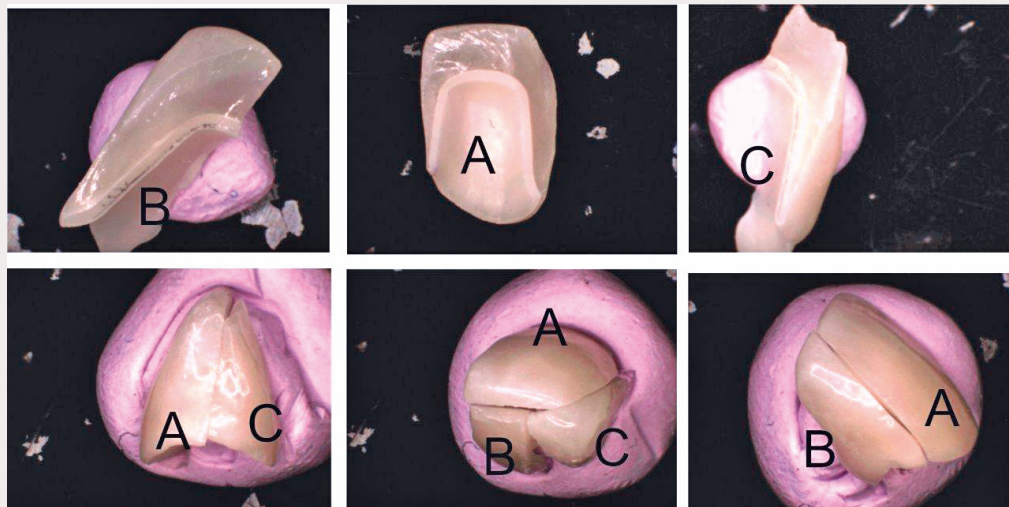
Seks kliniske, havarete helkeramiske konstruksjoner ble sendt inn av privatpraktiserende tannleger (tabell 1). Den delen av konstruksjonen som eventuelt sto igjen på tannen ble løsnet og fjernet av tannlegen. Delene ble sendt inn sammen med klinisk foto og tilgjengelig informasjon om materiale, sement og funksjonstid. Frakturanalysen ble utført i lysmikroskop og i skan-

ning elektronmikroskop (SEM). Forurensninger og organisk material ble fjernet fra fragmentene (10). Oversiktsbilder av de frakturerte fragmentene ble tatt i lysmikroskop med liten forstørrelse, hvor de ulike fragmentene ble re plassert slik at en fikk et tredimensjonalt bilde av restaureringen. Delene ble benevnt etter størrelse og markert (figur 2). Kjerne- og dekk-keramets tykkelse, form, og eventuelle synlige skader/defekter/misfarginger ble også vurdert. Bruddflatene ble så vurdert ved hjelp av lysmikroskopi ved økt forstørrelse. Analysen ble utført ved å lete etter sportegn og markører som kunne indikere startpunkt, sluttspunkt og frakturetning. Disse ble ført inn i en arbeidsskisse, slik at man fikk et kart over frakturens forløp (figur 3). Porositeter, krakeleringer og defekter i materialet ble også vurdert.

Resultat

Ved analyse ved lav forstørrelse identifiserte vi den blanke bruddflaten, samt den slipte flaten ved å avdekke slipespor i keramet. Ved noen av eksemplarene var misfargingen i frakturlinjen, samt klinisk foto til hjelp for å finne bruddflaten/bruddflatene. Ved den mikroskopiske undersøkelsen kunne sportegn identifiseres i samtlige innsendte konstruksjoner, men hvor tydelige de var, varierte mellom keramtypene vi studerte. I dekk-keram var det lettere å se sportegn enn i kjernekeram, eksempelvis Empress II. I aluminakronene ble frakturmønstrene kun observert i dekk-keram. Vi brukte i hovedsak *wake hackle* for å bestemme retning da disse forekom tydeligst og hyppigst. Ved samtlige av de analyserte bruddflatene kunne retningen på frakturen bestemmes ut fra retningen på halene. De andre sportegnene ble anvendt til å understøtte antatt frakturetning.

Samtlige frakturer vi analyserte startet i kronenes approximale cervikalområde. Alle beveget seg videre over eller til incisalkant/okklusalflate og endte på motsatt cervikalkant (figur 4). SEM-mikroskoperingen bekreftet funnene fra lysmikroskopanalysen. Ved SEM-analysen kunne en også avdekke defekter ved startpunkt i tre av de seks analyserte kronene. Disse defektene kan ha medvirket til frakturstart i dette området på grunn av stressansamling.



Figur 2. Oversiktsbilder over de innsendte fragmentene til en restaurering. En forsiktig replasering viser kronens opprinnelige anatomiske form og orientering. De ulike delene blir navngitt og markert A, B, C osv. for å lette analysen.

Tabell 1. Oversikt over de innsendte restaureringer

	Material	Restaureringstype	Tann	Sement	Levetid (år)
Eksempel 1	Procera Alumina	Krone	21	RelyX Unicem	1,5
Eksempel 2	Procera Alumina	Fasett	21	RelyX Unicem	3,5
Eksempel 3	Empress	Krone	21	RelyX Unicem	11
Eksempel 4	Empress	Krone	11	RelyX Unicem	11
Eksempel 5	Procera Alumina	Krone	21	Ketac-Cem	10
Eksempel 6	Empress	Onlay	46	RelyX Unicem	6

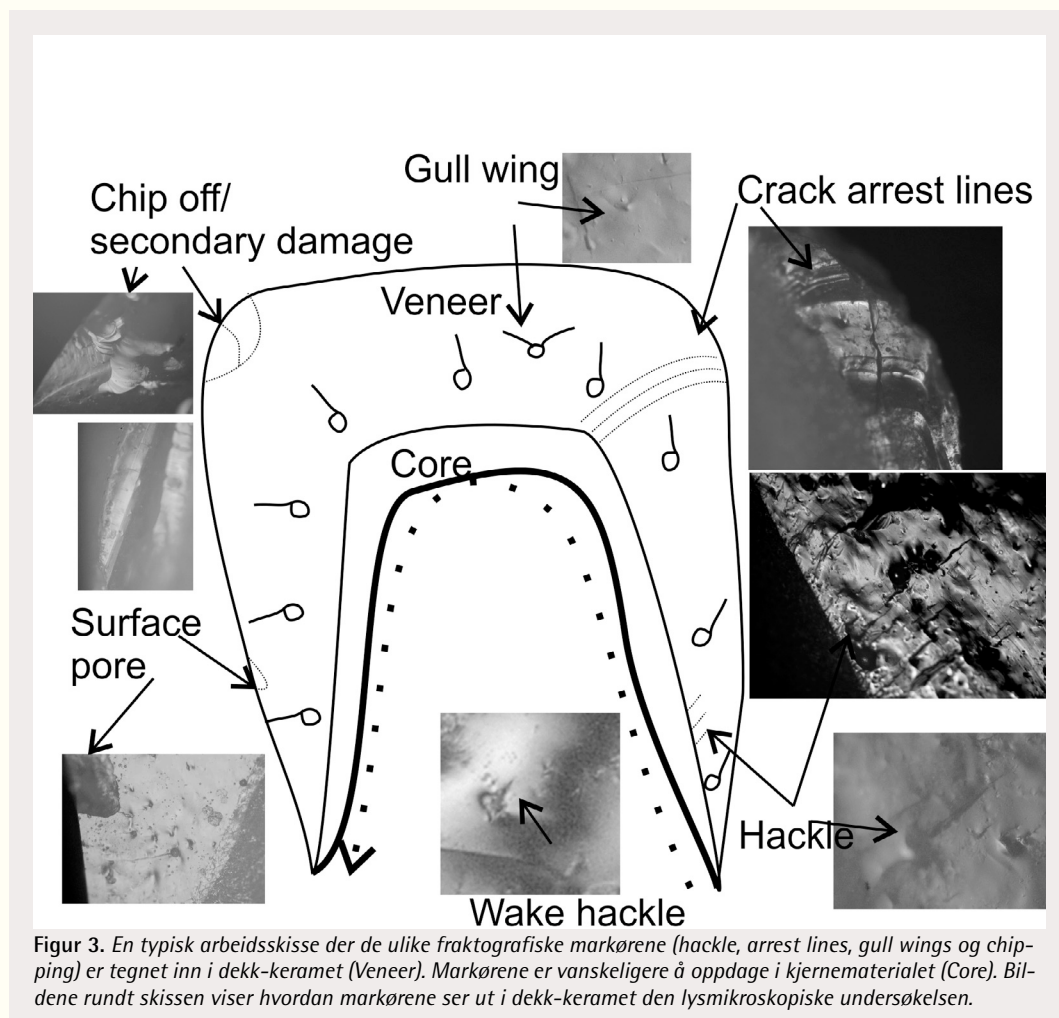
Diskusjon

Frakturanalyse er en god metode for å lokalisere frakturs startpunkt, sluttspunkt og retning (6,8,9,11–13). For å få et mer pålitelig resultat bør frakturanalysen utføres to ganger per restaurering. Mange fragmenter gjør det vanskelig å replasere restaureringen korrekt og gjør utførelsen mer komplisert. Vi observerte at kjernekeramet var svært tynt (som en jevn kappe), mens dekk-keramet måtte kompensere for tapt tannsubstans i flere av eksemplarene. Dette kan medføre at konstruksjonen blir for svak i cervikalområdet, men dette mangler det vitenskapelig dokumentasjon på. Enkelte in vitro studier

er viser at tykkere kroneavslutning og aksial vegg gir sterkere kroner (14). Kjernekeramet kunne trolig vært tykkere, og mengde dekk-keramet redusert, uten at dette ville svekket estetikken approksimalt. Dette blir spesielt viktig ved ugunstige belastningsforhold, som for eksempel hos pasienter med spesielle bittforhold/parafunksjoner. Av seks undersøkte konstruksjoner hadde tre tilhørt pasienter med alvorlig tannslitasje. Om denne tannslitasjen er et resultat av parafunksjon, eksempelvis bruxisme, vil dette kunne medføre økt belastning på konstruksjonene og dermed innvirke på restaureringens levetid. På grunnlag av det begrensede materialet er det likevel ikke

mulig å trekke noen generelle konklusjoner angående dette. Det er imidlertid trolig at tannslitasje vil utgjøre en risikofaktor for fraktur.

Alle frakturene startet cervikalt i kronens approximalområde. Dette har inntil nylig ikke vært dokumentert systematisk og kasuistikker har vist noe ulike resultater (6,13,15). Ved okklusal belastning vil trykkrefter kunne resultere dimensjonsendringer i tannens cervikalområdet (16). Tannen komprimeres noe og vil dermed bule litt ut cervikalt, omtrent som en gummipropp vil bule ut når en legger på trykk på toppen. Dette vil øke tannens cervikale omkrets og skape strekk i kronekanten. Når disse strekk-kreftene virker på kronen vil dette potensielt kunne initiere en fraktur i området. Ulik belastningsretning gir varierende grad av strekkrefter cervikalt, eksempelvis er det funnet at skråbelastning mot buccale cusp ga mest stress på tannens cervikalområdet (16). Ut fra

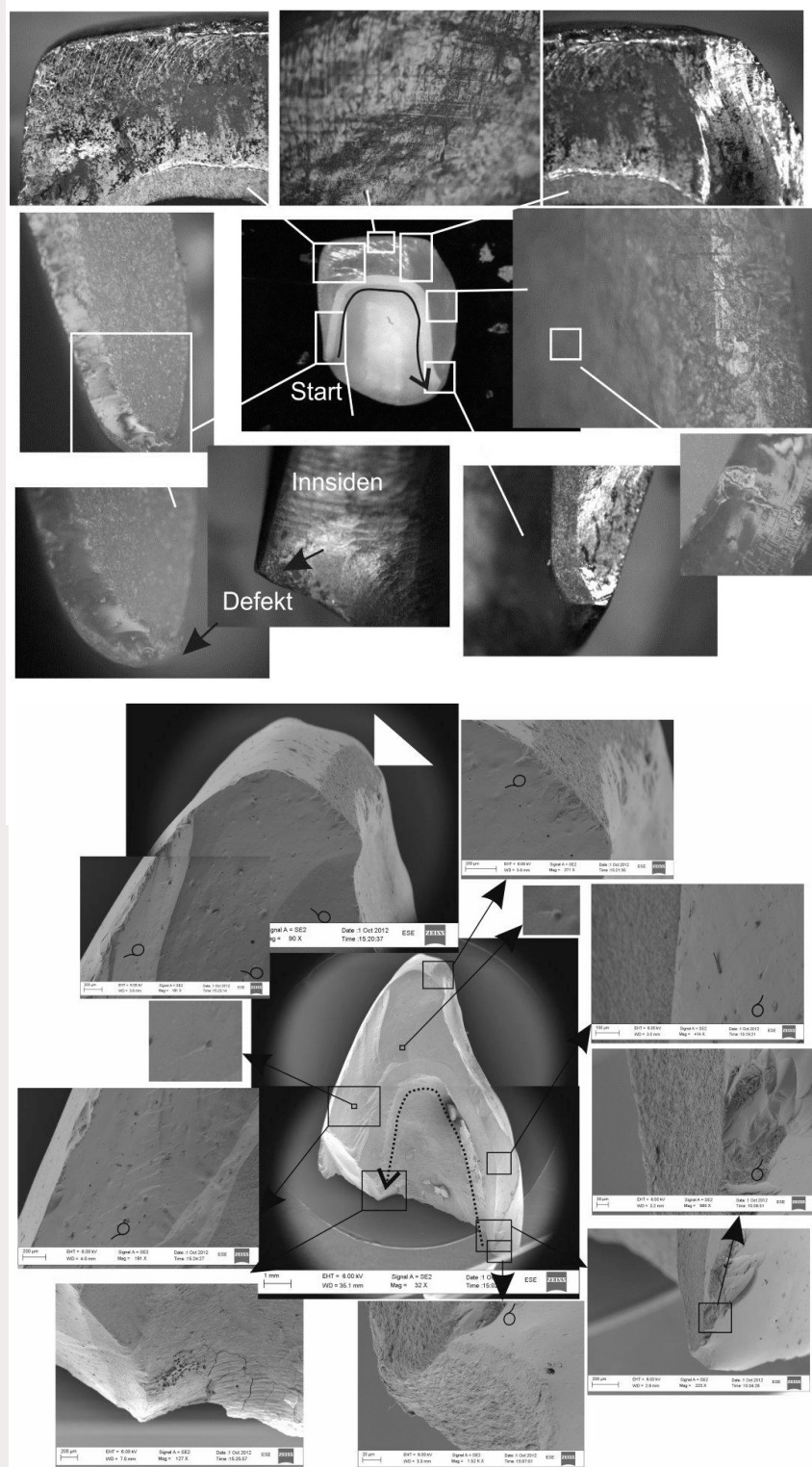


Figur 3. En typisk arbeidsskisse der de ulike fraktografiske markørene (hackle, arrest lines, gull wings og chip-ping) er tegnet inn i dekk-keramet (Veneer). Markørene er vanskeligere å oppdage i kjernematerialet (Core). Bildene rundt skissen viser hvordan markørene ser ut i dekk-keramet den lysmikroskopiske undersøkelsen.

dette er det rimelig å anta at horisontalrettet okklusjonsbelastning vil initiere større grad av frakturer cervikalt enn det en vil forvente seg ved vertikale kraftvektorer. Ved ugunstig bittforhold eller parafunksjon vil en kunne få en stor andel av slik belastning og dette kan tenkes å være en risikofaktor for frakturer i keramiske konstruksjoner.

Videre er kroner ofte utformet slik at de blir ekstra sårbare for en slik type strekkbelastning. Dette skyldes blant annet at prepareringsgrensen ofte går opp i en bue approssimalt, noe som gir et stresskonsentrasjonspunkt (6). En kan tenke seg at dette kan utbedres ved å legge prepareringsgrensen rettere, uten å heve den unødigg midt approssimalt. Flere studier er gjort på betydningen av utformingen av prepareringens marginale avslutning. Whitton et al. fant blant annet i sin studie at en lang og tynn prepareringsavslutning som ved svært høye kliniske kroner og svært grunn preparering vil gi stort stress på kronen cervikalt ved okklusal belastning (17). En planpreparering vil dermed være ugunstig for stressfordelingen, mens en dyp chamfer kan tenkes å være mer gunstig. Ofte vil det imidlertid ikke være mulig å redusere mer i dette området, grunnet nærhet til pulpa samt fare for fraktur av tannen, noe som resulterer i at en ikke får tilstrekkelig materialtykkelse. I slike tilfeller kan en vurdere å utelate dekkkeram og heller ha synlig kjernekeram cervikalt, tilsvarende et gullbånd. Dette vil sikre tykt nok kjernekeram, gi større styrke til konstruksjonen, uten at estetikken påvirkes nevneverdig. I visse tilfeller vil det være indisert å fremstille kroner kun bestående av kjernekeram, eksempelvis fullkontur zirkonia. Dette kan være aktuelt hos pasienter med parafunksjon (bruxister), ved stor belastning posteriort og ved korte kliniske kroner, både i forbindelse med hygienisk utforming av hengeledd og for å spare tannsubstans.

Det er imidlertid flere in vitro-studier som indikerer at prepareringsgrensens utforming har liten eller ingen betydning for frakturstyrken på helkeramiske kroner (14,18,19). Disse studiene viser imidlertid som regel andre typer frakturmønstre enn det som er observert i denne studien og i andre studier av kliniske brudd, slik at det kan stilles spørsmål ved om de har god nok klinisk relevans (20,21). Det er imidlertid ikke dekning i tilgjengelig litteratur



Figur 4. Fraktografikart av to kroner med aluminakjerne A) i lysmikroskop, B) i elektronmikroskop. Stor, svart pil viser retningen på frakturen gjennom kronen. A: Frakturen startet cervikalt i det ene approssimalområdet og har beveget seg langs incisalkanten til det andre approssimalområdet. En ser en materialdefekt ved startpunktet på innsiden av kjernen. B: Frakturen startet cervikalt i det ene approssimalområdet mot palatinalflaten og har beveget seg tvers over incisalkanten til bukkalflaten. En del av kronen mangler, slik at sluttpunktet for hovedfrakturen bukkalt ikke er med. Incisalt ser en tydelig spor etter slitasje fra antagonist på glasuren. På innsiden av kronen er det rester av sementen. Boksen på oversiktsbildet viser størrelsen og lokalisasjonen til de forstørrede bildene rundt.

for å si om den ene prepareringsformen er bedre enn den andre for å forebygge tidlige, kliniske brudd.

Når en videre skal ta med seg kunnskap fra frakturanalysen inn i klinisk virksomhet, er det flere forhold som en som operatør bør ta hensyn til. For å forebygge fraktur av helkeramiske konstruksjoner, er det viktig at retningslinjer for valg av type keram til anbefalt indikasjon følges. Manglende kjennskap til de ulike keramtypenes egenskaper og egnet sement kan være en indirekte årsak til frakturer. Når det gjelder operatørens håndtering av keramkonstruksjoner, bør man unngå å skape overflatedefekter ved bearbeiding av keramet (2,22). Ved innsliping i okklusjon og artikulasjon bør man benytte nye fin-kornede diamanter med høy hastighet og rikelig vannkjøling. Det er også viktig at konstruksjonen poleres godt etterpå for å unngå slitasje på antagonist. Den okklusale utformingen på krona er viktig for å unngå stresskonsentrasjoner/stresspunkter, og dette må tas hensyn av både av teknikker og tannlege. I tillegg er det viktig at en ved innprøving av helkeramiske konstruksjoner må unngå å presse disse på plass, da dette vil initiere stress på konstruksjonen. På samme grunnlag er det viktig at kronen er løsttilpasset slik at sementen får mulighet til å unnvike uten for stort press. Det er også uheldig med for lav konvergensvinkel da dette kan gi stort trykk ved sementering, da sementen ikke får plass til å unnvike. Midlertidig sementering bør unngås ved helkeramiske konstruksjoner, både med hensyn til risiko for sprekkdannelse ved løsning og eller ved fjerning før permanent sementering. Den midlertidige sementen er også elastisk og da keram ikke er fleksibelt kan dette indusere stress og sprekkvekst. Det er imidlertid lite vitenskapelig dokumentasjon som viser hvilke faktorer som er av størst betydning for å unngå frakturer.

Konklusjon

Frakturanalyse er en god metode for å identifisere frakturens startpunkt og retning. Samtlige av de undersøkte eksemplarene hadde frakturer som startet cervikalt i approximalområdet. Ved hjelp av frakturanalyser fant vi at mulige årsaker til frakturmønstrene kunne skyldes faktorer som ugunstig strekkbelastning, kronens utforming approximalt og feilaktig behandling av materialene. Ulike tiltak for å styrke konstruksjonen cervikalt i approximalområdet, korrekt materialhåndtering samt nøye vurdering av belastningsforhold, kan bidra til å minke antallet frakturer i helkeramiske konstruksjoner i fremtiden.

Takk

Studien hadde ikke vært mulig uten hjelp fra tannlegene ved Bakke Tannlegekontor som sendte oss eksemplarer til frakturanalysen. Vi tar gjerne imot flere. Takk til Egil S. Erichsen ved Det matematisk-naturvitenskapelige fakultets felleslaboratorium for hjelp i forbindelse med SEM-mikroskopering.

English summary

Hardang AD, Ulsund AH, Øilo M.

Fractures of all-ceramic crowns – reasons and prevention

Nor Tannlegeforen Tid. 2013; 123: 536–41.

Fractographic analyses are used as a method for studying failures in all-ceramic restorations. This method gives information about the crack initiation and crack propagation in ceramics. Six clinically fractured restorations were analyzed by optical and SEM microscopy. Features on the fracture surface were used to identify fracture origin and the fracture paths for all the samples. The fracture features were: wake hackle, arrest lines and gull wings. The results were confirmed by SEM microscopy, which also were important for identifying defects in the material at the crack start. In all our samples the crack initiated from the approximal cervical region. The present findings and previous studies on tooth flexure, indicate that tensile stress in the cervical area may be the cause for the fracture origins in the cervical region. The geometry of the crown margin is important for crack initiation. The approximal area seems to be the area with most tensile stress. Factors which may prevent crack initiation are discussed, such as core thickness and geometry of the finish line. The core thickness in the cervical margin may be increased by reducing or eliminating the veneering layer approximally and/or orally. The fluctuations of the finish line may be leveled to reduce stress concentration in approximal curves. Other factors considering handling are also discussed.

Referanser

1. Sailer I, Pjetursson BE, Zwahlen M, Hammerle CH. A systematic review of the survival and complication rates of all-ceramic and metal-ceramic reconstructions after an observation period of at least 3 years. Part II: Fixed dental prostheses. *Clin Oral Implants Res.* 2007; 18: 86–96.
2. Milleding P, Karlsson S, Molin M. *Dentala helkeramer i teori och klinik.* Stockholm, Gothia, 2005.
3. Molin M. *Dentala helkeramer, klinisk utvärdering;* in Kunskapscenter för Dentala Material K (ed). Stockholm, Socialstyrelsen, 2004, pp 1–25.
4. Noort Rv. *Introduction to dental materials,* ed 2nd. Edinburgh, Mosby, 2002.
5. Lee JJ, Kwon JY, Bhowmick S, Lloyd IK, Rekow ED, Lawn BR. Veneer vs. Core failure in adhesively bonded all-ceramic crown layers. *J Dent Res.* 2008; 87: 363–6.
6. Øilo M, Gjerdet NR. Fractographic analysis of all-ceramic crowns: A study of 27 clinically-fractured crowns. *Dent Mater.* 2013; 29: e78–e84.
7. Quinn GD. *Fractography of ceramics and glasses* Washington, National Institute of Standards and Technology, 2007. *Nor Tannlegeforen Tid* 2002; 112: 0–0
8. Quinn GD, Hoffman K, Scherrer S, Lohbauer U, Amberger G, Karl M, Kelly JR. Fractographic analysis of broken ceramic dental restorations; *Fractography of glasses and ceramics vi,* John Wiley & Sons, Inc., 2012, pp 161–74.
9. Scherrer SS, Quinn GD, Quinn JB. Fractographic failure analysis of a provera® allceram crown using stereo and scanning electron microscopy. *Dent Mater.* 2008; 24: 1107–13.
10. ASTM C1322–05b standard practice for fractography and characterization of fracture origins in advanced ceramics.
11. Aboushelib MN, Feilzer AJ, Kleverlaan CJ. Bridging the gap between clinical failure and laboratory fracture strength tests using a fractographic approach. *Dent Mater.* 2009; 25: 383–91.

12. Øilo M, Tvinnereim HM, Gjerdet NR. Qualitative and quantitative fracture analyses of high-strength ceramics. *Eur J Oral Sci.* 2009; 117: 187–93.
13. Scherrer SS, Quinn JB, Quinn GD, Kelly JR. Failure analysis of ceramic clinical cases using qualitative fractography. *Int J Prosthodont.* 2006; 19: 185–92.
14. Vult von Steyern P, al-Ansari A, White K, Nilner K, Derand T. Fracture strength of in-ceram all-ceramic bridges in relation to cervical shape and try-in procedure. An in-vitro study. *Eur J Prosthodont Restor Dent.* 2000; 8: 153–8.
15. Quinn JB, Quinn GD, Kelly JR, Scherrer SS. Fractographic analyses of three ceramic whole crown restoration failures. *Dent Mater* 2005; 21: 920–9.
16. Lee HE, Lin CL, Wang CH, Cheng CH, Chang CH. Stresses at the cervical lesion of maxillary premolar—a finite element investigation. *J Dent.* 2002; 30: 283–90.
17. Whitton A, Qasim T, Ford C, Hu XZ, Bush M. The role of skirt geometry of dental crowns on the mechanics of failure: Experimental and numerical study. *Med Eng & Phys* 2008; 30: 661–8.
18. Åkesson J, Sundh A, Sjogren G. Fracture resistance of all-ceramic crowns placed on a preparation with a slice-formed finishing line. *J Oral Rehabil.* 2009; 36: 516–23.
19. Sornsuwan T, Swain MV. The effect of margin thickness, degree of convergence and bonding interlayer on the marginal failure of glass-simulated all-ceramic crowns. *Acta Biomaterialia.* 2012; 8: 4426–37.
20. Øilo M, Kvam K, Tibbals J, Gjerde NR. Clinically relevant fracture testing of all-ceramic crowns *Dent Mater.* 2013 Aug; 29(8): 815–23. doi: 10.1016/j.dental.2013.04.026. Epub 2013 Jun 6.
21. Kelly JR, Benetti P, Rungruanganunt P, Bona AD. The slippery slope: Critical perspectives on in vitro research methodologies. *Dent Mater.* 2012; 28: 41–51.
22. Øilo M, Strand G, Tvinnereim H. Keramer som tannrestaureringsmateriale. *Nor Tannlegeforen Tid.* 2005; 115: 322–8.

Adresse: Marit Øilo, Institutt for klinisk odontologi, Det medisinsk-odontologiske fakultet, Universitet i Bergen. Postboks 7804, 5020 Bergen. E-post: marit.oilo@iko.uib.no

Artikkelen har gjennomgått eksternt faglig vurdering.

Hardang AD, Ulsund AH, Øilo M. Frakturer i helkeramiske restaureringer – årsak og forebygging. *Nor Tannlegeforen Tid.* 2013; 123: 536–41.