Universidade de São Paulo
Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto

HUMBERTO OLIVEIRA PINTO

Resistência à fratura e padrões de falha de raízes bovinas
enfraquecidas restauradas com diferentes tipos de pino

Ribeirão Preto

2007

HUMBERTO OLIVEIRA PINTO

Resistência à fratura e padrões de falha de raízes bovinas
enfraquecidas restauradas com diferentes tipos de pino

Dissertação apresentada à Faculdade de
Odontologia de Ribeirão Preto da
Universidade de São Paulo para obtenção
do título de Mestre em Reabilitação Oral.

Orientadora: Profa.Dra. Rossana Pereira de Almeida Antunes

Ribeirão Preto

2007

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVECIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Pinto, Humberto Oliveira

Resistência à fratura e padrões de falha de raízes bovinas enfraquecidas restauradas com diferentes tipos de pino / Humberto Oliveira Pinto; orientadora: Profa.Dra. Rossana Pereira de Almeida Antunes. – Ribeirão Preto, 2007.

114 f.: 17 il. 30 cm.

Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Odontologia. Área de Concentração: Reabilitação Oral) – Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo.

1. Resistência à Fratura. 2. Reforço radicular. 3. Núcleo Metálico Fundido. 4. Pino Pré-fabricado.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Humberto Oliveira Pinto
Resistência à fratura e padrões
de falha de raízes bovinas
enfraquecidas restauradas com
diferentes tipos de pino

Dissertação apresentada à Faculdade de
Odontologia de Ribeirão Preto da
Universidade de São Paulo para obtenção
do título de Mestre em Reabilitação Oral

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof.Dr. _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

Prof.Dr. _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

Prof.Dr. _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

Dedicatória

À minha amada esposa Kylvia,

Como a gente já andou, hein? São dezesseis anos de convivência, mas ainda assim, cada dia a seu lado é como um recomeço. Quantas dificuldades passamos nesses dois anos longe da nossa terra, nossa família, nosso trabalho. E agora, parece que chegou a hora da recompensa. O mestrado foi o maior aprendizado que tive na vida profissional e, graças a seu apoio e compreensão, consegui dedicar-me exclusivamente a essa empreitada. Não teria palavras para agradecê-la por tanta devoção, então vou fazer o mais simples: te amo muito e obrigado por tudo!

À minha princesinha Ana Beatriz,

Filha . . . Você é o maior presente que Deus já me concedeu. Sei o quanto sofreu por ter que ficar tão longe de seus avós queridos, tios, tias, primos, amigos. Sem sua presença nossa vida seria vazia. Seu lindo sorriso é o meu combustível para agüentar as dificuldades do dia a dia. Papai te ama muito!

A meus queridos pais, João Batista e Maria das Graças,

Vocês são o maior exemplo da minha vida. Apesar de todas as dificuldades que passaram para sustentar quatro filhos, nunca desanimaram. Sempre puseram a educação como a maior prioridade em nossas vidas. Graças ao empenho e abdicção de vocês que hoje consigo concretizar esse passo tão importante em minha formação. Nunca conseguirei pagar por tanto que me deram. Meu pai, minha mãe . . . vossa benção em troca do meu amor!

Às minhas irmãs, Andréia, Adriana e Ariana,

Pena que a gente cresce. . . Vivemos juntos o melhor de todos os tempos! Nossa infância foi maravilhosa, quantas brincadeiras e traquinagens... Minhas queridas irmãs, apesar da distância, as levarei sempre em meu coração.

A meus avós maternos e avós paternos (in memoriam),

Vovô, vovó... que palavra gostosa de falar. Sempre que eu puder, estarei juntinho de vocês. Que Deus sempre os protejam. Meu amor e respeito!

A meus sogros Januncio e Fátima,

Vocês são dois grandes pilares na minha vida. O exemplo do amor de vocês enriquece todos a seu redor. Quanta serenidade e sabedoria. Aprendi a amá-los por tudo que representam para mim e para minha família. A casa de vocês sempre será nosso segundo lar...

A Deus,

Senhor, obrigado por fazer o sol se levantar e se deitar todo dia. Isso já é suficiente para quem busca viver em Vossa presença!

Agradecimento especial

À Professora Dra. Rossana Pereira de Almeida Antunes

Minha querida professora Rossana. Foram dois anos que passaram muito rápido. Quanta pesquisa, clínica, disciplina, seminários, monografias, artigos... Enfrentar o mestrado de cabeça exige muito de todos nós, orientadores e orientados. Sei o quanto é difícil, cuidar de tanta coisa. Afinal, mesmo com pouco incentivo institucional, sabemos o quanto você se dedica e ama o ensino de graduação. Fato raro! Só tenho a agradecê-la por tanta dedicação! Foi muito bom trabalhar esses dois anos a seu lado. Espero poder melhorar a cada dia e peço desculpas por aqueles momentos em que não correspondi às suas expectativas, porém nunca me faltou vontade de acertar. É um grande satisfação tê-la como minha orientadora....

Serei eternamente grato pela oportunidade que você me deu...

...dedico a você também esse trabalho...

Agradecimientos

Ao Prof.Dr. Ricardo Faria Ribeiro, por seu empenho incondicional como docente e orientador. Sempre disposto ajudar a todos os pós-graduandos, mesmo que não sejam seus orientados. Sua inteligência, sabedoria, generosidade e dedicação é um porto seguro para todos que trabalham com você. Agradeço de coração todo seu apoio nos projetos de pesquisa que desenvolvemos juntos na Universidade.

Ao Prof.Dr. Osvaldo Luiz Bezzon, chefe do departamento e coordenador da pós-graduação, por sua incansável batalha para levar nosso curso de pós-graduação ao nível de excelência que hoje se encontra. Ensinar... é esse seu maior dom. Além de mestre por excelência, homem de caráter irretocável. Muito de minha formação como protesista devo à sua generosa colaboração.

Ao Prof.Dr. Materson Silva, professor da disciplina de Prótese Fixa da Universidade Federal do Ceará e colega no corpo docente do núcleo de prótese da ABO, seção Ceará. Agradeço imensamente pela oportunidade de trabalharmos juntos. É um prazer estar na clínica do nosso curso a seu lado, onde aprendo constantemente. Aliás, tem o dom de fazer tudo parecer muito fácil. É uma grande honra poder tê-lo como amigo.

Ao grande amigo e irmão Prof.Dr. Cássio Pontes, conterrâneo, apesar de mais novo que eu, foi meu professor. Poucos no Brasil tem tanto conhecimento de prótese sobre implantes como você. Foi um prazer ser seu aluno e é uma grande honra ser seu amigo. Agradeço profundamente por ter me recebido em Ribeirão como um irmão. Desejo, a cada dia, mais e mais sucesso!

Ao Prof.Dr. Valdir Muglia, pela oportunidade de trabalharmos juntos na clínica de pós-graduação reabilitando tantos pacientes com próteses sobre implantes.

Ao Prof.Dr. Vinicius Pedrazzi, pela alegria de ter sido seu orientado no programa PAE. Seu senso de humor imbatível só é menor que seu amor e dedicação à Odontologia.

Ao Prof.Dr. Raphael Souza, que entrou na Universidade de São Paulo junto comigo: eu como mestrando, ele como docente. Inteligência acima da média, amigo fiel e um enorme coração.

A todos os professores do Departamento de Materiais Dentários e Prótese, em especial, à Profa.Dra. Maria da Glória e à Profa.Dra. Renata Silveira.

À minha queridíssima amiga Alessandra, por sua generosidade e amizade. Receba minha admiração e carinho, e saiba que em meu coração, você tem cadeira cativa.

A meus amigos Rômulo Rocha e Letícia Davi, que estão sempre prontos para ajudar, não importa o momento. Agradeço aos dois, inclusive, pela colaboração nesse trabalho.

A meu companheiro de todas as horas Abílio, é uma pena termos nos afastado tanto no último semestre. Além de um grande amigo, é o melhor pós-graduando da FORP-USP.

A todos os meus colegas e amigos da turma de mestrado: Patrícia, Toni, Pâmela, Fabiano, Ingrid, Fabrício, Janisse, Jeovan, Laner, Hicham, Marco, Ana Luiza, Edmilson, Sônia, Natércia e Amanda. Todos, de alguma maneira, contribuíram positivamente para essa conquista.

A todos os alunos dos cursos de pós-graduação da FORP-USP.

Aos funcionários da FORP, especialmente Luiz Sérgio Soares, Paulo Sérgio Ferreira, Paulo César Teodoro, Ricardo Antunes e Ana Paula Macedo.

Às secretárias da pós-graduação Regiane Tirado, Ana Paula Xavier, Izabel Sola e Regiane Sacilotto.

Epígrafe

"Os dias prósperos não vêm por acaso, nascem de muita fadiga e persistência."

Henry Ford

Resumo

Proposição: Este estudo in vitro comparou a resistência à fratura e os padrões de falha de 5 tipos diferentes de pinos-núcleos cimentados em raízes bovinas.

Materiais e métodos: Um total de 50 incisivos bovinos frescos foram utilizados. A coroa, o terço cervical e parte do terço médio radicular foram removidos. Os dentes selecionados foram divididos em cinco grupos (n=10). Quatro grupos foram enfraquecidos utilizando uma seqüência de pontas diamantadas, reforçados com resina composta e restaurados com núcleos metálicos fundidos, pinos de fibra de vidro, pinos de fibra de carbono e pinos de aço inoxidável. Um grupo não sofreu enfraquecimento e foi restaurado com núcleo metálico fundido (grupo controle). Todos os pinos foram cimentados com adesivo Single Bond 2 e cimento resinoso dual RelyX ARC. Cada espécime foi incluído em resina acrílica e recebeu uma coroa total metálica. A máquina de ensaios universais EMIC-2000 foi utilizada para o teste mecânico. Uma carga compressiva com célula de carga de 500Kgf a uma velocidade de 0,5 mm.min⁻¹ foi aplicada em um ângulo de 135° em relação ao longo eixo do dente até ocorrer fratura. Análise de variância e teste de Tukey foram realizados para determinar a significância da resistência à fratura entre os grupos (p<0,05).

Resultados: A análise estatística indicou que as raízes íntegras restauradas com núcleos metálicos fundidos (Grupo 1) apresentaram resistência à fratura significativamente maior: $120,02 \pm 35,34$, seguido pelos grupos de raízes reforçadas com resina composta e restauradas com os seguintes tipos de pino: núcleo metálico fundido (Grupo 2): $77,91 \pm 32,86$; pino de fibra de vidro (Grupo 3): $69,60 \pm 34,44$; pino de fibra de carbono (Grupo 4): $48,25 \pm 22,84$; e pino de aço inoxidável: $42,26 \pm 17,52$. Os Grupos 2 a 5 apresentaram valores estatisticamente semelhantes entre si. O padrão de fratura variou entre os grupos. O Grupo 1 apresentou um índice de 100% de fratura catastrófica, enquanto o Grupo 4 apresentou apenas 20% de fraturas radiculares.

Conclusões: Os resultados mostraram que dentes com estrutura íntegra são mais resistentes que dentes fragilizados e reforçados com resina. Os dentes restaurados com núcleo metálico fundido demonstraram maior resistência à fratura que os dentes restaurados com pinos de fibra de vidro, fibra de carbono e aço inoxidável. Dentes restaurados com pinos de fibra de vidro são altamente resistentes à fratura, enquanto os dentes restaurados com pinos de fibra de carbono possuem uma grande capacidade protetora da estrutura remanescente. Os dentes restaurados com pinos de aço inoxidável apresentaram a menor resistência à fratura dentre os grupos testados, além de, frequentemente, induzir fraturas radiculares.

Palavras-chave: resistência à fratura, reforço radicular, núcleo metálico fundido, pino pré-fabricado.

Abstract

Purpose: This in vitro study compared the fracture strength and the failure patterns of 5 different types of post-and-cores luted in bovine root canals.

Materials and methods: A total of 50 recently extracted anterior bovine teeth with similar dimensions were used in this study. Their crowns, coronal thirds and part of the middle thirds of the roots were removed. The selected teeth were divided into five groups (n=10). Four groups were flared using a sequence of diamond burs, reinforced with composite resin and restored with cast metal post-and-core, glass fiber, carbon fiber and stainless steel posts. One group was not flared and restored with cast metal post-and-core (control group). All posts were cemented with Single Bond 2 adhesive system and dual-cured RelyX ARC resin cement. Each specimen was embedded in acrylic resin and received a complete metal crown. The Universal Testing Machine EMIC-2000 was used for the mechanical test. A compressive load with a 500 Kgf load cell, at a crosshead of .5 mm. min⁻¹, was applied at a 135-degrees angle to the long axis of the tooth until fracture occurred. One-way analysis of variance and Tukey test were performed to determine the significance of the fracture strength among the groups ($P<.05$).

Results: The statistical analysis indicated that healthy roots with cast metal post-and-cores (Group 1) had significantly higher fracture strength: 120.02 ± 35.34 , followed by the groups of flared roots with resin reinforcement and restored with posts: cast metal post-and-cores (Group 2): 77.91 ± 32.86 ; glass fiber post (Group 3): 69.60 ± 34.44 ; carbon fiber post (Group 4): 48.25 ± 22.84 ; and stainless steel post (Group 5): 42.26 ± 17.52 . Groups 2 to 5 were statistically similar to each other. The failure patterns varied between the groups. Group 1 showed an index of 100% of catastrophic fracture, whereas Group 4 had only 20% of root fractures.

Conclusions: It can be concluded healthy teeth with complete root structure has higher fracture strength than teeth with resin-reinforced flared roots. Teeth restored with cast metal post-and-cores demonstrated higher fracture strength than teeth restored with glass fiber, carbon fiber and stainless steel posts. Teeth restored with glass fiber posts are highly resistant to fracture, whereas carbon fiber posts protect the remaining dental structure. Teeth restored with stainless steel posts show lower fracture strength and often induce root fractures.

Index words: fracture strength, root reinforcement, cast post-and-core, prefabricated post.

Lista de Ilustrações

Figuras referenciadas no texto

Figura 1 – Lima Kerr para confecção do conduto artificial.....	71
Figura 2 – Pinos pré-fabricados usados para restaurar os grupos 3 a 5.....	71
Figura 3 – Núcleos metálicos fundidos antes e após fundição.....	71
Figura 4 – Núcleos em resina composta associados a pinos pré-fabricados	72
Figura 5 – Ensaio de compressão a 135 °	72
Figura 6 – Médias e desvios-padrões dos valores de resistência à fratura	73
Figura 7 – Fratura catastrófica.....	73

Figuras não referenciadas no texto

Figura 8 – Equipamento para seccionar as raízes bovinas.....	74
Figura 9 – Raízes seccionadas em sua porção médio-apical.....	74
Figura 10 – Diferentes tipos anatômicos de canais radiculares.....	74
Figura 11 – Modelagem do núcleo metálico fundido	75
Figura 12 – Brocas de largo e pontas diamantadas	75
Figura 13 – Núcleos metálicos antes e após fundição	75
Figura 14 – Aplicação do sistema adesivo no núcleo e canal radicular.....	76
Figura 15 – Silanização do pino de fibra de vidro.....	76
Figura 16 – Coroas totais enceradas previamente à fundição	76
Figura 17 – Coroas totais antes e após a fundição	76

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Comprimento e dimensões da porção cervical das raízes.....	78
Tabela 2 – Resistência à fratura dos grupos testados.....	79
Tabela 3 – Análise de Variância.....	80
Tabela 4 - Tipos de fratura	80

Sumário

JUSTIFICATIVA.....	28
INTRODUÇÃO	35
MATERIAIS E MÉTODOS.....	40
RESULTADOS.....	49
DISCUSSÃO.....	51
CONCLUSÕES	57
REFERÊNCIAS.....	59
ANEXOS	69
ANEXO A – ILUSTRAÇÕES	70
ANEXO B – TABELAS.....	77
ANEXO C - ARTIGO EM INGLÊS	81

Justificativa

A perda exagerada de tecido mineralizado em dentes tratados endodonticamente transforma a reabilitação do elemento dental em um desafio para o clínico. O tratamento torna-se mais complexo quando envolve dentes previamente submetidos a preparo de acesso endodôntico e instrumentação do canal. Deve-se atentar para os mais variados fatores, dentre eles, a quantidade de dentina radicular remanescente após a terapia pulpar e o preparo para o pino ou núcleo a ser instalado, o qual é de primordial importância para a resistência da raiz à fratura. A remoção exagerada da dentina diminui a resistência do dente, sem melhorar a retenção do pino ao canal. Portanto, é importante a preservação da estrutura dentinária com o intuito de reduzir o potencial de danos radiculares, tais como: perfurações e o enfraquecimento exagerado da estrutura da raiz¹.

O risco de fratura radicular está intrinsecamente relacionado à quantidade de dentina remanescente no terço cervical da raiz^{2,3}, sendo que o enfraquecimento desta porção reduz consideravelmente a resistência do dente às forças de tração, compressão e torção^{4,5}. A intervenção em dentes tratados endodonticamente com estrutura radicular comprometida pode ser feita seguindo duas técnicas diferentes: a primeira envolve o uso de núcleo metálico fundido, que apresenta forma semelhante ao espaço do conduto preparado e a segunda preconiza o uso de material adesivo, que tem por finalidade reforçar a dentina radicular intra-canal, aumentando sua espessura por meio de um material com elasticidade compatível com a dentina⁶⁻⁸. Uma alternativa aos pinos metálicos fundidos⁹⁻¹¹, é a utilização de

pinos com reforço de fibra, que apresentam resina epóxica em sua composição e são usados com adesivos dentinários à base de metacrilato e cimentos resinosos¹². O sistema adesivo deve ter capacidade de se unir à superfície úmida e infiltrar-se na estrutura dentinária. O condicionamento prévio da dentina permite a remoção da *smear layer* e altera a energia de superfície, o que proporciona melhor escoamento e adaptação do material restaurador^{13,14}.

Quando são avaliados materiais usados na confecção de núcleos intra-radiculares, os mais rígidos tendem a resistir melhor às forças sem sofrer distorção, aumentando, porém, o risco de fratura da estrutura remanescente^{15,16}. A dureza do material altera a distribuição de forças ao longo da raiz e a tensão cervical aumenta na medida em que as propriedades físicas do material melhoram¹⁷. Quanto mais enfraquecido estiver o canal radicular, mais crítico será o comportamento mecânico do pino ou núcleo. Em canais severamente alargados, a abordagem restauradora deve atentar tanto para resistência da estrutura dental remanescente, como reduzir a concentração de tensão na região cervical. A grande incidência de fratura vertical da raiz ocorre em dentes que sofreram terapia pulpar¹⁸, em virtude da desidratação da dentina e remoção da estrutura dental¹⁹.

Dentes tratados endodonticamente que possuem paredes finas e canais comprometidos podem ter sua estrutura remanescente reforçada buscando melhor retenção e resistência do pino selecionado²⁰⁻²². Dois principais fatores determinam a escolha do tipo de pino a ser usado em

dentes despulpados: a quantidade de dentina remanescente e a natureza da estrutura interna da raiz²³⁻²⁶. Pinos cônicos tendem a criar uma tensão na forma de cunha na raiz e são menos retentivos que pinos cilíndricos, já os pinos cilíndricos possuem melhor retenção e distribuem mais uniformemente as forças oclusais, reduzindo os riscos de fratura radicular²⁷, porém em canais severamente alargados, os pinos cilíndricos não permanecem justapostos às paredes circundantes na região cervical, diminuindo a retenção e tornando o pino instável. Quando o espaço remanescente entre o pino e as paredes do canal é preenchido com cimento, este fica mais sujeito à falhas devido à tensão gerada pela coroa em função²⁸.

A maior parte das publicações científicas nessa área buscam avaliar a resistência de raízes enfraquecidas, analisando a força necessária para fraturar o corpo. A proposta do presente trabalho é dar subsídios ao clínico para escolher mais adequadamente o sistema de pino-núcleo a ser utilizado nos casos de dentes despulpados severamente alargados.

Referências

1. Solomon CS, Osman YI.; Aesthetic restoration of the compromised root: a case report. *SADJ*. 2003;58(10):370,373-6,381.
2. Milot P, Stein RS. Root fracture in endodontically treated teeth related to post selection and crown design. *J Prosthet Dent*. 1992;68:428–431.
3. Shillingburg HT, Hobo S, Whitsett LD, Jacobi R, Brackett SE. *Fundamentals of Fixed Prosthodontics*. 3rd edn. Chicago (IL), Quintessence Publishing; 1996.
4. Caputo AA, Standlee JP. *Biomechanics in Clinical Dentistry*. Berlin, Quintessence Publishing; 1987.
5. Craig RG, Farah JW. Stress analysis and design of single restorations and fixed bridges. *Oral Sci Rev*. 1977;10:45–74.
6. Lui JL, A technique to reinforce weakened roots with post canals. *Endodont Dent Traumatol*. 1987;3:310–314.
7. Trope M, Maltz DO, Tronstad L. Resistance to fracture of restored endodontically treated teeth. *Endodont Dent Traumatol*. 1985;1:108–111.
8. Yoldas O, Akova T, Uysal H. An experimental analysis of stresses in simulated flared root. *J. Oral Rehabilitation*. 2005; 32: 427-432.
9. Dean JP, Jeanson BG, Sarkar N. In vitro evaluation of a carbon fiber post. *J Endod* 1998;24:807–10.
10. Mannocci F, Innocenti M, Ferrari M, Watson TF. Confocal and scanning electron microscopy of teeth restored with fiber posts, metal posts and composite resin. *J Endod* 1999;25:789 –94.

11. Vichi A, Grandini S, Ferrari M. Comparison between two clinical procedures for bonding fiber posts into a root canal: a microscopic investigation. *J Endod* 2002;28:355– 60.
12. Pirani, C, Chersoni S, Foschi F, Piana G, Loushine RJ, Tay, FR, Prati C. Does hybridization of intraradicular dentin really improve fiber post retention in endodontically treated teeth? *J Endod* 2005; 31:891-4.
13. Johnson, ME, Stewart GP, Nielsen CJ, Hatton, JF, Evaluation of root reinforcement of endodontically treated teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2000;90:360-4.
14. Weiger R, Heuchert T, Hahn R, Lost C. Adhesion of a glass ionomer cement to human radicular dentine. *Endod Dent Traumatol* 1995;11:214-9.
15. Assif D, Oren E, Marshak BL, Aviv I. Photoelastic analysis of stress transfer by endodontically treated teeth to the supporting structure using different restorative techniques. *J Prosthet Dent*. 1989;61:535–543.
16. Brandal JL, Nicholls JI, Harrington GW. A comparison of three restorative techniques for endodontically treated anterior teeth. *J Prosthet Dent*. 1987;58:161–165.
17. Yaman P, Thorsteinsson TS. Effect of core materials on stress distribution of posts. *J Prosthet Dent*. 1992;68:416–420.
18. Bender IB, Freedland JB. Adult root fracture. *J Am Dent Assoc* 1983;107:413-9.
19. Helfer AR, Meinick S, Schilder H. Determination of moisture content of vital and pulpless teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1972;34:661-70.

20. Sorensen JA, Martinoff JY. Intracoronar reinforcement and coronal coverage: a study of endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent* 1984;51:780-4.
21. Sorensen JA, Martinoff JT. Endodontically treated teeth as abutments. *J Prosthet Dent* 1985;53:631-6.
22. Trope M, Maltz DO, Tronstad L. Resistance to fracture of restored endodontically treated teeth. *Endodont Dent Traumatol* 1985;1:108-11.
23. Newman MP, Yaman P, Dennison J, Rafter M, Billy E. Fracture resistance of endodontically treated teeth restored with composite posts. *J Prosthet Dent* 2003;89:360-7.
24. Christensen GJ. Posts and cores: state of the art. *J Am Dent Assoc* 1998;129:96-7.
25. Morgano SM. Restoration of pulpless teeth: application of traditional principles in present and future contexts. *J Prosthet Dent* 1996;75:375-80.
26. Sorensen JA, Martinoff JT. Intracoronar reinforcement and coronal coverage: a study of endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent* 1984;51:780-4.
27. Marchi, GM, Paulillo LAMS, Pimenta, LAF, Lima de FAP. Effect of different filling materials in combination with intraradicular posts on the resistance to fracture of weakened roots. *J Oral Rehabilitation* 2003 30; 623–629.
28. Mendoza DB, Eakle WS, Kahl, EA, Ho R. Root reinforcement with a resin-bonded preformed post. *J Prosthet Dent* 1997;78:10-5.

Introdução

Os dentes tratados endodonticamente apresentam-se frequentemente com as estruturas coronária e radicular comprometidas e estão mais propensos à fratura que os dentes vitais^{1,2}. Os principais fatores responsáveis pelo comprometimento radicular são: cáries extensas, fratura, trauma, dentes imaturos, patologia pulpar, iatrogenia e o preparo para tratamento endodôntico³⁻⁵.

Um sistema de pino e núcleo é frequentemente utilizado para prover retenção e suporte em dentes com perda de estrutura coronária⁶. Os pinos são recomendados para reforçar raízes enfraquecidas de dentes desvitalizados distribuindo a carga gerada ao longo eixo da raiz^{7,8}. A probabilidade de fratura em dentes sem vitalidade pulpar aumenta por perda de estrutura remanescente¹⁻⁶, perda de umidade da dentina diminuindo sua resiliência^{3,5}, e pela redução da propriocepção periodontal aumentando o risco de sobrecarga⁹. Além disso, a inserção de pinos com alto módulo de elasticidade (E) podem gerar tensões significativas na interface pino-dentina favorecendo a fratura da raiz^{10,11}. Avaliação da dentina remanescente, configuração interna do canal e morfologia da raiz determinam a possibilidade de utilização de um sistema de pinos^{12,13}. Os principais fatores que contribuem para o reforço da estrutura remanescente de dentes desvitalizados são: restauração radicular¹⁴, material do pino^{15,16}, desenho do pino^{17,18}, cimento¹⁹⁻²¹ e efeito férula²²⁻²⁴. Várias técnicas têm sido desenvolvidas para reforçar dentes enfraquecidos^{19,25-27}, sendo a resina composta e o ionômero de vidro os principais materiais utilizados com o

objetivo de reduzir a luz do canal previamente à cimentação de pinos intrarradiculares^{14,16,19,27,28}.

O sobrepreparo radicular para inserção de pinos pode resultar em maior perda de dentina, o que pode induzir fratura catastrófica na raiz a longo prazo^{29,30}, além de aumentar o risco de patologia apical³¹⁻³³. O preparo do espaço para pino é comumente realizado usando instrumentos rotatórios³⁴. A função primária do preparo radicular é prover retenção ao pino, que deve recuperar a porção coronária perdida e reter a restauração final sem comprometer o selamento apical. A retenção do pino é fator majoritário para o sucesso da restauração^{35,36}, sendo significativamente afetada pelo comprimento^{37,38} e minimamente pelo diâmetro³⁹.

A principal razão para o uso de pinos é a possibilidade de reconstrução da estrutura coronária remanescente utilizando para isso retenção intrarradicular⁴⁰. Dentre as opções, destacam-se os núcleos metálicos fundidos, pinos pré-fabricados metálicos e os pinos pré-fabricados não metálicos. Os núcleos metálicos fundidos apresentam um índice de fratura de aproximadamente 2 a 4%⁴¹, causada principalmente por concentração de tensões^{42,43} devido a seu alto módulo de elasticidade^{25,44-48}. As propriedades estéticas desses materiais são limitadas principalmente quando restaurações cerâmicas de alta translucidez são utilizadas. A construção de núcleos metálicos fundidos é relativamente mais demorada e demanda tempo clínico e laboratorial extra⁴⁹. Pinos pré-fabricados permitem técnicas rápidas, de baixo custo e fáceis⁵⁰, mas não levam em conta a forma individual do canal radicular, resultando numa adaptação nem

sempre ideal⁵¹. Esses pinos associados a núcleos confeccionados em resina comumente levam à fratura do núcleo^{45,52,53}.

A demanda crescente por pinos estéticos e restaurações biocompatíveis levaram ao desenvolvimento de sistemas de pino sem metal^{54,55}. Vários tipos de pinos de fibra foram desenvolvidos, incluindo os pinos de fibra de vidro, fibra de carbono, fibra de quartzo, fibra de tira de polietileno e zircônia^{56,57}. Os pinos de fibra de carbono foram os primeiros a ser desenvolvidos⁵⁸⁻⁶⁰, seguidos por pinos translúcidos de fibra de vidro e fibra de quartzo com propriedades estéticas superiores. A grande vantagem destes pinos está na possibilidade de usar compósitos restauradores para reconstruir a estrutura coronária deficiente, oferecendo integridade da interface por meio do uso de materiais com módulo de elasticidade semelhantes^{61,62}. O módulo de elasticidade dos pinos de fibra (20 GPa) é similar ao da dentina (18,6 GPa), porém muito diferente dos pinos metálicos (200 GPa)^{11,15,57,63} e pinos cerâmicos (150 GPa)⁶⁴. A rigidez semelhante dos pinos de fibra em relação à dentina permite uma redução da concentração de tensão na interface dentina-pino^{47,65}, favorecendo a transferência de forças à raiz e reduzindo a incidência de fratura^{10,11,66-69}.

Quando um pino de fibra é usado para restaurar dentes tratados endodonticamente, o mecanismo de ligação dos sistemas adesivos às paredes da raiz é essencialmente micromecânico em natureza, baseado na hibridização de uma superfície desmineralizada^{70,71}. Para formar a camada híbrida é necessária a remoção da *smear layer* e debris da dentina radicular, seguida da remoção da parte inicial dos túbulos dentinários com intuito de

aumentar a retenção quando o cimento resinoso for usado⁷². O silano pode aumentar significativamente a adesão entre a superfície de pinos de fibra e material de preenchimento⁷³. Complementar ao agente cimentante, o efeito férula também ajuda na retenção intrarradicular dos pinos⁷⁴, provê um reforço positivo para dentes desvitalizados tornando o remanescente mais propenso a resistir às forças funcionais^{10,25,61}, ao efeito de cunha de pinos cônicos e às forças laterais exercidas durante a inserção do pino⁷⁵. A zona cervical de uma restauração tipo coroa total funciona como férula quando circunda toda estrutura axial entre a porção coronária do núcleo e linha de término do preparo.

Existem conflitos entre os achados de autores que investigaram a resistência à fratura de pinos de fibra em relação a pinos metálicos. Alguns autores mostraram que dentes tratados endodonticamente restaurados com pinos de fibra de vidro tiveram sua resistência à fratura reduzida quando comparados a dentes restaurados com pinos metálicos^{15,47}. Outros, entretanto, indicaram que a resistência à fratura de dentes restaurados com pinos de fibra é a mesma ou maior que aqueles restaurados com pinos metálicos^{25,76-78}. O objetivo deste estudo foi comparar in vitro a resistência à fratura de raízes bovinas enfraquecidas, reforçadas com resina composta e restauradas com 4 diferentes tipos de pinos: núcleos metálicos fundidos, pinos de fibra de vidro, pinos de fibra de carbono e pinos de aço inoxidável. A hipótese deste estudo foi que raízes fragilizadas reforçadas com resina composta e restauradas com diferentes sistemas de pinos poderiam apresentar resistência à fratura similares e diferentes padrões de falha.

Materiais e Métodos

Dentes incisivos mandibulares bovinos frescos recentemente extraídos foram imediatamente armazenados em solução de formol a 2%. As raízes foram raspadas com bisturi cirúrgico nº 15c (Wuxi Xinda Medical Device Co.Ltd., Zhangjing, China), curetas periodontais (Hu Friedy, Chicago, IL, EUA) e jateados com bicarbonato de sódio (Profi II; Dabi Atlante, São Paulo, SP, Brasil). Os dentes foram então armazenados em solução salina a 0,9%.

De um total de 250 dentes extraídos, 50 foram selecionados para o trabalho de acordo com a semelhança em suas dimensões. Os dentes foram seccionados em uma máquina desenhada especificamente para esta finalidade, equipada com motor elétrico e mandril onde foi fixado um disco de carborundum. As raízes foram seccionadas em sua porção médio-apical, mantendo-se aproximadamente 16 mm de remanescente radicular. As dimensões das paredes vestibular, lingual e proximais da porção cervical foram mensuradas com paquímetro digital (CD-6 – CSX-B; Mitutoyo Sul América Ltda., Suzano, SP, Brasil) (Tabela 1). As raízes foram incluídas em anéis de PVC (2 cm de altura X 2 cm de diâmetro) com resina acrílica autopolimerizável (Clássico; Artigos Odontológicos Clássico Ltda., São Paulo, SP, Brasil), e sua margem gengival ficou 2 a 3 mm acima do bordo da resina, simulando o espaço biológico livre. As raízes foram incluídas com o auxílio de um paralelômetro de tal modo que seu longo eixo ficasse perpendicular à base do anel.

As raízes foram então selecionadas de forma randomizada para formar 5 grupos experimentais (n=10):

Grupo 1 – raízes íntegras sem reforço e núcleo metálico fundido (grupo controle);

Grupo 2 - raízes enfraquecidas e reforçadas com resina e núcleo metálico fundido;

Grupo 3 – raízes enfraquecidas e reforçadas com resina e pino de fibra de vidro;

Grupo 4 - raízes enfraquecidas e reforçadas com resina e pino de fibra de carbono;

Grupo 5 - raízes enfraquecidas e reforçadas com resina e pino de aço inoxidável.

Simulação das raízes enfraquecidas

As raízes do Grupo 1 não foram preparadas para simular enfraquecimento. As raízes dos Grupos 2 a 5 foram enfraquecidas seguindo a metodologia proposta por Marchi et al.¹⁴. Em primeiro lugar foi utilizada uma ponta diamantada esférica nº 1016 (KG Sorensen, Barueri, SP, Brasil) seguindo a luz do canal até uma profundidade de 10 mm. Depois foi utilizada uma ponta diamantada esférica nº 3017 (KG Sorensen, Barueri, SP, Brasil) com uma profundidade de 7 mm dentro do canal. Finalmente foi utilizada uma ponta dimantada esférica nº 3018 (KG Sorensen, Barueri, SP, Brasil) com uma profundidade de 3 mm.

Reforço radicular

As raízes preparadas foram reforçadas utilizando resina composta. Os espécimes foram lavados abundantemente com spray de água e a luz do canal foi preenchida com detergente aniônico para limpeza de canais radiculares (Tergensol; Inodon Lab., Porto Alegre, RS, Brasil) por 60 segundos. Os canais foram lavados novamente e secos com leves jatos de ar. Foi aplicado ácido fosfórico 37% (3M ESPE Dental Products, St.Paul, MN, EUA) em toda extensão do canal radicular por 15 segundos, depois foi lavado abundantemente com jato de ar e secos cuidadosamente com pontas de papel absorvente. Com o auxílio de um *microbrush*, foi aplicada uma camada do adesivo Single Bond 2 (3M ESPE Dental Products, St.Paul, MN, EUA), seguida de 1 leve jato de ar aplicado por 5 s e fotopolimerização por 30 s.

Para a restauração das paredes internas do canal foi utilizada a resina composta Filtek Z250 (3M ESPE Dental Products, St.Paul, MN, EUA). Para reduzir a tensão de contração de polimerização foi utilizada a técnica de restauração por incrementos. Uma lima endodôntica de aço inoxidável Kerr nº 80 (K-Flexofile; Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça) estéril lubrificada com gel de vaselina foi posicionada no centro do canal e uma porção de compósito foi colocada preenchendo a parte mais apical do preparo com altura de 4mm aproximadamente. Foi realizada a fotopolimerização da primeira camada por 40 s. A lima foi então girada suavemente em sentido anti-horário percorrendo em sentido cervical 3 mm da massa de resina polimerizada. Uma segunda camada de resina com 3 mm de altura foi

colocada por sobre a primeira e novamente fotopolimerizada por mais 40 s. A lima foi novamente girada no sentido anti-horário cuidadosamente em sentido cervical saindo mais 3 mm de dentro da massa de resina. Como o comprimento total da porção preparada era de 10 mm, restavam mais 3 mm de espaço a ser preenchido com a resina composta, o que foi feito com mais um incremento e fotopolimerização por 40 s. A lima foi então totalmente removida com suave rotação no sentido anti-horário. O uso da lima foi importante para deixar uma luz artificial dentro do reforço de resina evitando que o canal fosse totalmente obliterado pelo material restaurador (Figura 1). A remoção da lima feita de forma parcial após polimerização de cada incremento gerava mínima tensão durante sua remoção.

Preparo do espaço para o pino

O Grupo 1 que não sofreu intervenção em suas paredes e o Grupo 2 reforçado com compósito foram preparados para receber núcleos metálicos fundidos. Foram utilizadas as brocas de largo nºs 2, 3 e 4 (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suíça) em seqüência por uma extensão de 10 mm, deixando o preparo levemente expulsivo.

Os Grupos 3 e 4 foram preparados com a broca de largo nº 3 para receber pinos de fibra de vidro (Reforpost Fibra de Vidro; Angelus Ind. Produtos Odontológicos Ltda. Londrina, PR, Brasil) e fibra de carbono (Reforpost Fibra de Carbono, Angelus Ind. Produtos Odontológicos Ltda., Londrina, PR, Brasil) respectivamente. O Grupo 5 foi preparado com broca de largo nº 2 para receber pino de aço inoxidável (Reforpost Aço Inox,

Angelus Ind. Produtos Odontológicos Ltda., Londrina, PR, Brasil). Os preparos para os Grupos 3, 4 e 5 seguiram rigorosamente as instruções do fabricante. Os pinos estão ilustrados na Figura 2.

Grupos 1 e 2 - Confeção e cimentação dos núcleos metálicos fundidos

Os Grupos 1 e 2 que receberam núcleos metálicos fundidos foram modelados utilizando-se pinos pré-fabricados de acrílico pin-jet (Angelus Ind. Produtos Odontológicos Ltda., Londrina, PR, Brasil) e resina acrílica vermelha de presa rápida Duralay (Reliance Dental MFG Co., Worth, ILL, EUA). Foi feita aplicação de uma fina camada do isolante vaselina filtrada neutra no interior do canal. Após a confecção da porção radicular, a parte coronária foi modelada seguindo os limites externos da raiz com o intuito de simular um núcleo para canino superior humano, o término dos preparos tipo chanfro largo foi realizado em dentina utilizando a ponta diamantada nº 4137 (KG Sorensen, Barueri, SP, Brasil), enquanto a concavidade palatina foi confeccionada com a ponta diamantada nº 3118 (KG Sorensen, Barueri, SP, Brasil). O padrão de resina com a conformação final do núcleo foi acondicionado em recipiente com água por 1 hora e, posteriormente, levado para a fundição em liga NiCr (Verabond II; Aalba Dent, Cordlia, CA, EUA) (Figura 3). O núcleo metálico fundido obtido foi ajustado com o auxílio de brocas carbide nº 701 e 702 (Komet, Gebr. Brassier GmbH & Co. Kg, Lemgo, Alemanha) e jateados com óxido de alumínio com partículas de 50 µm.

Para a cimentação, foi realizado condicionamento ácido da porção intrarradicular, secagem suave com pontas de papel absorvente, aplicação de 1 camada do adesivo Single Bond 2 e fotopolimerização por 30 s, o cimento resinoso RelyX ARC (3M ESPE Dental Products, St.Paul, MN, EUA) foi manipulado seguindo instruções do fabricante. O cimento foi aplicado sobre os pinos e estes foram posicionados dentro do canal radicular sob pressão digital. O excesso de cimento foi removido e procedeu-se a fotopolimerização das faces vestibular, lingual e cada uma das proximais por 40 s. Trinta minutos após a cimentação, os espécimes foram levados para solução salina 0,9%.

Grupos 3, 4 e 5 - Cimentação dos pinos pré-fabricados e confecção dos núcleos em resina composta

Os Grupos 3, 4 e 5 tiveram seus respectivos pinos de fibra de vidro, fibra de carbono e aço inoxidável cimentados com o cimento resinoso dual RelyX ARC do mesmo modo que os Grupos 1 e 2.

Os pinos de fibra de vidro, fibra de carbono e de aço inoxidável foram inicialmente limpos com álcool a 70%, aguardou-se 1 minuto, foi aplicado leve jato de ar seguido do adesivo Single Bond 2 em toda superfície do pino. No condicionamento do pino de fibra de vidro foi aplicada uma camada de silano (Angelus Ind. Produtos Odontológicos Ltda., Londrina, PR, Brasil) antes da aplicação do adesivo.

A porção coronária foi, então, confeccionada com o uso de resina composta Filtek Z250 em camadas seguindo a porção externa da raiz para

simular o canino superior humano, o término dos preparos tipo chanfro largo foi realizado em dentina utilizando a ponta diamantada nº 4137 e a concavidade palatina com a ponta nº 3118 (Figura 4). Trinta minutos após a cimentação, os espécimes foram levados para solução salina 0,9%.

Confecção das coroas totais metálicas

Todos os espécimes receberam coroas totais metálicas para melhor suportar as forças compressivas em virtude do efeito férula propiciado pela abraçamento do metal entre a parede axial da porção coronária e a linha de término do preparo. Os núcleos dos espécimes foram moldados com poliéter (Impregnum F; 3M ESPE, St. Paul, MN, EUA) em casquetes individuais de resina acrílica, os troquéis foram vazados em gesso tipo IV. As coroas foram enceradas em resina acrílica Duralay e depois fundidas em liga de NiCr. Após a desinclusão do revestimento, as coroas foram ajustadas aos espécimes utilizando brocas carbide nºs 2 e 3. As coroas foram limpas com álcool a 70%, jateadas com óxido de alumínio com partículas de 50µm e cimentadas aos núcleos com cimento de fosfato de zinco (SS White, Rio de Janeiro, RJ, Brasil). Trinta minutos após a cimentação, os espécimes foram mantidos em solução salina por 72 horas até a realização dos ensaios de fratura.

Ensaio de resistência à fratura

Os testes de resistência à fratura foram realizados em uma máquina de ensaios universais (MEM 2000; EMIC Equipamento e Sistemas de Testes Ltda., São José dos Pinhais, PR, Brasil). As condições do teste foram ajustadas para simular a situação in vivo. Os espécimes foram posicionados sobre um dispositivo com um plano inclinado de 45° em relação à sua base permitindo que a carga fosse aplicada sobre a concavidade palatina da coroa total metálica em um ângulo de 135° em relação ao longo eixo da raiz (Figura 5), que é o ângulo interincisal ideal determinado pela análise ortodôntica de Moyers⁷⁹. A carga foi aplicada por uma ponta metálica de extremidade arredondada com uma célula de carga de 500 Kgf a uma velocidade de 0,5 mm.min⁻¹.

Análise estatística

Os dados de resistência à fratura obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey a um nível de significância de 5%.

Resultados

Os valores obtidos no ensaio, as médias e desvios-padrões estão descritos na Tabela 2 e ilustrados na Figura 6. A análise de variância (ANOVA) (Tabela 3) indicou que existe diferença estatisticamente significativa entre os grupos ($p=0,002$). O teste de Tukey indicou que raízes íntegras restauradas com núcleos metálicos fundidos (Grupo 1) possuem uma resistência à fratura significativamente maior que raízes reforçadas com resina composta e restaurada com quaisquer dos sistemas de pinos utilizados neste estudo. Os grupos de raízes fragilizadas reforçadas com resina composta (Grupos 2 a 5) não apresentaram diferença estatisticamente significativa entre si. A Tabela 4 mostra os padrões de fratura que predominam para cada grupo.

Os dentes restaurados com núcleos metálicos fundidos (Grupos 1 e 2) fraturaram as raízes em 80% dos casos, associadas ou não à fratura do pino-núcleo. Nos 20% restantes ocorreu somente decimentação do pino sem fratura. Nos grupos de raízes fragilizadas reforçadas (Grupos 2 a 5), houve apenas um caso (2,5%) em que houve a fratura apenas da raiz. No entanto, a fratura do conjunto pino-núcleo-raiz ocorreu em 52,5% das restaurações, seguida por 35% de fratura apenas do pino-núcleo. Nos 10% restantes ocorreu somente decimentação do pino sem fratura, observada apenas no Grupo 2. Nas raízes restauradas com pinos de fibra (Grupos 3 e 4), não foi encontrado nenhum caso de decimentação e em nenhuma restauração ocorreu apenas fratura da raiz. Porém, fratura do pino-núcleo foi relatada em 55% dos casos. Fratura do pino-núcleo-raiz ocorreu nos 45% restantes. As raízes reforçadas restauradas com pino de aço inoxidável (Grupo 5) tiveram comportamento idêntico ao Grupo 3 (fibra de vidro), no que diz respeito ao tipo de fratura, ocorrendo 70% de fratura do conjunto pino-núcleo-raiz e 30% de fratura apenas do pino-núcleo.

Discussão

O uso de dentes desvitalizados como pilares de prótese fixa é uma opção viável e amplamente utilizada. A perda de umidade da dentina, a redução do mecanismo proprioceptor que ocorre com a remoção da polpa e a redução na espessura da parede dentinária são fatores que limitam a reabilitação dentária. Porém, quando a destruição não for terminal o tratamento deve ser viabilizado. Em algumas situações, a perda de estrutura pode chegar a um nível tão exacerbado que está indicada a exodontia do elemento. A restauração da parede radicular é um procedimento benéfico para que raízes fragilizadas resistam melhor às cargas funcionais^{19,26,80}. No presente estudo, o reforço radicular responsável pela redução de tensão na região cervical da superfície radicular⁸¹ foi realizado com resina composta fotoativada.

Quando dentes extremamente enfraquecidos são reforçados diretamente com pinos sem a recuperação prévia de suas paredes, a linha de cimentação torna-se muito espessa, o que reduz significativamente a resistência ao deslocamento do pino²¹ tornando a reabilitação extremamente duvidosa a longo prazo⁸². Além disso, após o preparo do conduto, pode permanecer uma grande quantidade de debris e *smear layer* nas paredes circundantes, reduzindo a adesividade de cimentos resinosos utilizados para a fixação dos pinos⁸³. Na tentativa de minimizar tal problema, foi preconizado o uso de um detergente dentinário favorecendo a uma melhor limpeza das paredes preparadas. Neste estudo, o agente cimentante de eleição foi um cimento resinoso dual, bastante utilizado para cimentação de pinos⁸⁴, pois a região do terço apical do canal radicular

conta muito mais com a polimerização química do que com a presa fotoiniciada^{85,86}. Em um estudo de microtração, os cimentos resinosos demonstraram força adesiva significativamente maior quando usados em raízes enfraquecidas do que quando utilizados em raízes íntegras⁸⁵. O cimento resinoso utiliza o conceito de adesão úmida⁸⁶. Após o condicionamento ácido, a dentina permanece úmida e um *prime* é utilizado para permitir a aplicação de monômeros hidrofóbicos. O cimento promove uma adesão efetiva, além de flexibilidade e efeito de amortecimento, contribui para uma distribuição uniforme de tensão entre o pino e as paredes do substrato e também absorve micromovimentos de coroas artificiais melhor que cimentos convencionais^{19,66}.

Diversos autores^{46,81,89-91} utilizaram o teste de compressão em ângulo de 135° sobre a face palatina para mensurar a resistência à fratura de dentes submetidos a tratamentos restauradores com pinos intrarradiculares. Loney et al.⁹² concluiu que variações no ângulo de inclinação podem resultar em valores de resistência à fratura alterados. As raízes sem perda de remanescente (Grupo 1) apresentaram resultados estatisticamente superiores de resistência à fratura quando comparados aos dentes enfraquecidos e restaurados com resina composta (Grupos 2 a 5), corroborando os achados de Ng et al.⁸⁹. Maior espessura de parede de dentina circundante favorece grandemente à resistência, devido ao próprio reforço dado pela estrutura em si e pela melhor capacidade de distribuição de forças pelo remanescente sem a presença da interface dentina-resina composta⁹³. O núcleo metálico fundido tem um histórico de sucesso devido

às suas propriedades mecânicas superiores¹⁵ sendo uma ótima opção em dentes despolpados com estrutura íntegra, apesar da grande diferença entre seu módulo de elasticidade e o da dentina, que pode causar concentração de tensão na dentina radicular adjacente ao pino. Consequentemente, quando a força imposta ultrapassa o limiar de resistência dente-pino, a falha ocorre de maneira catastrófica, causando a fratura da raiz em 100% dos casos no Grupo 1, impedindo qualquer possibilidade de reaproveitamento do dente (Figura 7). Esse resultado corrobora os achados de Martinez-Insua et al.¹⁵ que observaram um índice de fratura de raiz de 91% em dentes restaurados com núcleos metálicos fundidos. Este tipo de falha, após o teste mecânico, sugere que os núcleos metálicos fundidos concentram a carga aplicada na porção apical da raiz¹⁰, resultando em fratura irreversível⁴⁶.

Os grupos enfraquecidos e restaurados com resina composta (Grupos 2 a 5) apresentaram comportamento similar. Os resultados obtidos sugerem que apesar de ser uma opção relevante em dentes severamente enfraquecidos, o reforço radicular não devolve ao dente a mesma condição de resistência que este possuía quando tinha sua raiz íntegra, apenas preparada para a colocação do pino⁹³⁻⁹⁶, independentemente do tipo de pino a ser utilizado. O uso de compósito restaurador e cimento resinoso entre o pino e a dentina diminui a resistência do dente devido a seus diferentes módulos de elasticidade, dificultando a distribuição da carga em direção ao osso subjacente. Em relação aos padrões de falha, os Grupos 2 a 5 apresentaram menos da metade dos espécimes com falhas irreparáveis.

Parece que o maior número de interfaces entre o dente e o pino reduz a resistência da restauração, mas protege a raiz em um percentual considerável dos casos, permitindo o seu reaproveitamento.

Os núcleos metálicos fundidos utilizados para restaurar o Grupo 2 (raízes enfraquecidas e reforçadas com resina) apresentaram os maiores valores de resistência quando comparados aos grupos de pinos pré-fabricados (Grupos 3 a 5). Porém, diferentemente do Grupo 1 não apresentaram apenas fraturas catastróficas. O Grupo 2 apresentou 40% de decimentação e 10% dos casos apresentou fratura somente da raiz. Os pinos de aço inoxidável do Grupo 5 tiveram os piores resultados, fraturando todos os espécimes durante o ensaio. Seu menor diâmetro, dentre os pinos pré-fabricados, associado a seu alto módulo de elasticidade pode ser uma explicação para a alta tendência à fratura. Já havia sido demonstrado que pinos metálicos pré-fabricados apresentam piores resultados quanto à resistência à fratura quando em relação aos pinos de fibra^{46,90}, além de provocar fraturas irreparáveis⁴⁷. Os achados do trabalho mostram que o pino de aço pré-fabricado não é uma boa opção para restauração de dentes enfraquecidos.

Os grupos de pinos de fibra de vidro e de fibra de carbono apresentaram menor resistência à fratura que os grupos de núcleos metálicos fundidos em dentes íntegros. Uma possível explicação para tal afirmação é que os pinos de fibra apresentam módulo de elasticidade similar ao da dentina, o que facilita a dissipação da tensão. Qing⁹¹ já havia verificado a excelente resistência de dentes restaurados com pinos de fibra de vidro. Neste trabalho, esses pinos receberam uma camada de silano antes da aplicação do adesivo, o que visa

melhorar a adesão entre a superfície do pino e o cimento resinoso⁷², aumentando a resistência na interface fibra-matriz. Talvez isso explique os maiores valores de resistência à fratura encontrados nesse grupo em relação os outros pinos pré-fabricados testados. Goracci et al.⁷³ verificaram, por meio de ensaios de microtração, que a adesão de pinos de fibra à resina composta melhora após a silanização. Corroborando os achados de Toksavul et al.²⁰, o grupo de pinos de fibra de vidro obteve um alto índice de fratura da raiz (70%), o que impediria a posterior recuperação do elemento dental. Porém, tais achados contrariam outros estudos^{97,98} que afirmaram que os dentes restaurados com fibra de vidro apresentam em sua maioria fraturas prontamente reparáveis. Já os pinos de fibra de carbono obtiveram valores de resistência à fratura estatisticamente semelhantes aos outros grupos pré-fabricados e foram os mais protetores do remanescente dental, fraturando a raiz em apenas 20% dos casos. Em estudo semelhante¹⁵, em uma amostra de 22 dentes restaurados com pino de fibra de carbono apenas 1 (5%) fraturou a raiz, confirmando os achados do presente estudo. Galhano et al.⁶⁴ compararam diferentes tipos de pinos e observaram que a maior resistência à fratura foi relatada no grupo de pinos de fibra de carbono. No entanto, os pinos foram testados isoladamente neste trabalho. Os pinos de fibra de vidro ou de carbono apresentaram-se como excelentes opções restauradoras, sendo os pinos de fibra de vidro mais resistentes à fratura e os pinos de fibra de carbono apresentando maior capacidade protetora da raiz⁹⁹. Apesar dos resultados obtidos, mais evidências de ensaios laboratoriais e clínicos são necessárias para confirmar os achados presente trabalho.

Conclusões

Dentro das limitações deste estudo, foi demonstrado que:

1. Dentes com estrutura radicular íntegra possuem uma maior resistência à fratura que dentes severamente enfraquecidos e restaurados com resina composta;
2. O núcleo metálico fundido quando bem confeccionado é o tipo de pino restaurador com maior resistência à fratura, no entanto induz falhas irreparáveis sobre a raiz do dente devido a seu alto módulo de elasticidade;
3. Pinos de fibra de vidro possuem boa resistência, porém não protegem a raiz de fraturas catastróficas na maioria dos casos;
4. Pinos de fibra de carbono possuem uma boa capacidade protetora da raiz, sendo, portanto, uma excelente alternativa restauradora;
5. Os pinos de aço inoxidável apresentam baixa resistência à fratura, além disso, induzem fraturas catastróficas na raiz em um grande número de casos.

Agradecimentos

Somos extremamente gratos à Angelus Indústria de Produtos Odontológicos Ltda. por ter cedidos todos os pinos pré-fabricados e o silano utilizados nessa pesquisa.

Referências

1. Sorensen JA, Martinoff JT. Intracoronar reinforcement and coronal coverage: a study of endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent.* 1984 Jun;51(6):780-4.
2. Morgano SM, Brackett SE. Foundation restorations in fixed prosthodontics: current knowledge and future needs. *J Prosthet Dent.* 1999 Dec;82(6):643-57. Comment in: *J Prosthet Dent.* 2001 Jan;85(1):96-8.
3. Gutmann JL. The dentin-root complex: anatomic and biologic considerations in restoring endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent.* 1992 Apr;67(4):458-67.
4. Lui JL. Composite resin reinforcement of flared canals using light-transmitting plastic posts. *Quintessence Int.* 1994 May;25(5):313-9.
5. Johnson ME, Stewart GP, Nielsen CJ, Hatton JF. Evaluation of root reinforcement of endodontically treated teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2000 Sep;90(3):360-4.
6. Carter JM, Sorensen SE, Johnson RR, Teitelbaum RL, Levine MS. Punch shear testing of extracted vital and endodontically treated teeth. *J Biomech.* 1983;16(10):841-8.
7. Fraga RC, Chaves BT, Mello GS, Siqueira JF Jr. Fracture resistance of endodontically treated roots after restoration. *J Oral Rehabil.* 1998 Nov;25(11):809-13.
8. Zhi-Yue L, Yu-Xing Z. Effects of post-core design and ferrule on fracture resistance of endodontically treated maxillary central incisors. *J. Prosthet Dent.* 2003 Apr;89(4):368-73.
9. Randow K, Glantz PO. On cantilever loading of vital and non-vital teeth. An experimental clinical study. *Acta Odontol Scand.* 1986 Oct;44(5):271-7.
10. Assif D, Gorfil C. Biomechanical considerations in restoring endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent.* 1994 Jun;71(6):565-7.
11. Pegoretti A, Fambri L, Zappini G, Bianchetti M. Finite element analysis of a glass fibre reinforced composite endodontic post. *Biomaterials.* 2002 Jul;23(13):2667-82.

12. Pontius O, Hutter JW. Survival rate and fracture strength of incisors restored with different post and core systems and endodontically treated incisors without coronoradicular reinforcement. *J Endod.* 2002 Oct;28(10):710-5.
13. Yang HS, Lang LA, Molina A, Felton DA. The effects of dowel design and load direction on dowel-and-core restorations. *J Prosthet Dent.* 2001 Jun;85(6):558-67.
14. Marchi GM, Paulillo LA, Pimenta LA, De Lima FA. Effect of different filling materials in combination with intraradicular posts on the resistance to fracture of weakened roots. *J Oral Rehabil.* 2003 Jun;30(6):623-9.
15. 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 Nov;80(5):527-32.
16. Pierrisnard L, Bohin F, Renault P, Barquins M. Corono-radicular reconstruction of pulpless teeth: a mechanical study using finite element analysis *J Prosthet Dent.* 2002 Oct;88(4):442-8.
17. Ross RS, Nicholls JL, Harrington GW. A comparison of strains generated during placement of five endodontic posts. *J Endod.* 1991 Sep;17(9):450-6.
18. Patel A, Gutteridge DL. An in vitro investigation of cast post and partial core design. *J Dent.* 1996 Jul;24(4):281-7.
19. Mendoza DB, Eakle WS, Kahl EA, Ho R. Root reinforcement with a resin-bonded preformed post. *J Prosthet Dent.* 1997 Jul;78(1):10-4.
20. Toksavul S, Toman M, Uyulgan B, Schmager P, Nergiz I. Effect of luting agents and reconstruction techniques on the fracture resistance of pre-fabricated post systems. *J Oral Rehabil.* 2005 Jun;32(6):433-40.
21. D'Arcangelo C, Cinelli M, De Angelis F, D'Amario M. The effect of resin cement film thickness on the pullout strength of a fiber-reinforced post system. *J Prosthet Dent.* 2007 Sep;98(3):193-8.

22. Loney RW, Kotowicz WE, McDowell GC. Three-dimensional photoelastic stress analysis of the ferrule effect in cast post and cores. *J Prosthet Dent*. 1990 May;63(5):506-12.
23. Akkayan B. An in vitro study evaluating the effect of ferrule length on fracture resistance of endodontically treated teeth restored with fiber-reinforced and zirconia dowel systems. *J Prosthet Dent*. 2004 Aug;92(2):155-62.
24. Tan PL, Aquilino SA, Gratton DG, Stanford CM, Tan SC, Johnson WT, Dawson D. In vitro fracture resistance of endodontically treated central incisors with varying ferrule heights and configurations. *J Prosthet Dent*. 2005 Apr;93(4):331-6.
25. Saupe WA, Gluskin AH, Radke RA Jr. A comparative study of fracture resistance between morphologic dowel and cores and a resin-reinforced dowel system in the intraradicular restoration of structurally compromised roots. *Quintessence Int*. 1996 Jul;27(7):483-91.
26. Duncan JP, Pameijer CH. Retention of parallel-sided titanium posts cemented with six luting agents: an in vitro study. *J Prosthet Dent*. 1998 Oct;80(4):423-8.
27. Godder B, Zhukovsky L, Bivona PL, Epelboym D. Rehabilitation of thin-walled roots with light-activated composite resin: a case report. *Compendium*. 1994 Jan;15(1):52, 54-7.
28. Yoldas O, Alaçam T. Microhardness of composites in simulated root canals cured with light transmitting posts and glass-fiber reinforced composite posts. *J Endod*. 2005 Feb;31(2):104-6.
29. Creugers NH, Mentink AG, Käyser AF. An analysis of durability data on post and core restorations. *J Dent*. 1993 Oct;21(5):281-4.
30. Stockton LW. Factors affecting retention of post systems: a literature review. *J Prosthet Dent*. 1999 Apr;81(4):380-5.
31. Kvist T, Rydin E, Reit C. The relative frequency of periapical lesions in teeth with root canal-retained posts. *J Endod*. 1989 Dec;15(12):578-80.

32. Ricucci D, Mannocci F, Ford TR. A study of periapical lesions correlating the presence of a radiopaque lamina with histological findings. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2006 Mar;101(3):389-94.
33. Ravanshad S, Torabinejad M. Coronal dye penetration of the apical filling materials after post space preparation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1992 Nov;74(5):644-7.
34. Boone KJ, Murchison DF, Schindler WG, Walker WA 3rd. Post retention: the effect of sequence of post-space preparation, cementation time, and different sealers. *J Endod.* 2001 Dec;27(12):768-71.
35. Trabert KC, Cooney JP. The endodontically treated tooth. Restorative concepts and techniques. *Dent Clin North Am.* 1984 Oct;28(4):923-51.
36. Dammaschke T, Steven D, Kaup M, Ott KH. Long-term survival of root-canal-treated teeth: a retrospective study over 10 years. *J Endod.* 2003 Oct;29(10):638-43.
37. Miller AW 3rd. Post and core systems: which one is best? *J Prosthet Dent.* 1982 Jul;48(1):27-38.
38. Tjan AH, Miller GD. Comparison of retentive properties of dowel forms after application of intermittent torsional forces. *J Prosthet Dent.* 1984 Aug;52(2):238-42.
39. Standlee JP, Caputo AA, Holcomb J, Trabert KC. The retentive and stress-distributing properties of a threaded endodontic dowel. *J Prosthet Dent.* 1980 Oct;44(4):398-404.
40. Cohen S, Burns CB. *Pathways of the pulp.* 7th ed. St.Louis: CV Mosby, 1998:691-717.
41. Morfis AS. Vertical root fractures. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1990 May;69(5):631-5.
42. Ferrari M, Vichi A, García-Godoy F. Clinical evaluation of fiber-reinforced epoxy resin posts and cast post and cores. *Am J Dent.* 2000 May;13(Spec No):15B-18B.
43. Malferrari S, Monaco C, Scotti R. Clinical evaluation of teeth restored with quartz fiber-reinforced epoxy resin posts. *Int J Prosthodont.* 2003 Jan-Feb;16(1):39-44.

44. Lertchirakarn V, Palamara JE, Messer HH. Patterns of vertical root fracture: factors affecting stress distribution in the root canal. *J Endod.* 2003 Aug;29(8):523-8.
45. Sirimai S, Riis DN, Morgano SM. An in vitro study of the fracture resistance and the incidence of vertical root fracture of pulpless teeth restored with six post-and-core systems. *J Prosthet Dent.* 1999 Mar;81(3):262-9.
46. Akkayan B, Gülmez T. Resistance to fracture of endodontically treated teeth restored with different post systems. *J Prosthet Dent.* 2002 Apr;87(4):431-7.
47. Newman MP, Yaman P, Dennison J, Rafter M, Billy E. Fracture resistance of endodontically treated teeth restored with composite posts. *J Prosthet Dent.* 2003 Apr;89(4):360-7.
48. Albuquerque RC, Polleto LT, Fontana RH, Cimini CA. Stress analysis of an upper central incisor restored with different posts. *J Oral Rehabil.* 2003 Sep;30(9):936-43.
49. DeSort KD. The prosthodontic use of endodontically treated teeth: theory and biomechanics of post preparation. *J Prosthet Dent.* 1983 Feb;49(2):203-6.
50. Kern SB, von Fraunhofer JA, Mueninghoff LA. An in vitro comparison of two dowel and core techniques for endodontically treated molars. *J Prosthet Dent.* 1984 Apr;51(4):509-14.
51. 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 Feb;38(1):39-45.
52. Kantor ME, Pines MS. A comparative study of restorative techniques for pulpless teeth. *J Prosthet Dent.* 1977 Oct;38(4):405-12.
53. Greenfeld RS, Roydhouse RH, Marshall FJ, Schoner B. A comparison of two post systems under applied compressive-shear loads. *J Prosthet Dent.* 1989 Jan;61(1):17-24.
54. Hochman N, Zalkind M. New all-ceramic indirect post-and-core system. *J Prosthet Dent.* 1999 May;81(5):625-9.

55. Massoud YA. A method for fabricating a cast post and core that is esthetic when used under an all-ceramic crown. *J Prosthet Dent*. 2002 Nov;88(5):553-4.
56. Goldberg AJ, Burstone CJ. The use of continuous fiber reinforcement in dentistry. *Dent Mater*. 1992 May;8(3):197-202.
57. Anusavice KJ. *Phillips`science of dental materials*. 11th ed. St.Louis:Elsevier; 2003: 93-4, 598-603.
58. Sidoli GE, King PA, Setchell DJ. An in vitro evaluation of a carbon fiber-based post and core system. *J Prosthet Dent*. 1997 Jul;78(1):5-9.
59. Fredriksson M, Astbäck J, Pamenius M, Arvidson K. A retrospective study of 236 patients with teeth restored by carbon fiber-reinforced epoxy resin posts. *J Prosthet Dent*. 1998 Aug;80(2):151-7.
60. Ferrari M, Vichi A, Mannocci F, Mason PN. Retrospective study of the clinical performance of fiber posts. *Am J Dent*. 2000 May;13(Spec No):9B-13B.
61. Trope M, Langer I, Maltz D, Tronstad L. Resistance to fracture of restored endodontically treated premolars. *Endod Dent Traumatol*. 1986 Feb;2(1):35-8.
62. Steele A, Johnson BR. In vitro fracture strength of endodontically treated premolars. *J Endod*. 1999 Jan;25(1):6-8.
63. King PA, Setchell DJ. An in vitro evaluation of a prototype CFRC prefabricated post developed for the restoration of pulpless teeth. *J Oral Rehabil*. 1990 Nov;17(6):599-609.
64. Galhano GA, Valandro LF, de Melo RM, Scotti R, Bottino MA. Evaluation of the flexural strength of carbon fiber-, quartz fiber-, and glass fiber-based posts. *J Endod*. 2005 Mar;31(3):209-11.
65. Boschian Pest L, Cavalli G, Bertani P, Gagliani M. Adhesive post-endodontic restorations with fiber posts: push-out tests and SEM observations. *Dent Mater*. 2002 Dec;18(8):596-602.
66. Fernandes AS, Dessai GS. Factors affecting the fracture resistance of post-core reconstructed teeth: a review. *Int J Prosthodont*. 2001 Jul-Aug;14(4):355-63.

67. Yaman SD, Alaçam T, Yaman Y. Analysis of stress distribution in a maxillary central incisor subjected to various post and core applications. *J Endod*. 1998 Feb;24(2):107-11.
68. Freedman G. The carbon fibre post: metal-free, post-endodontic rehabilitation. *Oral Health*. 1996 Feb;86(2):23-6, 29-30.
69. Cohen BI, Pagnillo M, Musikant BL, Deutsch AS. Comparison of the retentive and photoelastic properties of two prefabricated endodontic post systems. *J Oral Rehabil*. 1999 Jun;26(6):488-94.
70. Mannocci F, Innocenti M, Ferrari M, Watson TF. Confocal and scanning electron microscopic study of teeth restored with fiber posts, metal posts, and composite resins. *J Endod*. 1999 Dec;25(12):789-94.
71. Ferrari M, Mannocci F. A 'one-bottle' adhesive system for bonding a fibre post into a root canal: an SEM evaluation of the post-resin interface. *Int Endod J*. 2000 Jul;33(4):397-400.
72. Morris MD, Lee KW, Agee KA, Bouillaguet S, Pashley DH. Effects of sodium hypochlorite and RC-prep on bond strengths of resin cement to endodontic surfaces. *J Endod*. 2001 Dec;27(12):753-7.
73. Goracci C, Raffaelli O, Monticelli F, Balleri B, Bertelli E, Ferrari M. The adhesion between prefabricated FRC posts and composite resin cores: microtensile bond strength with and without post-silanization. *Dent Mater*. 2005 May;21(5):437-44.
74. The glossary of prosthodontic terms. *J Prosthet Dent*. 2005 Jul;94(1):10-92.
75. Sorensen JA, Engelman MJ. Ferrule design and fracture resistance of endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent*. 1990 May;63(5):529-36.
76. Rosentritt M, Fürer C, Behr M, Lang R, Handel G. Comparison of in vitro fracture strength of metallic and tooth-coloured posts and cores. *J Oral Rehabil*. 2000 Jul;27(7):595-601.
77. Raygot CG, Chai J, Jameson DL. Fracture resistance and primary failure mode of endodontically treated teeth restored with a carbon fiber-reinforced resin post system in vitro. *Int J Prosthodont*. 2001 Mar-Apr;14(2):141-5.

78. Möllersten L, Lockowandt P, Lindén LA. A comparison of strengths of five core and post-and-core systems. *Quintessence Int.* 2002 Feb;33(2):140-9.
79. Moyers RE. *Handbook of orthodontics*, 3rd ed; p.409. Year Book Medical Publishers, Chicago.
80. Deutsch AS, Musikant BL, Cavallari J, Silverstein L, Lepley J, Ohlen K, Lesser M. Root fracture during insertion of prefabricated posts related to root size. *J Prosthet Dent.* 1985 Jun;53(6):786-9.
81. Yoldas O, Akova T, Uysal H. An experimental analysis of stresses in simulated flared root canals subjected to various post-core applications. *J Oral Rehabil.* 2005 Jun;32(6):427-32.
82. Gu XH, Kern M. Fracture resistance of crowned incisors with different post systems and luting agents. *J Oral Rehabil.* 2006 Dec;33(12):918-23.
83. Serafino C, Gallina G, Cumbo E, Ferrari M. Surface debris of canal walls after post space preparation in endodontically treated teeth: a scanning electron microscopic study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2004 Mar;97(3):381-7.
84. Paul SJ, Schärer P. Post and core reconstruction for fixed prosthodontic restoration. *Pract Periodontics Aesthet Dent.* 1997 Jun-Jul;9(5):513-20;
85. Pfeifer C, Shih D, Braga RR. Compatibility of dental adhesives and dual-cure cements. *Am J Dent.* 2003 Aug;16(4):235-8.
86. Sigemori RM, Reis AF, Giannini M, Paulillo LA. Curing depth of a resin-modified glass ionomer and two resin-based luting agents. *Oper Dent.* 2005 Mar-Apr;30(2):185-9.
87. Bouillaguet S, Troesch S, Wataha JC, Krejci I, Meyer JM, Pashley DH. Microtensile bond strength between adhesive cements and root canal dentin. *Dent Mater.* 2003 May;19(3):199-205.
88. Kanca J 3rd. Improving bond strength through acid etching of dentin and bonding to wet dentin surfaces. *J Am Dent Assoc.* 1992 Sep;123(9):35-43.
89. Ng CC, Dumbrigue HB, Al-Bayat MI, Griggs JA, Wakefield CW. Influence of remaining coronal tooth structure location on the fracture resistance

- of restored endodontically treated anterior teeth. *J Prosthet Dent*. 2006 Apr;95(4):290-6.
90. Dilmener FT, Sipahi C, Dalkiz M. Resistance of three new esthetic post-and-core systems to compressive loading. *J Prosthet Dent*. 2006 Feb;95(2):130-6.
91. Qing H, Zhu Z, Chao Y, Zhang W. In vitro evaluation of the fracture resistance of anterior endodontically treated teeth restored with glass fiber and zircon posts. *J Prosthet Dent*. 2007 Feb;97(2):93-8.
92. Loney RW, Moulding MB, Ritsco RG. The effect of load angulation on fracture resistance of teeth restored with cast post and cores and crowns. *Int J Prosthodont*. 1995 May-Jun;8(3):247-51.
93. Spear F. When to restore, when to remove: the single debilitated tooth. *Compend Contin Educ Dent*. 1999 Apr;20(4):316-8, 322-3, 327-8.
94. Gutmann JL. The dentin-root complex: anatomic and biologic considerations in restoring endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent*. 1992 Apr;67(4):458-67.
95. McLean A. Criteria for the predictably restorable endodontically treated tooth. *J Can Dent Assoc*. 1998 Oct;64(9):652-6.
96. McLean A. Predictably restoring endodontically treated teeth. *J Can Dent Assoc*. 1998 Dec;64(11):782-7.
97. Cormier CJ, Burns DR, Moon P. In vitro comparison of the fracture resistance and failure mode of fiber, ceramic, and conventional post systems at various stages of restoration. *J Prosthodont*. 2001 Mar;10(1):26-36.
98. Salameh Z, Sorrentino R, Papacchini F, Ounsi HF, Tashkandi E, Goracci C, Ferrari M. Fracture resistance and failure patterns of endodontically treated mandibular molars restored using resin composite with or without translucent glass fiber posts. *J Endod*. 2006 Aug;32(8):752-5.
99. Purton DG, Payne JA. Comparison of carbon fiber and stainless steel root canal posts. *Quintessence Int*. 1996 Feb;27(2):93-7.

Anexos

Anexo A – Ilustrações

Figura 1 – Lima Kerr utilizada confeccionar a luz artificial dentro do reforço de resina composta.

Figura 2 – Pinos pré-fabricados usados para restaurar os grupos 3 a 5.
Pino de fibra de vidro, aço inoxidável e fibra de carbono.

Figura 3 – Núcleos metálicos fundidos modelados em resina acrílica Duralay e após fundição em liga de NiCr.

Figura 4 – Núcleos confeccionados em resina composta associados a pinos pré-fabricados.

A – Grupo 3 (fibra de vidro); B – Grupo 4 (fibra de carbono); C – Grupo 5 (aço inoxidável).

Figura 5 – Os espécimes inclinados, permitindo a aplicação da carga sobre a concavidade palatina em um ângulo de 135° em relação ao longo eixo da raiz.

Figura 6 – Resistência à fratura (médias e desvios-padrões) dos grupos experimentais.

Figura 7 – Fratura catastrófica causada por uma carga que excedeu o limiar de resistência do núcleo, impossibilitando o reparo do dente.

Figura 8 – Equipamento com motor elétrico e disco de carborundum utilizado para seccionar as raízes bovinas.

Figura 9 – Raízes seccionadas em sua porção médio-apical, mantendo-se aproximadamente 16 mm de remanescente radicular.

Figura 10 – Diferentes tipos anatômicos de canais radiculares dos dentes selecionados.

Figura 11 – Modelagem do núcleo metálico fundido utilizando pin-jet e resina acrílica Duralay.

Figura 12 – A) Brocas de largo nºs 2, 3 e 4 para preparo intrarradicular; B) pontas diamantadas nºs 3118 e 4137 para preparo da porção coronária dos núcleos.

Figura 13 – Núcleos metálicos modelados em resina e fundidos em liga de NiCr.

Figura 14 – Aplicação do sistema adesivo no núcleo e no canal radicular previamente à cimentação resinosa.

Figura 15 – Silanização do pino de fibra de vidro.

Figura 16 – Coroas totais enceradas previamente à fundição.

Figura 17 – Coroas totais antes e após a fundição com liga de NiCr.

Anexo B – Tabelas

Tabela 1 - Comprimento e dimensões vestibular, lingual e proximais da porção cervical das raízes bovinas após secção transversal (mm).

		<i>comprimento</i>	<i>vestibular</i>	<i>lingual</i>	<i>mesial</i>	<i>Distal</i>
<i>Grupo 1</i>	1	15,64	2,03	2,43	1,43	1,73
	2	16,94	2,50	2,79	1,97	2,13
	3	15,87	1,94	2,71	2,03	1,83
	4	16,47	2,15	2,06	1,89	1,94
	5	16,56	2,74	3,11	2,13	2,27
	6	16,83	3,01	3,41	2,20	1,97
	7	16,75	2,03	2,45	1,69	2,26
	8	16,38	2,72	2,13	2,12	1,71
	9	15,89	2,39	2,85	1,91	1,65
	10	16,52	1,92	1,89	1,41	1,41
<i>Grupo 2</i>	1	16,14	2,16	2,70	1,23	1,11
	2	16,64	2,42	2,34	1,67	1,79
	3	16,32	2,32	2,56	1,43	1,39
	4	16,67	2,51	3,00	1,33	1,58
	5	16,44	1,91	2,15	1,77	2,02
	6	16,01	2,14	2,31	1,70	1,57
	7	16,46	2,19	2,72	1,82	1,62
	8	15,81	1,97	2,35	1,13	1,31
	9	16,55	2,26	2,72	1,51	1,78
	10	16,44	1,98	2,36	1,85	1,48
<i>Grupo 3</i>	1	16,21	2,14	2,24	1,00	1,32
	2	16,11	2,80	2,52	1,57	1,77
	3	15,90	1,89	2,20	1,33	1,45
	4	15,95	1,97	2,33	1,83	1,77
	5	16,31	2,15	2,31	1,62	1,85
	6	16,94	2,45	2,22	1,47	1,39
	7	16,20	1,93	1,88	1,45	1,33
	8	16,66	2,07	2,05	1,21	1,17
	9	15,74	2,04	2,08	1,09	1,24
	10	16,51	1,90	2,02	0,98	0,97
<i>Grupo 4</i>	1	16,03	2,32	2,11	1,45	1,47
	2	16,02	1,68	1,96	1,24	1,39
	3	16,16	2,09	2,29	1,47	1,37
	4	16,38	2,39	2,89	1,41	1,38
	5	16,50	2,19	2,66	1,47	1,48
	6	16,94	2,63	2,51	1,65	1,82
	7	15,59	1,86	1,96	1,27	1,38
	8	16,41	2,25	2,02	1,26	1,20
	9	16,63	2,48	2,16	1,93	2,12
	10	16,34	2,26	2,07	1,72	1,54
<i>Grupo 5</i>	1	15,91	1,88	1,98	1,02	1,32
	2	16,58	2,11	2,59	1,18	1,38
	3	16,10	1,93	2,23	1,55	1,39
	4	16,17	2,19	2,27	1,26	1,37
	5	16,50	2,05	2,06	1,52	1,19
	6	16,37	2,24	2,38	1,48	1,37
	7	16,79	2,06	1,79	1,31	1,47
	8	16,75	1,66	1,87	0,92	1,23
	9	16,71	1,68	2,05	1,37	1,33
	10	16,43	2,02	1,63	0,82	0,98

Tabela 2 – Resistência à fratura dos grupos testados (n=10): raízes íntegras restauradas com núcleo metálico fundido e raízes enfraquecidas-reforçadas com resina e restauradas com núcleo metálico fundido, pino de fibra de vidro, fibra de carbono e aço inoxidável.

	<i>G1 - NMF com raiz íntegra</i>	<i>G2 – NMF + reforço</i>	<i>G3 – fibra vidro + reforço</i>	<i>G4 – fibra de carbono + reforço</i>	<i>G5 – aço inoxidável + reforço</i>
	148,48	98,66	109,83	50,39	36,33
	88,12	43,16	112,97	98,07	41,89
	136,29	87,58	110,00	30,01	23,72
	102,74	52,69	75,77	69,98	56,65
	67,00	78,54	47,35	52,66	83,92
	79,51	43,01	37,24	21,50	41,40
	165,42	95,81	35,79	35,91	33,34
	111,25	47,05	72,91	32,01	25,55
	164,97	85,40	77,04	35,00	45,86
	135,78	147,21	17,13	57,00	33,95
<i>Média</i>	120,02 ^A	77,91 ^B	69,60 ^B	48,25 ^B	42,26 ^B
<i>Desvio-padrão</i>	35,34	32,86	34,44	22,84	17,52

Grupos não significativamente diferentes ($P < 0,05$) estão marcados com as mesmas letras.

Tabela 3 – Análise de Variância

<i>Fonte de variação</i>	<i>Soma dos quadrados</i>	<i>GL</i>	<i>Quadrados médios</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
<i>Entre grupos</i>	37938,37	4	9484,59	10,92	0,002
<i>Resíduo</i>	39089,94	45	868,66		
<i>Variação total</i>	77028,31	49			

Tabela 4 - Tipos de fratura

<i>Tipo de fratura</i>	<i>G1 - NMF com raiz íntegra</i>	<i>G2 - NMF + reforço</i>	<i>G3 - fibra de vidro + reforço</i>	<i>G4 - fibra de carbono + reforço</i>	<i>G5 - aço inoxidável + reforço</i>
<i>Raiz</i>	7	1	0	0	0
<i>pino-núcleo</i>	0	0	3	8	3
<i>pino-núcleo-raiz</i>	3	5	7	2	7
<i>Sem fratura (decimentação)</i>	0	4	0	0	0

Anexo C – Artigo em Inglês

Title: FRACTURE STRENGTH AND FAILURE PATTERNS OF FLARED BOVINE ROOTS RESIN-REINFORCED AND RESTORED WITH DIFFERENT POSTS

Purpose: This in vitro study compared the fracture strength and the failure patterns of 5 different types of post-and-cores luted in bovine root canals.

Materials and methods: A total of 50 recently extracted anterior bovine teeth with similar dimensions were used in this study. Their crowns, coronal thirds and part of the middle thirds of the roots were removed. The selected teeth were divided into five groups (n=10). Four groups were flared using a sequence of diamond burs, reinforced with composite resin and restored with cast metal post-and-core, glass fiber, carbon fiber and stainless steel posts. One group was not flared and restored with cast metal post-and-core (control group). All posts were cemented with Single Bond 2 adhesive system and dual-cured RelyX ARC resin cement. Each specimen was embedded in acrylic resin and received a complete metal crown. The Universal Testing Machine EMIC-2000 was used for the mechanical test. A compressive load with a 500 Kgf load cell, at a crosshead of .5 mm. min⁻¹, was applied at a 135-degrees angle to the long axis of the tooth until fracture occurred. One-way analysis of variance and Tukey test were performed to determine the significance of the fracture strength among the groups ($P<.05$).

Results: The statistical analysis indicated that healthy roots with cast metal post-and-cores (Group 1) had significantly higher fracture strength: 120.02±35.34, followed by the groups of flared roots with resin reinforcement and restored with posts: cast metal post-and-cores (Group 2): 77.91±32.86; glass fiber post (Group 3): 69.60±34.44; carbon fiber post (Group 4): 48.25±22.84; and stainless steel post (Group 5): 42.26±17.52. Groups 2 to 5 were statistically similar to each other. The failure patterns varied between the groups. Group 1 showed an index of 100% of catastrophic fracture, whereas Group 4 had only 20% of root fractures.

Conclusions: It can be concluded healthy teeth with complete root structure has higher fracture strength than teeth with resin-reinforced flared roots. Teeth restored with cast metal post-and-cores demonstrated higher fracture strength than teeth restored with glass fiber, carbon fiber and stainless steel posts. Teeth restored with glass fiber posts are highly resistant to fracture, whereas carbon fiber posts protect the remaining dental structure. Teeth restored with stainless steel posts show lower fracture strength and often induce root fractures.

Index words: fracture strength, root reinforcement, cast post-and-core, prefabricated post.

Introduction

Endodontically treated teeth frequently present compromised coronal and radicular structures, and are more susceptible to fracture than vital teeth^{1,2}. The main factors responsible for the radicular compromise are: extensive caries, fracture, trauma, immature tooth, pulp pathology, iatrogenesis and the preparation for endodontic treatment³⁻⁵.

A post-and-core system is used to provide retention and support in teeth with loss of coronal structure⁶. The posts are recommended for restoring non-vital teeth distributing the load to the root long axis^{7,8}. Loss of dental structure increases the likelihood of fracture in pulpless teeth¹⁻⁶, in addition to this, the lack of moisture in dentin decreasing its resilience^{3,5}, and the reduction of the periodontal proprioception results in an overload risk⁹. Moreover, the insertion of posts with a high elastic modulus may create stress concentrations at the post-dentin interface, which may result in root fractures^{10,11}. The indication of a post system is determined by an evaluation of the remaining dentin, internal configuration of the root canal and root morphology^{12,13}. The main contributory factors to strengthening the remaining structure of pulpless teeth are: intraradicular restoration¹⁴, post materials^{15,16}, post design^{17,18}, luting agents¹⁹⁻²¹, and ferrule effect²²⁻²⁴. Many techniques have been developed to reinforce flared roots^{19,25-27}, and composite resin and glass ionomer are the main materials widely used for reducing canal space prior to post-and-core cementation^{14,16,19,27,28}.

Overpreparation of the root for post insertion may result in higher loss of dentin, which can induce catastrophic fracture in the root in the long

term^{29,30}, in addition to increasing the risk of apical pathology³¹⁻³³. Post space preparation is commonly performed with rotatory instruments³⁴. The primary function of root canal preparation is to provide retention for the post, which must restore the lost coronal portion and retain the final restoration without compromising the apical sealing. Post retention is the major aspect for the success of the restoration^{35,36}, which is affected significantly by the post length^{37,38}, and minimally by the diameter³⁹.

The main reason for using posts is the possibility of reconstructing the remaining coronal structure using intraradicular retention⁴⁰. Among the options are the cast metal post-and-cores, the pre-fabricated metal and pre-fabricated non-metal posts. The cast metal post-and-cores present a fracture index of approximately 2 to 4%⁴¹, caused mainly by stress concentration^{42,43} due to their high elastic modulus^{25,44-48}. The esthetic properties of these materials are limited mainly when ceramic restorations of high translucence are used. Cast metal post-and-cores construction is relatively more time-consuming⁴⁹. Pre-fabricated posts allow fast, low cost and easy techniques⁵⁰, but do not take into account the individual shape of the root canal, resulting in deficient adaptation⁵¹. These posts associated with composite resin cores commonly lead to core fracture^{45,52,53}.

The increasing demand for esthetic posts and biocompatible restorations led to the development of non-metal post systems.^{54,55} Some types of fiber posts were developed, including the glass fiber, carbon fiber, quartz fiber, polyethylene woven fiber and zirconia posts^{56,57}. Carbon fiber posts were the first to be developed⁵⁸⁻⁶⁰, followed by translucent glass fiber

and quartz fiber posts, which have superior esthetic properties. The great advantage of these posts is the possibility of using composites to build-up deficient coronal structure, offering interface integrity by means of using materials with similar elastic modulus^{61,62}. The fiber posts elastic modulus (20 GPa) is similar to that of dentin (18.6 GPa), but very different from that of metal (200 GPa)^{11,15,57,63} and ceramic (150 GPa)⁶⁴ posts. The similar rigidity of the fiber posts in comparison with that of dentin allows a reduction of the stress concentration at the dentin-post interface^{47,65}, allowing load transference to the root and the fracture incidence reduction^{10,11,66-69}.

When a fiber post is used to restore an endodontically treated teeth, the bonding mechanism of adhesive systems is essentially micromechanical in nature, based on the hybridization of a demineralized surface^{70,71}. To form the hybrid layer, removal of the smear layer and debris from the root dentin is necessary, followed by removal of initial portion of the dentinal tubules, to increase the retention when the resin cement is used². The silane can significantly increase the bond between the fiber post surface and filling material⁷³. To complement the cementing agent, the ferrule effect also aids intraradicular post retention⁷⁴, provides a positive reinforcement of non-vital teeth, tending to make the remnant more resistant to functional loads^{10,25,61}, to the wedging effect of conical posts and to the lateral forces exerted during post insertion⁷⁵. The cervical zone of a complete crown restoration functions as ferrule when it surrounds the entire axial structure between the coronal portion of the core and cervical line of the preparation.

There are conflicts among the findings of authors who have investigated the fracture strength of fiber posts in comparison with that of metal posts. Some authors showed that endodontically treated teeth restored with glass fiber posts had had their fracture strength reduced when compared with teeth restored with metal posts^{15,47}. Others, however, indicated that the fracture strength of teeth restored with fiber posts is the same as, or higher than that of teeth restored with metal posts^{25,76-78}. The aim of this study was to compare in vitro the fracture strength of flared bovine roots, resin-reinforced, and restored with 4 different types of posts: cast metal post-and-cores, glass fiber, carbon fiber and stainless steel posts. It was hypothesized that flared roots reinforced with composite resin and restored with different post systems would have similar fracture strength and different failure patterns.

Materials and Methods

Recently extracted bovine mandibular incisors were immediately stored in a 2% formol solution. The roots were scaled with a 15c scalpel blade (Wuxi Xinda Medical Device Co. Ltd., Zhangjing, China) and periodontal curettes (Hu Friedy, Chicago, IL, USA); next, the teeth were cleaned using a sodium bicarbonate jet (Profi II; Dabi Atlante, São Paulo, SP, Brazil). The teeth were then stored in 0.9% saline solution.

From a total of 250 extracted teeth, 50 teeth with similar dimensions were selected for use this study. The selected teeth were sectioned in a machine designed specifically for this purpose, and equipped with an electric

engine and arbor, to which a carborundum disc was fixed. The roots were sectioned in the middle-apical third to a standardized length of approximately 16 mm. The dimensions of the buccal, lingual, mesial and distal walls in the cervical portion were measured with a digital caliper (CD-6 – CSX-B; Mitutoyo South America Ltd., Suzano, SP, Brazil) (Table 1). The roots were embedded in autopolymerizing acrylic resin (Clássico; Clássico Dental Products Ltd., São Paulo, SP, Brazil) with the aid of a parallelometer, and the distance between the gingival margin and the acrylic resin was 2 to 3 mm, simulating the biological distance.

The roots were randomly divided into five groups (n=10):

Group 1 – Healthy roots without resin reinforcement and cast metal post-and-core (control group);

Group 2 – Flared roots with resin reinforcement and cast metal post-and-core;

Group 3 – Flared roots with resin reinforcement and glass fiber post;

Group 4 – Flared roots with resin reinforcement and carbon fiber post;

Group 5 – Flared roots with resin reinforcement and stainless steel post;

Simulated Flared Root

The roots of Group 1 did not receive the flared preparation. The roots of Groups 2 to 5 were flared following the methodology proposed by Marchi et al.¹⁴ to simulate extensive clinical structural damage. Initially, a round diamond bur #1016 (KG Sorensen, Barueri, São Paulo, SP, Brazil) at high speed under water cooling was used for the preparation into the canal to a depth

of 10 mm. Next, using a round diamond bur #3017 (KG Sorensen, Barueri, São Paulo, SP, Brazil) wear was performed in the middle third to a depth of 7 mm. Finally, a round diamond bur #3018 (KG Sorensen, Barueri, São Paulo, SP, Brazil) was used to a depth of 3 mm.

Resin Reinforcement

Composite resin was used to reinforce the flared root canals. The specimens were washed with water/air spray and the canal was rinsed with an anionic detergent (Tergensol; Inodon Lab., Porto Alegre, RS, Brazil) during 60 seconds. The internal walls of the root canals were washed, gently air spray dried, and etched with 37% phosphoric acid (3M ESPE Dental Products, St Paul, MN, USA) for 15 seconds, washed and dried with absorbent paper points. Thereafter, the Single Bond 2 adhesive system (3M ESPE Dental Products, St Paul, MN, USA) was applied with a microbrush, gently dried for 5 seconds with air spray and light polymerized for 30 seconds.

The composite resin Filtek Z250 (3M ESPE Dental Products, St Paul, MN, USA) was then used to fill the root canals. To reduce the polymerization shrinkage stress, the incremental technique was used. A sterile stainless steel endodontic Kerr file #80 (K-Flexofile; Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland) lubricated with petroleum jelly was positioned in the center of the root canal and an increment of composite resin was placed, filling the apical portion of the preparation to a height of approximately 4mm. The first increment of resin composite was light polymerized for 40 seconds. The endodontic file was gently turned in counter-clockwise direction and

remained 1 mm within the resin. A second increment of resin, with 3 mm in height was placed over the first and again light polymerized for 40 seconds. The endodontic file was again turned carefully in a counter-clockwise direction, with only 1mm remaining inside the resin. As the total length of the prepared portion was 10 mm, another 3 mm was filled with the third increment of composite resin and light photopolymerized for 40 seconds (Figure 1). Next, the endodontic file was completely removed. The partial removal of the file after polymerizing each increment produced minimum stress.

Root Preparation for Posts

Groups 1 and 2 were prepared for cast metal post-and-cores, using #2, 3 and 4 Largo burs (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland) to prepare the post space along the canal to a standard depth of 10 mm, and to produce a slightly tapered root canal.

Groups 3 and 4 were prepared with a #3 Largo bur to receive glass fiber posts (Reforpost Fibra de Vidro; Angelus Dental Products Ltd., Londrina, PR, Brazil) and carbon fiber posts (Reforpost Fibra de Carbono; Angelus Dental Products Ltd., Londrina, PR, Brazil), respectively. Group 5 was prepared with a #2 Largo bur to receive stainless steel posts (Reforpost Aço Inox; Angelus Dental Products Ltd., Londrina, PR, Brazil). Groups 3, 4 and 5 were prepared in accordance with the manufacturers' instructions. The posts are illustrated in Figure 2.

Groups 1 and 2 – Cast metal post-and-core construction and cementation

The cast metal post-and-cores were constructed with pre-fabricated acrylic posts Pin-Jet (Angelus Dental Products Ltd., Londrina, PR, Brazil) and red acrylic resin Duralay (Reliance Dental MFG Co., Worth, ILL, USA). The canal space was lubricated with a thin layer of petroleum jelly. After preparing the intraradicular portion, the core was made following the external limits of the root and simulating a core for a human maxillary canine. A long chamfer was achieved using a diamond bur #4137 (KG Sorensen, Barueri, São Paulo, SP, Brazil), and the palatine concavity by using a diamond bur #3118 (KG Sorensen, Barueri, São Paulo, SP, Brazil). The resin patterns were kept in water for 1 hour and afterwards cast in NiCr alloy (Verabond II; Aalba Dent, Cordia, CA, USA) (Figure 3). The cast post-and-cores were adjusted with carbide burs #701 and 702 (Komet; Gebr. Brassier GmbH & Co. Kg, Lemgo, Germany), and airborne particle abraded (aluminum-oxide, 50 µm).

Before the posts were cemented in each of the groups, the root canals were etched with 37% phosphoric acid for 15 seconds, rinsed for 30 seconds, and dried with absorbent paper points. Thereafter, the Single Bond 2 adhesive system was applied and light polymerized for 30 seconds. The dual-cured RelyX ARC resin cement (3M ESPE Dental Products, St Paul, MN, USA) was mixed in accordance with the manufacturer's instructions. The cement was applied on the posts and they were inserted into the canal space under finger pressure. Excess cement was removed and the buccal, lingual and proximal surfaces were light polymerized for 40 seconds each. Thirty minutes after cementation, the specimens were stored in 0.9% saline solution.

Groups 3,4 and 5 – Pre-fabricated posts cementation and resin composite cores construction

Groups 3, 4 and 5 received pre-fabricated posts cemented with dual-cured RelyX ARC resin cement, as showed for Groups 1 and 2.

The glass fiber, carbon fiber and stainless steel posts were initially cleaned with 70% alcohol, and after 1 minute the Single Bond 2 adhesive system was applied over the entire post surface. A layer of silane (Angelus Dental Products Ltd., PR, Brazil) was applied on the glass fiber post before adhesive application.

The cores were made on the pre-fabricated posts with composite resin Filtek Z250 in layers following the external root surface to simulate a maxillary canine. A long chamfer was achieved using a diamond bur #4137 and the palatine concavity using a diamond bur #3118 (Figure 4). Thirty minutes after cementation, the specimens were stored in 0.9% saline solution.

Complete metal crowns

Complete metal crowns were fabricated for all specimens to better support compressive loads, considering the ferrule effect of the crown bracing against the axial wall of the coronal portion and the cervical finish line. The cores were molded with polyether impression material (Impregum F; 3M ESPE, St. Paul, MN, USA) and acrylic resin copings. The crowns were fabricated with acrylic resin Duralay and cast in NiCr alloy. After adjustments with carbide burs #2 and 3, the crowns were cleaned with 70% alcohol, airborne particle abraded (aluminum-oxide, 50 µm) and cemented into the

cores with zinc phosphate cement (SS White, Rio de Janeiro, RJ, Brazil). Thirty minutes after cementation, the specimens were stored in 0.9% saline solution for 72 hours until the fracture strength testing.

Fracture Strength Testing

The specimens were tested in a universal testing machine (MEM 2000; Emic Equipment and Test Systems Ltd., São José dos Pinhais, PR, Brazil). Testing conditions were adjusted to simulate in vivo situation. The specimens were positioned over at an inclination of 45-degrees in relation to the base, so that the load could be applied on the palatal concavity at an angle of 135-degrees in relation to the long axis of the roots⁷⁹ (Figure 5). The load was applied with the aid of a round metal tip with a 500 Kgf load cell and crosshead speed of 0.5 mm.min⁻¹ until fracture occurred.

Statistical Analysis

The fracture strength data were submitted to analysis of variance (ANOVA) and the Tukey test to determine the significance of the failure loads among the groups ($P<.05$)

Results

The fracture strength values, the mean and standard deviations of the experimental groups are displayed in Table 2 and illustrated in Figure 6.

The one-way ANOVA (Table 3) indicated that there was a statistically significant difference among the groups ($P=.002$). Further analysis with the

Tukey test indicated that healthy roots with cast metal post-and-cores (Group 1) had significantly higher fracture strength than all the other experimental groups. When the flared roots with resin reinforcement were compared (Group 2 to 5), no significant difference between groups were found. Table 4 shows the failure patterns of each group.

Groups 1 and 2 (cast metal post-and-cores) had root fracture in 80% of the specimens, either associated or not with post-and-core fracture. Decementation of the post without fracture was observed in the remaining 20%. Groups 2 to 5 (flared roots resin-reinforced) had only one root fracture (2.5%), but post-and-core-root fracture was observed in 52.5% of the specimens, followed by 35% of post-and-core fracture. Decementation of the post without fracture was observed in the remaining 10% but only in Group 2. The fiber post groups (Groups 3 and 4) did not show decementation or root fracture only. However, post-and-core fracture was found in 55% of the specimens, and post-and-core-root fracture was observed in the remaining 45%. The stainless steel posts (Group 5) showed the same behavior as that of Group 3 (glass fiber), with 70% of post-and-core-root fracture and 30% of post-and-core fracture.

Discussion

The use of non-vital teeth as an abutment for fixed prosthesis is a feasible option and is widely used. Lack of dentin moisture, reduction of proprioceptive mechanism caused by pulp removal, and thin dentin walls are limiting factors for tooth rehabilitation. Hence, a treatment has to be

considered when tooth destruction is repairable. In some situations, excessive loss of structure may lead to tooth extraction. The restoration of dentin walls is beneficial to enable the flared roots to bear functional loads^{19,26,80}. In the present study, composite resin was used for root reinforcement with the aim of reducing stress on the cervical third of the root⁸¹.

When flared roots are directly restored with posts without previous wall reinforcement, the cement line becomes thicker, which significantly reduces the resistance to post dislodgement²¹. In these situations, the long term success of the rehabilitation becomes doubtful⁸². Moreover, after root canal preparation, a large amount of debris and smear layer remains on the surrounding walls, reducing the adhesiveness of resin cements used for post fixation⁸³. In an attempt to minimize this problem, a dentin detergent was advocated, favoring a better cleanliness of the prepared walls. In this study, the luting agent was a dual-cured resin cement, commonly used for post cementation⁸⁴, whereas the apical third of the root canal relied mainly on the chemical rather than the physical polymerization^{85,86}. In a microtensile study, the resin cements showed significantly higher bond strength when used in flared roots than in healthy roots⁸⁷. The resin luting agent is used in accordance with the concept of wet bonding⁸⁸, in which the dentin remains moist after acid etching and a prime allows hydrophobic monomers to be applied. The resin cement promotes an effective bond, in addition to flexibility and a cushioning effect, which contribute to even stress distribution between the post and the surrounding walls, and also absorb the micromovements of artificial crowns better than the conventional brittle cements do^{19,66}.

Several authors^{46,81,89-91} reported the use of compressive load testing on the palatal concavity at an angle of 135-degrees to measure fracture strength of teeth restored with intraradicular posts. Loney et al.⁹² concluded that different load angles resulted in altered fracture strength. The healthy roots (Group 1) showed statistically higher fracture strength results when compared with flared roots resin-reinforced (Groups 2 to 5), corroborating the findings of Ng et al.⁸⁹. The thicker surrounding dentin wall increases fracture strength due to its structural reinforcement and to the ability to distribute load along the root without a dentin-resin interface⁹³. The cast metal post-and-core has a record of success related to its superior mechanical properties¹⁵, and is an excellent option for healthy pulpless teeth, despite the great difference between its elastic modulus and that of dentin, which may cause stress concentration at the root dentin next to the post. Consequently, when the load applied exceeded the tooth-post strength threshold, the failure is catastrophic, causing root fracture in 100% of the specimens in Group 1, making tooth restoration impossible (Figure 7). This result confirms the findings of Martinez-Insua et al.¹⁵ who found a fracture index of 91% of teeth restored with cast metal post-and-cores. This type of failure after mechanical testing suggests that cast metal posts concentrate the load applied in the apical portion of the root¹⁰, resulting in irreversible fracture⁴⁶.

The resin-reinforced flared roots (Groups 2 to 5) presented similar behavior. The results suggest that despite being an option to consider for severely flared teeth, root reinforcement does not restore the same strength conditions as those presented by the teeth with healthy roots⁹³⁻⁹⁶. The use of

composite and resin cement between post and dentin decreases the strength of teeth in relation to the healthy one, probably because of the presence of different layers with different elastic modulus, that make difficult the load distribution directly on the subjacent bone. With regard to the failure patterns, the Groups 2 to 5 had less than half of the specimens with nonrepairable failures. Despite of the higher number of material interfaces between the teeth and posts decreases fracture strength, they protect the remnant, allowing roots to be retrieved.

The cast metal post-and-core used in Group 2 (resin-reinforce flared root) showed higher fracture strength when compared with the prefabricated posts (Groups 3 to 5). Nevertheless, differing from Group 1, they did not present catastrophic fractures only. Group 2 presented 40% of decementation and 10% of the specimens had only root fracture. The stainless steel posts (Group 5) had the worst results. The post fractured in all specimens. Its smaller diameter in comparison with the other prefabricated posts, associated with high elastic modulus may explain the high fracture results. Other authors^{46,90} had been demonstrated that prefabricated metal posts presented worse fracture strength results in comparison with fiber posts, in addition to causing nonrepairable fractures⁴⁷. The findings of this study showed that stainless steel posts should not be used for flared roots restorations.

The glass and carbon fiber post groups showed lower fracture strength than the cast metal post-and-core group in healthy teeth. One possible explanation is that fiber posts have an elastic modulus similar to that of dentin,

which facilitates stress dissipation. Qing⁹¹ confirmed the excellent strength of teeth restored with glass fiber posts, when using a layer of silane on the post before adhesive application, with the aim of improving the bond between the post surface and the resin cement⁷², increasing the interface strength. This may explain the higher values in comparison with the tested prefabricated posts. Goracci et al.⁷³, by means of microtensile assays, verified that the bond of fiber posts to composite resin improves after silanization. Corroborating the findings of Toksavul et al.²⁰, the glass fiber post group obtained an index of 70% of root fracture, making tooth restoration impossible. However, such findings contradict other studies^{97,98} that affirmed that the majority of teeth restored with glass fiber posts presented repairable fractures. The carbon fiber posts had fracture strength values similar to those of the prefabricated post groups and offered the tooth remnants more protection, showing only 20% of root fracture. In a similar study¹⁵, in a sample of 22 teeth restored with carbon fiber posts, there was only 1 (5%) root fracture, confirming the findings of this study. Galhano et al.⁶⁴ compared different types of posts and observed that the highest fracture strength was found in carbon fiber posts, however the posts were tested not restoring teeth, but isolated. The carbon or glass fiber posts were shown to be excellent restorative options: the fiber glass posts being more resistant to fracture and the carbon fiber posts being more capable of protecting the roots⁹⁹. However, further laboratory and clinical trials are required to obtain more evidence to confirm these findings and the results of the present study.

Conclusions

Within the limitations of this in vitro study, the following conclusions were drawn:

1. Healthy teeth with complete root structure have higher fracture strength than teeth with resin-reinforced flared roots;
2. Cast metal post-and-cores, when well constructed, present the highest fracture strength, however they can lead to nonrepairable fractures of the root due to their high elastic modulus;
3. Glass fiber posts have good resistance but in the majority of the cases, they do not protect the roots from catastrophic fractures.;
4. Carbon fiber posts have the ability to protect the root, and are therefore, an excellent restorative alternative;
5. Stainless steel posts have low fracture strength, and can lead to catastrophic fractures of the roots.

Acknowledgements

The authors wish to thank Angelus Ind. Dental Products Ltd. for donating the pre-fabricated posts and the silane for this study.

References

1. Sorensen JA, Martinoff JT. Intracoronar reinforcement and coronal coverage: a study of endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent*. 1984 Jun;51(6):780-4.
2. Morgano SM, Brackett SE. Foundation restorations in fixed prosthodontics: current knowledge and future needs. *J Prosthet Dent*. 1999 Dec;82(6):643-57. Comment in: *J Prosthet Dent*. 2001 Jan;85(1):96-8.
3. Gutmann JL. The dentin-root complex: anatomic and biologic considerations in restoring endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent*. 1992 Apr;67(4):458-67.
4. Lui JL. Composite resin reinforcement of flared canals using light-transmitting plastic posts. *Quintessence Int*. 1994 May;25(5):313-9.
5. Johnson ME, Stewart GP, Nielsen CJ, Hatton JF. Evaluation of root reinforcement of endodontically treated teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2000 Sep;90(3):360-4.
6. Carter JM, Sorensen SE, Johnson RR, Teitelbaum RL, Levine MS. Punch shear testing of extracted vital and endodontically treated teeth. *J Biomech*. 1983;16(10):841-8.
7. Fraga RC, Chaves BT, Mello GS, Siqueira JF Jr. Fracture resistance of endodontically treated roots after restoration. *J Oral Rehabil*. 1998 Nov;25(11):809-13.
8. Zhi-Yue L, Yu-Xing Z. Effects of post-core design and ferrule on fracture resistance of endodontically treated maxillary central incisors. *J Prosthet Dent*. 2003 Apr;89(4):368-73.
9. Randow K, Glantz PO. On cantilever loading of vital and non-vital teeth. An experimental clinical study. *Acta Odontol Scand*. 1986 Oct;44(5):271-7.
10. Assif D, Gorfil C. Biomechanical considerations in restoring endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent*. 1994 Jun;71(6):565-7.
11. Pegoretti A, Fambri L, Zappini G, Bianchetti M. Finite element analysis of a glass fibre reinforced composite endodontic post. *Biomaterials*. 2002 Jul;23(13):2667-82.

12. Pontius O, Hutter JW. Survival rate and fracture strength of incisors restored with different post and core systems and endodontically treated incisors without coronoradicular reinforcement. *J Endod.* 2002 Oct;28(10):710-5.
13. Yang HS, Lang LA, Molina A, Felton DA. The effects of dowel design and load direction on dowel-and-core restorations. *J Prosthet Dent.* 2001 Jun;85(6):558-67.
14. Marchi GM, Paulillo LA, Pimenta LA, De Lima FA. Effect of different filling materials in combination with intraradicular posts on the resistance to fracture of weakened roots. *J Oral Rehabil.* 2003 Jun;30(6):623-9.
15. 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 Nov;80(5):527-32.
16. Pierrisnard L, Bohin F, Renault P, Barquins M. Corono-radicular reconstruction of pulpless teeth: a mechanical study using finite element analysis *J Prosthet Dent.* 2002 Oct;88(4):442-8.
17. Ross RS, Nicholls JL, Harrington GW. A comparison of strains generated during placement of five endodontic posts. *J Endod.* 1991 Sep;17(9):450-6.
18. Patel A, Gutteridge DL. An in vitro investigation of cast post and partial core design. *J Dent.* 1996 Jul;24(4):281-7.
19. Mendoza DB, Eakle WS, Kahl EA, Ho R. Root reinforcement with a resin-bonded preformed post. *J Prosthet Dent.* 1997 Jul;78(1):10-4.
20. Toksavul S, Toman M, Uyulgan B, Schmager P, Nergiz I. Effect of luting agents and reconstruction techniques on the fracture resistance of pre-fabricated post systems. *J Oral Rehabil.* 2005 Jun;32(6):433-40.
21. D'Arcangelo C, Cinelli M, De Angelis F, D'Amario M. The effect of resin cement film thickness on the pullout strength of a fiber-reinforced post system. *J Prosthet Dent.* 2007 Sep;98(3):193-8.

22. Loney RW, Kotowicz WE, McDowell GC. Three-dimensional photoelastic stress analysis of the ferrule effect in cast post and cores. *J Prosthet Dent*. 1990 May;63(5):506-12.
23. Akkayan B. An in vitro study evaluating the effect of ferrule length on fracture resistance of endodontically treated teeth restored with fiber-reinforced and zirconia dowel systems. *J Prosthet Dent*. 2004 Aug;92(2):155-62.
24. Tan PL, Aquilino SA, Gratton DG, Stanford CM, Tan SC, Johnson WT, Dawson D. In vitro fracture resistance of endodontically treated central incisors with varying ferrule heights and configurations. *J Prosthet Dent*. 2005 Apr;93(4):331-6.
25. Saupe WA, Gluskin AH, Radke RA Jr. A comparative study of fracture resistance between morphologic dowel and cores and a resin-reinforced dowel system in the intraradicular restoration of structurally compromised roots. *Quintessence Int*. 1996 Jul;27(7):483-91.
26. Duncan JP, Pameijer CH. Retention of parallel-sided titanium posts cemented with six luting agents: an in vitro study. *J Prosthet Dent*. 1998 Oct;80(4):423-8.
27. Godder B, Zhukovsky L, Bivona PL, Epelboym D. Rehabilitation of thin-walled roots with light-activated composite resin: a case report. *Compendium*. 1994 Jan;15(1):52, 54-7.
28. Yoldas O, Alaçam T. Microhardness of composites in simulated root canals cured with light transmitting posts and glass-fiber reinforced composite posts. *J Endod*. 2005 Feb;31(2):104-6.
29. Creugers NH, Mentink AG, Käyser AF. An analysis of durability data on post and core restorations. *J Dent*. 1993 Oct;21(5):281-4.
30. Stockton LW. Factors affecting retention of post systems: a literature review. *J Prosthet Dent*. 1999 Apr;81(4):380-5.
31. Kvist T, Rydin E, Reit C. The relative frequency of periapical lesions in teeth with root canal-retained posts. *J Endod*. 1989 Dec;15(12):578-80.

32. Ricucci D, Mannocci F, Ford TR. A study of periapical lesions correlating the presence of a radiopaque lamina with histological findings. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2006 Mar;101(3):389-94.
33. Ravanshad S, Torabinejad M. Coronal dye penetration of the apical filling materials after post space preparation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1992 Nov;74(5):644-7.
34. Boone KJ, Murchison DF, Schindler WG, Walker WA 3rd. Post retention: the effect of sequence of post-space preparation, cementation time, and different sealers. *J Endod.* 2001 Dec;27(12):768-71.
35. Trabert KC, Cooney JP. The endodontically treated tooth. Restorative concepts and techniques. *Dent Clin North Am.* 1984 Oct;28(4):923-51.
36. Dammaschke T, Steven D, Kaup M, Ott KH. Long-term survival of root-canal-treated teeth: a retrospective study over 10 years. *J Endod.* 2003 Oct;29(10):638-43.
37. Miller AW 3rd. Post and core systems: which one is best? *J Prosthet Dent.* 1982 Jul;48(1):27-38.
38. Tjan AH, Miller GD. Comparison of retentive properties of dowel forms after application of intermittent torsional forces. *J Prosthet Dent.* 1984 Aug;52(2):238-42.
39. Standlee JP, Caputo AA, Holcomb J, Trabert KC. The retentive and stress-distributing properties of a threaded endodontic dowel. *J Prosthet Dent.* 1980 Oct;44(4):398-404.
40. Cohen S, Burns CB. *Pathways of the pulp.* 7th ed. St.Louis: CV Mosby, 1998:691-717.
41. Morfis AS. Vertical root fractures. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1990 May;69(5):631-5.
42. Ferrari M, Vichi A, García-Godoy F. Clinical evaluation of fiber-reinforced epoxy resin posts and cast post and cores. *Am J Dent.* 2000 May;13(Spec No):15B-18B.
43. Malferrari S, Monaco C, Scotti R. Clinical evaluation of teeth restored with quartz fiber-reinforced epoxy resin posts. *Int J Prosthodont.* 2003 Jan-Feb;16(1):39-44.

44. Lertchirakarn V, Palamara JE, Messer HH. Patterns of vertical root fracture: factors affecting stress distribution in the root canal. *J Endod.* 2003 Aug;29(8):523-8.
45. Sirimai S, Riis DN, Morgano SM. An in vitro study of the fracture resistance and the incidence of vertical root fracture of pulpless teeth restored with six post-and-core systems. *J Prosthet Dent.* 1999 Mar;81(3):262-9.
46. Akkayan B, Gülmez T. Resistance to fracture of endodontically treated teeth restored with different post systems. *J Prosthet Dent.* 2002 Apr;87(4):431-7.
47. Newman MP, Yaman P, Dennison J, Rafter M, Billy E. Fracture resistance of endodontically treated teeth restored with composite posts. *J Prosthet Dent.* 2003 Apr;89(4):360-7.
48. Albuquerque RC, Polleto LT, Fontana RH, Cimini CA. Stress analysis of an upper central incisor restored with different posts. *J Oral Rehabil.* 2003 Sep;30(9):936-43.
49. DeSort KD. The prosthodontic use of endodontically treated teeth: theory and biomechanics of post preparation. *J Prosthet Dent.* 1983 Feb;49(2):203-6.
50. Kern SB, von Fraunhofer JA, Mueninghoff LA. An in vitro comparison of two dowel and core techniques for endodontically treated molars. *J Prosthet Dent.* 1984 Apr;51(4):509-14.
51. 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 Feb;38(1):39-45.
52. Kantor ME, Pines MS. A comparative study of restorative techniques for pulpless teeth. *J Prosthet Dent.* 1977 Oct;38(4):405-12.
53. Greenfeld RS, Roydhouse RH, Marshall FJ, Schoner B. A comparison of two post systems under applied compressive-shear loads. *J Prosthet Dent.* 1989 Jan;61(1):17-24.
54. Hochman N, Zalkind M. New all-ceramic indirect post-and-core system. *J Prosthet Dent.* 1999 May;81(5):625-9.

55. Massoud YA. A method for fabricating a cast post and core that is esthetic when used under an all-ceramic crown. *J Prosthet Dent*. 2002 Nov;88(5):553-4.
56. Goldberg AJ, Burstone CJ. The use of continuous fiber reinforcement in dentistry. *Dent Mater*. 1992 May;8(3):197-202.
57. Anusavice KJ. *Phillips`science of dental materials*. 11th ed. St.Louis:Elsevier; 2003: 93-4, 598-603.
58. Sidoli GE, King PA, Setchell DJ. An in vitro evaluation of a carbon fiber-based post and core system. *J Prosthet Dent*. 1997 Jul;78(1):5-9.
59. Fredriksson M, Astbäck J, Pamenius M, Arvidson K. A retrospective study of 236 patients with teeth restored by carbon fiber-reinforced epoxy resin posts. *J Prosthet Dent*. 1998 Aug;80(2):151-7.
60. Ferrari M, Vichi A, Mannocci F, Mason PN. Retrospective study of the clinical performance of fiber posts. *Am J Dent*. 2000 May;13(Spec No):9B-13B.
61. Trope M, Langer I, Maltz D, Tronstad L. Resistance to fracture of restored endodontically treated premolars. *Endod Dent Traumatol*. 1986 Feb;2(1):35-8.
62. Steele A, Johnson BR. In vitro fracture strength of endodontically treated premolars. *J Endod*. 1999 Jan;25(1):6-8.
63. King PA, Setchell DJ. An in vitro evaluation of a prototype CFRC prefabricated post developed for the restoration of pulpless teeth. *J Oral Rehabil*. 1990 Nov;17(6):599-609.
64. Galhano GA, Valandro LF, de Melo RM, Scotti R, Bottino MA. Evaluation of the flexural strength of carbon fiber-, quartz fiber-, and glass fiber-based posts. *J Endod*. 2005 Mar;31(3):209-11.
65. Boschian Pest L, Cavalli G, Bertani P, Gagliani M. Adhesive post-endodontic restorations with fiber posts: push-out tests and SEM observations. *Dent Mater*. 2002 Dec;18(8):596-602.
66. Fernandes AS, Dessai GS. Factors affecting the fracture resistance of post-core reconstructed teeth: a review. *Int J Prosthodont*. 2001 Jul-Aug;14(4):355-63.

67. Yaman SD, Alaçam T, Yaman Y. Analysis of stress distribution in a maxillary central incisor subjected to various post and core applications. *J Endod*. 1998 Feb;24(2):107-11.
68. Freedman G. The carbon fibre post: metal-free, post-endodontic rehabilitation. *Oral Health*. 1996 Feb;86(2):23-6, 29-30.
69. Cohen BI, Pagnillo M, Musikant BL, Deutsch AS. Comparison of the retentive and photoelastic properties of two prefabricated endodontic post systems. *J Oral Rehabil*. 1999 Jun;26(6):488-94.
70. Mannocci F, Innocenti M, Ferrari M, Watson TF. Confocal and scanning electron microscopic study of teeth restored with fiber posts, metal posts, and composite resins. *J Endod*. 1999 Dec;25(12):789-94.
71. Ferrari M, Mannocci F. A 'one-bottle' adhesive system for bonding a fibre post into a root canal: an SEM evaluation of the post-resin interface. *Int Endod J*. 2000 Jul;33(4):397-400.
72. Morris MD, Lee KW, Agee KA, Bouillaguet S, Pashley DH. Effects of sodium hypochlorite and RC-prep on bond strengths of resin cement to endodontic surfaces. *J Endod*. 2001 Dec;27(12):753-7.
73. Goracci C, Raffaelli O, Monticelli F, Balleri B, Bertelli E, Ferrari M. The adhesion between prefabricated FRC posts and composite resin cores: microtensile bond strength with and without post-silanization. *Dent Mater*. 2005 May;21(5):437-44.
74. The glossary of prosthodontic terms. *J Prosthet Dent*. 2005 Jul;94(1):10-92.
75. Sorensen JA, Engelman MJ. Ferrule design and fracture resistance of endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent*. 1990 May;63(5):529-36.
76. Rosentritt M, Fürer C, Behr M, Lang R, Handel G. Comparison of in vitro fracture strength of metallic and tooth-coloured posts and cores. *J Oral Rehabil*. 2000 Jul;27(7):595-601.
77. Raygot CG, Chai J, Jameson DL. Fracture resistance and primary failure mode of endodontically treated teeth restored with a carbon fiber-reinforced resin post system in vitro. *Int J Prosthodont*. 2001 Mar-Apr;14(2):141-5.

78. Möllersten L, Lockowandt P, Lindén LA. A comparison of strengths of five core and post-and-core systems. *Quintessence Int.* 2002 Feb;33(2):140-9.
79. Moyers RE. *Handbook of orthodontics*, 3rd ed; p.409. Year Book Medical Publishers, Chicago.
80. Deutsch AS, Musikant BL, Cavallari J, Silverstein L, Lepley J, Ohlen K, Lesser M. Root fracture during insertion of prefabricated posts related to root size. *J Prosthet Dent.* 1985 Jun;53(6):786-9.
81. Yoldas O, Akova T, Uysal H. An experimental analysis of stresses in simulated flared root canals subjected to various post-core applications. *J Oral Rehabil.* 2005 Jun;32(6):427-32.
82. Gu XH, Kern M. Fracture resistance of crowned incisors with different post systems and luting agents. *J Oral Rehabil.* 2006 Dec;33(12):918-23.
83. Serafino C, Gallina G, Cumbo E, Ferrari M. Surface debris of canal walls after post space preparation in endodontically treated teeth: a scanning electron microscopic study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2004 Mar;97(3):381-7.
84. Paul SJ, Schärer P. Post and core reconstruction for fixed prosthodontic restoration. *Pract Periodontics Aesthet Dent.* 1997 Jun-Jul;9(5):513-20;
85. Pfeifer C, Shih D, Braga RR. Compatibility of dental adhesives and dual-cure cements. *Am J Dent.* 2003 Aug;16(4):235-8.
86. Sigemori RM, Reis AF, Giannini M, Paulillo LA. Curing depth of a resin-modified glass ionomer and two resin-based luting agents. *Oper Dent.* 2005 Mar-Apr;30(2):185-9.
87. Bouillaguet S, Troesch S, Wataha JC, Krejci I, Meyer JM, Pashley DH. Microtensile bond strength between adhesive cements and root canal dentin. *Dent Mater.* 2003 May;19(3):199-205.
88. Kanca J 3rd. Improving bond strength through acid etching of dentin and bonding to wet dentin surfaces. *J Am Dent Assoc.* 1992 Sep;123(9):35-43.
89. Ng CC, Dumbrigue HB, Al-Bayat MI, Griggs JA, Wakefield CW. Influence of remaining coronal tooth structure location on the fracture resistance

- of restored endodontically treated anterior teeth. *J Prosthet Dent*. 2006 Apr;95(4):290-6.
90. Dilmener FT, Sipahi C, Dalkiz M. Resistance of three new esthetic post-and-core systems to compressive loading. *J Prosthet Dent*. 2006 Feb;95(2):130-6.
91. Qing H, Zhu Z, Chao Y, Zhang W. In vitro evaluation of the fracture resistance of anterior endodontically treated teeth restored with glass fiber and zircon posts. *J Prosthet Dent*. 2007 Feb;97(2):93-8.
92. Loney RW, Moulding MB, Ritsco RG. The effect of load angulation on fracture resistance of teeth restored with cast post and cores and crowns. *Int J Prosthodont*. 1995 May-Jun;8(3):247-51.
93. Spear F. When to restore, when to remove: the single debilitated tooth. *Compend Contin Educ Dent*. 1999 Apr;20(4):316-8, 322-3, 327-8.
94. Gutmann JL. The dentin-root complex: anatomic and biologic considerations in restoring endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent*. 1992 Apr;67(4):458-67.
95. McLean A. Criteria for the predictably restorable endodontically treated tooth. *J Can Dent Assoc*. 1998 Oct;64(9):652-6.
96. McLean A. Predictably restoring endodontically treated teeth. *J Can Dent Assoc*. 1998 Dec;64(11):782-7.
97. Cormier CJ, Burns DR, Moon P. In vitro comparison of the fracture resistance and failure mode of fiber, ceramic, and conventional post systems at various stages of restoration. *J Prosthodont*. 2001 Mar;10(1):26-36.
98. Salameh Z, Sorrentino R, Papacchini F, Ounsi HF, Tashkandi E, Goracci C, Ferrari M. Fracture resistance and failure patterns of endodontically treated mandibular molars restored using resin composite with or without translucent glass fiber posts. *J Endod*. 2006 Aug;32(8):752-5.
99. Purton DG, Payne JA. Comparison of carbon fiber and stainless steel root canal posts. *Quintessence Int*. 1996 Feb;27(2):93-7.

Tables

Table 1 – Length and buccal, lingual, mesial and distal dimensions of the bovine roots cervical part after transversal section (mm).

		<i>length</i>	<i>buccal</i>	<i>lingual</i>	<i>mesial</i>	<i>Distal</i>
<i>Group 1</i>	1	15.64	2.03	2.43	1.43	1.73
	2	16.94	2.50	2.79	1.97	2.13
	3	15.87	1.94	2.71	2.03	1.83
	4	16.47	2.15	2.06	1.89	1.94
	5	16.56	2.74	3.11	2.13	2.27
	6	16.83	3.01	3.41	2.20	1.97
	7	16.75	2.03	2.45	1.69	2.26
	8	16.38	2.72	2.13	2.12	1.71
	9	15.89	2.39	2.85	1.91	1.65
	10	16.52	1.92	1.89	1.41	1.41
<i>Group 2</i>	1	16.14	2.16	2.70	1.23	1.11
	2	16.64	2.42	2.34	1.67	1.79
	3	16.32	2.32	2.56	1.43	1.39
	4	16.67	2.51	3.00	1.33	1.58
	5	16.44	1.91	2.15	1.77	2.02
	6	16.01	2.14	2.31	1.70	1.57
	7	16.46	2.19	2.72	1.82	1.62
	8	15.81	1.97	2.35	1.13	1.31
	9	16.55	2.26	2.72	1.51	1.78
	10	16.44	1.98	2.36	1.85	1.48
<i>Group 3</i>	1	16.21	2.14	2.24	1.00	1.32
	2	16.11	2.80	2.52	1.57	1.77
	3	15.90	1.89	2.20	1.33	1.45
	4	15.95	1.97	2.33	1.83	1.77
	5	16.31	2.15	2.31	1.62	1.85
	6	16.94	2.45	2.22	1.47	1.39
	7	16.20	1.93	1.88	1.45	1.33
	8	16.66	2.07	2.05	1.21	1.17
	9	15.74	2.04	2.08	1.09	1.24
	10	16.51	1.90	2.02	.98	.97
<i>Group 4</i>	1	16.03	2.32	2.11	1.45	1.47
	2	16.02	1.68	1.96	1.24	1.39
	3	16.16	2.09	2.29	1.47	1.37
	4	16.38	2.39	2.89	1.41	1.38
	5	16.50	2.19	2.66	1.47	1.48
	6	16.94	2.63	2.51	1.65	1.82
	7	15.59	1.86	1.96	1.27	1.38
	8	16.41	2.25	2.02	1.26	1.20
	9	16.63	2.48	2.16	1.93	2.12
	10	16.34	2.26	2.07	1.72	1.54
<i>Group 5</i>	1	15.91	1.88	1.98	1.02	1.32
	2	16.58	2.11	2.59	1.18	1.38
	3	16.10	1.93	2.23	1.55	1.39
	4	16.17	2.19	2.27	1.26	1.37
	5	16.50	2.05	2.06	1.52	1.19
	6	16.37	2.24	2.38	1.48	1.37
	7	16.79	2.06	1.79	1.31	1.47
	8	16.75	1.66	1.87	.92	1.23
	9	16.71	1.68	2.05	1.37	1.33
	10	16.43	2.02	1.63	.82	.98

Table 2 – Fracture strength of the tested groups (n=10): healthy roots with cast metal post-and-cores, and flared resin-reinforced roots with cast metal post-and-cores, glass fiber, carbon fiber and stainless steel posts.

	<i>G1 – cast post-and-core + healthy root</i>	<i>G2 – cast post-and-core + reinforced root</i>	<i>G3 – glass fiber + reinforced root</i>	<i>G4 – carbon fiber + reinforced root</i>	<i>G5 – stainless steel + reinforced root</i>
	148,48	98,66	109,83	50,39	36,33
	88,12	43,16	112,97	98,07	41,89
	136,29	87,58	110,00	30,01	23,72
	102,74	52,69	75,77	69,98	56,65
	67,00	78,54	47,35	52,66	83,92
	79,51	43,01	37,24	21,50	41,40
	165,42	95,81	35,79	35,91	33,34
	111,25	47,05	72,91	32,01	25,55
	164,97	85,40	77,04	35,00	45,86
	135,78	147,21	17,13	57,00	33,95
<i>Mean</i>	120,02 ^A	77,91 ^B	69,60 ^B	48,25 ^B	42,26 ^B
<i>Standard-deviation</i>	35,34	32,86	34,44	22,84	17,52

Groups that are not significantly different ($P<.05$) are marked with same letters.

Table 3 – One-way ANOVA results

<i>Source of Variance</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
<i>Between groups</i>	37938.37	4	9484.59	10.92	0.002
<i>Within groups</i>	39089.94	45	868.66		
<i>Total</i>	77028.31	49			

Table 4 – Failure patterns

<i>Failure pattern</i>	<i>G1 – cast post-and-core + healthy root</i>	<i>G2 – cast post-and-core + reinforced root</i>	<i>G3 – glass fiber + reinforced root</i>	<i>G4 – carbon fiber + reinforced root</i>	<i>G5 – stainless steel + reinforced root</i>
<i>Root</i>	7	1	0	0	0
<i>Post-and-core</i>	0	0	3	8	3
<i>Post-and-core-root</i>	3	5	7	2	7
<i>No fracture (decementation)</i>	0	4	0	0	0

Illustrations legends

Figure 1 – Kerr file used to prepare an artificial root canal within the composite reinforcement.

Figure 2 – Prefabricated posts used to restore Groups 3 to 5. Glass fiber, stainless steel and carbon fiber posts.

Figure 3 – Metal post-and-core constructed in Duralay acrylic resin and cast in NiCr alloy.

Figure 4 – Composite resin cores associated with prefabricated posts. A – Group 3 (glass fiber); B – Group 4 (carbon fiber); C - Group 5 (stainless steel).

Figure 5 – The specimens were inclined, so that the load could be applied on the palatal concavity at an angle of 135-degrees in relation to the long axis of the roots.

Figure 6 – Mean fracture strength values and standard deviations of experimental groups.

Figure 7 – Catastrophic failure caused by a load that exceeded the tooth-post resistance, making the tooth restoration impossible.

Journal of Prosthodontics - Instructions to contributors

Authors submitting a paper do so on the understanding that the work has not been published before, is not being considered for publication elsewhere and has been read and approved by all authors. The work shall not be published elsewhere in any language without the written consent of the publisher. The articles published in this journal are protected by copyright, which covers translation rights and the exclusive right to reproduce and distribute all of the articles printed in the journal. No material published in the journal may be stored on microfilm or videocassettes or in electronic databases and the like or reproduced photographically without the prior written permission of the publisher.

Items:

Title page (not necessary when submitting to the online submission site) - The title page should contain the following information in the order given: 1) Full title of manuscript. 2) Authors' full names. 3) Authors' institutional affiliations including city and country. 4) A running title, not exceeding 60 letters and spaces. 5) The name and address of the author responsible for correspondence about the manuscript.

If the work has previously been presented, the name, place, and date of meeting(s) must be given. If any financial support was received, the grant/contract number, sponsor name, and city, state, and country location must be supplied.

Abstract page - An abstract is required for all manuscripts and must precede the body of the manuscript. Abbreviations and references should not appear in the abstract.

Abstracts for the Basic Science, Clinical Research, and Academics and Education (research manuscripts) sections must conform to the Structured Abstract format. Structured Abstracts should not exceed 350 words and must contain the following information: (1) Purpose (2) Materials and Methods (3) Results (4) Conclusions

Following the abstract and on the same page, there should be several words not appearing in the title of the manuscript to be titled: **INDEX WORDS**.

Please note: If submitting to the online site, you will be prompted to enter the abstract and index words separately.

Text - Research manuscripts should include the following sections: Introduction, Materials and Methods, Results, Discussion, Conclusion, Acknowledgements, and References. Experimental design should be clearly described (eg, randomized clinical trial, cohort study, case-control study, case series).

Other manuscripts should begin with an introductory paragraph of at least two to five sentences. The remainder of the manuscript should be divided into sections preceded by appropriate headings.

The **Introduction** will include the following: a description of the problem that inspired the study; a brief discussion of relevant published material that addressed the same problem or that documents methodology used in the study; and the goal of the study, the purpose statement or hypothesis.

The **Materials and Methods** section describes materials or subjects used and the methods selected to evaluate them, including information about the overall design, the nature of the sample studied, the type of interventions (or treatments) applied to the individual elements in the sample, and the principal outcome measure. Statistical methodology should be included in this section.

The **Results** section will be a clear statement of the findings and an evaluation of their validity based on the outcome of statistical tests.

The **Discussion** section presents the research in its broader context, describes its clinical implications, identifies limitations or problems that emerged during the course of the study, characterizes the larger significance of the findings, and articulates any further questions remaining to be answered on the subject.

The **Conclusion** section includes only a brief and succinct summary of the findings.

References - Number references consecutively in the order in which they are first mentioned in the text. Identify references in texts, tables, and legends by Arabic numerals (in parentheses). Use the style of the examples below, which are based on the format used by the US National Library of Medicine in Index Medicus. For abbreviations of journals, consult the "List of the Journals Indexed" printed annually in the January issue of Index Medicus.

For standard journal articles list all authors when three or fewer; when three or more, list first three authors and add et al.

Example:

Raghoobar GM, Brouwer TJ, Reintjesma H, et al: Augmentation of the maxillary sinus floor of autogenous bone for the placement of endosseous implants: A preliminary report. J Oral Maxillofac Surg 1993;51:1198-1203

Chapter in book

Phoenix, RD: Denture base resins: Technical considerations and processing techniques, in Anusavice KJ (ed): Phillips' Science of Dental Materials, vol 1 (ed 10). Philadelphia, PA, Saunders, 1996, pp 237-271

Tables - Tables should be positioned following the references, not in the body of the manuscript. The tables should be numbered consecutively with Arabic numerals. Each table should be typed on a separate sheet. Include any necessary legends on the same page with the associated table.

Illustrations - All graphs, drawings, and photographs are considered figures and should be numbered in sequence with Arabic numerals. Each figure should have a legend and all legends should be typed together on a separate sheet and numbered correspondingly.

The inclusion of color illustrations is at the discretion of the editor. Details must be large enough to retain their clarity after reduction in size. Micrographs should be designed to be reproduced without reduction, and they should be dressed directly on the micrograph with a linear size scale, arrows, and other designators as needed.

When digital images are not available, four sets of illustrations should be submitted, identifying each with a label on the back indicating the figure number, author's name, and the top.

Abbreviations, symbols and nomenclature - Authors are to use current prosthodontic nomenclature and are referred to the Glossary of Prosthodontic Terms (7th Edition) for accepted terminology. Generic names should be used for all drugs and equipment. When a trade name must be used, cite parenthetically the trade name and the name, city, state, and country of the manufacturer. Measurements should be in the metric system.

Permissions - Any illustrations or tables that have been published previously must be accompanied by a letter of permission from the copyright holder (usually the publisher). Illustrations or tables that have been adapted or modified must also be accompanied by letters of permission.

Copyright - Authors will be required to fill out a copyright assignment form prior to their articles being published. The form can be found here.