

A utilização de diferentes configurações de molas "T" para a obtenção de sistemas de forças otimizados*

Guilherme Thiesen**, Marcus Vinicius Neiva Nunes do Rego***, Luciane Macedo de Menezes****, Roberto Hideo Shimizu*****

Resumo

Objetivo: determinar as características mecânicas de molas "T" e "T" com helicóides, quando da incorporação de variações na liga metálica (aço inoxidável e beta-titânio), na intensidade de dobras de pré-ativação (0° e 40°/180°) e na secção transversal do fio utilizado para a construção destas molas (0,017" x 0,025" e 0,019" x 0,025"). **Metodologia:** foram submetidas ao ensaio mecânico 80 molas para fechamento de espaços, sendo estas centralizadas em um espaço de 21mm. As magnitudes de força horizontal, proporção momento/força e relação carga/deflexão produzidas pelos corpos de prova foram quantificadas utilizando-se um transdutor de momentos acoplado ao módulo indicador digital para extensimetria e adaptado a uma máquina universal de ensaios Instron. As molas foram submetidas a uma ativação total de 5mm, sendo registrados os valores a cada 1mm de ativação. No tratamento estatístico dos dados obtidos, foi realizada a análise de variância, sendo esta complementada pelo teste de comparações múltiplas de Tukey, considerando o nível de significância de 5%. **Resultados e Conclusões:** os resultados demonstraram que, de maneira geral, as molas "T" com helicóides produziram menores magnitudes de força horizontal e relação carga/deflexão do que as molas "T". Na presença de pré-ativação, as molas produziram altas proporções momento/força, enquanto, na ausência de dobras de pré-ativação, as mesmas geraram baixas proporções momento/força. Dentre todas as variáveis analisadas, aquela que apresentou uma maior influência na força horizontal e na relação carga/deflexão produzidas pelas molas foi a liga metálica. Já a proporção momento/força mostrou ser influenciada em maior grau pela pré-ativação das molas de fechamento.

Palavras-chave: Ortodontia. Biomecânica. Fechamento de espaço ortodôntico.

INTRODUÇÃO

A partir da década de 40, ortodontistas como Tweed e Strang, discordando da teoria "não extra-

cionista" adotada por Angle, passaram a preconizar, dentro do planejamento ortodôntico, uma nova alternativa de tratamento, incluindo a extração de

* Parte da Dissertação apresentada à Faculdade de Odontologia da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul para obtenção do título de Mestre em Ortodontia e Ortopedia Facial.

** Mestre em Ortodontia e Ortopedia Facial pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul – PUC-RS. Professor de Ortodontia da UNISUL-SC.

*** Mestre em Ortodontia e Ortopedia Facial pela PUC/RS. Professor de Ortodontia da NOVAFAPI.

**** Mestre e Doutora em Ortodontia pela UFRJ. Professora de Ortodontia da PUC/RS e ABO-RS.

***** Mestre e Doutor em Ortodontia pela FO de Araraquara - UNESP. Professor de Ortodontia da Universidade Tuiuti do Paraná e EAP/ABO Regional São José dos Pinhais e Cascavel -PR.

elementos dentários. Com isso, houve também a necessidade de se desenvolver métodos eficazes para o fechamento dos espaços residuais resultantes dessas extrações^{18,19,21,28}.

Vários mecanismos ortodônticos foram elaborados para o fechamento de espaços. Entre os diversos dispositivos descritos na literatura, encontra-se uma vasta gama de molas que, incorporadas a arcos contínuos ou segmentados, podem ser utilizadas para a movimentação dentária. Em virtude do grande número de opções, grande atenção deve ser dada durante a seleção do modelo mais apropriado para cada caso. Nessa escolha, certas variáveis devem ser analisadas, dentre elas o desenho da mola, a sua quantidade de ativação, a espessura do fio, a liga metálica utilizada, o tipo de movimento desejado e a quantidade de força necessária. É de suma importância que, ao empregar molas para fechamento de espaços, o profissional determine precisamente o sistema de forças gerado, ou seja, é mister ao ortodontista o conhecimento da magnitude das forças e momentos liberados quando da ativação desses dispositivos.

Ao serem utilizadas de maneira imprópria, as molas ortodônticas para fechamento de espaços podem provocar efeitos inoportunos como, por exemplo, a perda indesejável da ancoragem, verticalização excessiva dos dentes anteriores, reabsorções radiculares, entre outros. Esses efeitos, além de um aumento no tempo de tratamento, poderão também ocasionar danos irreversíveis aos pacientes^{13,17,26}.

Neste contexto, podem ser consideradas três propriedades básicas para se caracterizar as molas de fechamento de espaço: 1) a proporção momento/força (M/F), que determina o centro de rotação dentária e assim possibilita o controle radicular durante a movimentação dos dentes; 2) a força horizontal produzida durante a ativação da mola e 3) a relação carga/deflexão (C/D), que define a quantidade de decréscimo da força a cada milímetro de desativação³.

Burstone e Koenig⁵, ao analisarem as características mecânicas das molas para fechamento de

espaços, desenvolveram um desenho de mola com uma maior quantidade de fio localizada apicalmente, aumentando com isso a proporção M/F e ao mesmo tempo diminuindo a força horizontal liberada e a relação C/D. Assim foi desenvolvida a mola em "T". Posteriormente, outros autores sugeriram modificações no desenho das molas "T" confeccionadas com aço inoxidável²⁸ e beta-titânio^{8,12,27} no intuito de otimizar suas propriedades físicas e biomecânicas.

PROPOSIÇÃO

Analisar o comportamento mecânico de molas ortodônticas para fechamento de espaços, procurando assim:

A) verificar os sistemas de forças produzidos por molas de diferentes desenhos ("T" e "T" com helicóides);

B) verificar o efeito de variações na secção transversal do fio ortodôntico, na incorporação de pré-ativações e na liga metálica utilizada, quanto aos sistemas de forças produzidos pelas molas testadas;

C) determinar, dentre as variáveis analisadas, as que mais influenciam os sistemas de forças (força horizontal, proporção momento/força e relação carga/deflexão) produzidos pelas molas.

MATERIAL E MÉTODO

A amostra utilizada para o presente estudo constituiu-se de 80 molas ortodônticas para fechamento de espaços. Os corpos de prova foram construídos por um único operador. Utilizaram-se fios de aço inoxidável da marca comercial Unitek (3M Unitek Dental Products, Monrovia, CA - USA) e fios de beta-titânio da marca comercial TMA[®] (Ormco Corporation, Glendora, CA - USA), com duas diferentes secções transversais, 0,017"x 0,025" e 0,019"x 0,025".

Os corpos de prova foram divididos em dois grupos (Fig. 1). O grupo 1 (G1) foi constituído por quarenta molas "T". As molas desse grupo foram primeiramente divididas em dois subgrupos,

em número de vinte para cada liga metálica, e novamente divididas em mais dois subgrupos, em número de dez para cada secção transversal. Estas molas de fechamento foram construídas com oito milímetros de altura e três milímetros de diâmetro externo, com as hastes verticais se tocando na base (Fig. 1).

O grupo 2 (G2) foi constituído por quarenta molas "T" com a adição de helicóides apicais na sua confecção. As molas deste grupo foram primeiramente divididas em dois subgrupos, em número de vinte para cada liga metálica, e novamente divididas em mais dois subgrupos, em número de dez para cada secção transversal. Essas molas de fechamento foram construídas com oito milímetros de altura e três milímetros de diâmetro do helicóide, com as hastes verticais se tocando na base (Fig. 1).

As duas extremidades livres, anterior e posterior, chamadas de alfa e beta, apresentavam respectivamente 15,5mm e 13,5mm, sendo as mesmas fixadas ao dispositivo da célula de carga e ao transdutor de momentos. Na extremidade

alfa foi realizada ainda uma dobra em ângulo reto com dois milímetros de extensão, no intuito de funcionar como um anteparo quando da sua inserção no braquete, acoplado ao dispositivo de fixação da célula de carga, como pode ser visualizado na figura 1. Assim, evitou-se um possível deslizamento do fio no interior da canaleta do acessório, com conseqüente erro na leitura do sistema de forças gerado durante o carregamento dos corpos de prova. Após o correto posicionamento dos corpos de prova na máquina de ensaio mecânico, tanto a extremidade alfa como a extremidade beta apresentaram 10,5mm de comprimento, proporcionando um posicionamento simétrico das molas num espaço de 21mm durante o ensaio mecânico.

Foram inseridas duas diferentes intensidades totais de pré-ativação nas molas pertencentes a cada um dos grupos: 0° e 40° para as molas confeccionadas em aço inoxidável e 0° e 180° para as molas confeccionadas em beta-titânio. As pré-ativações das molas de aço inoxidável foram realizadas inserindo-se 10° nas dobras 1 e 2 e mais

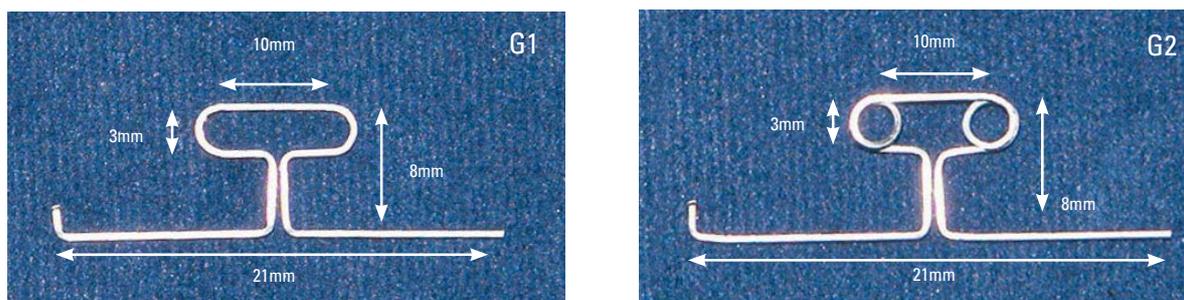


FIGURA 1 - Configuração das molas "T" (G1) e "T" com helicóides (G2), com suas respectivas dimensões.

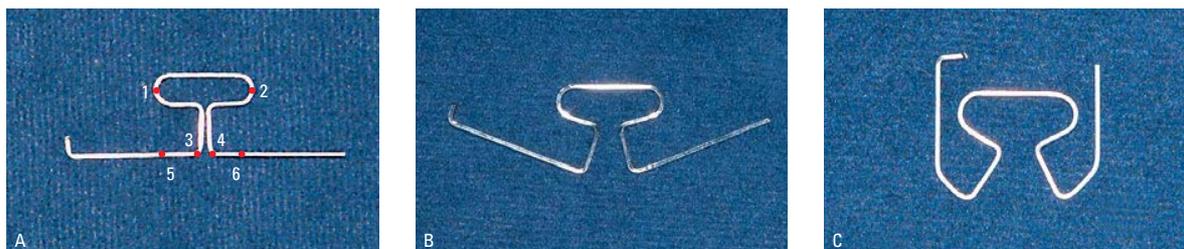


FIGURA 2 - A) Locais para realização da pré-ativação das molas do grupo G1 e G2. B) Mola "T" de aço inoxidável pré-ativada. C) Mola "T" de beta-titânio pré-ativada.

10° nas dobras 3 e 4, totalizando uma pré-ativação de 40°, preconizada por Proffit¹⁹ e Shimizu et al.²³ As pré-ativações das molas de beta-titânio foram realizadas inserindo-se 40° nas dobras 1 e 2, mais 25° nas dobras 3 e 4 e ainda mais 25° nas dobras 5 e 6 (3mm afastadas da base do "T"), proporcionando assim uma pré-ativação total de 180°, preconizada por Marcotte¹⁶ (Fig. 2).

Conforme recomendado por Braun e Garcia¹ e Halazonetis¹¹, as dobras de pré-ativação das molas de todos os grupos foram realizadas de maneira

distribuída no seu sentido ocluso-cervical, no intuito de promover um aumento na geração de momento sem interferência na magnitude de força horizontal liberada.

A fim de uniformizar ao máximo a forma e dimensões durante a confecção dos corpos de prova de um mesmo subgrupo, foram confeccionados gabaritos em papel milimetrado (Fig. 3) e silicona de adição (Fig. 4) para a padronização da construção das molas "T" e "T" com helicóides, bem como para a inserção de suas respectivas dobras

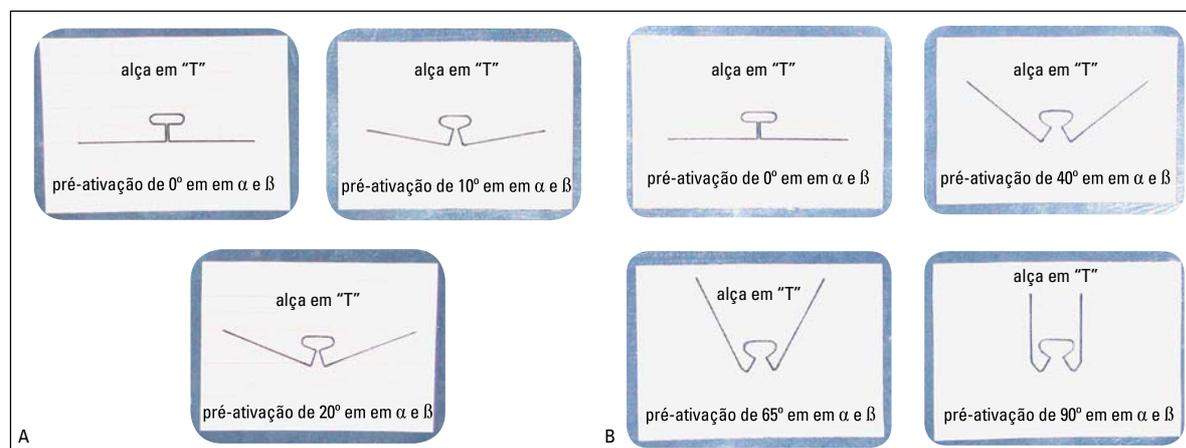


FIGURA 3 - Gabaritos em papel milimetrado para padronização da confecção e pré-ativação das molas "T" (G1) e "T" com helicóides (G2). **A)** Pré-ativação das molas de aço inoxidável. **B)** Pré-ativação das molas de beta-titânio.

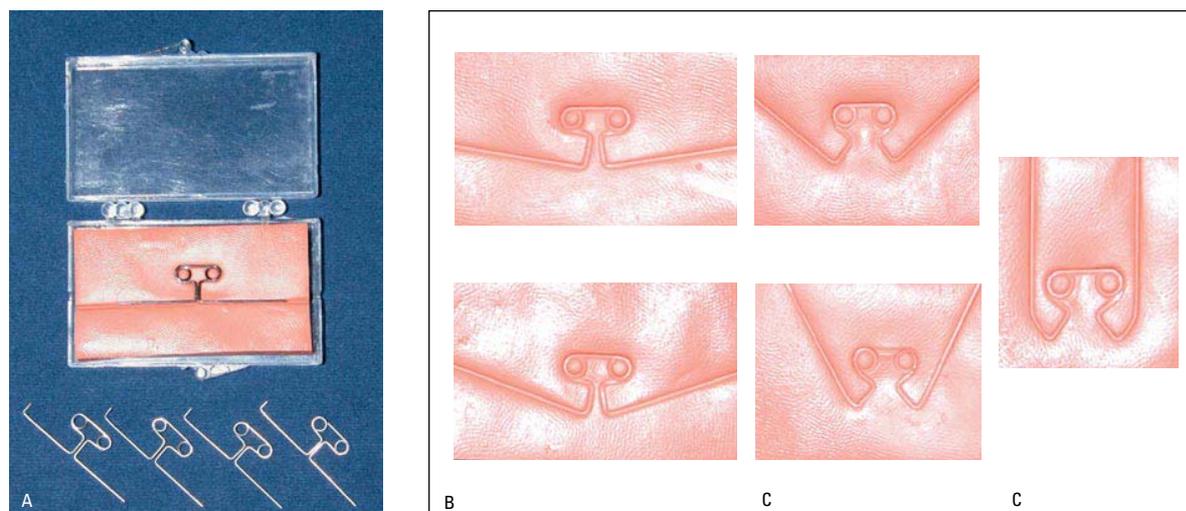


FIGURA 4 - **A)** Gabaritos em silicona de adição para padronização da confecção das molas "T" e "T" com helicóides, **B)** para a pré-ativação das molas de aço inoxidável e **C)** para a pré-ativação das molas de beta-titânio.

de pré-ativações.

Para a realização do ensaio mecânico foram utilizadas: uma máquina universal de ensaios da marca comercial Instron - modelo TTDML (Instron Inc., Canton, MA, USA.), um transdutor de momentos e um módulo indicador digital para extensimetria - modelo TMDE, ambos da Transdutec (Transdutec Ltda., São Paulo, Brasil) e um relógio comparador Mitutoyo (Mitutoyo Corporation, Tokyo, Japan) com curso de 10mm e acuracidade de medida de 0,01mm, para maior precisão da quantidade de ativação.

Acoplado ao transdutor de momentos devidamente calibrado, o módulo indicador digital para extensimetria realizou a conversão das grandezas mecânicas para dígitos, possibilitando assim a mensuração e o registro automático dos momentos gerados. Para tanto, o módulo indicador digital foi ajustado para 5V de excitação e sensibilidade de 5mV/V.

No ensaio mecânico propriamente dito, a mola foi posicionada simetricamente em um espaço de 21mm – entre o dispositivo de fixação e o transdutor de momentos – disposição esta que simula a distância interbraquetes do primeiro molar ao canino. A disposição centralizada da mola nesse

espaço gera forças horizontais e momentos iguais em ambas as extremidades da molas^{4,5,6,8,14,15}. Os corpos de prova foram submetidos a uma ativação total de 5mm, sendo que a cada 1mm de ativação da mola, interrompia-se o ensaio e registrava-se a quantidade de força e de momento torçor (Fig. 5). Assim, puderam ser determinadas as magnitudes de força horizontal, proporção M/F e relação C/D geradas durante o carregamento das molas ortodônticas testadas.

Todos estes valores foram então compilados e encaminhados para a devida análise estatística. Na análise estatística dos dados obtidos, foi realizada a análise de variância, considerando o nível de significância de 5%, a qual indicou para quais variáveis ou interações as diferenças entre as médias foram diferentes, sendo esta complementada pelo teste de comparações múltiplas de Tukey, também ao nível de significância de 5%, indicando qual média diferiu da outra. Para isso, foi utilizado o software SAS para Windows v.8 (Statistical Analysis System).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O fechamento dos espaços das exodontias requer o emprego de forças e momentos adequados nos dentes a serem movimentados. A fim de

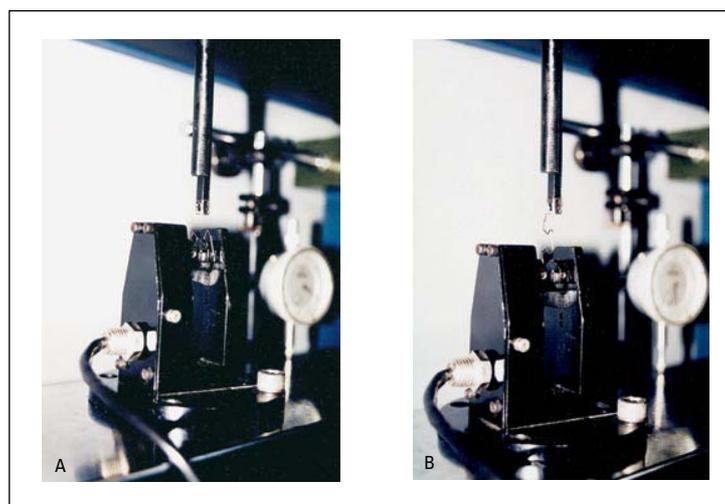


FIGURA 5 - Ensaio mecânico dos corpos de prova: **A)** mola corretamente fixada no transdutor de momentos, previamente à inserção na célula de carga e posterior carregamento; **B)** mola ativada em 5mm.

maximizar os resultados obtidos e minimizar os efeitos indesejados, deve ser elaborado um cuidadoso estudo sobre a mecânica a ser utilizada. Isto não reduzirá apenas o tempo de tratamento, mas também possibilitará que o ortodontista o conduza com um mínimo de esforço ou intervenções^{2,4,18}.

De acordo com Gjessing¹⁰, uma mola de fechamento deve ser caracterizada através de certos fatores: 1) localização dos pontos de aplicação da força, 2) magnitude de força horizontal liberada, 3) constância dessa força horizontal, também denominada relação C/D, e 4) magnitude e direção dos momentos e proporções M/F produzidas nas unidades anterior (alfa) e posterior (beta). Um sistema de forças bastante complexo é necessário para o controle dentário durante o fechamento ortodôntico de espaços. A geração desse sistema biomecânico é realizada de maneira mais integral, precisa, previsível e facilitada por meio da utilização de molas pré-calibradas.

Deste modo, para que desempenhem corretamente seu papel, as molas utilizadas no fechamento de espaços devem produzir magnitudes pequenas de força horizontal, relação C/D baixas e proporções M/F altas, possibilitando assim um pleno controle do movimento dentário durante toda a mecânica^{2,3,9,16,15}.

A mola "T", bem como algumas modificações em sua configuração, como a mola "T" com helicóides, constituem uma ótima alternativa para o fechamento dos espaços das extrações, sendo preconizadas por vários autores em virtude das suas características biomecânicas^{1,3,5,14,16,25,26,23,28}. Embora a mola "T" e a mola "T" com helicóides sejam bastante empregadas e estudadas, não existem estudos conclusivos que apresentem uma avaliação comparativa da força horizontal, da proporção M/F e da relação C/D destas molas, quando da incorporação de certas variáveis (liga metálica, secção transversal, pré-ativação e quantidade de ativação).

O ensaio mecânico foi efetuado para todos os grupos de molas com uma ativação máxima de 5mm, uma vez que se tratava de um trabalho

experimental. No entanto, é importante salientar que, embora clinicamente as molas confeccionadas com fio de aço inoxidável não sejam ativadas com essa magnitude, os experimentos foram realizados com a intenção de avaliar os comportamentos mecânicos que iriam ocorrer mesmo diante de uma eminente deformação permanente, além de possibilitar um efeito comparativo com as molas confeccionadas com fio de beta-titânio.

Ao revisar os mecanismos de fechamento de espaços e estudar os níveis de força necessários para a movimentação dos dentes anteriores, Shimizu²¹ relatou que a magnitude de força média para a retração dos caninos inferiores seria de 120g; 150g para os superiores; 240g para os incisivos inferiores e 300g para os incisivos superiores; finalmente, 480g para a retração em bloco dos incisivos e caninos inferiores e 600g para a retração em bloco dos incisivos e caninos superiores. Assim, foi possível constatar-se que níveis de força bastante leves são necessários para uma movimentação ótima dos dentes anteriores, diminuindo com isso o tempo de cadeira e também minimizando os custos biológicos da mecanoterapia. Deve ser salientado que, durante a retração do segmento anterior, sempre são empregadas molas dispostas bilateralmente no arco e, assim, as magnitudes de força horizontal obtidas através do teste mecânico devem ser multiplicadas por dois, para avaliar sua compatibilidade com as magnitudes de força ótima anteriormente preconizadas.

Pode assim ser observado que as molas "T" e "T" com helicóides de aço inoxidável permitem uma amplitude de ativação de até 3mm, com a produção de níveis de força horizontal compatíveis para a movimentação dos dentes do segmento anterior. Quanto às molas "T" e "T" com helicóides confeccionadas com fio de beta-titânio, essas molas apresentaram níveis de força horizontal bastante leves e, em certas condições, até mesmo insuficientes para a retração do segmento anterior em bloco (principalmente o superior), necessitando, desta maneira, de amplitudes de ativação maiores que

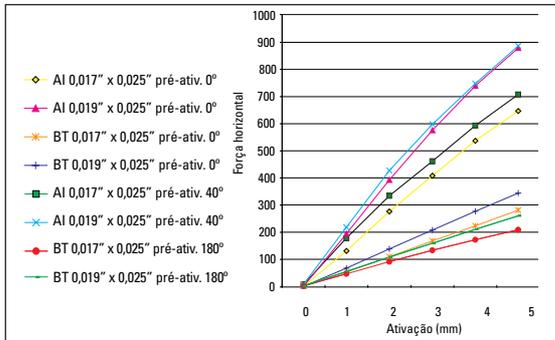


GRÁFICO 1 - Médias das magnitudes de força horizontal (g) geradas pelas molas "T" construídas segundo as interações entre liga metálica (aço inoxidável (AI) e beta-titânio (BT)), seção transversal (0,017" x 0,025" e 0,019" x 0,025") e pré-ativação (0° e 40°/180°)

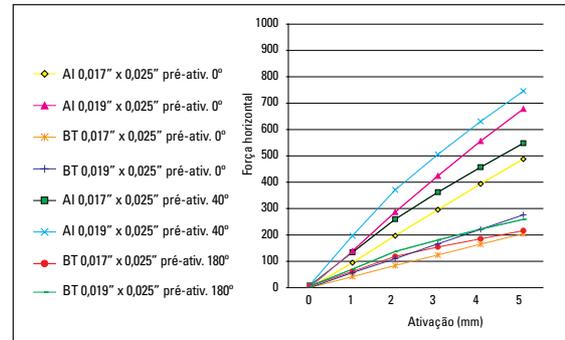


GRÁFICO 2 - Médias das magnitudes de força horizontal (g) geradas pelas molas "T" com helicóides construídas segundo as interações entre liga metálica (aço inoxidável (AI) e beta-titânio (BT)), seção transversal (0,017" x 0,025" e 0,019" x 0,025") e pré-ativação (0° e 40°/180°)

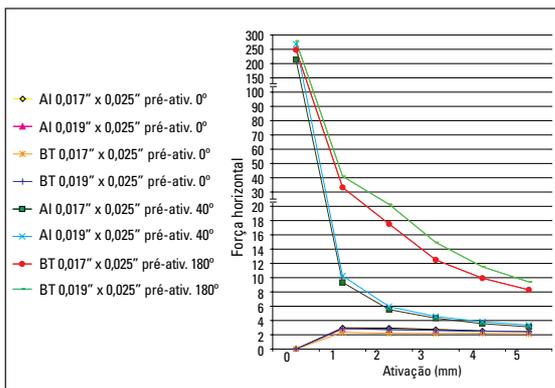


GRÁFICO 3 - Médias das magnitudes de proporção momento-força (mm) geradas pelas molas "T" construídas segundo as interações entre liga metálica (aço inoxidável (AI) e beta-titânio (BT)), seção transversal (0,017" x 0,025" e 0,019" x 0,025") e pré-ativação (0° e 40°/180°)

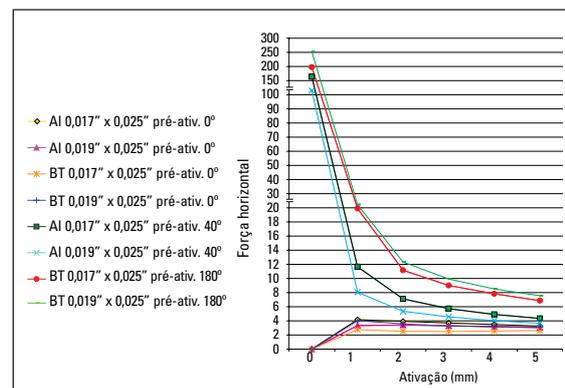


GRÁFICO 4 - Médias das magnitudes de proporção momento-força (mm) geradas pelas molas "T" com helicóides construídas segundo as interações entre liga metálica (aço inoxidável (AI) e beta-titânio (BT)), seção transversal (0,017" x 0,025" e 0,019" x 0,025") e pré-ativação (0° e 40°/180°)

5mm para a liberação de magnitudes de força necessárias para este fim (Gráf. 1, 2).

De maneira geral, as molas "T" com helicóides produziram menores magnitudes de força horizontal do que as molas "T". Isso ocorre em virtude da maior quantidade de fio incorporada na construção da mola, conferindo assim a possibilidade da aplicação de níveis de força horizontal mais leves e um maior limite de elasticidade durante a ativação da mola.

Dentre as variáveis analisadas neste estudo, aquela que apresentou uma maior influência na força horizontal (Tab. 1, 2) produzida pelas molas

foi a liga metálica, sendo que a utilização da liga de beta-titânio promoveu uma redução de cerca de 66,5% nas molas "T" e 60,5% nas molas "T" com helicóides.

A seção transversal também produziu uma marcante influência na magnitude de força horizontal liberada pelas molas, sendo que nas molas confeccionadas com fio de aço inoxidável, a seção transversal 0,017" x 0,025" produziu níveis de força aproximadamente 27% menores que a seção transversal 0,019" x 0,025", já nas molas confeccionadas com fio de beta-titânio, essa redução ocorreu em aproximadamente 19,5%.

Tabela 1 - Médias e desvios-padrão para a força horizontal (Fh), em g, gerada pelas molas "T", segundo a interação liga metálica, secção transversal e pré-ativação, durante sua ativação de 0mm a 5mm.

ativação (mm)	liga metálica	secção transversal	pré-ativação				total	
			0°		40/180°		média	d.p.
			média	d.p.	média	d.p.		
0	aço inoxidável	0,017" x 0,025"	0	0	7	2,74	3,50	4,12
		0,019" x 0,025"	0	0	8	4,47	4	5,16
		total	0 ^b	0	7,50 ^a	3,54	3,75	4,55
	beta-titânio	0,017" x 0,025"	0	0	2	6,71	1	4,59
		0,019" x 0,025"	0	0	2	6,71	1	4,59
		total	0 ^b	0	2 ^b	6,32	1	4,47
	total	0,017" x 0,025"	0	0	4,50	5,50	2,25	4,44
		0,019" x 0,025"	0	0	5	6,24	2,50	5
		total	0	0	4,75	5,73	2,38	4,67
1	aço inoxidável	0,017" x 0,025"	131	13,42	178	5,70	154,50 ^b	26,61
		0,019" x 0,025"	194	18,17	218	21,68	206 ^a	22,71
		total	162,50 ^b	36,46	198 ^a	25,84	180,25	35,74
	beta-titânio	0,017" x 0,025"	53	2,74	46	8,94	49,50 ^c	7,25
		0,019" x 0,025"	67	8,37	55	15,41	61 ^c	13,29
		total	60 ^c	9,43	50,50 ^c	12,79	55,25	11,97
	total	0,017" x 0,025"	92	42,11	112	69,93	102	57,11
		0,019" x 0,025"	130,50	68,25	136,50	87,72	133,50	76,56
		total	111,25	58,62	124,25	78,22	117,75	68,55
2	aço inoxidável	0,017" x 0,025"	276	23,82	334	16,73	305 ^b	36,21
		0,019" x 0,025"	393	17,89	427	37,35	410 ^a	32,91
		total	334,50 ^b	64,78	380,50 ^a	56,10	357,50	63,53
	beta-titânio	0,017" x 0,025"	109	6,52	91	9,62	100 ^c	12,25
		0,019" x 0,025"	138	14,83	108	17,54	123 ^c	22,01
		total	123,50 ^c	18,72	99,50 ^c	16,06	111,50	20,97
	total	0,017" x 0,025"	192,50	89,54	212,50	128,72	202,50	108,40
		0,019" x 0,025"	265,50	135,29	267,50	170,36	266,50	149,73
		total	229	117,77	240	149,64	234,50	133,03

Quanto à pré-ativação, esta demonstrou a menor influência na magnitude de força liberada pelas molas, porém apresentando significância estatística. A realização de dobras de pré-ativação, de maneira geral, proporcionou um aumento da magnitude da força horizontal liberada pelas molas, conforme relatado também por Chen, Markham, Katona⁷; Raboud et al.²⁰ e Shimizu et al.²² Tal resultado pode ser explicado devido à dificul-

dade de obtenção de um estado de ativação neutra, pois as molas pré-ativadas, após serem inseridas nos braquetes dos dentes de suporte, podem apresentar certas deformações inerentes à realização das dobras de pré-ativação (como por exemplo, o intercrucamento de suas hastes verticais e o encurtamento da distância interbraquetes), e assim propiciarem o surgimento de forças residuais prévias à sua ativação⁵. A única configuração de

Tabela 1 (Continuação) - Médias e desvios-padrão para a força horizontal (Fh), em g, gerada pelas molas "T", segundo a interação liga metálica, secção transversal e pré-ativação, durante sua ativação de 0mm a 5mm.

ativação (mm)	liga metálica	secção transversal	pré-ativação				total	
			0°		40/180°		média	d.p.
			média	d.p.	média	d.p.		
3	aço inoxidável	0,017" x 0,025"	408	29,50	462	17,89	435 ^b	36,59
		0,019" x 0,025"	576	30,70	598	43,24	587 ^a	37,21
		total	492 ^b	92,98	530 ^A	78,17	511	85,85
	beta-titânio	0,017" x 0,025"	168	12,04	133	10,37	150,50 ^d	21,27
		0,019" x 0,025"	208	20,49	159	21,04	183,50 ^c	32,41
		total	188 ^c	26,37	146 ^D	20,79	167	31,60
	total	0,017" x 0,025"	288	128,26	297,50	173,95	292,75	148,82
		0,019" x 0,025"	392	195,51	378,50	233,58	385,25	209,76
		total	340	169,54	338	204,70	339	185,52
4	aço inoxidável	0,017" x 0,025"	537	33,09	593	27,29	565 ^b	41,10
		0,019" x 0,025"	740	45,28	748	52,63	744 ^a	46,48
		total	638,50 ^A	113,33	670,50 ^A	90,75	654,50	101,27
	beta-titânio	0,017" x 0,025"	223	12,55	172	13,51	197,50 ^d	29,56
		0,019" x 0,025"	277	25,88	210	21,21	243,50 ^c	41,77
		total	250 ^B	34,32	191 ^C	26,12	220,50	42,39
	total	0,017" x 0,025"	380	167,17	382,50	222,81	381,25	191,72
		0,019" x 0,025"	508,50	246,49	479	286,06	493,75	260,33
		total	444,25	215,32	430,75	254,42	437,50	232,74
5	aço inoxidável	0,017" x 0,025"	647	37,85	708	31,94	677,50 ^b	46,08
		0,019" x 0,025"	879	47,75	887	61,60	883 ^a	52,13
		total	763 ^A	128,85	797,50 ^A	105,07	780,25	115,79
	beta-titânio	0,017" x 0,025"	281	17,10	209	15,57	245 ^d	40,96
		0,019" x 0,025"	344	29,66	260	23,18	302 ^c	50,89
		total	312,50 ^B	40,29	234,50 ^C	32,70	273,50	53,63
	total	0,017" x 0,025"	464	194,88	458,50	264,06	461,25	225,89
		0,019" x 0,025"	611,50	284,45	573,50	333,36	592,50	302,24
		total	537,75	249,08	516	298,58	526,88	271,62

Para cada ativação, médias seguidas de letras distintas diferem significativamente por meio da análise de variância (letras minúsculas e maiúsculas são utilizadas para comparações independentes), complementada pelo teste de comparações múltiplas de Tukey, ao nível de significância de 5%.

mola que apresentou uma diminuição dos níveis de força horizontal quando ativada foi a mola "T" de beta-titânio.

Acima de tudo, deve ser lembrado que, teoricamente, a obtenção da posição neutra após a incorporação de dobras de pré-ativação é aconselhável e desejável, uma vez que o sistema de forças não iria gerar cargas no sentido horizontal. No entan-

to, pequenas magnitudes de força horizontal que venham a ser produzidas durante a inserção das dobras de pré-ativação devem ser desconsideradas, desde que sejam pouco relevantes na obtenção dos sistemas de forças desejados. Dessa forma, a realização de pré-ativações nas molas constitui um método eficaz de promover melhorias na geração dos sistemas de força, aumentando os níveis de

Tabela 2 - Médias e desvios-padrão para a força horizontal (Fh), em g, gerada pelas molas "T" com helicóides, segundo a interação liga metálica, secção transversal e pré-ativação, durante sua ativação de 0mm a 5mm.

ativação (mm)	liga metálica	secção transversal	pré-ativação				total	
			0°		40/180°		média	d.p.
			média	d.p.	média	d.p.		
0	aço inoxidável	0,017" x 0,025"	0	0	8	2,74	4	4,59
		0,019" x 0,025"	0	0	10	3,54	5	5,77
		total	0 ^c	0	9 ^a	3,16	4,50	5,10
	beta-titânio	0,017" x 0,025"	0	0	6	2,24	3	3,50
		0,019" x 0,025"	0	0	6	2,24	3	3,50
		total	0 ^c	0	6 ^b	2,11	3	3,40
	total	0,017" x 0,025"	0	0	7	2,58	3,50	4,01
		0,019" x 0,025"	0	0	8	3,50	4	4,76
		total	0	0	7,50	3,03	3,75	4,35
1	aço inoxidável	0,017" x 0,025"	95 ^c	8,66	134 ^b	8,94	114,50	22,17
		0,019" x 0,025"	139 ^b	7,42	197 ^a	8,37	168	31,46
		total	117	24,40	165,50	34,19	141,25	38,14
	beta-titânio	0,017" x 0,025"	42 ^e	2,74	61 ^d	5,48	51,50	10,81
		0,019" x 0,025"	57 ^d	5,70	70 ^d	3,54	63,50	8,18
		total	49,50	8,96	65,50	6,43	57,50	11,18
	total	0,017" x 0,025"	68,50	28,58	97,50	39,10	83	36,51
		0,019" x 0,025"	98	43,67	133,50	67,21	115,75	58,09
		total	83,25	38,98	115,50	56,61	99,38	50,68
2	aço inoxidável	0,017" x 0,025"	197	15,65	260	12,75	228,50 ^b	35,83
		0,019" x 0,025"	287	8,37	371	14,32	329 ^a	45,63
		total	242 ^b	48,89	315,50 ^a	59,88	278,75	65,21
	beta-titânio	0,017" x 0,025"	84	7,42	118	18,23	101 ^c	22,21
		0,019" x 0,025"	110	10,61	137	9,75	123,50 ^c	17,17
		total	97 ^d	16,19	127,50 ^c	17,04	112,25	22,51
	total	0,017" x 0,025"	140,50	60,67	189	76,30	164,75	71,55
		0,019" x 0,025"	198,50	93,72	254	123,87	226,25	110,63
		total	169,50	82,40	221,50	105,53	195,50	97,09

proporção M/F produzidos pelas molas.

No entanto, provavelmente o fator mais significativo em relação ao sistema de forças gerado pelas molas de fechamento de espaço e o movimento dentário é a proporção M/F. Para uma mesma magnitude de força, os movimentos de inclinação, translação e movimento de raiz podem ser realizados através da incorporação de um momento apropriado, associado à aplicação da força. Portanto, é a proporção entre o momento gerado e a força aplicada que determina o tipo de movimento dentário, e não suas magnitudes absolutas²⁹.

Com base nos resultados apresentados nas tabelas 3 e 4 e nos gráficos 3 e 4, constata-se que quando da inserção de dobras de pré-ativação, as molas "T" e "T" com helicóides de aço inoxidável e beta-titânio produziram altas proporções M/F, permitindo, segundo Smith e Burstone²⁴, a ocorrência dos movimentos de inclinação descontrolada (M/F<8/1), inclinação controlada (M/F=8/1), translação (M/F=10/1) e correção radicular (M/F≥12/1). Na ausência de dobras de pré-ativação, todas as molas permitiriam somente a ocorrência do movimento de inclinação descon-

Tabela 2 (Continuação) - Médias e desvios-padrão para a força horizontal (Fh), em g, gerada pelas molas "T" com helicóides, segundo a interação liga metálica, secção transversal e pré-ativação, durante sua ativação de 0mm a 5mm.

ativação (mm)	liga metálica	secção transversal	pré-ativação				total	
			0°		40/180°		média	d.p.
			média	d.p.	média	d.p.		
3	aço inoxidável	0,017" x 0,025"	296	24,85	362	17,89	329 ^b	40,33
		0,019" x 0,025"	424	8,94	506	16,73	465 ^a	45,03
		total	360 ^b	69,72	434 ^A	77,63	397	81,23
	beta-titânio	0,017" x 0,025"	124	7,42	154	18,84	139 ^d	20,79
		0,019" x 0,025"	166	12,45	181	11,40	173,50 ^e	13,75
		total	145 ⁰	24,15	167,50 ^c	20,45	156,25	24,65
	total	0,017" x 0,025"	210	92,29	258	110,99	234	102,35
		0,019" x 0,025"	295	136,36	343,50	171,82	319,25	153,01
		total	252,50	121,42	300,75	147,45	276,63	135,54
4	aço inoxidável	0,017" x 0,025"	394	28,81	457	29,07	425,50 ^a	42,98
		0,019" x 0,025"	556	11,40	631	15,97	593,50 ^a	41,64
		total	475 ^b	87,84	544 ^A	94,33	509,50	95,52
	beta-titânio	0,017" x 0,025"	165	9,35	185	21,51	175 ^d	18,86
		0,019" x 0,025"	221	17,10	222	16,81	221,50 ^e	15,99
		total	193 ^c	32,25	203,50 ^c	26,67	198,25	29,30
	total	0,017" x 0,025"	279,50	122,37	321	145,37	300,25	132,50
		0,019" x 0,025"	388,50	177,09	426,50	216,12	407,50	193,29
		total	334	158,35	373,75	187,25	353,88	172,35
5	aço inoxidável	0,017" x 0,025"	488	29,50	548	37,18	518 ^b	44,73
		0,019" x 0,025"	678	19,24	746	18,17	712 ^a	39,94
		total	583 ^b	102,85	647 ^A	107,94	615	107,74
	beta-titânio	0,017" x 0,025"	205	12,75	216	19,81	210,50 ^d	16,74
		0,019" x 0,025"	276	20,12	259	18,51	267,50 ^e	20,31
		total	240,50 ^c	40,65	237,50 ^c	28,99	239	34,40
	total	0,017" x 0,025"	346,50	150,68	382	177,22	364,25	161,13
		0,019" x 0,025"	477	212,68	502,50	257,25	489,75	230,10
		total	411,75	191,48	442,25	223,71	427	206,11

Para cada ativação, médias seguidas de letras distintas diferem significativamente por meio da análise de variância (letras minúsculas e maiúsculas são utilizadas para comparações independentes), complementada pelo teste de comparações múltiplas de Tukey, ao nível de significância de 5%.

trolada quando ativadas, salientando assim a necessidade da incorporação dessas dobras para o controle radicular durante a etapa de fechamento de espaços.

A outra variável que apresentou uma marcante influência na geração da proporção M/F foi a liga metálica, sendo observado que, quando da presença de dobras de pré-ativação, as molas "T" e "T" com helicóides de beta-titânio apresentaram maiores magnitudes de proporção M/F, fato esse

ocorrido devido à presença de uma maior intensidade das dobras de pré-ativação (180°) em relação às mesmas molas confeccionadas com fio de aço inoxidável (40°). Porém quando as molas de ambas as ligas apresentavam pré-ativação em 0°, em geral, as molas confeccionadas com fio de aço inoxidável geraram valores de proporção M/F superiores.

Quanto à secção transversal, essa variável apresentou uma influência muito pequena, no que se

Tabela 3 – Médias e desvios-padrão para a proporção momento-força (M/F), em mm, gerada pelas molas "T", segundo a interação liga metálica, secção transversal e pré-ativação, durante sua ativação de 0mm a 5mm.

ativação (mm)	liga metálica	secção transversal	pré-ativação				total		
			0°		40/180°		média	d.p.	
			média	d.p.	média	d.p.			
0	aço inoxidável	0,017" x 0,025"	0	0	213	66,69	106,50	120,74	
		0,019" x 0,025"	0	0	267,60	112,73	133,80	159,81	
		total	0	0	240,30	91,94	120,15	138,56	
	beta-titânio	0,017" x 0,025"	0	0	248	73,39	124	139,56	
		0,019" x 0,025"	0	0	279,20	115,28	139,60	166,01	
		total	0	0	263,60	92,58	131,80	149,48	
	total	0,017" x 0,025"	0	0	230,50	68,63	115,25	127,33	
		0,019" x 0,025"	0	0	273,40	107,67	136,70	158,62	
		total	0 ^b	0	251,95 ^A	90,59	125,98	142,39	
	1	aço inoxidável	0,017" x 0,025"	2,97	0,17	9,33	0,36	6,15	3,37
			0,019" x 0,025"	2,79	0,38	10,24	1,14	6,51	4,01
			total	2,88 ^c	0,30	9,79 ^b	0,93	6,33	3,61
beta-titânio		0,017" x 0,025"	2,34	0,20	33,21	7,81	17,78	17,08	
		0,019" x 0,025"	2,92	0,44	40,96	9,61	21,94	21,04	
		total	2,63 ^c	0,45	37,08 ^A	9,21	19,86	18,78	
total		0,017" x 0,025"	2,65	0,37	21,27	13,62	11,96	13,39	
		0,019" x 0,025"	2,86	0,40	25,60	17,43	14,23	16,73	
		total	2,75	0,39	23,44	15,38	13,10	15	
2		aço inoxidável	0,017" x 0,025"	2,93	0,12	5,54	0,21	4,23	1,39
			0,019" x 0,025"	2,74	0,18	5,95	0,55	4,34	1,73
			total	2,84 ^c	0,17	5,74 ^b	0,45	4,29	1,53
	beta-titânio	0,017" x 0,025"	2,20	0,22	17,53	2,96	9,86	8,32	
		0,019" x 0,025"	2,72	0,10	21,33	3,44	12,03	10,07	
		total	2,46 ^c	0,32	19,43 ^A	3,63	10,95	9,06	
	total	0,017" x 0,025"	2,56	0,42	11,53	6,62	7,05	6,48	
		0,019" x 0,025"	2,73	0,14	13,64	8,43	8,19	8,06	
		total	2,65	0,32	12,59	7,46	7,62	7,24	

refere à magnitude de proporção M/F produzida pelas molas ortodônticas para fechamento de espaços. As molas "T" e "T" com helicóides de beta-titânio geraram maiores níveis de proporção M/F quando confeccionados com fio 0,019" x 0,025". Já para os corpos de prova de aço inoxidável, as molas "T" confeccionadas com fio 0,017" x 0,025" geraram maiores níveis de proporção M/F quando da ausência de dobras de pré-ativação, ocorrendo

o inverso quando da incorporação dessas dobras (Tab. 3). Já para as molas do grupo "T" com helicóides, os corpos de prova de aço inoxidável apresentaram maior proporção M/F com o fio 0,017" x 0,025", em ambas as intensidades de pré-ativação (Tab. 4).

Em termos gerais, a secção transversal do fio e o módulo de elasticidade da liga metálica apresentam poucos efeitos na proporção M/F gera-

Tabela 3 (Continuação) – Médias e desvios-padrão para a proporção momento-força (M/F), em mm, gerada pelas molas “T”, segundo a interação liga metálica, secção transversal e pré-ativação, durante sua ativação de 0mm a 5mm.

ativação (mm)	liga metálica	secção transversal	pré-ativação				total		
			0°		40/180°		média	d.p.	
			média	d.p.	média	d.p.			
3	aço inoxidável	0,017" x 0,025"	2,74	0,13	4,33	0,09	3,53 ^c	0,84	
		0,019" x 0,025"	2,61	0,16	4,56	0,39	3,58 ^c	1,07	
		Total	2,67 ^c	0,15	4,44 ^B	0,30	3,56	0,94	
	beta-titânio	0,017" x 0,025"	2,17	0,20	12,50	1,88	7,33 ^a	5,59	
		0,019" x 0,025"	2,62	0,17	14,95	2,06	8,79 ^a	6,64	
		Total	2,40 ^c	0,29	13,73 ^A	2,26	8,06	6,02	
	total	0,017" x 0,025"	2,45	0,34	8,41	4,49	5,43	4,35	
		0,019" x 0,025"	2,61	0,15	9,76	5,65	6,19	5,35	
		Total	2,53	0,27	9,08	5,02	5,81	4,83	
	4	aço inoxidável	0,017" x 0,025"	2,54	0,13	3,55	0,11	3,05	0,55
			0,019" x 0,025"	2,49	0,14	3,83	0,34	3,16	0,75
			Total	2,52 ^c	0,13	3,69 ^B	0,28	3,10	0,64
beta-titânio		0,017" x 0,025"	2,20	0,14	9,93	1,41	6,06	4,18	
		0,019" x 0,025"	2,52	0,19	11,54	1,30	7,03	4,83	
		Total	2,36 ^c	0,23	10,73 ^A	1,54	6,55	4,43	
total		0,017" x 0,025"	2,37	0,22	6,74	3,49	4,55	3,29	
		0,019" x 0,025"	2,51	0,16	7,68	4,16	5,10	3,91	
		Total	2,44	0,20	7,21	3,77	4,82	3,57	
5		aço inoxidável	0,017" x 0,025"	2,43	0,14	3,10	0,08	2,76	0,37
			0,019" x 0,025"	2,42	0,11	3,36	0,30	2,89	0,54
			Total	2,42 ^c	0,12	3,23 ^B	0,25	2,83	0,45
	beta-titânio	0,017" x 0,025"	2,11	0,12	8,29	1,14	5,20	3,34	
		0,019" x 0,025"	2,45	0,17	9,40	0,98	5,93	3,72	
		Total	2,28 ^c	0,23	8,85 ^A	1,16	5,56	3,46	
	total	0,017" x 0,025"	2,27	0,21	5,69	2,84	3,98	2,63	
		0,019" x 0,025"	2,44	0,13	6,38	3,26	4,41	3,02	
		Total	2,35	0,19	6,04	3	4,19	2,80	

Para cada ativação, médias seguidas de letras distintas diferem significativamente por meio da análise de variância (letras minúsculas e maiúsculas são utilizadas para comparações independentes), complementada pelo teste de comparações múltiplas de Tukey, ao nível de significância de 5%.

da por molas de fechamento sem pré-ativações. Entretanto, a utilização de ligas metálicas com menores módulos de elasticidade, como por exemplo o beta-titânio, permite a incorporação de dobras de pré-ativações numa maior intensidade, tornando-as ligas de eleição, quando for necessário um aumento da proporção M/F.

No entanto, vale ressaltar que, associada à aná-

lise da proporção M/F gerada quando da ativação de uma determinada mola, deve ser adequadamente avaliada a inclinação axial dos incisivos, quando da execução da mecânica de fechamento de espaços. Isto porque, no início desta fase, os dentes podem apresentar-se com inclinação normal, vestibularizados ou lingualizados. Portanto, é necessário que procedimentos distintos sejam

Tabela 4 – Médias e desvios-padrão para a proporção momento-força (M/F), em mm, gerada pelas molas "T" com helicóides, segundo a interação liga metálica, secção transversal e pré-ativação, durante sua ativação de 0mm a 5mm.

ativação (mm)	liga metálica	secção transversal	pré-ativação				total	
			0°		40/180°		média	d.p.
			média	d.p.	média	d.p.		
0	aço inoxidável	0,017" x 0,025"	0 ^D	0	163,40 ^{BC}	60,17	81,70	95
		0,019" x 0,025"	0 ^D	0	114,87 ^C	34,57	57,43	64,78
		total	0	0	139,13	52,86	69,57	80,11
	beta-titânio	0,017" x 0,025"	0 ^D	0	197,40 ^{AB}	54,58	98,70	110,22
		0,019" x 0,025"	0 ^D	0	252,80 ^A	66,12	126,40	140,34
		total	0	0	225,10	64,18	112,55	123,63
	total	0,017" x 0,025"	0	0	180,40	57,05	90,20	100,53
		0,019" x 0,025"	0	0	183,83	88,08	91,92	112,11
		total	0	0	182,12	72,25	91,06	105,11
1	aço inoxidável	0,017" x 0,025"	4,17 ^E	0,48	11,66 ^C	0,93	7,91	4,01
		0,019" x 0,025"	3,34 ^F	0,65	8,05 ^D	1,17	5,70	2,64
		total	3,76	0,69	9,85	2,15	6,81	3,49
	beta-titânio	0,017" x 0,025"	2,77 ^F	0,55	19,89 ^B	2,24	11,33	9,16
		0,019" x 0,025"	4,02 ^E	0,28	22,25 ^A	1,37	13,14	9,65
		total	3,39	0,78	21,07	2,15	12,23	9,20
	total	0,017" x 0,025"	3,47	0,89	15,77	4,63	9,62	7,10
		0,019" x 0,025"	3,68	0,59	15,15	7,58	9,42	7,87
		total	3,58	0,74	15,46	6,12	9,52	7,40
2	aço inoxidável	0,017" x 0,025"	3,93	0,28	7,11	0,43	5,52 ^C	1,71
		0,019" x 0,025"	3,40	0,48	5,37	0,64	4,39 ^D	1,17
		total	3,67 ^C	0,47	6,24 ^B	1,05	4,95	1,54
	beta-titânio	0,017" x 0,025"	2,52	0,30	11,15	1,16	6,83 ^B	4,62
		0,019" x 0,025"	3,57	0,36	12,31	0,83	7,94 ^A	4,65
		total	3,05 ^C	0,63	11,73 ^A	1,13	7,39	4,54
	total	0,017" x 0,025"	3,22	0,79	9,13	2,28	6,18	3,45
		0,019" x 0,025"	3,49	0,41	8,84	3,73	6,16	3,77
		total	3,36	0,63	8,98	3,01	6,17	3,57

realizados para cada caso, ou seja, quando a inclinação axial estiver correta, deve-se utilizar a mecânica de fechamento, procurando obter movimento de translação, preservando assim a inclinação existente. Já no caso de inclinação vestibular dos incisivos, utiliza-se a mecânica de fechamento de tal maneira que, inicialmente, se consiga movimento de inclinação, até que esta seja corrigida, seguindo-se, a partir daí, com movimento de translação.

Entretanto, nos casos de inclinação lingual dos incisivos, existe a necessidade de corrigi-la para, posteriormente, executar o movimento de corpo dos dentes¹⁷. Destarte, ao final da etapa do fechamento de espaços, os dentes devem se apresentar com inclinação axial adequada, bem alinhados e com paralelismo entre as raízes.

Além das características já salientadas, a taxa de dissipação de força horizontal promovida pela

Tabela 4 (Continuação) - Médias e desvios-padrão para a proporção momento-força (M/F), em mm, gerada pelas molas "T" com helicóides, segundo a interação liga metálica, secção transversal e pré-ativação, durante sua ativação de 0mm a 5mm.

ativação (mm)	liga metálica	secção transversal	pré-ativação				total	
			0°		40/180°		média	d.p.
			média	d.p.	média	d.p.		
3	aço inoxidável	0,017" x 0,025"	3,71	0,20	5,73	0,32	4,72 ^c	1,10
		0,019" x 0,025"	3,32	0,41	4,56	0,47	3,94 ^d	0,77
		total	3,51 ^c	0,37	5,15 ^b	0,73	4,33	1,01
	beta-titânio	0,017" x 0,025"	2,50	0,24	9,01	0,75	5,75 ^b	3,47
		0,019" x 0,025"	3,27	0,32	9,92	0,75	6,59 ^a	3,55
		total	2,88 ^b	0,48	9,46 ^a	0,85	6,17	3,44
	total	0,017" x 0,025"	3,10	0,67	7,37	1,81	5,24	2,56
		0,019" x 0,025"	3,30	0,35	7,24	2,89	5,27	2,85
		total	3,20	0,53	7,30	2,35	5,25	2,67
4	aço inoxidável	0,017" x 0,025"	3,47	0,13	4,92	0,31	4,19 ^c	0,80
		0,019" x 0,025"	3,16	0,31	4,03	0,35	3,60 ^d	0,56
		total	3,31 ^c	0,28	4,48 ^b	0,56	3,89	0,74
	beta-titânio	0,017" x 0,025"	2,58	0,17	7,83	0,76	5,20 ^b	2,82
		0,019" x 0,025"	3,20	0,33	8,52	0,82	5,86 ^a	2,87
		total	2,89 ^c	0,41	8,18 ^a	0,83	5,53	2,79
	total	0,017" x 0,025"	3,02	0,49	6,37	1,63	4,70	2,08
		0,019" x 0,025"	3,18	0,30	6,28	2,44	4,73	2,32
		total	3,10	0,40	6,33	2,02	4,71	2,18
5	aço inoxidável	0,017" x 0,025"	3,27	0,11	4,34	0,25	3,81 ^c	0,59
		0,019" x 0,025"	3,04	0,24	3,65	0,28	3,35 ^c	0,40
		total	3,16 ^c	0,22	4 ^b	0,44	3,58	0,55
	beta-titânio	0,017" x 0,025"	2,62	0,17	6,87	0,64	4,75 ^b	2,28
		0,019" x 0,025"	3,13	0,29	7,55	0,74	5,34 ^a	2,39
		total	2,87 ^c	0,35	7,21 ^a	0,74	5,04	2,30
	total	0,017" x 0,025"	2,95	0,37	5,61	1,41	4,28	1,69
		0,019" x 0,025"	3,08	0,26	5,60	2,12	4,34	1,96
		total	3,02	0,32	5,60	1,75	4,31	1,81

Para cada ativação, médias seguidas de letras distintas diferem significativamente por meio da análise de variância (letras minúsculas e maiúsculas são utilizadas para comparações independentes), complementada pelo teste de comparações múltiplas de Tukey, ao nível de significância de 5%.

mola ao longo de sua desativação, a qual é chamada de relação C/D, constitui um aspecto de grande interesse para a avaliação das propriedades biomecânicas das molas de fechamento. Molas com alta relação C/D geram níveis de força horizontal excessivos, dissipando sua força de maneira bastante rápida e dificultando o estabelecimento de magnitudes de força desejadas.

Dentre as variáveis analisadas neste estudo, aquela que apresentou uma maior influência na relação C/D produzida pelas molas foi a liga me-

tálica, seguida pela secção transversal e por último a pré-ativação (Tab. 5, 6). Nota-se que a relação C/D é uma propriedade relativamente constante, demonstrando uma tendência a diminuir à medida que aumenta a ativação das molas de fechamento (Gráf. 5, 6).

Ao analisar isoladamente a presença de helicóides na configuração das molas de fechamento testadas no presente estudo, observou-se uma redução na geração das magnitudes de força horizontal em aproximadamente 22% para a configuração

Tabela 5 – Médias e desvios-padrão para a relação carga-deflexão (C/D), em g/mm, gerada pelas molas "T", segundo a interação liga metálica, secção transversal e pré-ativação, durante sua ativação de 1mm a 5mm.

ativação (mm)	liga metálica	secção transversal	pré-ativação				total		
			0°		40/180°		média	d.p.	
			média	d.p.	média	d.p.			
1	aço inoxidável	0,017" x 0,025"	131	13,42	178	5,70	154,50 ^b	26,61	
		0,019" x 0,025"	194	18,17	218	21,68	206 ^a	22,71	
		total	162,50 ^b	36,46	198 ^a	25,84	180,25	35,74	
	beta-titânio	0,017" x 0,025"	53	2,74	46	8,94	49,50 ^c	7,25	
		0,019" x 0,025"	67	8,37	55	15,41	61 ^c	13,29	
		total	60 ^c	9,43	50,50 ^c	12,79	55,25	11,97	
	total	0,017" x 0,025"	92	42,11	112	69,93	102	57,11	
		0,019" x 0,025"	130,50	68,25	136,50	87,72	133,50	76,56	
		total	111,25	58,62	124,25	78,22	117,75	68,55	
	2	aço inoxidável	0,017" x 0,025"	138	11,91	167	8,37	152,50 ^b	18,10
			0,019" x 0,025"	196,50	8,94	213,50	18,67	205 ^a	16,46
			total	167,25 ^b	32,39	190,25 ^a	28,05	178,75	31,76
beta-titânio		0,017" x 0,025"	54,50	3,26	45,50	4,81	50 ^c	6,12	
		0,019" x 0,025"	69	7,42	54	8,77	61,50 ^c	11,01	
		total	61,75 ^c	9,36	49,75 ^c	8,03	55,75	10,48	
total		0,017" x 0,025"	96,25	44,77	106,25	64,36	101,25	54,20	
		0,019" x 0,025"	132,75	67,64	133,75	85,18	133,25	74,86	
		total	114,50	58,89	120	74,82	117,25	66,52	
3		aço inoxidável	0,017" x 0,025"	136	9,83	154	5,96	145 ^b	12,20
			0,019" x 0,025"	192	10,23	199,33	14,41	195,67 ^a	12,40
			total	164 ^b	30,99	176,67 ^a	26,06	170,33	28,62
	beta-titânio	0,017" x 0,025"	56	4,01	44,33	3,46	50,17 ^d	7,09	
		0,019" x 0,025"	69,33	6,83	53	7,01	61,17 ^c	10,80	
		total	62,67 ^c	8,79	48,67 ^d	6,93	55,67	10,53	
	total	0,017" x 0,025"	96	42,75	99,17	57,98	97,58	49,61	
		0,019" x 0,025"	130,67	65,17	126,17	77,86	128,42	69,92	
		total	113,33	56,51	112,67	68,23	113	61,84	

em "T" de aço inoxidável e aproximadamente 7,5% para a configuração em "T" de beta-titânio. Com a redução das magnitudes de força horizontal pela incorporação de helicóides no desenho das molas de fechamento, concomitantemente ocorre a redução nos níveis de relação C/D, praticamente nos mesmos patamares.

No que se refere às magnitudes de proporção M/F, a adição de helicóides no desenho das mo-

las ocasionou desempenhos mecânicos diferentes para cada configuração.

Na configuração em "T" de beta-titânio, a incorporação dos helicóides ocasionou uma diminuição da magnitude de momento produzida e ao mesmo tempo uma redução discreta dos níveis de força liberados (7,5%). Assim, a proporção M/F gerada sofreu uma redução. Desta maneira, o sistema de forças produzido pelas molas "T" de beta-titânio

Tabela 5 (Continuação) – Médias e desvios-padrão para a relação carga-deflexão (C/D), em g/mm, gerada pelas molas “T”, segundo a interação liga metálica, secção transversal e pré-ativação, durante sua ativação de 1mm a 5mm.

ativação (mm)	liga metálica	secção transversal	pré-ativação				total		
			0°		40/180°		média	d.p.	
			média	d.p.	média	d.p.			
4	aço inoxidável	0,017” x 0,025”	134,25	8,27	148,25	6,82	141,25 ^b	10,27	
		0,019” x 0,025”	185	11,32	187	13,16	186 ^a	11,62	
		total	159,63 ^a	28,33	167,63 ^a	22,69	163,63	25,32	
	beta-titânio	0,017” x 0,025”	55,75	3,14	43	3,38	49,38 ^d	7,39	
		0,019” x 0,025”	69,25	6,47	52,50	5,30	60,88 ^c	10,44	
		total	62,50 ^b	8,58	47,75 ^c	6,53	55,13	10,60	
	total	0,017” x 0,025”	95	41,79	95,63	55,70	95,31	47,93	
		0,019” x 0,025”	127,13	61,62	119,75	71,52	123,44	65,08	
	5	aço inoxidável	0,017” x 0,025”	129,40	7,57	141,60	6,39	135,50 ^b	9,22
			0,019” x 0,025”	175,80	9,55	177,40	12,32	176,60 ^a	10,43
total			152,60 ^a	25,77	159,50 ^a	21,01	156,05	23,16	
beta-titânio		0,017” x 0,025”	56,20	3,42	41,80	3,11	49 ^d	8,19	
		0,019” x 0,025”	68,80	5,93	52	4,64	60,40 ^c	10,18	
		total	62,50 ^b	8,06	46,90 ^c	6,54	54,70	10,73	
total		0,017” x 0,025”	92,80	38,98	91,70	52,81	92,25	45,18	
		0,019” x 0,025”	122,30	56,89	114,70	66,67	118,50	60,45	
total		0,017” x 0,025”	107,55	49,82	103,20	59,72	105,38	54,32	

Para cada ativação, médias seguidas de letras distintas diferem significativamente por meio da análise de variância (letras minúsculas e maiúsculas são utilizadas para comparações independentes), complementada pelo teste de comparações múltiplas de Tukey, ao nível de significância de 5%.

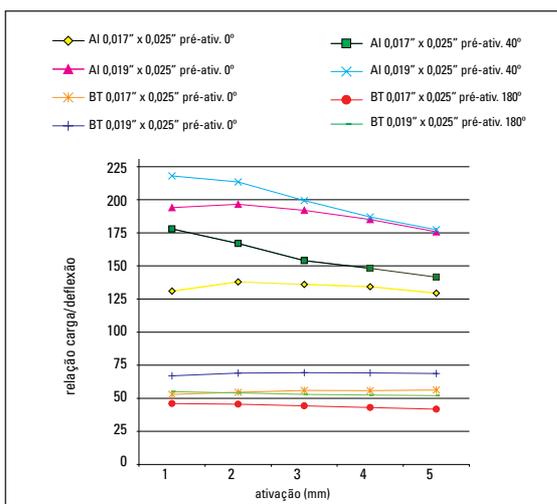


GRÁFICO 5 - Médias das magnitudes de relação carga-deflexão (g/mm) geradas pelas molas “T” construídas segundo as interações entre liga metálica (aço inoxidável (AI) e beta-titânio (BT)), secção transversal (0,017” x 0,025” e 0,019” x 0,025”) e pré-ativação (0° e 40°/180°).

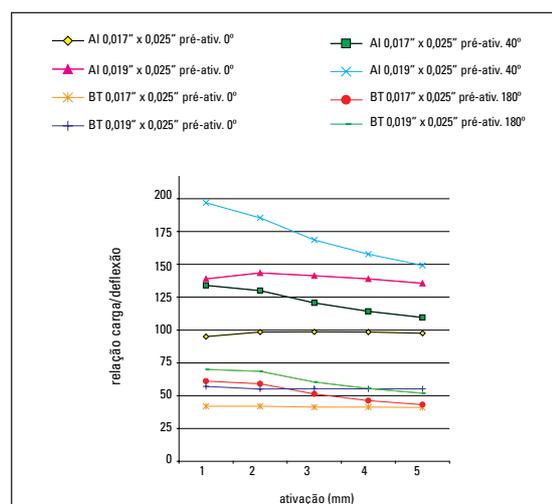


GRÁFICO 6 - Médias das magnitudes de relação carga-deflexão (g/mm) geradas pelas molas “T” com helicóides construídas segundo as interações entre liga metálica (aço inoxidável (AI) e beta-titânio (BT)), secção transversal (0,017” x 0,025” e 0,019” x 0,025”) e pré-ativação (0° e 40°/180°).

Tabela 6 – Médias e desvios-padrão para a relação carga-deflexão (C/D), em g/mm, gerada pelas molas "T" com helicóides, segundo a interação liga metálica, secção transversal e pré-ativação, durante sua ativação de 1mm a 5mm.

ativação (mm)	liga metálica	secção transversal	pré-ativação				total		
			0°		40/180°		média	d.p.	
			média	d.p.	média	d.p.			
1	aço inoxidável	0,017" x 0,025"	95 ^C	8,66	134 ^B	8,94	114,50	22,17	
		0,019" x 0,025"	139 ^B	7,42	197 ^A	8,37	168	31,46	
		total	117	24,40	165,50	34,19	141,25	38,14	
	beta-titânio	0,017" x 0,025"	42 ^E	2,74	61 ^D	5,48	51,50	10,81	
		0,019" x 0,025"	57 ^D	5,70	70 ^D	3,54	63,50	8,18	
		total	49,50	8,96	65,50	6,43	57,50	11,18	
	total	0,017" x 0,025"	68,50	28,58	97,50	39,10	83	36,51	
		0,019" x 0,025"	98	43,67	133,50	67,21	115,75	58,09	
		total	83,25	38,98	115,50	56,61	99,38	50,68	
	2	aço inoxidável	0,017" x 0,025"	98,50	7,83	130	6,37	114,25 ^B	17,91
			0,019" x 0,025"	143,50	4,18	185,50	7,16	164,50 ^A	22,82
			total	121 ^B	24,44	157,75 ^A	29,94	139,38	32,60
beta-titânio		0,017" x 0,025"	42	3,71	59	9,12	50,50 ^D	11,11	
		0,019" x 0,025"	55	5,30	68,50	4,87	61,75 ^C	8,58	
		total	48,50 ^D	8,10	63,75 ^C	8,52	56,13	11,25	
total		0,017" x 0,025"	70,25	30,33	94,50	38,15	82,38	35,78	
		0,019" x 0,025"	99,25	46,86	127	61,93	113,13	55,32	
		total	84,75	41,20	110,75	52,77	97,75	48,55	
3		aço inoxidável	0,017" x 0,025"	98,67	8,28	120,67	5,96	109,67 ^B	13,44
			0,019" x 0,025"	141,33	2,98	168,67	5,58	155 ^A	15,01
			total	120 ^B	23,24	144,67 ^A	25,88	132,33	27,08
	beta-titânio	0,017" x 0,025"	41,33	2,47	51,33	6,28	46,33 ^D	6,93	
		0,019" x 0,025"	55,33	4,15	60,33	3,80	57,83 ^C	4,58	
		total	48,33 ^D	8,05	55,83 ^C	6,82	52,08	8,22	
	total	0,017" x 0,025"	70	30,76	86	37	78	34,12	
		0,019" x 0,025"	98,33	45,45	114,50	57,27	106,42	51	
		total	84,17	40,47	100,25	49,15	92,21	45,18	

com helicóides não sofreu benefícios significativos quando dessa alteração em seu desenho, uma vez que a diminuição nos níveis de força horizontal foi muito pequena, ocorrendo ainda uma redução na proporção M/F. Entretanto, as magnitudes desta proporção apresentaram-se mais constantes durante a ativação destas molas (Gráf. 6).

Já na configuração em "T" de aço inoxidável, a adição de helicóides apresentou como efeito a redução dos níveis de força e momentos gerados

praticamente na mesma intensidade, com a magnitude de proporção M/F apresentando um aumento bastante discreto. No entanto, em virtude da produção de níveis de força horizontal mais compatíveis clinicamente, as molas "T" com helicóides de aço inoxidável apresentaram melhores propriedades biomecânicas.

Possivelmente, o fator mais importante a ser considerado é que a incorporação de helicóides aumenta, automaticamente, o comprimento do

Tabela 6 (Continuação) – Médias e desvios-padrão para a relação carga-deflexão (C/D), em g/mm, gerada pelas molas “T” com helicóides, segundo a interação liga metálica, secção transversal e pré-ativação, durante sua ativação de 1mm a 5mm.

ativação (mm)	liga metálica	secção transversal	pré-ativação				total	
			0°		40/180°		média	d.p.
			média	d.p.	média	d.p.		
4	aço inoxidável	0,017" x 0,025"	98,50	7,20	114,25	7,27	106,38 ^b	10,74
		0,019" x 0,025"	139	2,85	157,75	3,99	148,38 ^a	10,41
		total	118,75 ^b	21,96	136 ^a	23,58	127,38	23,88
	beta-titânio	0,017" x 0,025"	41,25	2,34	46,25	5,38	43,75 ^d	4,71
		0,019" x 0,025"	55,25	4,28	55,50	4,20	55,38 ^c	4
		total	48,25 ^c	8,06	50,88 ^c	6,67	49,56	7,33
	total	0,017" x 0,025"	69,88	30,59	80,25	36,34	75,06	33,13
		0,019" x 0,025"	97,13	44,27	106,63	54,03	101,88	48,32
		total	83,50	39,59	93,44	46,81	88,47	43,09
5	aço inoxidável	0,017" x 0,025"	97,60	5,90	109,60	7,44	103,60 ^b	8,95
		0,019" x 0,025"	135,60	3,85	149,20	3,63	142,40 ^a	7,99
		total	116,60 ^b	20,57	129,40 ^a	21,59	123	21,55
	beta-titânio	0,017" x 0,025"	41	2,55	43,20	3,96	42,10 ^d	3,35
		0,019" x 0,025"	55,20	4,02	51,80	3,70	53,50 ^c	4,06
		total	48,10 ^c	8,13	47,50 ^c	5,80	47,80	6,88
	total	0,017" x 0,025"	69,30	30,14	76,40	35,44	72,85	32,23
		0,019" x 0,025"	95,40	42,54	100,50	51,45	97,95	46,02
		total	82,35	38,30	88,45	44,74	85,40	41,22

Para cada ativação, médias seguidas de letras distintas diferem significativamente por meio da análise de variância (letras minúsculas e maiúsculas são utilizadas para comparações independentes), complementada pelo teste de comparações múltiplas de Tukey, ao nível de significância de 5%.

arco no espaço interbraquetes, possibilitando com isso uma maior amplitude de ativação da mola e reduzindo a quantidade de força horizontal produzida.

Quando avaliados os sistemas de forças gerados pelas diferentes configurações de molas “T” testadas no presente estudo, deve-se ressaltar a necessidade de ativação desses dispositivos a uma determinada amplitude para que ocorra, concomitantemente, a produção de uma magnitude de força horizontal satisfatória para a movimentação dos diferentes grupos de dentes, associada a uma magnitude de proporção M/F que controle adequadamente o movimento dentário.

Além disso, Burstone³, Kuhlberg e Burstone¹⁴ relataram que a mola “T” deveria promover um padrão de movimentação dentária inicialmente

por um movimento de inclinação controlada, seguida do movimento de correção radicular, propiciando assim um adequado paralelismo radicular ao final do tratamento e um maior controle de ancoragem durante a mecanoterapia. Observou-se que as molas “T” de beta-titânio testadas neste estudo, para preencherem estes quesitos, necessitariam ser ativadas entre 4mm e 7mm (dependendo dos dentes a serem movimentados), com reativações após 2mm ou 3mm de desativação da mola. Já as molas “T” de aço inoxidável preferencialmente deveriam ser ativadas até 2mm, com reativações após 1mm ou 2mm de desativação.

Assim, pôde ser observado que o desempenho mecânico das molas “T” para fechamento de espaços depende de uma série de fatores inerentes às configurações apresentadas por esses dispositivos,

como por exemplo, a incorporação de helicóides no seu desenho, a utilização de ligas metálicas de diferentes módulos de elasticidade, fios de diferentes secções transversais e a incorporação de dobras de pré-ativação.

CONCLUSÕES

A) De maneira geral, as molas "T" produziram maiores magnitudes de força horizontal e relação C/D do que as molas "T" com helicóides. Na inserção de dobras de pré-ativação, as molas "T" e "T" com helicóides de aço inoxidável e beta-titânio produziram altas proporções M/F quando ativadas. Na ausência de dobras de pré-ativação, todas as molas geraram níveis bastante baixos de proporção M/F.

B) Analisando separadamente o efeito da secção transversal, pré-ativação e liga metálica quanto aos sistemas de forças produzidos, foi possível concluir que:

B.1) O aumento da secção transversal do fio ortodôntico utilizado para a confecção da mola de fechamento promoveu um aumento na magnitude da força horizontal e na relação C/D, propiciando pequeno efeito na proporção M/F gerada pelas molas;

B.2) A inserção de dobras de pré-ativação nas molas ocasionou um aumento nos valores da proporção M/F, sendo que as magnitudes de força horizontal e relação C/D apresentaram em certas molas um pequeno aumento e em outras uma pequena diminuição.

B.3) Quanto à liga metálica, as molas confeccionadas com beta-titânio produziram menores magnitudes de força horizontal e relação C/D. As molas de beta-titânio, quando na ausência de pré-ativação, geraram menores valores da proporção M/F quando comparadas às molas de aço inoxidável. Já quando a pré-ativação das molas de beta-titânio foi realizada com maior intensidade do que nas molas de aço inoxidável, ocorreu a geração de maiores magnitudes de proporção M/F.

C) Dentre todas as variáveis analisadas, aquela que apresentou uma maior influência na força horizontal e na relação C/D produzidas pelas molas foi a liga metálica. Já a proporção M/F mostrou ser influenciada em maior grau pela pré-ativação das molas de fechamento.

Enviado em: agosto de 2004
Revisado e aceito: fevereiro de 2005

Using different T-loops configurations to obtain optimized force systems

Abstract

Aim: the present study determined the force systems produced by T-loop and T-loop with helices, with employment of different alloys (stainless steel and beta-titanium), different preactivation bends intensities (0° and 40°/180°) and different transverse sections (0.017" x 0.025" and 0.019" x 0.025"). **Methods:** 80 loops for space closure were submitted to mechanical testing, which were centralized in a space of 21mm. The magnitudes of horizontal force, moment/force ratio and load/deflection ratio were quantified using a moment transducer connected to a digital indicator for extensometry adapted to an Instron universal testing machine (model TTDML). The specimens were distended to a total activation of 5mm, being registered the values at every 1mm of activation. The data achieved were statistically analyzed by means of variance analysis and the Tukey test for multiple comparisons at a significance level of 5%. **Results and Conclusion:** in general, the results indicated that the T-loops with helices produced lower magnitudes of horizontal force and load/deflection ratio than the T-loops. When inserted with the preactivation bends, the loops yielded high magnitudes of moment/force ratios, while when these preactivation bends were not presented, the moment/force ratios were low. The metallic alloy was the variable that presented the largest influence on the horizontal force and load/deflection ratio. The moment/force ratio was more intensely influenced by the incorporation of preactivation bends in the closure loops.

Key words: Orthodontics. Biomechanics. Orthodontic space closure.

REFERÊNCIAS

1. BRAUN, S.; GARCIA, J. L. The gable bend revisited. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 122, no. 5, p. 523-527, Nov. 2002.
2. BURSTONE, C. J. The mechanics of the segmented arch techniques. **Angle Orthod**, Appleton, v. 36, no. 2, p. 99-120, Apr. 1966.
3. BURSTONE, C. J. Aplicação da bioengenharia na Ortodontia clínica. In: GRABER, T. M.; VANARSDALL, R. L. **Ortodontia: princípios e técnicas atuais**. 3. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2002. p. 228-257.
4. BURSTONE, C. J.; KOENIG, H. A. Force systems from an ideal arch. **Am J Orthod**, St. Louis, v. 65, no. 3, p. 270-289, Mar. 1974.
5. BURSTONE, C. J.; KOENIG, H. A. Optimizing anterior and canine retraction. **Am J Orthod**, St. Louis, v. 70, no. 1, p. 1-19, July 1976.
6. BURSTONE, C. J.; KOENIG, H. A. Creative wire bending: the force system from step and V bends. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 93, no. 1, p. 59-67, Jan. 1988.
7. CHEN, J.; MARKHAM, D. L.; KATONA, T. R. Effects of T-loop geometry on its forces and moments. **Angle Orthod**, Appleton, v. 70, no. 1, p. 48-51, Feb. 2000.
8. FAULKNER, M. G. et al. A parametric study of the force/moment system produced by T-loop retraction springs. **J Biomechanics**, Oxford, v. 22, no. 6/7, p. 637-647, July 1989.
9. GJESSING, P. Biomechanical design and clinical evaluation of a new canine retraction spring. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 87, no. 4, p. 353-362, Sept. 1985.
10. GJESSING, P. Controlled retraction of maxillary incisors. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 101, no. 2, p. 120-131, Feb. 1992.
11. HALAZONETIS, D. J. Understanding orthodontic loop preactivation. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 113, no. 2, p. 237-241, Feb. 1998.
12. HILGERS, J. J.; FARZIN-NIA, F. The asymmetrical T archwire. **J Clin Orthod**, Boulder, v. 16, no. 2, p. 81-86, Feb. 1992.
13. KALEY, J.; PHILLIPS, C. Factors related to root resorption in edgewise practice. **Angle Orthod**, Appleton, v. 61, no. 2, p. 125-132, Feb. 1991.
14. KUHMBERG, A.; BURSTONE, C. J. T-loop position and anchorage control. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 112, no. 1, p. 12-18, July 1997.
15. MANHARTSBERGER, C.; MORTON, J. Y.; BURSTONE, C. J. Space closure in adults using the segmented arch technique. **Angle Orthod**, Appleton, v. 59, no. 3, p. 205-210, Fall 1989.
16. MARCOTTE, M. R. **Biomecânica em Ortodontia**. 2. ed. São Paulo: Ed. Santos, 2003.
17. MENDES, A. M.; BÄGGIO, P. E.; BOLOGNESE, A. M. Fechamento de espaços. **Rev Soc Bras Odontol**, São Paulo, v. 2, n. 1, p. 11-19, jan./jun. 1992.
18. NANDA, R.; DIAZ, M.A.T. Orthodontic space closure. **Dent Clin North Am**, Philadelphia, v. 25, no. 1, p. 95-107, Jan. 1981.
19. PROFFIT, W. R. **Ortodontia contemporânea**. 3. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2002.
20. RABOUD, D. W. et al. Three-dimensional effects in retraction appliance design. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 112, no. 4, p. 378-392, Oct. 1997.
21. SHIMIZU, R. H. **Fechamento de espaços após exodontias de primeiros pré-molares**. 1995. Dissertação (Mestrado)-Faculdade de Odontologia, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 1995.
22. SHIMIZU, R. H. et al. Comportamento mecânico da mola Bull modificada durante o fechamento de espaços em Ortodontia. **R Dental Press Ortodon Ortop Facial**, Maringá, v. 7, n. 2, p. 13-24, mar./abr. 2002a.
23. SHIMIZU, R. H. et al. Desempenho biomecânico da mola "T", construída com fio de aço inoxidável, durante o fechamento de espaços no tratamento ortodôntico. **R Dental Press Ortodon Ortop Facial**, Maringá, v. 7, n. 6, p. 49-61, nov./dez. 2002b.
24. SMITH, R. J.; BURSTONE, C. J. Mechanics of tooth movement. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, St. Louis, v. 85, no. 4, p. 294-307, Apr. 1984.
25. SOUZA, R. S. et al. Avaliação do sistema de forças gerado pela mola T de retração pré-ativada segundo o padrão UNESP-Araraquara. **R Dental Press Ortodon Ortop Facial**, Maringá, v. 8, n. 5, p. 113-122, set./out. 2003.
26. STAGGERS, J. A.; GERMANE, N. Clinical considerations in the use of retraction mechanics. **J Clin Orthod**, Boulder, v. 15, no. 8, p. 565-569, June 1991.
27. TAYER, B. Modified T loop archwire. **J Clin Orthod**, Boulder, v. 15, no. 8, p. 565-569, Oct. 1981.
28. THIESEN, G. et al. Avaliação das forças liberadas por diferentes tipos de molas de fechamento de espaço utilizadas em Ortodontia. **Ortodontia Gaúcha**, Porto Alegre, v. 5, n. 2, p. 86-91, jul./dez. 2001.
29. YOSHIKAWA, D. K. Fundamentals of appliance design. **Dent Clin North Am**, Philadelphia, v. 25, no. 1, p. 43-52, Jan. 1981.

Endereço de correspondência

Guilherme Thiesen
 Av. Madre Benvenuta, nº 1285, Bairro Santa Mônica
 CEP: 88.035 - 001 - Florianópolis/SC
 E-mail: guilhermethiesen@yahoo.com.br