

Effekten af rodstiftens dimension, elasticitetsmodul og adhæsive binding på spændingsdannelsen i tænder

Anne Peutzfeldt, Erik Asmussen og Alireza Sahafi

Holdbarheden af tænder restaureret med rodstifter afhænger af et væld af faktorer. Finite element (FE)-analyse er et softwareværktøj, der anvendes til beregning af spændingsfordeling i komplekse strukturer, også tandrestaureringer. Formålet med denne undersøgelse var at analysere effekten af rodstiftens diameter, længde, elasticitetsmodul og adhæsive binding på spændingsdannelsen i en tand restaureret med en rodstift, opbygning og guldkrone. Der konstrueredes en axisymmetrisk tredimensionel model, der omfattede dentin, parodontalmembran, kortikal og trabekulær knogle, gingiva og guttaperka. Som kontrolrodstift valgtes en cylindrisk titanstift med en diameter på 1,4 mm, længde i rodkanalen på 10 mm og elasticitetsmodul på 112 GPa. Rodstiften blev simuleret til enten at være adhæsivt bundet eller ikkeadhæsivt bundet til dentinen i rodkanalen. Guld-kronen blev belastet med 100 N, og de resulterende spændinger i roden blev beregnet og angivet i form af von Mises spændinger. Spændingerne i roden aftog, i takt med at rodstiftens diameter øgedes, eller i takt med at stiftens elasticitetsmodul øgedes. Rodstiftens længde havde ingen indflydelse på spændingsdannelsen i roden. Adhæsiv binding resulterede i mindre spændingsdannelse end konventionel, mekanisk forankring.

Rodstifter anvendes ofte ved restaurering af stærkt destruerede tænder. En rodstift skal yde retention for en opbygning og en endelig restaurering, men skal samtidig være med til at sikre, at tilbageværende tandsubstans ikke udsættes for yderligere skader. Der er i dag et stort antal af rodstifter at vælge mellem, både hvad angår støbte og præfabrikerede typer. Rodstifters evne til på én gang at yde retention og være skånsomme afhænger af mange faktorer. Visse faktorer i forbindelse med rodstiftbehandling er givet af den kliniske situation, fx mængden af tilbageværende tandsubstans og muligheden for at præparere, så kronen får et 1,5-2 mm højt greb om tanden, mens andre faktorer bestemmes enten helt eller delvist af tandlægen. Sidstnævnte faktorer omfatter rodstiftens dimensioner og stivhed samt retentionscementen.

Såfremt rodfyldningens apikale forsegling bevares, og dentinvæggen ikke svækkes unødigt i forbindelse med stiftudboringen, vil en øgning af rodstiftens længde ifølge tidligere undersøgelser resultere i øget retention, mindske spændingsdannelse og øget styrke af den restaurerede tand (1-6). Hvad rodstiftens diameter angår, er den foreliggende litteratur begrænset og resultaterne modstridende. Der synes dog at være konsensus om, at en rodkanal ikke bør udvides ukritisk, da styrken af den restaurerede tand derved falder, og da effekten på retentionen er tvivlsom (4,7-9). Rodstiftens stivhed bestemmes dels af stiftens diameter, dels af stiftmaterialets elasticitetsmodul (E-modul). Der er uenighed om, hvilken stivhed en rodstift bør have. Utilstrækkelig stivhed af stiften vil tillade, at selve restaureringen distorteres under belastning, og vil resultere i nedbrydning af cementen i kantområdet og risiko for caries. Der findes undersøgelser, der viser, at spændingsdannelsen i roden øges, og tandens styrke mindskes, når der anvendes stifter med lav E-modul frem for stifter med højere E-modul (6,10-12). En del laboratorieundersøgelser og kliniske studier med kort opfølgningstid viser derimod, at anvendelsen af rodstifter fremstillet i materialer med lav E-modul vil resultere i mindre alvorlige komplikationer end stifter i materialer med højere E-modul (10,11,13,14).

Rodstifter kan retineres i rodkanalen enten ved mekanisk forankring af cementen i ujævnhederne i rodstiftens overflade på den ene side og i rodkanalens overflade på den anden side eller ved adhæsiv binding af cementen frembragt vha. et bindingssystem. Sammenlignet med mekanisk forankring og fosfatcement har man i flere undersøgelser fundet, at adhæsiv binding af rodstifter med plastcement resulterer i øget retention af stiften, i mindre og mere skånsom spændingsdannelse samt i øget styrke af den restaurerede tand (6,15-18).

- En tykkere rodstift inducerer færre spændinger i roden end en tyndere rodstift.
- En rodstift med høj E-modul inducerer færre spændinger i roden end en rodstift med lav E-modul.
- En rodstift, der er adhæsivt bundet til dentinen i rodkanalen, inducerer færre spændinger i roden end en ikke-adhæsivt bundet rodstift.

Undersøgelser af stiftretinerede restaureringer viser, at der årligt opstår komplikationer i relation til rodstiften eller opbygningen i op mod 5 % af restaureringerne (19-24). De hyppigst forekommende komplikationer er løsning af stiften og rodfraktur (22). Rodfraktur medfører ofte ekstraktion af tanden. Rodstiftbehandlinger bør optimeres, således at risikoen for så alvorlige komplikationer som rodfraktur minimeres. Identifikation af den bedst mulige behandling kræver en randomiseret, kontrolleret klinisk undersøgelse. Pga. det væld af faktorer, som er medbestemmende for holdbarheden af tænder behandlet med rodstifter, er det praktisk taget umuligt at udføre en sådan undersøgelse. Såkaldte finite element (FE) -analyser har vundet udbredelse til undersøgelse af, hvordan forskellige typer af tandrestaureringer vil klare sig, herunder rodstifter. Vha. særlige softwareprogrammer konstrueres en model af den restaurerede tand og de omgivende væv, tanden belastes med en vis kraft, og den resulterende spændingsdannelse beregnes. Vha. sådanne computersimuleringer analyseres, hvorledes restaureringen vil klare sig, hvordan den påvirker tanden og de øvrige omgivelser, og hvilke svagheder restaureringen har (5,25-32).

Formålet med nærværende undersøgelse var, vha. FE-analyse, at afklare betydningen af følgende faktorer for spændingsdannelsen i tandroden: rodstiftens diameter, længde og elasticitetsmodul samt adhæsive binding.

Materiale og metode

FE-spændingsanalysen blev foretaget vha. ANSYS Rev. 6.1 FE softwareprogrammet (ANSYS Inc., Houston, TX, USA). Tabel 1 viser de elastiske konstanter, der anvendtes i beregningerne. FE-analysen var baseret på en axisymmetrisk, tredimensionel model (Fig. 1 og 2). Modellen bestod af mange komponenter i forsøg på at efterligne den kliniske situation så meget som muligt. Modeltanden blev re-

staureret med en cylindrisk rodstift, en plastopbygning og en guldkrone. Som kontrolrodstift anvendtes en titanstift med en diameter på 1,4 mm og en E-modul på 112 GPa. Længden af rodstiften i rodkanalen var 10 mm.

Modellen blev delt op i mindre geometriske enheder, elementer. Der anvendtes to forskellige typer af elementer, såkaldte SOLID45-elementer og CONTACT49-elementer. SOLID45-elementerne forblev i kontakt med hinanden,

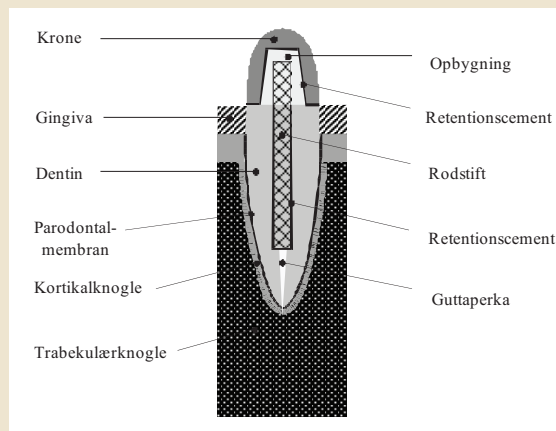


Fig. 1. De strukturer, som modellen omfattede.

Fig. 1. The investigated model of post-restored teeth.

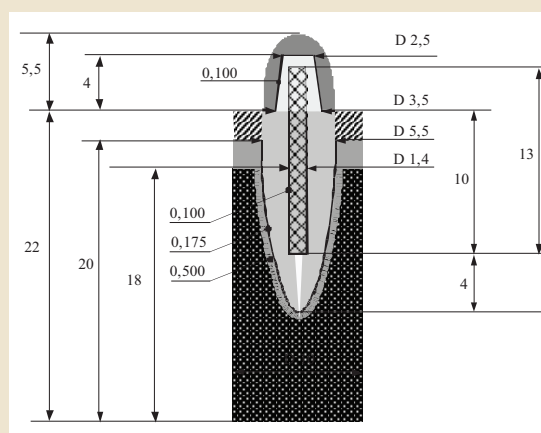


Fig. 2. De enkelte strukturers dimensioner (mm). D = diameter.

Fig. 2. Dimensions (mm) of the investigated model of post-restored teeth. D = diameter.

uanset hvilke kræfter de blev udsat for under computer-simuleringen, og de anvendtes til at simulere adhæsiv binding mellem to nabostrukturer, fx binding mellem plastcement og dentin i rodkanalen efter initial anvendelse af et bindingssystem. CONTACT49-elementerne repræsenterede to overflader, der opretholdt fysisk kontakt under tryk og friktion, men som brød kontakt under træk. Disse elementer blev således anvendt til at simulere ikkeadhæsiv binding mellem to nabostrukturer, fx kontaktfladen mellem plastcement og dentin i rodkanalen, såfremt der ikke var blevet anvendt et bindingssystem. Modellen bestod i alt af 6.876 SOLID45-elementer og 4.200 CONTACT49-elementer.

Der blev kørt seks serier af FE-beregninger: én serie, i hvilken rodstiftens diameter blev varieret mellem 1,0 og 2,2 mm, en anden serie, i hvilken stiftens længde blev varieret mellem 6 og 10 mm, og en tredje serie, i hvilken stiftens E-modul blev varieret mellem 20 og 320 GPa. De tre serier blev hver især kørt i de to scenarier: ét, i hvilket det simuleredes, at rodstiften var adhæsivt bundet til dentinen i rodkanalen, og et andet, hvor rodstiften ikke var adhæsivt bundet. I alle tilfælde blev guld kronen belastet med 100 N fra en vinkel på 45°. Denne belastning resulterede i dannelsen af spændinger i alle modellens komponenter, fx rodstiften, opbygningen og kronen. I denne undersøgelse fokuseredes imidlertid på de spændinger, der blev dannet i roddentinen. Resultaterne angives i form af von Mises spændinger, som er et samlet udtryk for de dannede træk-, tryk- og forskydningsspændinger, og som er hyppigt an-

vendt. Data blev analyseret statistisk vha. regressionsanalyse med $P = 0,05$ som signifikansniveau.

Resultater

Spændingsdannelse og -fordeling præsenteres normalt som konturdiagrammer (Fig. 3). Da sådanne diagrammer er særdeles pladskrævende, præsenteres i stedet maksimumværdier for von Mises spændingerne i roden (Fig. 4-6).

Fig. 4 viser, at von Mises spændingerne i roden aftog med stigende diameter af rodstiften såvel i tilfælde af adhæsiv binding ($r = -0,98$; $P < 0,01$) som uden adhæsiv bin-

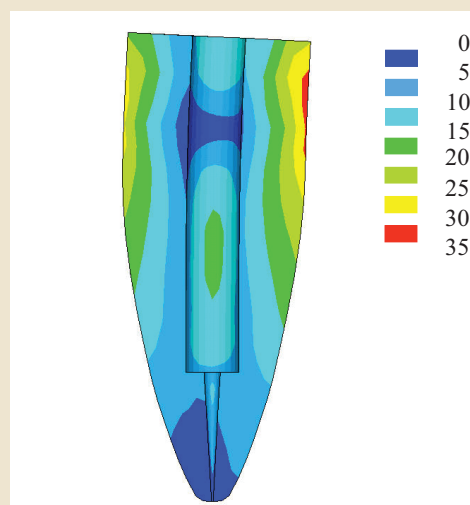


Fig. 3. Facio-lingualt snit af de von Mises spændinger (MPa), der dannes i roden som følge af belastning med 100 N af en tand, der var forsynet med en titanstift (diameter = 1,4 mm, længde i roden = 10 mm), en plastopbygning og en guldkrone. Man skal forestille sig, at alle restaureringer inkl. rodstiften er blevet fjernet, således at man kan se de spændinger, der dannes i dentinen »bag ved« stiftens. I områder med samme farve dannes spændinger af samme størrelsesorden. Eksempelvis angiver farven mørkeblå spændinger på 0-5 MPa.

Fig. 3. Facio-lingual contour plot of the von Mises stresses (MPa) generated in the root upon loading (100 N) of a tooth restored with a titanium post (diameter = 1.4 mm, length in root = 10 mm), a resin composite core, and a gold crown. Note that not only the core and the crown, but also the post have been removed in order to expose the dentin wall »behind« the post. Areas with same color were subjected to same range of stresses, as shown by numbers to the right of the colored rectangles (for example, dark blue indicates stress range from 0 to 5 MPa).

Tabel 1. De elastiske konstanter, der blev anvendt for modellens forskellige strukturer.

Materiale	Elasticitetsmodul (GPa)	Poissons ratio
Dentin (5)	18,6	0,31
Parodontalmembran (5)	0,0689	0,45
Kortikal knogle (5)	13,7	0,30
Trabekulær knogle (5)	1,37	0,30
Gingiva (5)	0,003	0,45
Guttaperka (5)	0,00069	0,45
Titanstift (32)	112	0,33
Plastcement (33,34)	8,0	0,30
Plastopbygning (34)	12,0	0,30
Guldkrone (5)	96,6	0,35

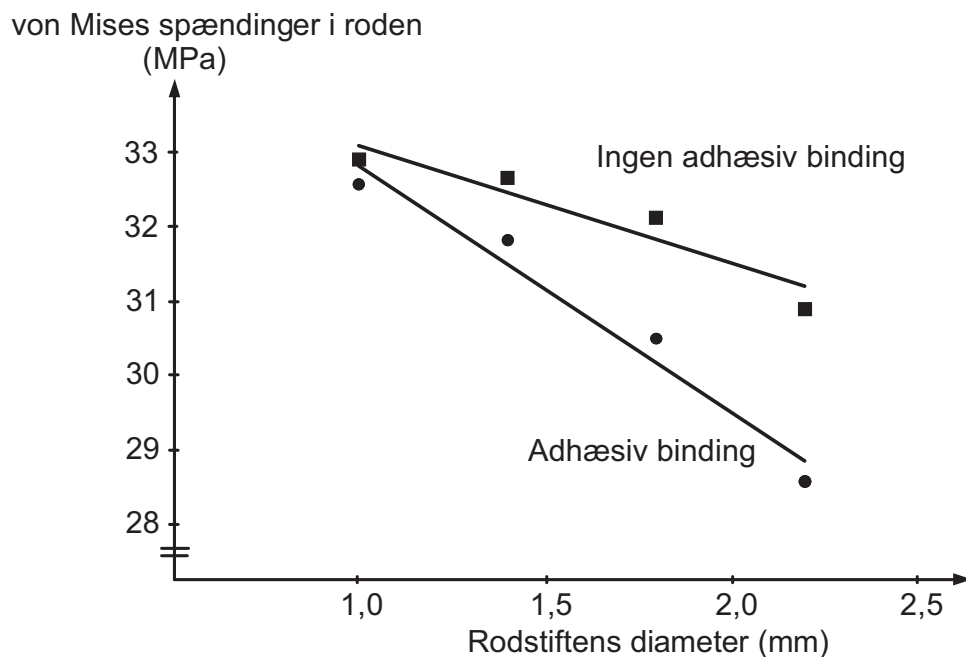


Fig. 4. Effekten af rodstiftens diameter på von Mises spændingerne, afhængigt af om modelrodstiften var adhæsivt bundet til dentinen i rodkanalen eller ej.

Fig. 4. Effect of post diameter on von Mises stresses in the root. The post was either modelled as being adhesively bonded in the root canal or not.

ding, dvs. konventionel, mekanisk forankring ($r = -0,95$; $P < 0,05$). Det fremgår ligeledes af figuren, at den gunstige virkning på spændingsdannelsen af stigende stift diameter forstærkedes, såfremt rodstiften var bundet adhæsivt til rodkanalen.

Fig. 5 viser, at variation i rodstiftens længde mellem 6 og 10 mm ikke havde nogen indflydelse på von Mises spændingerne i roden ($P > 0,05$), uanset om rodstiften var adhæsivt bundet eller ej. Det fremgår ligeledes af figuren, at spændingsdannelsen var mindre, såfremt rodstiften var adhæsivt bundet til dentinen i rodkanalen.

Fig. 6 viser, at von Mises spændingerne i roden aftog, når rodstiftens E-modul steg. Dette gjaldt, uanset om stiften var adhæsivt bundet eller ej (begge scenarier: $r = -0,99$; $P < 0,0005$), men von Mises spændingerne var mindre, såfremt rodstiften var adhæsivt bundet.

Diskussion

Ved belastning af modeltanden induceredes spændinger i alle dele af tanden og de omgivende væv. I denne undersø-

gelse fokuserede vi på de spændinger, der blev dannet i selve tanden, da de to hyppigst rapporterede typer af komplikationer ved rodstiftbehandling, løsning af rodstift og rodfraktur (22), begge skyldes spændinger i selve tanden.

En forøgelse af rodstiftens diameter betød en reducere- ring af von Mises spændingerne. Dette resultat bekræfter, hvad Holmes et al. fandt i deres FE-undersøgelse (5), og skyldes formentlig, at rodstiften, og ikke roden selv, bærer en stadig stigende del af spændingerne, i takt med at rodstiftens diameter øges.

Den manglende indflydelse af rodstiftens længde på von Mises spændingsdannelsen og således på risikoen for rodfraktur synes også at være i overensstemmelse med en tidligere undersøgelse udført af Isidor et al. (37), i hvilken de fandt, at stiftlængden havde en neglignel effekt på tandens modstand mod dynamisk belastning. Den manglende indflydelse strider derimod umiddelbart med Sorensen og Martinoffs undersøgelse, hvori de fandt et sammenhæng mellem korte rodstifter og risiko for rodfraktur (2). Det forholder sig imidlertid således, at der i Sorensen og Marti-

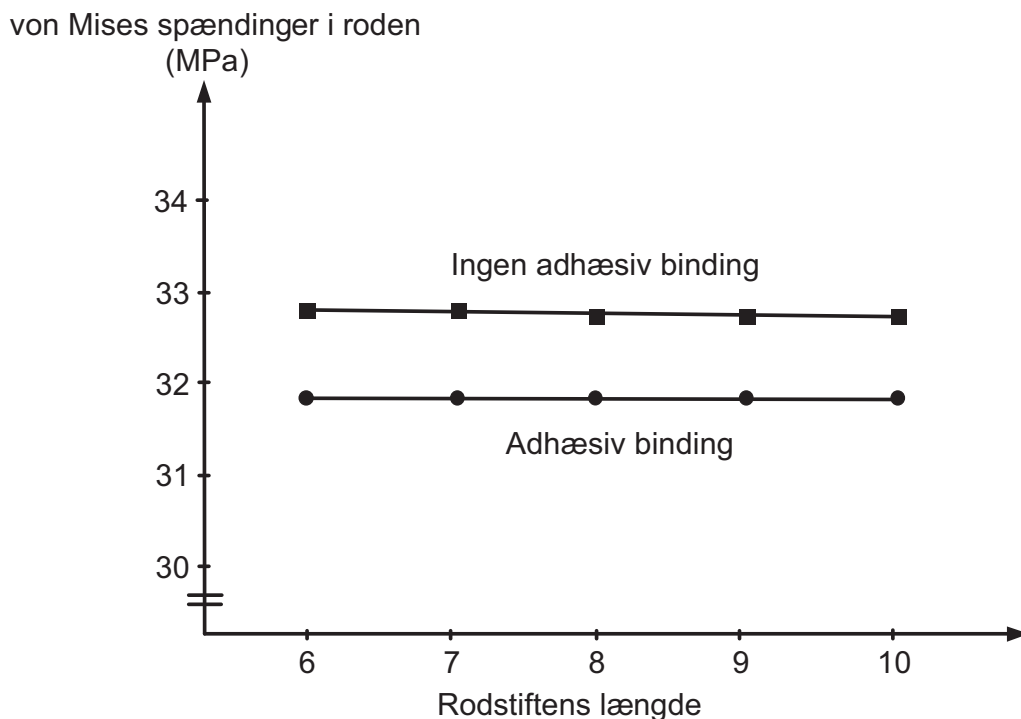


Fig. 5. Effekten af rodstiftens længde på von Mises spændingerne, afhængigt af om modelrodstiften var adhæsivt bundet til dentinen i rodkanalen eller ej.

Fig. 5. Effect of post length on von Mises stresses in the root. The post was either modelled as being adhesively bonded in the root canal or not.

noffs undersøgelse var en overrepræsentation af koniske rodstifter i gruppen af korte rodstifter. Da man har fundet, at koniske rodstifter er forbundet med mere spændingsdannelse, lavere styrke af den restaurerede tand samt større risiko for rodfraktur end cylindriske stifter (4,6,12,22,38,39), er det sandsynligvis rodstiftens form og ikke længde, der forklarer den større hyppighed af rodfraktur blandt korte, koniske stifter i Sorensen og Marti-noffs undersøgelse. En anden eller yderligere forklaring på stiftlængdens manglende indflydelse er, at selv den korteste stift (6 mm) i nærværende FE-undersøgelse var længere, end kronen var høj (5,5 mm). Dette forhold mellem kronenhøjde og rodstiftlængde er tidligere blevet fremført som værende kritisk for restaureringens holdbarhed. Det kan således ikke udelukkes, at vi ville have fundet øget spændingsdannelse, såfremt vi havde beregnet spændingerne for en stift, der var kortere, end kronen var høj.

En stigning i rodstiftens E-modul førte til lavere spændingsdannelse i roden. Dette resultat er i overensstemmel-

se med tidligere publicerede FE-analyser og in vitro-undersøgelser af tænders modstand mod cyklisk belastning (10-12,26) og peger på, at jo stivere en stift der anvendes, desto lavere er risikoen for løsning af stiften og, hvad der synes endnu vigtigere, desto lavere er risikoen for rodfraktur. Det er blevet fremført, at rodstifter, der har en E-modul af samme lave størrelsesorden som dentin, vil resultere i færre og mere skånsomme komplikationer. Når man tager ikke blot resultater fra FE- og in vitro-undersøgelser, men også resultater fra kliniske undersøgelser i betragtning (35,36), synes der ikke at være hold i denne påstand. I en retrospektiv langtidsundersøgelse af tænder, der var blevet behandlet med præfabrikerede kulfiberforstærkede plaststifter, dvs. rodstifter med en lidt lavere E-modul end rodstifter af metal eller zirkoniumdioxid, fandt man således, at 3 % af stifterne var løsnet, og 32 % af tænderne var blevet ekstraheret pga. rodfraktur efter i gennemsnit 6,7 år (35). Efter at have sammenlignet med resultater fra andre kliniske undersøgelser konkluderede de pågældende for-

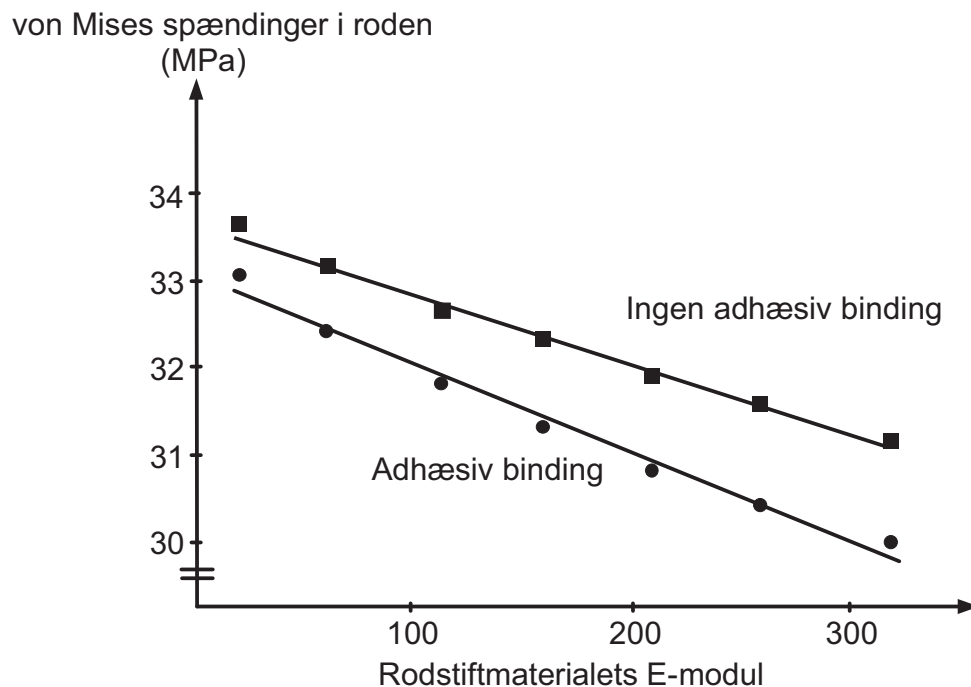


Fig. 6. Effekten af rodstiftens E-modul på von Mises spændingerne, afhængigt af om modelrodstiften var adhæsivt bundet til dentinen i rodkanalen eller ej.

Fig. 6. Effect of elastic modulus on von Mises stresses in the root. The post was either adhesively bonded in the root canal or not.

fattere, at de tænder, der var behandlet med kulfiberforstærkede plaststifter, havde kortere levetid end tænder, der var blevet behandlet med støbte metalstifter. I en anden klinisk undersøgelse af tænder behandlet med præfabrikerede glasfiberforstærkede plaststifter, dvs. rodstifter med en meget lavere E-modul end rodstifter af metal eller zirkoniumdioxid, fandt man således, at 13 % af tænderne var blevet ramt af en teknisk komplikation, såsom stiftfraktur, rodfraktur og løsning af rodstifter, i løbet af de første tre år (36).

Den spændingsnedsættende effekt af øget rodstiftdiameter og E-modul var højere, når modelstiften var adhæsivt bundet til rodkanalen, i forhold til når den var mekanisk forankret. Dette resultat afspejler sandsynligvis, at en del af spændingerne ved adhæsiv binding overføres fra roden til stiften, således at den stærke og stive stift bærer en større del af spændingerne.

På baggrund af nærværende FE-analyse konkluderer vi, at man bør foretrække rodstifter fremstillet i et materiale

med høj E-modul, at man bør anvende en så tyk rodstift, som tandmorfologien og hensyntagen til rodens styrke tillader, samt at rodstiften bør bindes adhæsivt til rodkanalen. Sidstnævnte indebærer anvendelse af plastcement og relevante forbehandling af kanalvæggene og rodstiftens overflade, hvilket gør cementeringsprocessen mere kompliceret og mere teknikfølsom.

Faktorer, som har vist sig at have stor betydning for den resterende tands styrke og for risikoen for tand-/rodfraktur, er mængden af resterende tandsubstans, samt hvorvidt der præpareres på en sådan måde, at restaureringen får et 1,5-2 mm højt greb om tanden. Disse to faktorerers betydning blev ikke undersøgt i nærværende FE-analyse. Det er muligt, at betydningen af rodstiftens diameter og elasticitetsmodul samt cementeringsstrategien – og af rodstiften per se – reduceres i takt med, at mængden af resttandsubstans øges, og/eller såfremt kronen forsynes med et solidt greb om tanden. Disse forhold vil være genstand for fremtidige undersøgelser.

Tak

Vi ønsker at takke »Ingeborg og Leo Dannins legat for videnskabelig forskning« for at have gjort denne undersøgelse mulig samt Gunnar Sørensen og Ulf Larsen fra Force Technology A/S, Brøndby, for de grundige beregninger og den store opbakning.

English summary

Stresses in post-restored teeth: effect of diameter, length, elastic modulus and bonding of the post

Longevity of posts and cores depends on a multitude of factors. Finite element (FE) analysis is a powerful tool in calculating stress distribution in complex structures. The purpose of this study was to analyze the effect on stress formation in post-restored teeth of diameter, length, elastic modulus, and adhesive bonding of posts.

The model of the post-restored tooth involved dentin, periodontal ligament, cortical and trabecular bone, gingiva, and gutta-percha. The control post was a cylindrical titanium post with diameter 1.4 mm, length in root 10 mm, and elastic modulus 112 GPa. The post was cemented with adhesively bonded or non-bonded resin cement. The restoration included a resin composite core and a gold crown. The model was axisymmetrical in three dimensions. A load of 100 N was applied to the crown, and the von Mises stresses generated in root dentin were calculated.

The stresses in the root decreased as the elastic modulus or the diameter of the post increased. Adhesive bonding of the post accentuated the stress-reducing effects. Increasing the length of the post had no significant effect on the stress generated in the root. Within the limitations of this study it was concluded that elastic modulus, diameter, and adhesive bonding of posts influence the stresses generated in the root of post-restored teeth.

Litteratur

- Colley IT, Hampson EL, Lehman ML. Retention of post crowns. An assessment of the relative efficiency of posts of different shapes and sizes. *Br Dent J* 1968; 124: 63-9.
- Sorensen JA, Martinoff JT. Clinically significant factors in dowel design. *J Prosthet Dent* 1984; 52: 28-35.
- Cooney JP, Caputo AA, Trabert KC. Retention and stress distribution of tapered-end endodontic posts. *J Prosthet Dent* 1986; 55: 540-6.
- Caputo AA, Standlee JP. *Biomechanics in clinical dentistry*. Chicago: Quintessence Publishing Co., Inc.; 1987: 185-203.
- Holmes DC, Diaz-Arnold AM, Leary JM. Influence of post dimension on stress distribution in dentin. *J Prosthet Dent* 1996; 75: 140-7.
- Asmussen E, Peutzfeldt A, Sahafi A. Finite element analysis of stresses in endodontically treated, dowel-restored teeth. *J Prosthet Dent* 2005; 94: 321-9.
- Trabert KC, Caputo AA, Abou-Rass M. Tooth fracture – a comparison of endodontic and restorative treatments. *J Endodont* 1978; 4: 341-5.
- Fernandes AS, Dessai GS. Factors affecting the fracture resistance of post-core reconstructed teeth: A review. *Int J Prosthodont* 2001; 14: 355-63.
- Peroz I, Blankenstein F, Lange KP, Naumann M. Restoring endodontically treated teeth with posts and cores – a review. *Quintessence Int* 2005; 36: 737-46.
- Sidoli GE, King PA, Setchell DJ. An in vitro evaluation of a carbon-fiber based post and core system. *J Prosthet Dent* 1997; 78: 5-9.
- Martinez-Insua A, da Silva L, Rilo B, Santana U. Comparison of the fracture resistances of pulpless teeth restored with a cast post and core or carbon-fiber post with a composite core. *J Prosthet Dent* 1998; 80: 527-32.
- Sahafi A, Peutzfeldt A, Ravnholt G, Asmussen E, Gotfredsen K. Resistance to cyclic loading of teeth restored with posts. *Clin Oral Inv* 2005; 9: 84-90.
- Manocci F, Ferrari M, Watson TF. Intermittent loading of teeth restored using quartz fiber, carbon-quartz fiber, and zirconium dioxide ceramic root canal posts. *J Adhes Dent* 1999; 2: 153-8.
- Torbjörner A, Fransson B. A literature review on the prosthetic treatment of structurally compromised teeth. *Int J Prosthodont* 2004; 17: 369-76.
- Peters MCRB, Poort HW, Farah JW, Craig RG. Stress analysis of a tooth restored with a post and core. *J Dent Res* 1983; 62: 760-3.
- Chan FW, Harcourt JK, Brockhurst PJ. The effect of post adaptation in the root canal on retention of posts cemented with various cements. *Aust Dent J* 1993; 38: 39-45.
- Mendoza DB, Eakle WS, Kahl EA, Ho R. Root reinforcement with a resin-bonded preformed post. *J Prosthet Dent* 1997; 78: 10-5.
- Utter JD, Wong BH, Miller BH. The effect of cementing procedures on retention of prefabricated metal posts. *J Am Dent Assoc* 1997; 128: 1123-7.
- Sorensen JA, Martinoff JT. Intracoronary reinforcement and coronal coverage: a study of endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent* 1984; 51: 780-4.
- Bergman B, Lundquist P, Sjögren U, Sundquist G. Restorative and endodontic results after treatment with cast posts and cores. *J Prosthet Dent* 1989; 61: 10-5.
- Hatzikyriakos AH, Reisis GI, Tsingos N. A 3-year postoperative clinical evaluation of posts and cores beneath existing crowns. *J Prosthet Dent* 1992; 67: 454-8.
- Torbjörner A, Karlsson S, Ödman PA. Survival rate and failure characteristics for two post designs. *J Prosthet Dent* 1995; 73: 439-44.
- Ellner S, Bergendal T, Bergman B. Four post-and-core combinations as abutments for fixed single crowns: a prospective up to 10-year study. *Int J Prosthodont* 2003; 16: 249-54.
- Creugers NHJ, Mentink AGM, Fokkinga WA, Kreulen CM. 5-year follow-up of a prospective clinical study on various types of core restorations. *Int J Prosthodont* 2005; 18: 34-9.
- Davy DT, Dilley GL, Krejci RF. Determination of stress patterns

- in root-filled teeth incorporating various dowel designs. *J Dent Res* 1981; 60: 1301-10.
26. Ko CC, Chu CS, Chung KH, Lee MC. Effects of posts on dentin stress distribution in pulpless teeth. *J Prosthet Dent* 1992; 68: 421-7.
 27. Duret B, Duret F, Reynaud M. Long-life physical property preservation and postendodontic rehabilitation with the Composipost. *Compend Contin Educ Dent Suppl* 1996; 20: S50-6.
 28. Yaman SD, Alacam T, Yaman Y. Analysis of stress distribution in a maxillary central incisor subjected to various post and core applications. *J Endod* 1998; 24: 107-11.
 29. Ukon S, Moroi H, Okimoto K, Fujita M, Ishikawa M, Terada Y, Sato H. Influence of different elastic moduli of dowel and core on stress distribution in root. *Dent Mater J* 2000; 19: 50-64.
 30. Pegoretti A, Fambri L, Zappini G, Bianchetti M. Finite element analysis of a glass fibre reinforced composite endodontic post. *Biomater* 2002; 23: 2667-82.
 31. Eskitascioglu G, Belli S, Kalkan M. Evaluation of two post core systems using two different methods (fracture strength test and a finite elemental stress analysis). *J Endod* 2002; 28: 629-33.
 32. Toparli M. Stress analysis in a post-restored tooth utilizing the finite element method. *J Oral Rehabil* 2003; 30: 470-6.
 33. Attar N, Tam LE, McComb D. Mechanical and physical properties of contemporary dental luting agents. *J Prosthet Dent* 2003; 89: 127-34.
 34. Ausiello P, Apicella A, Davidson CL. Effect of adhesive layer properties on stress distribution in composite restorations – a 3D finite element analysis. *Dent Mater* 2002; 18: 295-303.
 35. Segerström S, Astbäck J, Ekstrand K. A retrospective long term study of teeth restored with prefabricated carbon fiber reinforced epoxy resin posts. *Swed Dent J* 2006; 30: 1-8.
 36. Naumann M, Blankenstein F, Dietrich T. Survival of glass fibre reinforced composite post restorations after 2 years-an observational clinical study. *J Dent* 2005; 33: 305-12.
 37. Isidor F, Brøndum K, Ravnholt G. The influence of post length and crown ferrule length on the resistance to cyclic loading of bovine teeth with prefabricated titanium posts. *Int J Prosthodont* 1999; 12: 78-82.
 38. Isidor F, Brøndum K. Intermittent loading of teeth with tapered, individually cast or prefabricated parallel-sided posts. *Int J Prosthodont* 1992; 5: 257-61.
 39. Peutzfeldt A, Sahafi A, Asmussen E. A survey of failed post-retained restorations. *Clin Oral Invest* 2008; 12: 37-44.

Forfatteroplysninger:

Anne Peutzfeldt, lektor, dr.odont., Erik Asmussen, professor emeritus, dr.odont., og Alireza Sahafi, adjunkt, ph.d.

Afdeling for Dentalmaterialer og Afdeling for Oral Rehabilitering, Odontologisk Institut, Det Sundhedsvidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet.