

EFEITO DA SECÇÃO TRANSVERSAL NUM PROTÓTIPO DE ALÇA DE RETRAÇÃO ORTODÔNTICA DE GEOMETRIA COMPLEXA PELO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

Effects of the transversal section in the performance of a complex geometry planar retraction spring by the finite element method

Marcelo A. Ferreira¹

Sérgio A. Ignácio²

Marco Antônio Luersen³

Paulo César Borges⁴

Resumo

Este trabalho analisa o desempenho de uma alça planar de retração ortodôntica com geometria complexa, através do método dos elementos finitos (M.E.F.), para utilização na mecânica segmentada dos arcos, confeccionada com liga de titânio-molibdênio (T.M.A.) e com secção transversal 0,406 mm x 0,559 mm (0,016 x 0,022-polegadas) e 0,444mm x 0,444mm (0.0175 x 0.0175-polegadas) A alça analisada apresenta um delta central com uma circunvolução apical e inclinação nas extremidades, a qual incorpora momentos iniciais. As análises foram realizadas por meio do M.E.F., utilizando elemento de viga bidimensional. São explorados aspectos importantes no que diz respeito aos esforços resultantes (forças, momentos, a relação momento / força, M/F, e as tensões resultantes, em repouso, aos 2N e aos 3,3 N de força aplicada) após a ativação, concluindo-se que não houve diferença estatisticamente significativa para os valores médios de tensão em relação às secções transversais estudadas.

Palavras chave: Mecânica segmentada; Alças planares de retração ortodôntica; Método dos elementos finitos.

Abstract

This work analyses the performance of a complex geometry planar cuspid retraction spring made by titanium-molybdenum wire 0.406 mm x 0.559 mm (0.016 x 0.022-inch) and 0.444mm x 0.444 mm (0.0175 x 0.0175inch). The spring analysed presents a centered Delta design with an apical helix and preactivated by gabling angles that produce initial moments. The analysis was performed by the finite element method (FEM) using bidimensional beam elements. Some important aspects are explored: the force systems (forces, moments, M:F ratio and resultant tensions along the spring, at zero, 2 N and 3.3 N of applied force) after the activation as concluding that there was not a statistical difference between them with the alteration of the cross-section.

Keywords: Orthodontic springs; Orthodontic planar attraction springs; Finite element analysis.

¹ Esp. Ortodontia I, M.Sc., PUCMG marcelo.ferreira@avalon.sul.com.br

² Professor Dr. do Departamento de Estatística, PUCPR.

³ Professor Dr. Eng. Mecânico, DAMEC/CEFET-PR.

⁴ Professor Dr. Departamento Acadêmico de Mecânica, DAMEC-PPGEM/CEFET-PR.

Introdução e Revisão da Literatura

As alças de retração ortodôntica podem ser utilizadas por meio de uma abordagem seccional, como também fazendo parte da mecânica segmentada dos arcos (MSA). Os exemplos mais comuns de sua utilização são: distalização de caninos ao sítio de extração em casos de (apinhamento severo) (1) ou em casos de retração em massa.

As alças retangulares são meios auxiliares na correção das más-oclusões, pela mecânica ortodôntica edgewise. Elas produzem forças e momentos, que são responsáveis pela alteração da inclinação das raízes, promovendo o fechamento dos espaços entre os dentes, de maneira controlada. Produzem momentos de força com diferentes intensidades, conforme os objetivos do tratamento. O sistema de forças que atua sobre uma alça retangular, quando ativada, dependerá da geometria da alça. Um exemplo muito utilizado é o das alças em geometria de "T", representada na figura 1.

Na MSA as forças e momentos de força serão regulados conforme os requerimentos de ancoragem (3) (figura 2), que podem ser:

a) retração do segmento anterior (incisivos e caninos) em direção ao local de extração, com pouca movimentação dos posteriores; b) protração do segmento posterior (molares e pré-molares mesializam em direção ao local de extração, enquanto os anteriores pouco se movimentam; c) ambos os grupos de dentes, anterior e posterior, movimentam-se para o local da extração; d) retração isolada dos caninos, em casos de apinhamento anterior.

As alças de retração ortodôntica vêm sendo estudadas desde os anos 50 até o presente (1, 2, 4-8), no intuito de se obter forças que atuem em níveis biologicamente aceitáveis e que demonstrem uma relação momento-força (M:F) condizente com os objetivos do plano de tratamento. Estas alças permitem que se trabalhe com uma baixa resistência à deflexão (constante elástica), graças à maior distância interbraquete.

Análises numéricas (9) e técnicas experimentais (1, 6, 8) vêm sendo utilizadas para a análise desses dispositivos.

Este trabalho tem como objetivo avaliar o efeito da secção transversal no que se refere às tensões resultantes após aplicação de determinadas forças e também de se conhecer o

sistema de forças e momentos gerados pelo modelo de alça estudado, bem como seu desempenho elástico. Para isto foi utilizado o Método dos Elementos Finitos (MEF), que tem sido considerado confiável e preciso no estudo da performance de sistemas mecânicos (10), possibilitando verificar previamente os valores de forças, momentos, resistência à deflexão e as tensões decorrentes do carregamento das alças, antes de testá-las experimentalmente. Este método é útil no estudo do comportamento de alça, o que permite simular alterações de geometria, para conseguir-se melhor performance do objeto estudado e após testá-lo experimentalmente

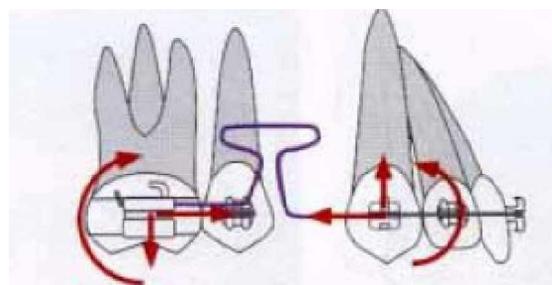


Fig. 1-: Forças (F) e momentos (M) atuantes na alça. Forças e momentos de mesma intensidade, mas de sentido oposto, atuam sobre os dentes onde a alça está ancorada.



Fig. 2 Alça com geometria do tipo "T-loop" (arco inferior) na protração dos dentes posteriores por meio de uma abordagem segmentada.

Metodologia

Para demonstrar a aplicabilidade do método, a alça foi avaliada. Utilizou-se para isso o software comercial de elementos finitos Ansys 5.7, versão educacional.

O MEF é uma técnica numérica de solução e simulação de inúmeros problemas físicos. A idéia básica do método é dividir o

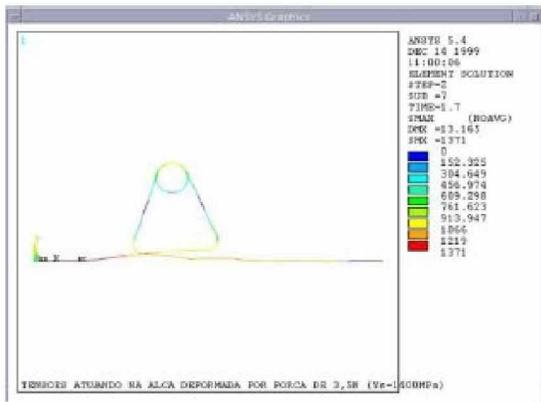


Fig 5 Display do programa ANSYS simulando as tensões produzidas aos 3,5N. (secção transversal de 0,016 x 0,022-polegadas).

A figura 6 mostra a alça quando ativada em 9 mm bem como os esforços (tensões) que se produzem ao longo de sua estrutura, representada por diferentes cores. A coloração vermelha denota a região onde as tensões estão muito próximas de produzir deformação plástica (escoamento).

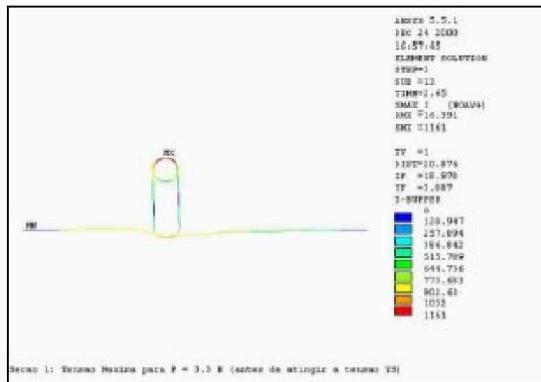


Fig 6 Display do programa ANSYS simulando as tensões produzidas quando a alça simula estar ativada em 8,7 mm. Observe na legenda ao lado a coloração vermelha indicando a região onde a alça é mais susceptível de sofrer escoamento (deformação plástica). A alça em questão é de secção transversal 0,016 x 0,022 pol.

A tabela 1 mostra o sistema de forças obtido para a alça com secção transversal 0,0175 x 0,0175-pol, discriminando o nível de força, os momentos, a relação M:F, e as tensões resultantes em repouso (alça inserida em dispositivos simulando bráquetes e tubos), aos 2N e aos 3,3 N de ativação (abertura).

F(N)	M(N mm)	M/F (mm)	Ativação (mm)	Tensão (MPa)
0.00	1.541	0.00	311.65	
0.4	3.69	9	.22	1.03
0.8	5.64	7.05	2.09	-
1.2	7.39	6.16	3.15	-
1.6	8.97	5.60	4.22	
2.0	10.36	5.18	5.30	718.24
2.4	11.56	4.81	6.37	
2.8	12.57	4.49	7.43	
3.2	13.40	4.18	8.45	
3.3	13.58	4.11	8.7	1161.00

FONTE: Dados da pesquisa

A tabela 2 mostra o sistema de forças para a secção transversal 0,016 x 0,022-pol.

F(N)	M(N mm)	M/F (mm)	Ativação (mm)	Tensão (MPa)
0.00	1.48	-	0	284.99
0.4	3.62	9.06	1.08	-
0.8	5.56	6.95	2.17	-
1.2	7.30	6.08	3.28	-
1.6	8.85	5.53	4.39	-
2.0	10.21	5.10	5.52	672.50
2.4	11.36	4.73	6.63	-
2.8	12.32	4.40	7.72	-
3.2	13.10	4.09	8.77	-
3.3	13.27	4.02	9.03	1108.00

FONTE: Dados da pesquisa

Uma das grandes vantagens do MEF está no fato de poder-se simular diversas situações com uma determinada geometria, podendo-se alterá-la para chegar-se àquela que demonstra um melhor sistema de forças antes de testá-la experimentalmente. As tabelas 1 e 2 mostram os valores obtidos.

Visando a verificar as possíveis diferenças entre os valores médios da tensão segundo as duas secções transversais, utilizou-se o teste não paramétrico U de Mann-Whitney, uma vez que tanto na secção transversal 1 (0.0175 x 0.0175-pol.) como na 2 (0.016 x 0.022-pol.), o tamanho da amostra é pequeno (n=3), envolvendo uma medição para cada nível de força (0, 2 e 3,3 N). Em elementos finitos, para o mesmo nível de força, o valor da tensão é sempre constante. A tabela 3 apresenta as estatísticas descritivas, segundo as duas secções transversais analisadas e o resultado do teste U de Mann-Whitney.

O teste U de Mann-Whitney indicou não existir diferença estatisticamente significativa entre os valores médios de tensão, segundo as duas secções transversais, em nível de probabilidade $p < 0,05$.

Discussão

Uma das grandes vantagens do MEF está no fato de poder-se simular diversas situações com uma determinada geometria, podendo-se alterá-la para chegar-se àquela que demonstra um melhor sistema de forças antes de testá-la experimentalmente.

As alças com secção transversal 0,016 x 0,022 polegadas mostram valores ligeiramente maiores de tensão, porém estatisticamente não significante (tabela 3). Em ambas as alças os valores de tensão foram aplicados até antes do material iniciar o escoamento (deformação plástica permanente), a qual se dá quando a tensão é igual a $YS=170000$ psi (1171,3 MPa) para as ligas em titânio-molibdênio.

As regiões que se mostraram mais críticas foram nos helicóides (região superior das alças), onde os níveis de tensão foram críticos (1144MPa e 1161MPa para as alças 0,016 x 0,022pol e 0,0175 x 0,0175-pol respectivamente). As regiões menos críticas foram em suas hastes verticais (128.947 MPa e 123.162 MPa para as alças 0,0175 x 0,0175-pol e 0,016 x 0,022-pol respectivamente) e horizontais (para os segmentos mais afastadas dos pontos de restrição). Uma observação curiosa foi a do comportamento dos níveis de tensão, no momento em que a alça, antes de ser ativada, ou seja, no momento em que se simulou apenas sua inserção nos pontos de restrição, mostrou os pontos mais críticos de tensão não na região do helicóide como no restante das ativações, mas sim próximo ao ponto de restrição, no qual o delta da alça encontrava-se mais afastado (311,654 MPa para as alças 0,0175 x 0,0175-pol).

Conclusões

O MEF é uma útil ferramenta para testar novas geometrias de alças de retração ortodôntica. Uma avaliação experimental da geometria estudada será considerada, bem como novos estudos serão feitos e dirigidos para o seu emprego clínico.

Referências

1. Gjessing P. Biomechanical design and clinical evaluation of a new canine retraction spring. *Am J Orthod* 1985; 87:353-62.
2. Burstone C.J. The rationale of segmented arch. *Am. J Orthod* 1962;48:5-21.
3. Braun S, Sjursen RC, Legan HL. On the management of extraction sites. *Am.J.Orthod Dentofacial Orthop* 1997;112:645-655.
4. Reitan K. Some factors determining the evaluation of forces in orthodontics. *Am.J Orthod* 1957;43: 32-45.
5. Ricketts RM. Bioprogressive therapy as an answer to orthodontic needs: part II. *Am J Orthod* 1976;70: 241-68.
6. Burstone CJ, Steenberg EV, Hanley KJ. Modern edgewise mechanics and the segmented arch technique. Department of Orthodontics, University of Connecticut School of Dental Medicine Farmington, Connecticut, USA, 1995.
7. Burstone CJ, Koenig HA. Force systems from an ideal arch. *Am J Orthod* 1974;65:270-289.
8. Ferreira MA. The wire material and crosssection effect on double delta closing loops regarding load and spring rate magnitude: an in vitro study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1999;115:275-82.
9. Raboud DW, Faulkner MG, Lipsett AW, Haberstock DL. Three-dimensional effects in retraction appliance design. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1997; 112: 378-392.
10. Cook RD, Malkus DS, Plesha, ME. *Concepts and Applications of Finite Element Analysis*, 3ed, John Wiley & Sons:New York, 1988.

Received in 09/14/2004; Accepted in 10/02/2004.
 Recebido em 14/09/2004; Aceito em 02/10/2004.