Downloaded from UvA-DARE, the institutional repository of the University of Amsterdam (UvA)
http://dare.uva.nl/document/352218

File ID	352218
Filename	Hoofdstuk 8: Samenvatting en conclusies

SOURCE (OR PART OF THE FOLLOWING SOURCE):

Type	Dissertation
Title	Validation procedures in computerized dentistry
Author	S.T. Vlaar
Faculty	Faculty of Dentistry
Year	2012
Pages	156

FULL BIBLIOGRAPHIC DETAILS:
http://dare.uva.nl/record/407771

Copyright

It is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), other than for strictly personal, individual use.

UvA-DARE is a service provided by the library of the University of Amsterdam (http://dare.uva.nl)

Hoofdstuk 8

Samenvatting en conclusies

De noodzaak voor een gepaste validatie en verificatie methodologie voor CAD/CAM systemen wordt steeds groter. CAD/CAM systemen bestaande uit een optisch scansysteem, ontwerpsoftware en een productiemachine dienen op een bepaald niveau, te functioneren, waarbij fabrikanten de effectiviteit van het systeem als geheel dienen te bewijzen. Dit promotieonderzoek is gewijd aan de evaluatie van een aantal geselecteerde aspecten in optische en X-ray scan- en plansystemen, ontwerp, planning en productie van restauraties in de digitale tandheelkunde, die de afgelopen 10 jaar een dramatische ontwikkeling heeft doorgemaakt. Technologische ontwikkelingen op het gebied van scannen hebben geleid tot de introductie van meer dan een half dozijn nieuwe Cone Beam CT (CBCT) en intraorale scanners in de tandheelkundige markt. Hoewel het intraoraal scannen oorspronkelijk bedoeld was voor de productie van restauraties aan de stoel in één afspraak, kunnen wij recentelijk een trend zien waarbij de gegevens uit de intraorale scanner meer en meer worden gebruikt voor digitale productie in de tandtechnisch laboratoria of industriële productiecentra. Hoewel wij de nauwkeurigheid van de twee laboratoria scanners hebben geëvalueerd, is deze methodologie ook van toepassing voor intraorale scanners, die in feite geminiaturiseerde versies van laboratorium scanners zijn. Ook het toegenomen gebruik van CBCT scanners in implantaat planning voor geleide implantatie kan worden gezien als belangrijke trend in de digitale tandheelkunde, maar het prijskaartje blijft een hindernis voor de gemiddelde praktijk. De invoering van het direct frezen van zirkoonoxide keramiek in de groene vorm, markeerde het begin van een explosieve groei van de CAD/CAM productie van vaste partiële prothesen en implantaat abutments in de afgelopen 10 jaar. Met de komst van tandkleurige, relatief translucent, zirkoonoxide kwam een nieuw hoge sterkte materiaal beschikbaar als een ondersteunende structuur voor tandheelkundig porselein. De hoge-sterkte zirkoonoxide, ingekleurd als een dentine, opende ook nieuwe perspectieven in de richting van het digitale opbakken met een translucente glaskeramiek laag, ontworpen en geproduceerd in functioneel contact met de antagonisten en de aangrenzende tanden. Hoewel we in 1990 het CICERO (*Computer Integrated Ceramic Restorations*) systeem als de eerste digitale opbakapplicatie, gebaseerd op aluminiumoxide technologie in 2000 ontwikkeld hadden, werd met de introductie van het veelbelovende zirkoonoxide als een onderbouw materiaal, het aluminiumoxide vervangen. Tijdens de ontwikkeling werd bij CICERO vooral gefocust op het eindproduct, met de hoogste prioriteit voor esthetiek en functionaliteit. Het doel was: "De ontwikkeling van een CAD/CAM systeem waarmee de technicus een kwaliteitsniveau kan bereiken dat gelijk is aan of groter is dan de dagelijkse kwaliteit van zijn werk". In het CYRTINA systeem werd zirkoonoxide voor de substructuurtoegepast. Het PRIMERO (*Process for Reversed Integrated Manufacturing of Esthetic Restorations*) systeem, waarbij met "*Reversed Design*", eerst de volanatomische contour van de restauratie wordt ontworpen in functionele contactrelaties, gevolgd door het ontwerp van de onderbouw. Digitaal opbakken kan het productieproces standaardiseren tegen

gereduceerde doorlooptijden en lagere kosten, terwijl tegelijkertijd de voorspelbaarheid en productkwaliteit kan worden verhoogd door een verbeterde structurele integriteit. Wij evalueerden het effect van vijf verschillende onderbouw ontwerpen op de breukbelasting van een maxillaire incisale kroon.

Nauwkeurigheid van Dental Scanners

Speciaal als tandheelkundige scanners worden gebruikt als open, *stand-alone* applicaties voor het outsourcen van productie, is een betrouwbare standaard test voor de vergelijking tussen scanners zeer gewenst. Een voorgestelde testmethode werd ontwikkeld om "de kwaliteit van het digitaliseren" te kwantificeren met betrekking tot de nauwkeurigheid en de reproduceerbaarheid van scanners waardoor de vergelijkbaarheid van de kenmerken kon worden gewaarborgd. Twee laserlicht sectie scanners werden geëvalueerd door middel van de "*Sphere Test*", die bestond uit herhaalde metingen van de straal van een precisie-kogel (radius: 6,00 mm) volgens een vooraf gedefinieerd protocol. De oppervlakte informatie bestond uit onge-*match*-te, overlappende puntwolken en statistisch verwerkt met de CYTINA software (Oratio BV, Hoorn, Nederland). De standaarddeviatie van alle punten, evenals een maat voor de ondersnijding van de evenaar werden bepaald. De standaarddeviatie voor de straal voor de D en S waren 7,7 (± 0,8) en 13,7 (± 1,0) µm respectievelijk. De evenaar ondersnijdingen waren de elevaties -2.0^{o} en -0.25^{o} voor de scanner D en S respectievelijk. Scanner D had een significant hogere nauwkeurigheid dan scanner S, die correspondeert met de kleinere pixel afstand van de sensor. Beide apparaten gaven voldoende nauwkeurigheid en reproduceerbaarheid en vertoonden een voldoende capaciteit om de evenaar te detecteren.

Relevantie: De testmethode toonde haar geschiktheid om de nauwkeurigheid van tandheelkundige scanners te valideren en werd door de werkgroep ISO/TC106/SC/WG11 CAD/CAM systemen, als onderdeel van een ontwerp ISO-standaard ISO/CD12836 Tandheelkunde – Test methoden voor optische scanners die worden gebruikt in CAD/CAM-systemen (2010-06-10).

Aanpak voor het valideren van de invloed van laboratorium simulatie van implantaten

Nieuwe digitale technieken kunnen worden gebruikt om de lokalisatie en doelgerichtheid van implantaatplaatsing te verbeteren en de inherente invasiviteit van de operatie te reduceren. Studies zijn echter nodig om deze technieken verder te valideren zodat ze door implantologen algemeen kunnen worden toegepast. Een aantal validatie studies over het verschil in nauwkeurigheid tussen de plaatsing van het implantaat middels boren met de hand zonder computer planning en geleiding en plaatsing van implantaten door het planning met de computer en boren met geleiding van een boormal, zijn uitgevoerd. Het doel van deze studie was om de oriëntatie verschillen tussen de geplande en geplaatste implantaten door handmatig boren en door het boren met behulp van computer planning en geleiding met het CADDIMA systeem (Oratio BV, Hoorn-NL) te vergelijken. Een gedeeltelijk dentaat

patiëntmodel werd gebruikt voor de studie. Tussen de 44 en 46 was een diasteem aanwezig. Twee afdrukken van siliconen (een maxilla en een onderkaak) werden gemaakt, waar na zesentwintig gips afgietsels (een maxilla en vijfentwintig van de onderkaak) werden geproduceerd. Alle onderkaak gips afgietsels werden willekeurig verdeeld in drie groepen: groep T, groep A en groep B. Groep T bevatte vijf afgietsels die werden gebruikt voor oefening. Groep A en B waren beiden tien modellen. Boren van de afgietsels in groep A werd uitgevoerd met een boormal. Groep B was de controlegroep en de casts werden met de hand geboord. De boormal werd gemaakt tijdens de planningsfase, waarin een scannographishe afdruk met drie glazen bolletjes als referentie markers, een CT-scan en een optische laserscan werden gebruikt. Een speciale boormal werd geproduceerd voor de pilot boor (diameter 2,0 mm), vanwege het grote verschil met een diameter van die boor en de rest, te weten twee tussenliggende boren (diameter 3,6 mm en 3,8 mm) en een laatste boor (diameter 4,0 mm). Ook een registratie beet werd gemaakt, zodat met de occlusie rekening kon worden gehouden bij de planning. Twintig implantaten met een lengte van 10 mm en een diameter van 4,2 mm werden geplaatst in de twintig gaten van groep A en B. De positie en richting van de geplaatste implantaten in de casts werden optisch gescand met de optische laserscan. Het verschil tussen geplande en geplaatste implantaten werd bepaald door *matching*. Twee variabelen werden berekend: 'XY' en 'Hoek'. De XY werd gedefinieerd als de afstand tussen het geplande en geplaatste implantaat in een twee-dimensionale geometrie. De Hoek werd gedefinieerd als de richting van de geplaatste implantaat in referentie met de drie glazen bolletjes. Het gemiddelde XY van groep A was 0,198 mm (± 0,0950). Groep B had een hogere gemiddelde XY, namelijk 1,20 mm (± 0,681). Het verschil van XY tussen groep A en B was statistisch significant ($p < 0,05$). Ook het verschil van de hoek tussen groep A en B was statistisch significant ($p < 0,05$). Groep A had een gemiddelde hoek van 2,45° (± 1,55), terwijl de gemiddelde Hoek van groep B 7,05° (± 3,92) was. Volgens Sarment et al. (2003) ontlast chirurgische geleiding bij de plaatsing van een implantaat de arts van meerdere peri-operatieve beslissingen. Hij scande edentate onderkaken met behulp van Cone Beam CT-scanner met een hoge isotrope ruimtelijke resolutie, en plande vijf implantaten aan elke kant van de kaak. Met betrekking tot de gemeten hoek gevormd tussen het geplande implantaat en het feitelijke implantaat, gaf de standaard boortechniek met de hand een nauwkeurigheid van ± 8° (±4,5) en de borrn met geleiding gaf een nauwkeurigheid van 4,5° ± 2. Dit verschil was statistisch significant. Di Giacomo et al. (2005) voerde een test uit waarbij zes chirurgische boormallen werden gebruikt bij vier patiënten (leeftijd 23 tot 65 jaar oud). Eenentwintig implantaten werden geplaatst met de hulp van een radiografische template en computer-assisted tomografie. De virtuele implantaten werden geplaatst in het resulterende drie-dimensionaal beeld. Met het gebruik van een machine stereolithografische drie chirurgische boormallen werden geproduceerd. Na de ingreep werd een nieuwe CT-scan gemaakt en de beelden van de geplande en

geplaatste implantaten met hun locatie en oriëntatie werden vergeleken. Gemiddeld lag het verschil tussen de geplande en geplaatste implantaat assen bij 7,25° (± 2,67), de verschillen in afstand tussen de geplande en geplaatste posities waren 1,45 mm ± 1,42 op het nivo van de implantaat schouder en 2,99 mm ± 1,77 bij de implantaat apex. Ook in onze studie werd een statistisch significante verbetering gevonden in alle metingen als de boormallen werden gebruikt en de belangrijkste afwijkingen van het gemiddelde waren significant minder in vergelijking met handmatig boren. De betekenis van dit onderzoek kan bijvoorbeeld van belang zijn in situaties als er meerdere parallelle implantaten worden geplaatst en wanneer de nauwkeurigheid van de oriëntatie van cruciaal belang is voor het verkrijgen van een enkele prothese inzetrichting. In 2010 onderzocht de Universiteit van Rome de nauwkeurigheid van implantaten geplaatst met twee verschillende commerciële boormal systemen. Alle patiënten ondergingen een post-operatieve CT scan en de pre-en post-operatieve beelden werden vergeleken. Vier parameters (d.w.z. globale, angulaire, diepte en laterale deviatie) werden gedefinieerd en berekend tussen de geplande en de geplaatste implantaten. Het ene systeem toonde een gemiddelde globale afwijking van 1,46 mm (range 3,88-0,17, SD 0,68), een gemiddelde hoekafwijking van 5,09° (range 21,16-0.10, SD 3,69), een gemiddelde laterale afwijking van 0,97mm (range 3,15-0,08, SD 0,51) en een gemiddelde diepte afwijking van 0,97 mm (range 3,53-0,02, SD 0.70). Het andere toonde een gemiddelde globale afwijking van 1,51 mm (range 3.00-0.13, SD 0,60), een gemiddelde hoekafwijking van 4,67° (range 15,25-0,10, SD 2,97), een gemiddelde zijdelingse afwijking van 1,19 mm (range 2,61-0,12, SD 0,63) en een gemiddelde diepte afwijking van 0,74 mm (range 2,29-0,03, SD 0,55). Deze resultaten, stellen ons in staat om te bevestigen dat de betrouwbaarheid van de computer-geleide plaatsing van implantaten betrouwbaar is. Met behulp van een CT-scan gebaseerd planning systeem wordt de chirurg in staat gesteld om de perfecte locatie voor plaatsing van het implantaat te selecteren, waarbij rekening wordt gehouden met belangrijke anatomische structuren en het gebruik van de optimale botdichtheid. Er is onderzoek gedaan om de optimale positie te kiezen en de uitkomst vergelijken met de planning.

Relevantie: De methode kan worden gebruikt om het voordeel van de voorspelbaarheid van geleide implantaatplaatsing in precisie en oriëntatie in-vitro als in-vivo te valideren.

Computermodellen van de occlusale vlakken van posterior tanden door virtuele articulatie

Determinanten van de onderkaak bewegingen, zoals condylaire inclinatie en incisale geleiding moeten worden betrokken bij de fabricage van de restauraties in occlusie om posterieure excursieve occlusale interferenties te voorkomen. Deze studie onderzocht de verschillen in de occlusale morfologie als gevolg van de hoge, gemiddelde en lage waarden van de instellingen voor de determinanten van achterwaartse en dwarse mandibulaire bewegingen met behulp van een virtueel articulatiemodel. De articulatie functionaliteiten van een computer-geïntegreerde restauratieve technologie door

beeldvorming en nieuwe acquisitie (CYRTINA) werden gebruikt als een instrument om het mogelijke effect van determinanten van mandibulaire beweging op een occlusaal kiesontwerp te onderzoeken. Een hoge, gemiddelde en lage waarde voor de condylaire geleidingshoek, incisale geleidingshoek en occlusie contactvlak (antero-posterior determinanten) en laterotrusion, laterale translatie en occlusie contactvlak (dwarse determinanten) werden geïntroduceerd en verschillen in molaire morfologie bestudeerd. Dit laatste werd gedaan door het vergelijken van mesiodistale en buccolinguale delen van de occlusale ontwerpen. Deze interocclusale verschillen werden gekwantificeerd als verschillen in de frequentie van occlusale afstand intervallen in een interocclusal bereik van 1 mm, gemeten vanaf het occlusale oppervlak van het molaarmodel. De verticale afstand waarmee een standaard kroon in occlusie moest worden gecorrigeerd om storingen te vermijden, werd berekend. Van alle parameters, gaven de ipsilaterale en contralaterale laterale translatie, sagittale condylaire geleidingshoek, de ipsilaterale laterotrusie en de incisale geleidingshoek, aanzienlijke occlusale vlakcorrecties. De hoge instelling voor de ipsilaterale laterale translatie vereist de meeste correctie. Hoge en lage instelwaarden van de mandibulaire bewegingsdeterminanten vereisen een aanzienlijke aanpassing van de occlusale oppervlak van een kroon om functionele occlusie te vergemakkelijken zonder occlusale storingen. In een tweede studie werd de CYRTINA procedure gebruikt voor het vervaardigen van een kroon in statische contact. Hoewel dit ontwerp voldoet aan de esthetische eisen van een tandheelkundige restauratie in functie, stoort zij in haar normale functionele bewegingen. Daarom moeten extra correcties van het occlusale oppervlak worden uitgevoerd om storingen te voorkomen tijdens de dynamische contactbewegingen. Twee soorten instellingen werden gekozen voor de fabricage van deze kronen: de standaardwaarden meestal gebruikt in articulatoren en de gegevens verkregen na digitale registratie van de individuele contact bewegingen. De gegevens van een elektronisch opname systeem werd gebruikt om kaakbewegingen in de virtuele CYRTINA articulatiesoftware te simuleren. Het registratietoestel is ontworpen voor gebruik in de tandheelkundige praktijk. Maar voor routine restauratieve procedures, zal de toepassing van dit optoelektronische apparaat vaak onproportioneel tijdrovend zijn en kan het de patiënt onnodig belasten. In pilot studies is de registratieprocedure getest bij patiënten en konden geproduceerde kronen zonder dynamische storingen; ook de contacten in centrische occlusie garandeerden een optimaal herstel. Echter, in klinische studies met grotere groepen patiënten, moeten de praktische aspecten verder worden geëvalueerd. Het CYRTINA systeem is tot nu toe is het eerste systeem waarbij de gegevens van een elektronische registratie direct kunnen worden toegepast op het ontwerpen van het occlusale oppervlak van kronen. Op deze manier kunnen conventionele methoden, waarbij articulatoren worden gebruikt voor de occlusale vormgeving van kronen, worden vermeden. Bovendien worden de moeilijk te visualiseren 2D projecties van de contactsituatie van de ruimtelijke bewegingen van de antagonistische tanden tijdens de functie en de

bewegingen van tegengestelde kaken in de articulator, vervangen door evaluatieonderzoek van de ontwerpen op het CAD/CAM scherm. Deze ontwerpen kunnen worden bestudeerd in elke doorsnede of in 3D perspectief. De nauwkeurigheid van een CAD/CAM kroon hangt af van geaccumuleerde afwijkingen: de precisie en reproduceerbaarheid van het scan-design-produktieproces. In de digitale oppervlakte acquisitiefase hebben de meeste scanners een nauwkeurigheid in het bereik van 10-50 (gemiddeld rond de 15) µm. De nauwkeurigheid van het produktieproces van een restauratie hangt af van vele factoren en liggen gemiddeld in hetzelfde bereik als voor het scannen. Interocclusale contacten in deze studie werden daarom gedefinieerd als 50 µm - intervallen. De ontwikkelde software kan worden gebruikt om veranderingen die plaatsvinden in de nabijheid van de buccolinguale overdwarse rug, die niet gemakkelijk kan worden gedetecteerd in de 2D-opnames van 3D-morfologie. De ruimtelijke verdeling en de frequentie van de contacten bieden een instrument om deze verschillen objectief op te sporen. In het bijzonder kan de interocclusale afstand berekend in het systeem voor elk van de 5 µm punten van de occlusale rasterontwerp, die verband houden met de verschillen in buccolinguale en mesiodistale secties en van de perspectief afbeelding van kroonontwerpen makkelijker worden beoordeeld na kwantitatieve berekening van de interocclusale situatie door de computersoftware. Voor de interocclusale analyse kan ook de kwantitatieve frequentieverdeling van interocclusale afstanden nuttig zijn.

Relevantie: Virtuele articulatie is een hulpmiddel om de effecten van relatieve contact bewegingen op occlusale morfologie te analyseren en kan meer kwantitatieve gegevens over de veranderingen genereren als gevolg van de verschillende parameters van het craniomandibulair systeem.

Vergelijkende eindige elementen analyse van de spanning zirconia en titanium abutments

Eindige elementen modellen werden gerealiseerd zonder het modelleren van de schroefdraad van het implantaat in het bot. Hoewel het implantaat ontwerp zou kunnen leiden tot grote variaties in de spanningsverdeling in het bot, het verschil tussen de cilindrische en schroefvormige implantaten is klein en de invloed van deze vereenvoudiging op de spanningsverdeling in het implantaat met opbouw en schroef zou kunnen verwaarlozen. Sommige studies werd de voorspanning veroorzaakt door het aandraaien van de schroefabutment, verwaarloosd. Echter, de voorspanning beïnvloedt de spanningen en de vervorming in het implantaat en als gevolg de spanningen in het bot. De hoogste trekspanning in het implantaat met opbouw en schroef met de interne achthoek verbinding was in de titaanlegering en zirkoonoxide abutment respectievelijk 448 MPa en 506 MPa. De vloeigrens van de titaan legering is 789-1013 MPa en de sterkte van het zirkoonoxide 1074-1166 MPa. Echter, deze sterkte wordt sterk beïnvloed door de ruwheid van het oppervlak en kan worden teruggebracht tot bijna de helft van deze waarde. In de klinische situatie kan, als de afwerking in de hoek van de achthoek niet perfect is, de spanning in het zirkoonoxide abutment in beide uitvoeringen leiden tot breuk, vooral na het

vermoeïngseffect van het kauwen. In het implantaat was de hoogste spanning respectievelijk 712 MPa en 787 MPa voor het titaan en zirkoonoxide abutment. Deze spanningen liggen dicht bij de vloeigrens van titaan. In de abutment schroef bleven de spanningen ruim onder de vloeigrens. In het bot was de hoogste spanning respectievelijk 34 en 36 MPa voor het titaan en zirkoonoxide abutment. De hoogste spanningen in het bot traden op in het corticale bot en liggen ver onder de sterkte van het bot. De hoogste trekspanning in het implantaat met opbouw en schroef met de externe achthoek verbinding werd in de titaanlegering en zirkoonoxide abutment respectievelijk 278 MPa en 260 MPa spanningen gemeten, ver onder de sterkte van het materiaal. De hoogste spanning kwam voor aan de binnenkant van het abutment net boven de abutment schroef. Het ontwerp van de abutment met externe achthoek lijkt in dit opzicht gunstiger belast dan het interne achthoek ontwerp. De hoogste trekspanning in het implantaat was 1288 MPa en 1180 MPa voor de titaan en zirkoonoxide abutment respectievelijk. Deze spanningen zijn net boven de vloeispanning van het titaanlegering en kan vervorming van het implantaat te geven aan het punt waar een dikkere deel van het implantaat zal ondersteunen meer. De hoogste belasting in het bot was in het corticale bot, 53 MPa voor beide abutment materialen. Dit is lager dan de sterkte van de corticale bot. Het is echter mogelijk dat eventuele vervorming van het implantaat hardnekkige ontsteking van het weefsel tegen het implantaat-abutment oppervlak veroorzaakt. In de abutment schroef bleven de spanningen onder de vloeigrens van het materiaal. Alle implantaat-abutment combinaties glijden van de opbouw over het contactoppervlak met het implantaat. Dit schuiven veroorzaakt een micro-gap. Het ontstekingsproces kan worden versterkt door het "pomp-effect" van de vorming van deze micro-gap onder de invloed van kauwkrachten. Dit "pomp-effect" zou de verschillen die door anderen gevonden worden voor de verschillende ontwerpen kunnen verklaren, terwijl de micro-lekkage niet te vermijden is bij de huidige implantaten systemen, ongeacht het type verbinding of interface grootte. De hoogste trekspanning in de abutment schroef was tussen de 586 tot 763 MPa voor de verschillende implantaat-abutment combinaties. Als gevolg van de vermoeïngseffect tijdens het kauwen, kunnen deze spanningen resulteren in het loskomen van de schroef.

Relevantie: Eindige Elementen Analyse heeft bewezen een uitstekend instrument te zijn om catastrofale spanningen te voorspellen in keramische abutments en de kans op breuk te verlagen door een beter ontwerp.

Effect van het ontwerp parameters op het breukbelasting kracht van PRIMERO kronen

De aanbevelingen met betrekking tot preparatieontwerp, afmetingen, en vorm van de zirkoonoxide kern zijn identiek voor metaalkeramiek kronen opgebakken met porselein. Het gebruik van de nieuwe digitale PRIMERO produktie methode om op te bakken maakt het mogelijk om identieke kronen met betrekking tot het ontwerp van de zirkoonoxide kernstructuur te produceren. In alle vijf groepen

werden kernstructuren ontworpen zoals gebruikelijk in de klinische praktijk. Het opbak proces werd uitgevoerd volgens een eigen methode, met aangepaste afmetingen en identiek voor alle vijf groepen. Cementatie werd uitgevoerd op basis van de aanbevelingen van de fabrikant, met zinkfosfaat cement op een metalen stomp. Volgens Scherrer, resulteert het verhogen van elasticiteitsmodulus van het ondersteunende materiaal in een verhoogde breuksterkte. De elasticiteitsmodulus van de ondersteunende stomp was 200 GPa, superieur aan die van dentine van 12 GPa. Indien natuurlijke tanden gebruikt waren als ondersteunening, zou de breukbelasting van de kronen lager zijn geweest. Echter, natuurlijke tanden zouden bij de hoge breukbelastingen zijn bezweken tijdens het testen. Belasting condities en cementatie waren identiek voor alle groepen. Keramische structuren hebben de neiging om te mislukken als gevolg van de spanningsconcentraties aan het oppervlakte, waar barsten en scheuren ontstaan door langzame scheurgroei die leiden tot catastrofale breuk. In volkeramiek systemen, kan de defect populatie (grootte, aantal en distributie) worden gerelateerd aan het materiaal, of beïnvloed worden door het fabricageproces. Zo kan worden verwacht dat bij overpersen bij hoge temperatuur minder defecten aanwezig zijn dan bij opbakken in lagen, wat resulteert in betere sterkte-eigenschappen, omdat het een meer gecontroleerde procedure is. Ter vergelijking, de handmatige opbaktechniek is gevoeliger en onderhevig aan variabiliteit, die te wijten is aan de opbakprocedures.

Het is redelijk te veronderstellen dat de wijze van breuk van volkeramiek restauraties gebaseerd op zirkoonoxide en het relatief zwakke porselein-uitgaande van een goede hechting-meer neigt naar het cohesief chippen van porselein. Derhalve, leidde het relatief zwakke opbakporselein (90 MPa) van de monsters tot cohesieve breuk, waarbij een dunne porseleinlaag achter bleef op de zirkoonoxide kern. Dit type breuk is een indicatie voor een goede hechting tussen de kern en het opbakkeramiek die cruciaal is voor het succes van deze samengestelde structuren. De breukbelasting van kronen met een schouder van opbakporselein was significant lager dan die van de andere geteste groepen. De belangrijkste reden is waarschijnlijk de initiatie van een scheur bij de niet-ondersteunde porselein schouder. Het totaal aantal in de kern gebroken monsters geeft ook de stabiliteit van restauraties met een zirkoonoxide kern aan. Vijftien van de 25 monsters braken niet catastrofaal bij de zeer hoge breukbelasting. Bij het CAD/CAM proces wordt gebruik gemaakt van hoge kwaliteit materialen met een minimum aan defecten in vergelijking met de handmatige procedures van opbakken. Het feit dat tien cohesieve fracturen werden waargenomen geeft aan dat er een goede hechting is bereikt met de PRIMERO techniek. Catastrofale breuk als gevolg van contactbelasting heeft het moeilijk gemaakt om te bepalen of kegelbreuk of onderhuidse schade verantwoordelijk was. Het wordt verondersteld dat beide processen kunnen optreden op de plaats van de scheur zoals gerapporteerd door eerdere studies.

Alle geëvalueerde groepen zorgden voor een hogere breuk- belasting dan gerapporteerd in de meeste beschikbare literatuur en waren hoger dan de hoogste in de mond optredende belasting. Er werd echter

klinisch falen van de volkeramiek restauraties met een zirkoonoxide kern gemeld. Het wordt verondersteld dat vermoeiing een groot effect heeft op de mechanische stabiliteit en de hoge waarden in vergelijking met soortgelijke studies, kunnen ook worden verklaart omdat met vermoeiing geen rekening is gehouden in deze studie. Het stomp materiaal, zoals hierboven vermeld, heeft een belangrijke invloed en verhoogde de breukbelasting in deze studie. Soortgelijke breuk belastingen zijn gemeld op titaan stompen. De grootte van het contactoppervlak kan ook invloed hebben op de breuk kracht van volledig keramische restauraties. In deze studie werd gebruik gemaakt van een juk met een groot contactoppervlak als bij vergelijkbare studies, om een optimale overdracht van de belasting op de kroon te garanderen. Het verhogen van de belastinghoek kan leiden tot verlaging van de breukbelasting. De standaarddeviatie van maximaal 36% was in dezelfde orde van grootte in vergelijking met soortgelijke onderzoeken. Dit kan worden verklaard doordat de monsters waren ontworpen als kronen zoals deze in klinisch gebruik voorkomen. Andere studies die een lagere standaarddeviatie rapporteerden gebruikten vereenvoudigde vormen van het occlusale oppervlak.

Relevantie: De eenvoudige kroon breuktest kan informatie geven over de relatieve sterkte in verschillende ontwerpen en daarmee richtlijnen verschaffen voor het ontwerpen van restauraties.