

ABSTRACT

Hvordan undgås frakturer i helkeramiske konstruktioner

Undersøgelsen belyser frakturanalyse som metode til at studere brud i helkeramiske konstruktioner og give information om frakturens start og forløb i materialet. Seks kliniske, frakturerede konstruktioner blev analyseret ved hjælp af lys- og SEM-mikroskopi. Sportegn i materialet blev benyttet til at identificere startpunkt og frakturforløb for samtlige konstruktioner. Sportegnene som blev benyttet var: *wake hackle*, *arrest lines* og *gull wings*. Resultaterne blev bekræftet ved SEM-mikroskopisk analyse, som var vigtig for identifikation af materialedefekter ved frakturstart. I samtlige undersøgte eksemplarer startede frakturen approksimalt i cervikalområdet. Disse fund og tidligere undersøgelser, som omhandler tandens fleksibilitet, indikerer at trækkræfter i cervikalområdet kan være årsagen til, at frakturer starter i dette område. Approksimalområdet ser ud til at være det mest udsatte område. Den geometriske form på kroneafslutningen er formentlig af afgørende betydning for initiering af brud, men det er uklart, hvilken form der er mest gunstig. Faktorer, som kan forhindre frakturstart, diskuteres, fx kernetykkelsen og formen på præparationsafslutningen. Tykkelsen på kernematerialet i cervikalområdet kan øges ved at reducere eller eliminere dækporcelænet approksimalt og/eller lingualt. Præparationsafslutningen bør udformes, så stressansamling i den approksimale kurve undgås.

Artiklen er oprindeligt publiceret i Den Norske Tannlegeforenings Tidende: Hardang AD, Ulsund AH, Øilo M. Frakturer i helkeramiske restaureringer – årsak og forebygging. *Nor Tannlegeforen Tid* 2013;123:536-41.

Frakturer i helkeramiske restaureringer – årsager og forebyggelse

Anne Dybdahl Hardang, tandlæge, tidligere odontologistuderende, Det medisinsk-odontologiske fakultet, Bergen

Amanda Hembre Ulsund, tandlæge, tidligere odontologistuderende, Det medisinsk-odontologiske fakultet, Bergen

Marit Øilo, førsteamanuensis. Institutt for klinisk odontologi, Det medisinsk-odontologiske fakultet, Bergen

Der er en generel tendens til, at komplikationer i forbindelse med helkeramiske (HK) restaureringer i større grad end ved andre typer restaureringer er knyttet til uventede brud (Fig. 1) (1-3). Til trods for en udvikling af stærke keramiske kernematerialer, som tåler belastninger langt over, hvad man forventer at finde intraoralt, er frakturer fortsat en af de hyppigste årsager til fejlslagne keramiske restaureringer.

Ved frakturer skelnes der mellem kohæsive (internt i materialet) og adhæsive (mellem dækporcelæn og kernemateriale/metal) frakturer (3,4). Kohæsive frakturer er gennemgående eller totale frakturer. Adhæsive frakturer er den type, hvor der sker afskalning af dækmateriale fra underliggende kernemateriale eller metal, uden at der foreligger en gennemgående fraktur. Dette omtales gerne blandt tandlæger og tandteknikere som «chipoff»/»chipping», men bliver i denne artikel benævnt afskalning. Der kan være forskellige årsager til afskalning af dækporcelæn, fx svigt i bindingen mellem dækmateriale og kernemateriale eller for ringe understøttelse af kernematerialet (5). Denne undersøgelse belyser imidlertid kun totalfrakturer.

Ved anvendelse af frakturanalytisk metode kan brudflader tolkes for at give en idé om frakturernes startsted, forløb og mulige årsager (6-9). Der er en række sportegn eller markører, som kan benyttes i analysen: *Hackle* er en fælles betegnelse for radiale mærker/spor i keramiske materialer. Det er linjer på brud-

fladen, som følger frakturens lokale retning. Ud fra disse er det muligt for operatøren at spore frakturen tilbage til dens udgangspunkt. Det sportegn, som er lettest at identificere, er *wake hackle* (kølvandsspor eller frakturhale), som er et spor fra en pore, der bruges til at indikere

EMNEORD

Ceramic restorations; fractures; etiology; prevention

Materialet

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

Tabel 1. Oversigt over de indsendte restaureringer.

Table 1. Summary over received restorations.

Fraktureret restaurering



Fig. 1. Klinisk foto af fraktureret restaurering på +1 før fjernelse. Frakturlinjen går fra den disto-cervikale kant til incisalkanten. (Foto Kjell Ulsund).

Fig. 1. Clinical photo of fractured restoration of +1 before removal. The fracture line runs from the disto-cervical edge to the incisal edge. (Photo Kjell Ulsund).

retning og udgangspunkt. Frakturretningen indikeres af halen, som dannes, når frakturen møder en pore eller ujævnhed. Halen peger væk fra udgangspunktet. Andre former for *hackle* er *twist hackle* eller *rivermarks*. Forgreningerne i disse sportegn indikerer retningen, idet brudretningen går væk fra forgreningerne. *Arrest lines* er skarpe linjer i frakturens overflade, som indikerer, at frakturerne har bevæget sig trinvis ved repeterende belastninger. Starten på en fraktur er altid lokaliseret på den konkave side af disse linjer. *Wake hackle* går vinkelret på disse linjer. *Gull wings* (mågevinger) er V-formede sportegn, hvor frakturretningen indikeres af spidsen på V'erne, som peger mod bruddets start. *Afskalning* («*Chip-off*»/«*Chipping*») er en fraktur, hvor dele af eller hele dækporcelænet i et område skaller af. Afskalning kan opstå, når restaureringen udsættes for koncentreret belastning, som medfører, at en del af materialet affraktureres. Formen på en afskalning varierer ud fra vinkelen på den kraft, som konstruktionen udsættes for. Dette kan være af praktisk nytte, da formen på afskalningen vil kunne oplyse operatøren om retningen på den

påvirkning, som forårsagede afskalningen. En afskalning vil ofte opstå som en sekundærfraktur eller ved fjernelse af fastsiddende fragmenter. Desuden vil frakturfladen ofte have en buet retningsændring, «kompressionssving», der hvor kræfterne går fra at være trækkræfter til trykkræfter. Ved frakturanalytisk tolkning af brudflader er det det totale billede af de forskellige sportegn, som gør det muligt for operatøren at lokalisere frakturens retning og oprindelse (7).

Formålet med undersøgelsen var at undersøge mulige årsager til kliniske frakturer, og hvordan disse kan forebygges i helkeramiske kroner og broer.

Materiale og metoder

Seks kliniske, frakturerede helkeramiske konstruktioner blev indsendt af privatpraktiserende tandlæger (Tabel 1). Den del af konstruktionen, som eventuelt sad tilbage på tanden, blev løst og fjernet af tandlægen. Delene blev indsendt sammen med klinisk foto og tilgængelig information om materiale, cement og funktionstid. Frakturanalysen blev udført i lysmikroskop og i scanning elektronmikroskop (SEM). Forureninger og organisk materiale blev fjernet fra fragmenterne (10). Oversigtsbilleder af de frakturerede fragmenter blev taget i lysmikroskop med lille forstørrelse, hvor de forskellige fragmenter blev placeret, så et tredimensionalt billede af restaureringen kunne dannes. Delene blev benævnt efter størrelse og markeret (Fig. 2). Kerne- og dækmateriallets tykkelse, form og eventuelle synlige skader/defekter/misfarvninger blev også vurderet. Brudfladerne blev derpå vurderet ved hjælp af lysmikroskopi ved større forstørrelse. Analysen blev udført ved at lede efter sportegn og markører, som kunne indikere startpunkt, slutpunkt og frakturretning. Disse blev indført i en arbejdsskitse, så frakturens forløb blev kortlagt (Fig. 3). Porøsiteter, krakeleringer og defekter i materialet blev også vurderet.

Resultater

Ved analyse ved lav forstørrelse identificeredes den blanke brudflade ved at afdække slidspor i det keramiske materiale. ➔

Ved nogle af eksemplarerne var misfarvning i frakturlinjen samt klinisk foto til hjælp ved lokalisation af brudfladen/brudfladerne. Ved den mikroskopiske undersøgelse kunne sportegn identificeres i samtlige indsendte konstruktioner, men hvor tydelige de var, varierede mellem de undersøgte typer af keramiske materialer. I dækporcelæn var det lettere at se sportegn end i kernemateriale, fx Empress II. I aluminakronerne blev frakturmønstrene kun observeret i dæk materialet. Vi brugte hovedsagelig *wake hackle* til bestemmelse af retning, da disse forekom tydeligst og hyppigst. Ved samtlige analyserede brudflader kunne retningen på frakturen bestemmes ud fra retningen på halerne. De andre sportegn blev anvendt til at understøtte den formodede frakturretning.

Samtlige frakturer, der analyseredes, startede i kronernes approximale cervikalområder. Alle bevægede sig videre over eller til incisalkant/okklusalflade og endte på den modsatte cervikalkant (Fig. 4). SEM-mikroskoperingen bekræftede fundene fra den lysmikroskopiske analyse. Ved SEM-analysen blev desuden afdækket defekter ved startpunktet i tre af de seks analyserede kroner. Disse defekter kan have været medvirkende årsager til frakturstarten i dette område på grund af stressophobning.

Diskussion

Frakturanalyse er en god metode til lokalisation af frakturens startpunkt, slutpunkt og retning (6,8,9,11-13). For at opnå et

mere pålideligt resultat bør frakturanalysen udføres to gange per restaurering. Mange fragmenter gør det vanskeligt at re-placere restaureringen korrekt og gør udførelsen mere kompliceret. Det observeredes, at kernematerialet var meget tyndt, mens dæk materialet måtte kompensere for tabt tandsubstans i flere af eksemplarerne. Dette kan medføre, at konstruktionen bliver for svag i cervikalområdet, men der mangler videnskabelig dokumentation på dette. Enkelte *in vitro* studier viser, at tykkere kroneafslutning og aksial væg giver stærkere kroner (14). Kernematerialet kunne formentlig have været tykkere og mængde af dæk materiale reduceret, uden at dette havde svækket æstetikken approximalt. Dette bliver specielt vigtigt ved ugunstige belastningsforhold, som for eksempel hos patienter med specielle bidforhold/parafunktioner. Ud af seks undersøgte konstruktioner havde tre tilhørt patienter med alvorlig abrasion. Hvis dette tandlid er et resultat af parafunktion, fx bruksisme, vil det kunne medføre øget belastning på konstruktionerne og dermed påvirke restaureringens levetid. På grundlag af det begrænsede materiale er det dog ikke muligt at drage generelle konklusioner angående dette. Det er imidlertid sandsynligt, at tandlid vil udgøre en risikofaktor for fraktur.

Alle frakturerne startede cervikalt i kronens approximalområde. Dette har indtil for nylig ikke været dokumenteret systematisk, og kasuistikker har vist forskellige resultater (6,13,15). Ved okklusal belastning vil trykkrafter kunne re-

Replacerede fragmenter

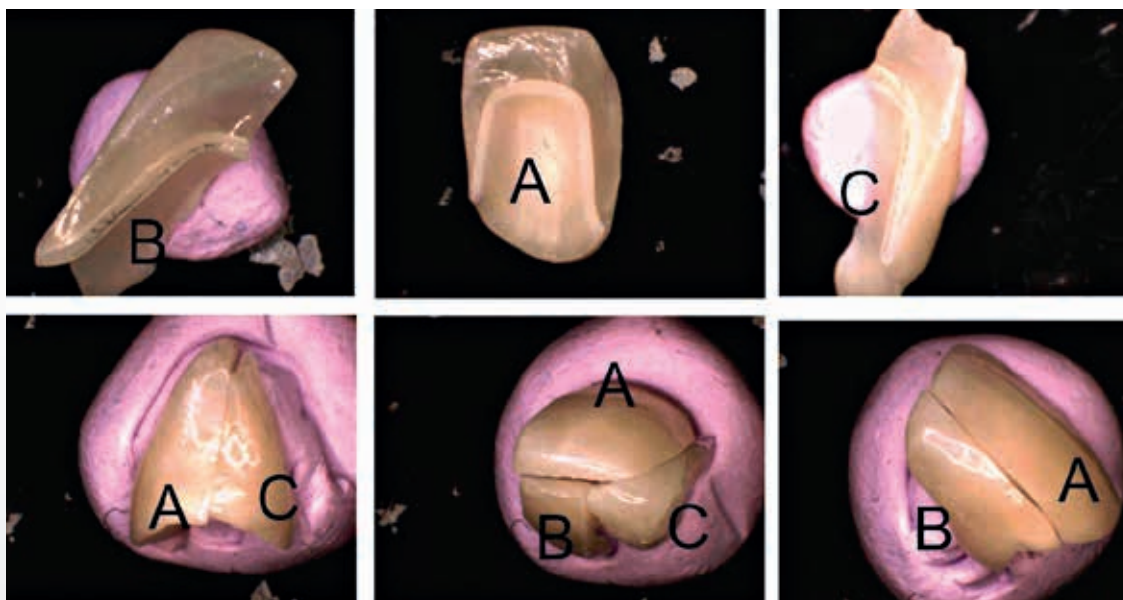


Fig. 2. Oversigtsbilleder over de indsendte fragmenter af en restaurering. En forsigtig replacering viser kronens oprindelige anatomiske form og orientering. De forskellige dele benævnes og markeres A, B, C for at lette analysen.

Fig. 2. Overview images of the submitted fragments of a restoration. A careful placement shows the original anatomical form and direction of the crown. The various parts are called and marked A, B, C for easier analysis.



sultere i dimensionsændringer i tandens cervikalområde (16). Tanden komprimeres og vil dermed bule lidt ud cervikalt, om trent som en gummiprop vil bule ud, når man trykker på toppen. Dette vil øge tandens cervikale omkreds og skabe træk i kronekanten. Når disse trækkræfter virker på kronen vil dette potentielt kunne initiere en fraktur i området. Forskellige belastningsretninger giver varierende grader af trækkræfter cervikalt, fx er det påvist, at skråbelastning mod den bukkale cuspis giver mest stress på tandens cervikalområde (16). Ud fra dette er det rimeligt at antage, at horisontalrettet okklusionsbelastning vil initiere større grad af frakturer cervikalt end det, man vil forvente ved vertikale kraftvektorer. Ved ugunstige bidforhold eller parafunktion kan der forekomme en stor andel af sådanne belastninger, og dette kan tænkes at være en risikofaktor for frakturer i keramiske konstruktioner.

Endvidere er kroner ofte udformet således, at de bliver ekstra sårbare over for denne type trækbelastning. Dette skyldes blandt andet, at præparationsgrænsen ofte går op i en bue approksimalt, hvilket giver et stresskoncentrationspunkt (6). Man kan formode, at dette kan udbedres ved at lægge præparationsgrænsen mere jævnt uden at hæve den unødigt midt på approksimallfladerne. Flere undersøgelser har beskæftiget sig med betydningen af udformningen af præparationens marginale afslutning. Whitton et al. fandt bl.a., at en lang og tynd præparationsafslutning som ved meget høje kliniske kroner og

KLINISK RELEVANS

Frakturanalyse er en god metode til at finde udgangspunktet for frakturer i helkeramiske restaureringer. Analyser af frakturer i helkeramiske konstruktioner kan belyse de mekanismer, som skaber frak-

turer. Frakturerne starter i den cervikale kronekant, som regel approksimalt. Håndtering og design af den marginale kroneafslutning er sandsynligvis af stor betydning for frakturstyrken af keramiske kroner.

meget overfladisk præparering vil give stort stress på kronen cervikalt ved okklusal belastning (17). En planpræparation vil dermed være ugunstig for stressfordelingen, mens en dyb chamfer kan tænkes at være mere gunstig. Ofte vil det imidlertid ikke være muligt at reducere mere i dette område pga. nærhed til pulpa samt fare for fraktur af tanden, hvilket resulterer i, at man ikke opnår tilstrækkelig materialetykkelse. I sådanne tilfælde kan man overveje at udelade dækporcelæn og i stedet lade kernematerialet være synligt cervikalt, tilsvarende et guldbånd. Dette vil sikre tilstrækkelig tykkelse af kernematerialet og give større styrke til konstruktionen, uden at æstetikken på-

Fraktografiske markører

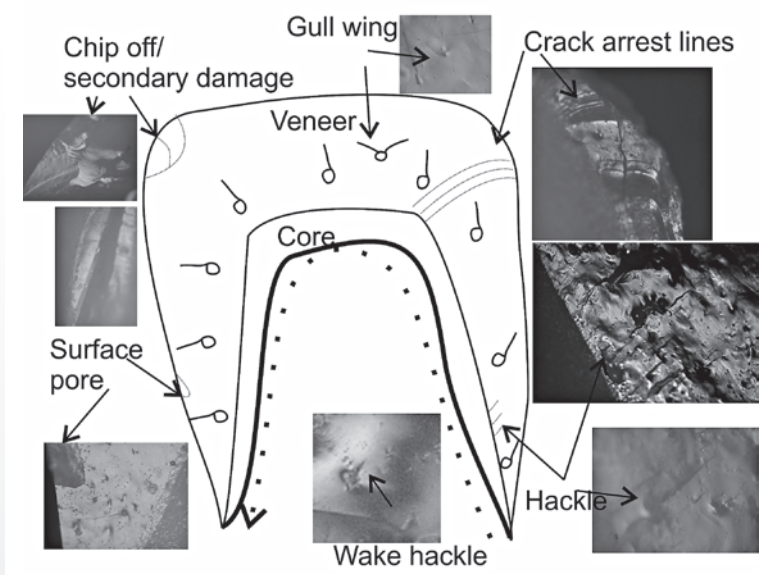


Fig. 3. En typisk arbejds-skitse hvor de forskellige fraktografiske markører (hackle, arrest lines, gull wings og chipping) er tegnet ind i dækporcelænet (Veneer). Markørerne er vanskeligere at opdage i kernematerialet (Core). Billederne rundt om skitsen viser, hvordan markørerne ser ud i dækporcelænet ved den lysmikroskopiske undersøgelse.

Fig. 3. A typical work outline where the various fractographic markers (hackle, arrest lines, gull wings, and chipping) are drawn on the veneer. The markers are difficult to detect in the core material. The images around the outline show what the markers look like in the veneer in the light microscopy examination.

Fraktografikort

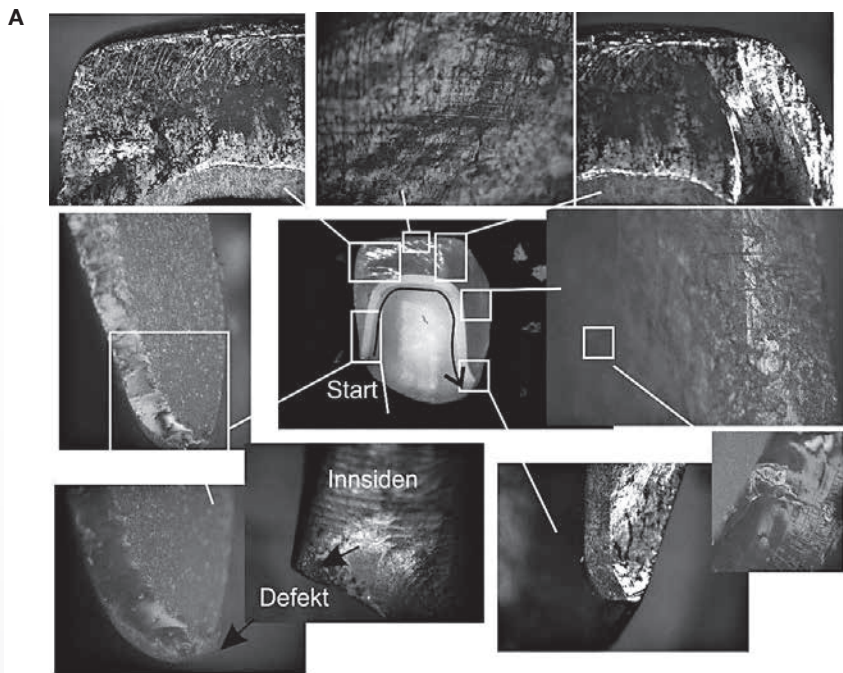
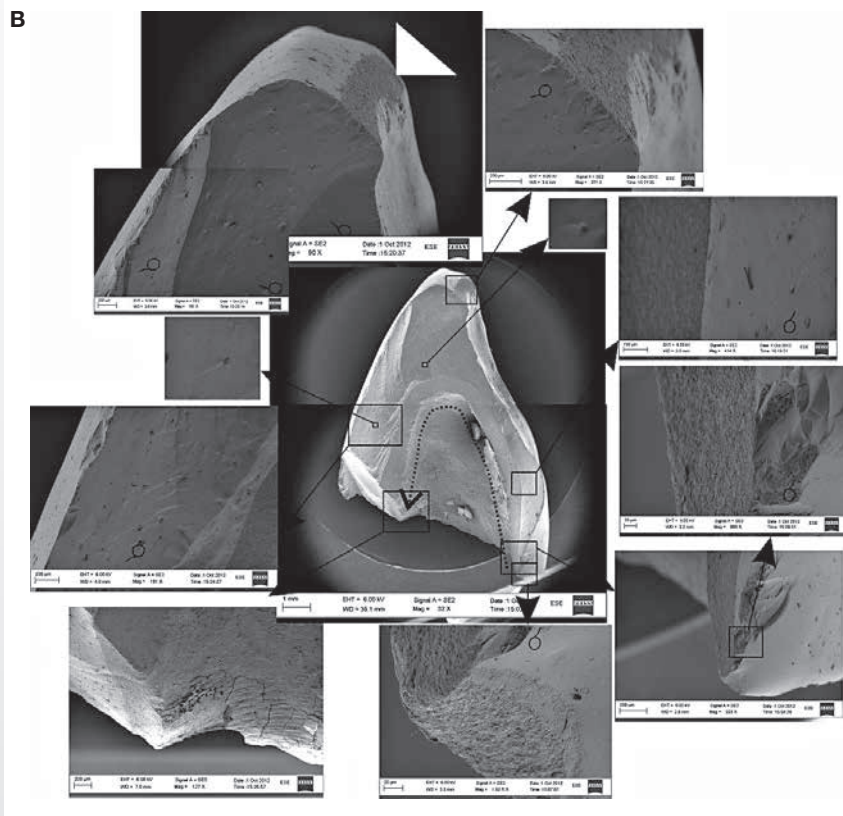


Fig. 4. Fraktografikort af to kroner med aluminiumkerne A) i lysmikroskop, B) i elektronmikroskop. Stor sort pil viser retningen på frakturen gennem kronen. A: Frakturen er startet cervikalt i det ene approximalområde og har bevæget sig langs incisalkanten til det andet approximalområde. Der ses en materialedefekt ved startpunktet på indersiden af kernen. B: Frakturen er startet cervikalt i det ene approximalområde mod palatinalfladen og har bevæget sig tværs over incisalkanten til bukkalfladen. En del af kronen mangler, så slutpunktet for hovedfrakturen bukkalt ikke er med. Incisalt ses tydelige spor efter slitage fra antagonist på glasuren. På indersiden af kronen ses rester af cementen. Boksene på oversigtsbilledet viser størrelsen og lokaliseringen af de forstørrede billeder.

Fig. 4. Fractographic analysis of two crowns with aluminum core A) in light microscopy, B) in electron microscopy. The large black arrow shows the direction of the fracture through the crown. A: The fracture begins cervically in one approximal area and moves along the incisal edge to the other approximal area. It shows a material defect at the point of origin on the inside of the core. B: The fracture begins cervically in one approximal area towards the palatine surface and moves across the incisal edge to the buccal surface. Part of the crown is missing and thus the end point of the main buccal fracture is not shown. Looking at the incisal edge, there are clear signs of wear from the antagonist on the glaze. On the inside of the crown are the remains of the cement. The boxes on the overview image show the size and localisation of the enlarged images.



virkes nævneværdigt. I visse tilfælde vil det være indiceret at fremstille kroner, der udelukkende består af kernemateriale, fx fuldkontur zirkonium. Dette kan være aktuelt hos patienter med parafunktion (bruksister), ved stor belastning posterior og ved korte kliniske kroner, både i forbindelse med hygiejnisk udformning af mellemlid og for at spare tandsubstans.

Der er imidlertid flere *in vitro*-undersøgelser, som indikerer, at præparationsgrænsens udformning har beskeden eller ingen betydning for frakturstyrken på helkeramiske kroner (14,18,19). Disse undersøgelser viser imidlertid som regel andre typer frakturmønstre end det, som blev observeret i denne undersøgelse og i andre undersøgelser af kliniske brud, så det er et spørgsmål, om de har tilstrækkelig klinisk relevans (20,21). Der er imidlertid ikke dækning i tilgængelig litteratur for at sige, om den ene præparationsudformning er bedre end andre med hensyn til forebyggelse af tidlige kliniske brud.

Når man skal drage kliniske konsekvenser af frakturanalyseres resultater, er der flere forhold, man som operatør bør tage hensyn til. For at forebygge fraktur af helkeramiske konstruktioner er det vigtigt, at retningslinjer for valg af keramiktype til anbefalede indikationer følges. Manglende kendskab til de forskellige keramiktypers egenskaber og egnet cement kan være en indirekte årsag til frakturer. Når det gælder operatørens håndtering af keramiske konstruktioner, bør man undgå at skabe overfladedefekter ved bearbejdning af det keramiske materiale (2,22). Ved indslibning i okklusion og artikulation bør man benytte nye finkornede diamanter med høj hastighed og rigelig vandkøling. Det er også vigtigt, at konstruktionen efterfølgende poleres godt for at undgå slid på antagonisten. Kronens okklusale udformning er vigtig for at undgå stresskoncentrationer/stresspunkter, og dette må både teknikker og tandlæge tage hensyn til. Desuden er det vigtigt, at man ved indprøvning af helkeramiske konstruktioner undgår at presse disse på plads,

da dette vil initiere stress på konstruktionen. Af samme grund er det vigtigt, at kronen har løspasning, så cementen får mulighed for at sive ud uden for stort pres. Det er også uheldigt med for lav konvergensvinkel, da dette kan medføre stort tryk ved cementering, fordi cementen ikke får plads til at sive ud. Midlertidig cementering bør undgås ved helkeramiske konstruktioner, da der er risiko for sprækkedannelse både ved løsning og ved fjernelsen før permanent cementering. Den midlertidige cement er desuden elastisk, og da keramiske materialer ikke er fleksible, kan dette inducere stress og sprækkedannelse. Der er imidlertid begrænset videnskabelig dokumentation til belysning af, hvilke faktorer der er af størst betydning for at undgå frakturer.

Konklusion

Frakturanalyse er en god metode til identifikation af frakturs startpunkt og retning. Samtlige undersøgte eksemplarer havde frakturer, som startede cervikalt i approssimalområdet. Ved hjælp af frakturanalyser fandtes, at mulige årsager til frakturmønstrene kunne være faktorer som ugunstig trækbelastning, kronens approssimale udformning og fejlagtig behandling af materialerne. Forskellige tiltag for at styrke konstruktionen cervikalt i approssimalområdet, korrekt materialehåndtering samt nøje vurdering af belastningsforhold kan bidrage til at mindske antallet af frakturer i helkeramiske konstruktioner i fremtiden.

Tak

Undersøgelsen havde ikke været mulig uden hjælp fra tandlægerne ved Bakke Tannlegekontor, som sendte os eksemplarer til frakturanalysen. Tak til Egil S. Erichsen ved det Matematisk-naturvidenskabelige fakultets felleslaboratorie for hjælp i forbindelse med SEM-mikroskopering.

ABSTRACT (ENGLISH)

Fractures of all-ceramic crowns – reasons and prevention

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 analysed 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 lingually. The fluctuations of the finish line may be levelled to reduce stress concentration in approximal curves. Other factors considering handling are also discussed.



Litteratur

- Sailer I, Pjetursson BE, Zwahlen M et al. 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 (Supp 3):S86–96.
- Milleding P, Karlsson S, Molin M. *Dentala helkeramer i teori och klinik*. Stockholm: Gothia, 2005.
- Molin M. *Dentala helkeramer, klinisk utvärdering*. In: Kunskapscenter för Dentala Material (ed). Stockholm: Socialstyrelsen, 2004; 1–25.
- Noort Rv. *Introduction to dental materials*, 2nd ed. Edinburgh: Mosby, 2002.
- Lee JJ, Kwon JY, Bhowmick S et al. Veneer vs. core failure in adhesively bonded all-ceramic crown layers. *J Dent Res* 2008;87:363–6.
- Øilo M, Gjerdet NR. Fractographic analysis of all-ceramic crowns: a study of 27 clinically fractured crowns. *Dent Mater* 2013;29:e78–e84.
- Quinn GD. *Fractography of ceramics and glasses*. Washington: National Institute of Standards and Technology, 2007.
- Quinn GD, Hoffman K, Scherrer S et al. Fractographic analysis of broken ceramic dental restorations. In: Varner JR, Wightman M, eds. *Fractography of glasses and ceramics VI*. John Wiley & Sons, 2012;161–74.
- Scherrer SS, Quinn GD, Quinn JB. Fractographic failure analysis of a Procera AllCeram crown using stereo and scanning electron microscopy. *Dent Mater* 2008;24:1107–13.
- ASTM INTERNATIONAL. ASTM C1322-05b standard practice for fractography and characterization of fracture origins in advanced ceramics. (Set 2013 oktober). Tilgængelig fra: URL: <http://www.astm.org/Standards/C1322.htm>
- 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.
- Øilo M, Tvinnereim HM, Gjerdet NR. Qualitative and quantitative fracture analyses of high-strength ceramics. *Eur J Oral Sci* 2009;117:187–93.
- Scherrer SS, Quinn JB, Quinn GD et al. Failure analysis of ceramic clinical cases using qualitative fractography. *Int J Prosthodont* 2006;19:185–92.
- Vult von Steyern P, al-Ansari A, White K et al. 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.
- Quinn JB, Quinn GD, Kelly JR et al. Fractographic analyses of three ceramic whole crown restoration failures. *Dent Mater* 2005;21:920–9.
- Lee HE, Lin CL, Wang CH et al. Stresses at the cervical lesion of maxillary premolar—a finite element investigation. *J Dent* 2002;30:283–90.
- Whitton A, Qasim T, Ford C et al. The role of skirt geometry of dental crowns on the mechanics of failure: experimental and numerical study. *Med Eng Phys* 2008;30:661–8.
- Akesson J, Sundh A, Sjögren G. Fracture resistance of all-ceramic crowns placed on a preparation with a slice-formed finishing line. *J Oral Rehabil* 2009;36:516–23.
- 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 Biomater* 2012;8:4426–37.
- Øilo M, Kvam K, Tibballs JE et al. Clinically relevant fracture testing of all-ceramic crowns. *Dent Mater* 2013;29:815–23.
- Kelly JR, Benetti P, Rungruangnunt P et al. The slippery slope: critical perspectives on in vitro research methodologies. *Dent Mater* 2012;28:41–51.
- Øilo M, Strand G, Tvinnereim H. Keramer som tannrestaureringsmateriale. *Nor Tannlegeforen Tid* 2005;115:322–8.