

Efeito da ciclagem mecânica sobre a resistência flexural de resinas acrílicas reforçadas por fibras de vidro

Effect of the mechanical loading about the flexural strength of acrylic resins reinforced with glass fibers

Caroline Canhizares Marcelo*

Laíza Maria Grassi Fais*

Lígia Antunes Pereira Pinelli**

Regina Helena Barbosa Tavares da Silva***

José Cláudio Martins Segalla****

Resumo

Por meio deste estudo avaliou-se o efeito da incorporação de fibras de vidro, utilizadas no reforço náutico e aquático, na resistência à flexão e ciclagem mecânica da resina acrílica. Foram confeccionados 64 corpos-de-prova de resina acrílica Dencor®, divididos em quatro grupos: G1 - sem fibras e sem ciclagem (controle), G2 - sem fibras e com ciclagem, G3 - com fibras e sem ciclagem, G4 - com fibras e com ciclagem. Os corpos-de-prova foram confeccionados por meio de uma matriz metálica com dimensões internas iguais a 64 x 10 x 3,3 mm. Nos grupos G3 e G4 à resina acrescentaram-se fibras de vidro durante sua manipulação. Após 48h de armazenamento dos corpos-de-prova em água destilada a 37° C realizou-se o ensaio mecânico na máquina MTS 810®. Os grupos G2 e G4 foram submetidos à ciclagem mecânica (10.000 ciclos ininterruptos, 5 Hz e 80 N) e nos grupos G1 e G3 aplicou-se uma carga de 1 KN com velocidade de 5 mm/min. Os dados foram tabulados em Excel 2000® e submetidos à análise de variância no programa GMC 2002®. Diferença estatisticamente significativa foi observada comparando-se os grupos com e sem fibras, sendo

o valor de $p = 0,0002$. Concluiu-se que a incorporação de fibras de vidro melhorou a resistência à flexão da resina acrílica, independentemente da realização de ciclagem mecânica.

Palavras-chave: polímeros, vidro, materiais dentários.

Introdução

Apesar de o tratamento reabilitador com próteses fixas ser muito procurado por pacientes parcialmente desdentados e ter sido classificado por Baum e Porte¹ (1981) como um procedimento bem estabelecido, a confecção de próteses fixas provisórias apresenta dificuldades que devem ser resolvidas. Durante o tratamento protético, as coroas provisórias são importantes para se alcançar o sucesso no decorrer do trabalho², devendo atender a requisitos biológicos, mecânicos, estéticos e fonéticos³.

As técnicas utilizadas para a confecção de provisórios são classificadas em diretas ou indiretas, e existem diferentes tipos de procedimentos e materiais para tal fim, sendo as resinas acrílicas autopolimerizáveis utilizadas na rotina do cirurgião-dentista.

* Alunas do curso de mestrado em Reabilitação Oral da Faculdade de Odontologia de Araraquara (Unesp).

** Doutora em Reabilitação Oral; professora Assistente Doutora da disciplina de Prótese Parcial Fixa e do Programa de Pós-Graduação em Reabilitação Oral da Faculdade de Odontologia de Araraquara (Unesp).

*** Livre-docente; professora Adjunta da disciplina de Prótese Parcial Fixa e do Programa de Pós-Graduação em Reabilitação Oral da Faculdade de Odontologia de Araraquara (Unesp).

**** Doutor em Dentística Restauradora; professor Assistente Doutor da disciplina de Prótese Parcial Fixa e do Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Odontologia de Araraquara (Unesp).

Recebido: 15.08.2005 Aceito: 05.12.2005

De acordo Kim e Watts² (2004), os materiais de escolha para as restaurações provisórias devem ser aqueles que forneçam alta resistência mecânica, estabilidade dimensional, estética, nenhuma toxicidade e facilidade de manuseio. As resinas acrílicas autopolimerizáveis possuem algumas propriedades indesejáveis, tais como reação exotérmica com contração de polimerização, baixa resistência a fratura⁴, baixa resistência a tração e limitada força⁵, características essas determinadas por sua composição química.

Com a evolução de novas técnicas para a confecção de próteses fixas, como coroas livres de metal e próteses adesivas, foram desenvolvidos novos materiais, que, quando incorporados às resinas, minimizam as deficiências mecânicas encontradas, fornecendo reforço às estruturas utilizadas. A partir de então, vários materiais como metais, fibras de vidro, fibras compostas por nylon, alumínio e policarbonatos, começaram a ser incorporados na resina acrílica para melhorar suas propriedades mecânicas^{6,7}.

Dentre os materiais de reforço destacam-se as fibras, que apresentam como características boa resistência, translucidez, transparência e maleabilidade, além da ausência de oxidação, quando comparadas com os reforços metálicos⁵. Diversas pesquisas *in vivo*⁸⁻¹² e *in vitro*^{4, 13-18} têm sido realizadas com fibras de reforço de diferentes composições.

Para Ladiszezky e Chow¹⁹ (1992) e Vallittu²⁰⁻²¹ (1997 e 1998), as fibras de vidro são as que fornecem maior conveniência para aplicações dentais, melhor estética e melhor união com a matriz da resina acrílica. Gokçe et al.²² (2005) enfatizam que polímeros reforçados por fibras de vidro podem ser utilizados com segurança na dentística restauradora, ortodontia, periodontia e prótese não só porque melhoraram as propriedades mecânicas do material, mas também em razão de seus atributos estéticos.

De acordo com Anusavice²³ (1998), a capacidade de uma prótese resistir às forças aplicadas sem que haja fratura ou deformação permanente é um aspecto a ser considerado, fato que justifica o ensaio mecânico de resistência à flexão como um

importante teste, representando a mensuração coletiva das tensões de tração, compressão e cisalhamento. Porém, além da resistência à flexão dos materiais resinosos, a realização de ensaios cíclicos é essencial para a análise dos materiais²⁴. Os corpos-de-prova que são submetidos a tensões cíclicas são mais apropriados para a simulação das condições do meio bucal²⁵.

Segundo Elias e Lopes²⁶ (2001), para se avaliar a resistência dos materiais reforçados que serão inseridos no meio bucal e estarão sob forças de tração, compressão e cisalhamento, devem ser realizados não apenas ensaios mecânicos estáticos, nos quais a carga é aplicada gradativamente, mas também testes dinâmicos, como, por exemplo, testes cíclicos.

Por ser a confecção de provisórios um procedimento importante durante o tratamento reabilitador com prótese fixa, pelo fato de os materiais de confecção para esses elementos apresentarem deficiências em suas propriedades mecânicas e pela constatação de resultados satisfatórios obtidos com a utilização de materiais de reforço nas resinas acrílicas, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da incorporação de fibras de vidro na resistência à flexão de corpos-de-prova confeccionados com resina acrílica autopolimerizável submetidos à ciclagem mecânica.

Materiais e método

Foram confeccionados 64 corpos-de-prova de resina acrílica autopolimerizável (Dencor®, Artigos Odontológicos Clássico Ltda, São Paulo, SP, Brasil), cor 77, com o auxílio de uma matriz metálica em aço inoxidável, com dimensões internas de 64 x 10 x 3,3 mm²⁷. Os corpos-de-prova foram divididos em quatro grupos (Quadro 1).

Quadro 1 - Distribuição em grupos dos corpos-de-prova confeccionados em resina acrílica autopolimerizável com ou sem incorporação de fibras de vidro e submetidos ou não à ciclagem mecânica

Grupos	Incorporação de fibras	Ciclagem mecânica
1	Não	Não
2	Não	Sim
3	Sim	Não
4	Sim	Sim

Para a obtenção dos espécimes, seguindo as recomendações do fabricante da resina e conforme um experimento piloto previamente realizado, o líquido (monômero) foi pipetado para se obter 7,2 mL. Foram pesados em balança analítica (Sartorius-Werke AG®, Goettingen, Germany) 14,4 g do pó da resina acrílica (polímero) e 0,250 g de fibra de vidro foram picados com tesoura para ouro em tamanhos aleatórios (Grupos 3 e 4).

Para a confecção dos corpos-de-prova, inicialmente, a matriz metálica teve suas paredes internas isoladas com Cel-Lac® (SSWhite, Rio de Janeiro, RJ, Brasil), sendo posicionada sobre um conjunto de placa de vidro/folha de transparência. As quantidades previamente determinadas do pó e do líquido da resina foram colocadas no interior de um pote de vidro com tampa e manipuladas com uma espátula nº 36. Nesse momento, para os Grupos 3 e 4 acrescentaram-se as fibras de vidro picadas. Ao atingir a fase plástica, a massa resinosa (com ou sem fibras) foi acomodada no interior da cavidade da matriz metálica, adaptando-se sobre esta outro conjunto placa de vidro/folha de transparência. A seguir, todo o conjunto foi levado à prensa hidráulica, ficando sob uma carga constante de 0,25 toneladas até a polimerização total da resina.

Após a polimerização, os corpos-de-prova receberam acabamento em politriz (Metaserv, 2000®, Bueher UK, Coventry, England) equipada com lixas d'água de granulação 400 (Norton, São Paulo, SP, Brasil) para remoção dos excessos, sendo, em seguida, depositados em frascos âmbar contendo 10 mL de água destilada e armazenados em estufa para cultura Fanen® a 37 ± 1 °C durante 48h²⁷. Após esse período, a largura e espessura dos espécimes foram mensuradas com auxílio de um paquímetro digital, aceitando-se uma variação de ± 0,2 mm.

A resistência à flexão dos espécimes foi verificada por meio de testes de resistência em três pontos, utilizando-se a máquina de ensaios MTS-810®, equipada com o programa Test Work 4® (Material Test System, Eden Prairie, MN, USA) e com uma célula de carga de 1 kN, cali-

brada com velocidade constante de 5 mm/min. Os corpos-de-prova foram posicionados sobre um suporte metálico com um ponto de apoio em cada extremidade, a uma distância de 50 mm (International Organization for Standardization, 1998)²⁸, aplicando-se uma força contrária aos apoios através de um terceiro ponto, fixo na máquina, em direção ao centro do corpo-de-prova até sua ruptura. Os valores de resistência à flexão foram calculados em MPa de acordo com a fórmula: $\sigma = 3PI/2bd^2$ (σ = resistência à flexão; P = carga máxima no ponto da fratura; I = distância entre os suportes; b = largura do corpo-de-prova e d = espessura do corpo-de-prova).

Com a finalidade de se avaliar a resistência à flexão após ciclagem mecânica, foram executadas ciclagens sucessivas nos corpos-de-prova (Grupos 2 e 4) com a utilização da máquina Material Test System MTS 810[®] submetendo os espécimes a 10.000 ciclos ininterruptos, com frequência de 5 Hz e amplitude de 0,5 mm. No primeiro corpo-de-prova submetido a tensões cíclicas, a carga aplicada foi de 60% da resistência à flexão obtida no ensaio de flexão prévio. A carga aplicada era aumentada caso o corpo-de-prova resistisse aos 10.000 ciclos ou diminuída, em incrementos constantes correspondentes a 4% da resistência à flexão do material, caso fraturasse antes deste número de ciclos.

Os resultados obtidos foram organizados em tabelas e submetidos à análise estatística empregando-se o programa GMC 2002[®]. Para comparação dos resultados dos grupos experimentais aplicou-se a análise de variância (Anova) com fator duplo de repetição e nível de significância de 5%.

Resultados

Os resultados dos testes de resistência à flexão dos grupos experimentais investigados estão representados na Tabela 1. Na Tabela 2 pode-se observar a comparação dos resultados obtidos pela análise de variância (Anova).

Tabela 1 - Somas, médias e desvios-padrão da resistência à flexão em função dos diferentes grupos (valores em MPa)

Grupo	Soma	Média	Desvio-padrão
1	721,62	45,10	±3,89
2	736,56	46,04	±6,01
3	869,25	54,33	±5,69
4	812,15	50,76	±9,39

Tabela 2 - Análise de variância da resistência à flexão em função dos diferentes grupos

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-p
Incorporação de fibras	783,906	1	783,906	18,32	0,0002
Ciclagem	28,813	1	28,813	0,67	0,42
Interação	79,328	1	79,328	1,85	0,17
Resíduo	2567,484	60	42,791		
Total	9719,33	63			

** $p < 0,01$ – diferença estatisticamente significativa

SQ=soma de quadrados; gl=graus de liberdade; MQ=quadrados médios; F=valor de "F" de teste estatístico

Pelos valores obtidos no teste estatístico Anova com fator duplo de repetição, a resistência dos corpos-de-prova reforçados por fibras de vidro foi maior tanto estaticamente (resistência à flexão) quanto após a realização da ciclagem mecânica ($p = 0,0002$).

Discussão

Durante um tratamento reabilitador, as restaurações provisórias são indispensáveis para a obtenção de sucesso, uma vez que atenderão a requisitos estéticos, biológicos e funcionais. Porém, muitas vezes, esta etapa do tratamento é negligenciada¹⁸ pelo fato de os materiais utilizados serem críticos em relação à resistência e longevidade, especialmente quando são executados tratamentos prolongados e/ou em espaços desdentados extensos.³

Os cirurgiões-dentistas escolhem um produto baseando-se na facilidade de manipulação, custo e estética, logo é útil saber que materiais provêm uma restauração provisória mais resistente quando a preocupação principal está relacionada com a resistência da peça¹⁷.

As fibras de reforço vêm sendo investigadas desde 1960 para se verificar se determinam melhorias nas propriedades físicas e mecânicas dos diferentes materiais para confecção de restaurações provisórias⁶. Os altos índices de sucesso verificados com a utilização deste tipo de reforço estimulam sua utilização em diferentes especialidades odontológicas^{7,22}. Entretanto, alguns tipos de fibra têm alto custo, o que pode inviabilizar o seu uso em pacientes de baixa renda.

Este estudo demonstrou o efeito da incorporação de uma fibra de vidro não comercializada no mercado odontológico na resistência à flexão da resina acrílica, com ou sem aplicação de carga cíclica. Com a metodologia aplicada pôde-se observar que as fibras de vidro aumentaram a resistência à flexão dos corpos-de-prova, submetidos ou não à ciclagem mecânica, melhorando o comportamento mecânico da resina acrílica. Os resultados encontrados estão de acordo com os de Hamza et al.⁷ (2004), que avaliaram a incorporação de diferentes fibras de reforço em resinas acrílicas e confirmaram de maneira efetiva que as fibras de vidro reforçam satisfatoriamente as resinas acrílicas utilizadas na confecção de provisórios.

Melo Júnior et al.⁸ (1999), Fregonesi et al.¹³ (1990), Kanie et al.¹⁵ (2000), Uzum e Keyf¹⁸ (2003) e Vallittu²⁰⁻²¹ (1997 e 1998) confirmaram o efeito do reforço das resinas odontológicas por meio da incorporação de fibras. Esse fato é explicado pela transferência da carga aplicada à resina, uma vez que o estresse gerado será repassado da matriz polimérica para as fibras incorporadas, que apresentam maior resistência.

Resultados diferentes foram observados por Samadzadeh et al.⁴ (1997) e Keyf e Uzun¹⁶ (2001), que não notaram aumento significativo na resistência à flexão da resina acrílica em grupos com incorporação de fibras de reforço. Porém, apesar desses resultados, os autores indicaram a utilização das fibras pela menor possibilidade de ocorrência de fraturas múltiplas nas restaurações provisórias.

Nesta pesquisa avaliou-se uma maneira simples de utilização das fibras de vidro, picando-as e misturando-as aleatoriamente na massa resinosa. A melhoria da propriedade mecânica investigada neste estudo difere dos resultados obtidos por Vishu²⁹ (1998), que verificou uma diminuição na resistência da resina acrílica quando fibras em diferentes posições e orientações foram utilizadas.

Apesar de não serem verificadas diferenças estatisticamente significativas entre a resistência à flexão dos corpos-de-prova submetidos ou não à ciclagem mecânica e diferentemente dos resultados obtidos por Drummond e Miescke³⁰ (1991), que observaram diminuições na resistência após ciclagem entre 20 e 60%, dependendo do material, a aplicação de cargas cíclicas mostra-se importante por simular as cargas aplicadas durante a mastigação. De acordo com Scherrer et al.³¹ (2003), ensaios mecânicos que envolvem a aplicação da ciclagem mecânica e que analisam a resistência à fadiga dos materiais são variáveis, dificultando análises e comparações.

Conclusões

- Diante das limitações inerentes ao estudo realizado e com base nos resultados obtidos demonstrou-se que a incorporação estrutural de fibras de vidro possibilita a obtenção de benefícios às propriedades da resina acrílica, criando-se um material mais resistente ao meio bucal.
- A incorporação das fibras de vidro melhorou a resistência à flexão da resina acrílica, independentemente da realização de ciclagem mecânica.

Abstract

The aim of this research was to analyze the effect of glass fibers incorporation, used in the nautical and aquatic reinforcement, in the flexural strength and mechanical loading of the acrylic resin. Sixty four specimens were made from DencorTM acrylic resin, divided into four groups: G1 - without fibers and without mechanical loading (control); G2 - without fibers and

with mechanical loading; G3 - with fibers and without mechanical loading and G4 - with fibers and with mechanical loading. The resin was manipulated in agreement with the manufacturer and positioned in a metallic matrix (64 x 10 x 3.3 mm); in groups G3 and G4, 0.250 g of fibers were chopped and added to the resin mass. The specimens were stored in distilled water at 37 °C for 48 hours and submitted to flexural strength test at MTS 810TM machine; the groups G2 and G4 were submitted to mechanical loading (10,000 uninterrupted cycles, 5 Hz and 80 N), and the groups G1 and G3 received load of 1 kN at 5 mm/min. The data were organized in Excel 2000 and submitted to a variance analysis in the GMC 2002 program. The values, in MPa, for the groups 1 to 4 were, respectively: 45.10 + 3.89; 46.04 + 6.01; 54.33 + 5.69 and 50.76 + 9.39. Statistics differences between the groups with and without fibers were obtained and the p value found was p = 0,0002. It was concluded that the incorporation of glass fibers in the acrylic resin increased the flexural strength independently of the mechanical loading.

Key words: polymers, glass, dental materials.

Referências

1. Baum L, Porte E. Fabrication of an immediate temporary bridge. *J Conn State Dent Assoc* 1981; 55(2):91-2.
2. Kim SH, Watts DC. Exotherm behavior of the polymer-based provisional crown and fixed partial denture materials. *Dent Mater* 2004; 20(4):383-7.
3. Bastos LGC. Avaliação da resistência flexional, do módulo de elasticidade e do tipo de fratura de uma resina acrílica para restaurações provisórias: efeito de diversos reforços [Dissertação de Mestrado]. Bauru: Universidade de São Paulo; 2003.
4. Samadzadeh A, Kugel G, Hurley E, Aboushala A. Fracture strengths of provisional restorations reinforced with plasma-treated woven polyethylene fiber. *J Prosthet Dent* 1997; 78(5):447-50.
5. Felipe LA, Baratieri LN, Monteiro-Júnior S, Andrada MAC, Vieira LCC. Fibras de reforço para uso odontológico – Fundamentos básicos e aplicações clínicas. *Rev Assoc Paul Cirur Dent* 2001; 55(4):245-50.
6. Freilich MA, Karmaker AC, Burstone CJ, Goldberg AJ. Development and clinical applications of a light-polymerized fiber-reinforced composite. *J Prosthet Dent* 1998; 80(3):311-8.
7. Hamza TA, Rosenstiel SF, Elhosary MM, Ibraheem RM. The effect of fiber reinforcement on the fracture toughness and flexural strength of provisional restorative resins. *J Prosthet Dent* 2004; 91(3):258-64.
8. Melo Júnior EJM, Raposo MJ, Gonçalves JA, Vieira D. Uso de fibras de reforço como alternativa na confecção de prótese adesiva provisória. *Rev Paul Odontol* 1999; 21(6):4-8.
9. Meiers JC, Freilich MA. Chairside prefabricated fiber-reinforced resin composite fixed partial dentures. *Quintessence Int* 2001; 32(2):99-104.
10. Ahlstrand WM, Finger WJ. Direct and indirect fiber-reinforced fixed partial dentures: case reports. *Quintessence Int* 2002; 33(5):359-65.
11. Freilich MA, Meiers JC, Duncan JP, Eckrote KA, Goldberg AJ. Clinical evaluation of fiber-reinforced fixed bridges. *J Am Dent Assoc* 2002; 133(11):1524-34.
12. Karaman AI, Kir N, Belli S. Four applications of reinforced polyethylene fiber material in orthodontic practice. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2002; 121(6):650-4.
13. Fregonesi LA, Campos GM, Panzeri H. Medidas de deformação de resina acrílica reforçada com fibras picadas e moídas. *Odontol Uni São Paulo* 1990; 4:83-6.
14. Vallittu PK. Flexural properties of acrylic resin polymers reinforced with unidirectional and woven glass fibers. *J Prosthet Dent* 1999; 81(3):318-26.
15. Kanie T, Fujii K, Arikawa H, Inoue K. Flexural properties and impact strength of denture base polymer reinforced with woven glass fibers. *Dent Mater* 2000; 16(2):150-8.
16. Keyf F, Uzun G. The effects of glass fiber reinforcement at different concentrations on the transverse strength, deflection and modulus of elasticity of a provisional fixed partial denture resin. *J Biomater Appl* 2001; 16(2):149-56.
17. Haselton DR, Diaz-Arnold AM, Vargas MA. Flexural strength of provisional crown and fixed partial denture resins. *J Prosthet Dent* 2002; 87(2):225-8.
18. Uzun G, Keyf F. The effect of fiber reinforcement type and water storage on strength properties of a provisional fixed partial denture resin. *J Biomater Appl* 2003; 17(4):277-86.
19. Ladiszezky H, Chow W. The effect of interface adhesion, water immersion and anatomical notches on the mechanical properties of denture base resins reinforced with continuous performance high polyethylene fibers. *Aust Dent J* 1992; 37(4):272-89.
20. Vallittu PK. Curing of a silane coupling agent and its effect on the transverse strength of autopolymerizing polymethyl methacrylate glass fiber composite. *J Oral Rehabil* 1997; 27(2):124-30.
21. Vallittu PK. The effect of glass fiber reinforcement on fracture resistance of a provisional fixed partial denture. *J Prosthet Dent* 1998; 79(2):125-30.
22. Gokçe M, Dahl JE, Ruyter IE. Physicochemical evaluation of silica-glass fiber reinforced polymers for prosthodontic applications. *Eur J Oral Sci* 2005; 113(3):258-64.
23. Anusavice KJ. Propriedades mecânicas dos Materiais Dentários. In: Anusavice KJ. *Materiais Dentários*. 10. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 1998. p. 28-43.

24. Draughn RA. Compressive fatigue limits of composite restorative materials. *J Dent Res* 1979; 58(3):1093-6.
25. Reagan SE, Fruits TJ, Van Brunt CL, Ward CK. Effects of cyclic loading on selected post-and-core systems. *Quintessence Int* 1999; 30(1):61-7.
26. Elias CN, Lopes HP. Ensaios Mecânicos. In: Estrela C. Metodologia científica ensino e pesquisa em odontologia. 1. ed. São Paulo: Artes Médicas; 2001. p. 249-74.
27. Revised American Dental Association Specification nº12 for denture base polymers. *J Am Dent Assoc* 1975; 90(2):451-8.
28. International organization for standardization. Specification 1567: denture base polymers. 2. ed. Switzerland: ISO, 1998.
29. Vishu S. Handbook of plastic testing technology. New York: John Wiley; 1998. p. 546.
30. Drummond JL, Miescke KL. Weibull models for the statistical analysis of dental composite data: aged in physiologic media and cyclic-fatigued. *Dent Mater* 1991; 7(1):25-9.
31. Scherrer SS, Wiskott AH, Coto-Hunziker V, Belser UC. Monotonic flexure and fatigue strength of composites for provisional and definitive restorations. *J Prosthet Dent* 2003; 89(6):579-88.

Endereço para correspondência

Laiza Maria Grassi Fais
Rua Humaitá, 1680
CEP: 14801-903 - Araraquara - SP
Fone: (16) 3301-6406 Fax: (16) 3301-6406
E-mail: lamgf@hotmail.com