






Influência da superfície dos parafusos pediculares no torque de inserção e resistência ao arrancamento*

The Role of Pedicle Screw Surface on Insertion Torque and Pullout Strength

Rodrigo Barra Caiado Fleury¹ Antônio Carlos Shimano² Thiago Dantas Matos¹
Kelsen de Oliveira Teixeira¹ Valéria Romero³ Helton L.A. Defino⁴

¹ Curso de Pós-Graduação, Departamento de Biomecânica, Medicina e Reabilitação do Aparelho Locomotor, Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, SP, Brasil

² Departamento de Biomecânica, Medicina e Reabilitação do Aparelho Locomotor, Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, SP, Brasil

³ Departamento de Clínica Médica, Faculdade de Ciências Médicas da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil

⁴ Departamento de Biomecânica, Medicina e Reabilitação do Aparelho Locomotor da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil

Endereço para correspondência Rodrigo Barra Caiado Fleury, MD, Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Departamento de Cirurgia Ortopedia e Traumatologia, Universidade de São Paulo, Avenida Bandeirantes 3900, Monte Alegre, Ribeirão Preto, 14049900, SP, Brasil (e-mail: caiadomed@hotmail.com).

Rev Bras Ortop

Resumo

Objetivo Comparar por testes mecânicos a resistência ao arrancamento e o torque de inserção do parafuso pedicularjateado e liso.

Métodos Parafusos pediculares de superfície áspera e de superfície lisa com diâmetros de 4,8; 5,5 e 6,5 mm foram inseridos em blocos de poliuretano com densidade de 10 PCF (0,16 g/cm³). O torque de inserção e a força de arrancamento foram avaliados.

Resultados A força de arrancamento dos parafusos de superfície áspera e de superfície lisa não diferiu, exceto no grupo de parafusos com 4,8 mm de diâmetro. Nesse grupo, os parafusos de superfície áspera apresentaram maior resistência ao arrancamento.

Conclusão Os parafusos pediculares de superfície áspera não apresentaram aumento da resistência ao arrancamento na fase aguda de sua inserção em blocos de poliuretano em relação aos parafusos de superfície lisa. Os parafusos de superfície áspera apresentaram maior torque de inserção que os parafusos de superfície lisa, dependendo do diâmetro do parafuso e da preparação do furo piloto.

Palavras-chave

- ▶ coluna vertebral
- ▶ parafusos ósseos
- ▶ fenômenos biomecânicos

Abstract

Objective Compare by mechanical tests the pullout resistance and the insertion torque of rough and smooth pedicle screws.

* Trabalho desenvolvido no Departamento de Biomecânica, Medicina e Reabilitação do Aparelho Locomotor, Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, SP, Brasil.

Keywords

- ▶ spine
- ▶ bone screws
- ▶ biomechanical phenomena

Methods Pedicle screws with rough surface and smooth surface, with diameters of 4.8; 5.5 and 6.5 mm, were inserted in polyurethane blocks with density of 10 PCF (0.16 g/cm³). Insertion torque and pullout strength were assessed.

Results The pullout strength of the rough surface and smooth surface screws did not differ, except in the group of 4.8 mm diameter screws. In this group, the rough surface screws showed greater resistance to pullout.

Conclusion Pedicle screws with a rough surface did not show increased pullout resistance in the acute phase of their insertion in polyurethane blocks compared to smooth surface screws. The rough surface screws had a higher insertion torque than the smooth surface screws, depending on the diameter of the screw and the preparation of the pilot hole.

Introdução

Os sistemas de fixação vertebral que utilizam os parafusos pediculares são atualmente os mais utilizados no âmbito da cirurgia da coluna vertebral.¹ Embora essa modalidade de fixação apresente vantagens mecânicas em relação aos demais sistemas de fixação vertebral, a soltura dos parafusos pediculares permanece sendo uma complicação frequente.² A resistência mecânica dessa modalidade de sistema de fixação está relacionada com as propriedades intrínsecas dos componentes do sistema de fixação (diâmetro, tipo de material, desenho), do tipo e qualidade do tecido ósseo (esponjoso, cortical, densidade óssea), do modo de preparo do orifício piloto e da interface entre o componente de ancoragem do sistema de fixação e o tecido ósseo.³ A osteointegração na interface do implante e do tecido ósseo promove o aumento da estabilidade do sistema de fixação e consequente redução da porcentagem de soltura dos implantes.^{4,5}

Alterações no desenho da rosca dos implantes e da sua superfície são realizadas para aprimorar a ancoragem dos implantes no tecido ósseo.⁶ A alteração da superfície do parafuso em contato com o tecido ósseo tem sido uma das estratégias desenvolvidas para aprimorar a fixação do implante por meio do aumento da conexão do tecido ósseo com o implante.⁷ A resistência do implante ao arrancamento é proporcional à superfície de contato da rosca com o tecido ósseo, o que evita a soltura e a classifica como uma propriedade de estabilidade do parafuso.^{8,9} A alteração da superfície dos implantes tem sido realizada por meio do revestimento da superfície do implante ou da alteração da rugosidade da superfície, que pode estimular o crescimento ósseo e a osteointegração, com o consequente aumento da fixação do implante.^{5,10,11} Foi observado em estudos histológicos que implantes com superfície áspera e porosa têm a área de superfície efetiva aumentada em até 12 vezes em relação à mesma área de superfície lisa, o que confere um efeito osteoindutivo e aumenta a ancoragem do implante no osso.¹² Implantes com superfícies texturizadas são indicados para baixa qualidade óssea, áreas enxertadas, protocolos de instalação de implante imediato e carga imediata. A influência da superfície dos implantes na osteointegração tem induzido a produção de implantes com superfície áspera, que pode ser obtida por diferentes processos.⁶

Considerando os relatos da influência da superfície dos implantes na ancoragem no tecido ósseo,^{6,9} o objetivo do presente estudo foi comparar o torque de inserção e a resistência ao arrancamento dos parafusos do sistema de fixação vertebral com superfície áspera ou lisa, na fase aguda da sua colocação.

Material e Métodos

Foram utilizados blocos de poliuretano com densidade de 10 PCF ou 0,16 g/cm³ e dimensão de 5cmx8cmx5cm (Nacional Ltda, São Paulo, SP, Brasil). No centro da face superior de cada bloco de poliuretano foi realizada a perfuração do orifício piloto com broca de 2,7mm. Os parafusos de 40mm de comprimento e diâmetro externo de 4,8mm, 5,5mm e 6,5mm do sistema de fixação pedicular (SAFE Víncula, Rio Claro, SP, Brasil) que apresentam superfície áspera, e os parafusos do sistema de fixação pedicular Pedicol Plus (Víncula, Rio Claro, SP, Brasil) que apresentam superfície lisa foram utilizados no estudo (► **Figuras 1 e 2**). Os parafusos de ambos os sistemas são de Titânio F-136 e possuem diâmetro interno cônico. Os parafusos de superfície áspera (SAFE) são produzidos por meio de jateamento mecânico. Os parafusos de superfície lisa (Pedicol Plus) são produzidos por meio da técnica de tamboreamento.

Os grupos experimentais foram formados de acordo com o tipo do parafuso (superfície áspera ou lisa), diâmetro do parafuso e preparo do orifício piloto. Cada grupo experimental foi composto por cinco blocos de poliuretano, no qual os parafusos foram inseridos para a mensuração do torque de inserção e resistência ao arrancamento, após o preparo do orifício piloto. No grupo dos parafusos de superfície áspera (SAFE) 4,8mm, os parafusos foram inseridos nos blocos de poliuretano sem macheamento do orifício piloto, e após macheamento do orifício piloto com machos de 4,3mm. Os parafusos de 5,5mm foram inseridos sem o macheamento do orifício piloto, e após macheamento com 4,3mm e 5,0mm de diâmetro. Os parafusos de 6,5mm de diâmetro foram inseridos sem o macheamento do orifício piloto, e após o macheamento com diâmetros de 4,3mm, 5,0mm e 6,0mm. Os machos utilizados possuíam desenho de rosca semelhante aos parafusos pediculares do sistema de fixação.

No grupo dos parafusos de superfície lisa (Pedicol Plus) de 4,8mm, os parafusos foram inseridos sem o macheamento do



Fig. 1 Parafuso 5,5mm SAFE (A) e Pedicol (B).

orifício piloto, e após o macheamento com 4,0mm de diâmetro. Os parafusos de 5,5mm foram inseridos sem o macheamento do orifício piloto, e após macheamento com 4,3mm e 5,0mm de diâmetro. Os parafusos de 6,5mm foram inseridos sem o macheamento do orifício piloto, e após o macheamento com 4,3mm, 5,0mm e 6,0mm de diâmetro. Os machos utilizados possuíam desenho de rosca semelhante ao parafuso pedicular do sistema de fixação. Durante a inserção dos parafusos nos blocos de poliuretano, o torque de inserção foi mensurado por meio de chave acoplada ao torquímetro eletrônico digital TL-500/MKT-1 (Mackena Corporation, São Paulo, SP, Brasil) e registrou-se o maior valor do torque de inserção mensurado durante a inserção do parafuso no bloco de poliuretano.

A resistência dos parafusos ao arrancamento foi avaliada por meio de ensaios mecânicos utilizando máquina universal de testes (►Figura 3) EMIC(DL 10000; EMIC, São José dos Pinhais, PR, Brasil), Software Tesc 3.13 para análise dos resultados, célula de carga com capacidade de 2.000N e velocidade de aplicação da força de 2mm/min. Utilizou-se a pré-carga de 50N e tempo de acomodação de 10 segundos. Uma haste foi acoplada à cabeça do parafuso e a força de arrancamento foi aplicada verticalmente. A força máxima de arrancamento foi a propriedade avaliada nos testes. A comparação dos valores do torque de inserção e da força de arrancamento foi realizada por meio da análise estatística utilizando o teste não paramétrico de Mood, no qual foi



Fig. 2 Macho 5, 0 mm Pedicol (A) e SAFE (B).

realizada a comparação entre as medianas, tendo sido estabelecido como significância estatística $p < 0,05$.

Resultados

Os valores do torque de inserção e resistência ao arrancamento dos parafusos com superfície áspera e de superfície lisa estão representados nas ►Tabelas 1 e 2. A comparação do torque de

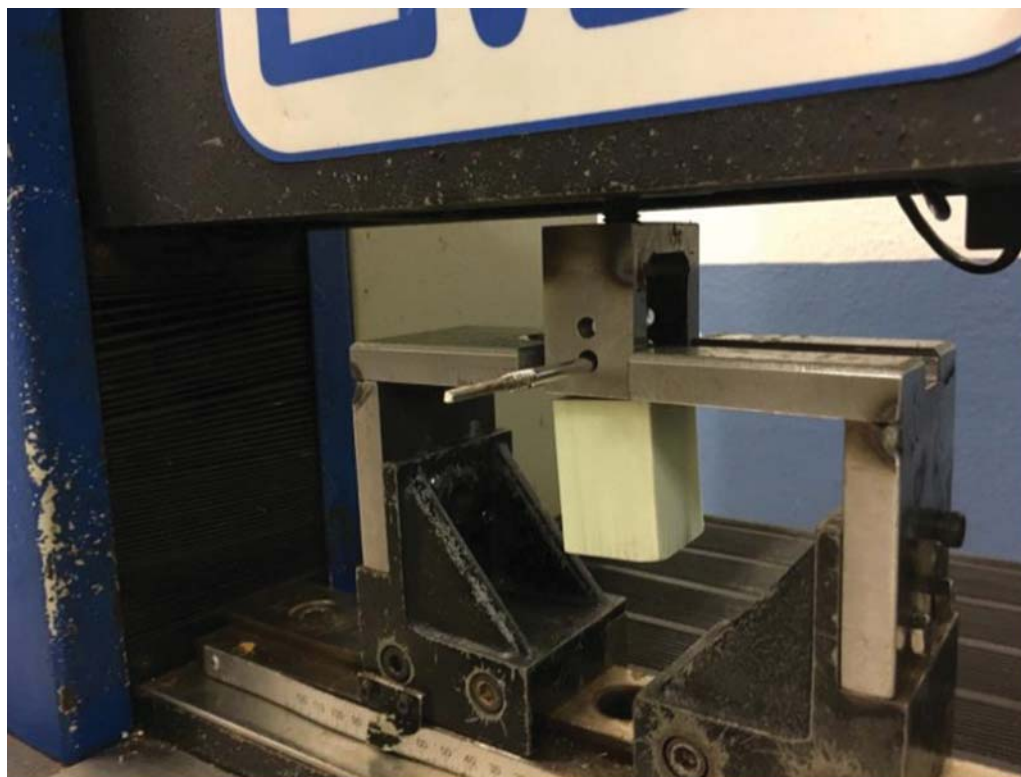


Fig. 3 Máquina universal de testes.

Tabela 1 Valores do torque de inserção

TORQUE DE INSERÇÃO									
GRUPO	Diâmetro do Parafuso	Macheamento do orifício piloto	n	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Mediana	Máximo	
Superfície lisa (Pedicol)	4.8 mm	4,0 mm	5	0.16	0.03	0.11	0.16	0.20	
		Sem macheamento	5	0.32	0.04	0.27	0.32	0.37	
	5.5 mm	4,0 mm	5	0.20	0.05	0.14	0.20	0.28	
		5,0 mm	5	0.14	0.01	0.13	0.14	0.16	
		Sem macheamento	5	0.23	0.05	0.15	0.24	0.26	
	6.5 mm	4,0 mm	5	0.38	0.09	0.28	0.39	0.48	
		5,0 mm	5	0.41	0.05	0.33	0.40	0.48	
		6,0 mm	5	0.29	0.04	0.25	0.29	0.33	
		Sem macheamento	5	0.39	0.03	0.37	0.37	0.44	
	Superfície áspera (SAFE)	4.8 mm	4,3 mm	5	0.30	0.04	0.27	0.29	0.36
			Sem macheamento	5	0.30	0.05	0.24	0.28	0.37
		5.5 mm	4,3 mm	5	0.43	0.02	0.40	0.42	0.45
5,0 mm			5	0.34	0.07	0.24	0.34	0.41	
Sem macheamento			5	0.35	0.12	0.15	0.37	0.47	
6.5 mm		4,3 mm	5	0.56	0.11	0.44	0.54	0.73	
		5,0 mm	5	0.60	0.06	0.50	0.63	0.64	
		6,0 mm	5	0.35	0.06	0.28	0.33	0.42	
		Sem macheamento	5	0.62	0.02	0.59	0.63	0.65	

Tabela 2 Valores dos ensaios mecânicos de resistência ao arrancamento

FORÇA DE ARRANCAMENTO								
GRUPO	Diâmetro do Parafuso	Macheamento do OrifícioPiloto	n	Média	Desvio-Padrão	Mínimo	Mediana	Máximo
Superfície Lisa (PEDICOL)	4.8 mm	4,0 mm	5	262.13	35.72	235.73	251.10	322.90
		Sem macheamento	5	456.17	19.71	429.44	454.94	483.83
	5.5 mm	4,0 mm	5	525.47	35.16	489.89	522.25	575.42
		5,0 mm	5	384.39	22.19	362.13	382.59	420.26
		Sem macheamento	5	524.36	14.87	505.80	532.18	537.21
	6.5 mm	4,0 mm	5	685.39	32.05	642.60	678.09	729.08
		5,0 mm	5	653.99	60.10	591.74	648.58	742.48
		6,0 mm	5	451.65	45.41	402.72	445.83	513.00
		Sem macheamento	5	622.73	29.40	582.42	617.10	657.01
	Superfície áspera (SAFE)	4.8 mm	4,3 mm	5	427.51	29.99	396.33	429.98
Sem macheamento			5	434.70	25.29	401.70	433.25	465.48
5.5 mm		4,3 mm	5	486.46	13.09	468.88	490.63	498.72
		5,0 mm	5	476.81	46.80	408.77	474.54	534.22
		Sem macheamento	5	536.35	48.56	468.67	538.09	602.41
6.5 mm		4,3 mm	5	648.15	38.56	600.92	671.02	679.38
		5,0 mm	5	625.84	19.62	598.54	626.01	653.88
		6,0 mm	5	518.33	49.86	439.37	528.98	576.58
		Sem machemanto	5	599.44	17.31	581.34	600.71	624.92

inserção dos parafusos de superfície áspera (SAFE) e de superfície lisa (Pedicol Plus) está representada na **Tabela 1**. Os parafusos de superfície áspera de 4,8mm apresentaram maior torque de inserção com o macheamento do orifício piloto, com diâmetro menor que o diâmetro externo do parafuso (teste não paramétrico de Mood [$p = 0,002$]). Os parafusos de superfície áspera de 5,5mm apresentaram maior torque de inserção em relação aos parafusos de superfície lisa em todas as modalidades de macheamento (teste não paramétrico de Mood [$p = 0,002$]). Os parafusos de superfície áspera de 6,5mm apresentaram maior torque de inserção, quando comparados aos parafusos de superfície lisa no grupo experimental em que o macheamento não foi realizado e no grupo experimental em que foi realizado o macheamento com macho de 5,0mm (teste não paramétrico de Mood [$p = 0,002$]) (**Tabela 3**).

A comparação dos valores da resistência ao arrancamento dos parafusos está ilustrada na **Tabela 4**. Somente os parafusos de superfície áspera de 4,8mm e com o orifício piloto de menor diâmetro que o diâmetro externo do parafuso apresentaram maior resistência ao arrancamento em relação aos parafusos de superfície lisa (teste não paramétrico de Mood [$p = 0,002$]) (**Tabela 4**).

Discussão

Nos ensaios realizados, não foram observadas diferenças estatísticas significativas nas propriedades biomecânicas

dos parafusos pediculares de superfície lisa ou áspera. Com exceção do torque de inserção da maioria dos parafusos de superfície áspera utilizados no presente estudo, e a resistência ao arrancamento dos parafusos de superfície áspera de 4,8mm, não houve diferença estatística na comparação dos demais ensaios mecânicos realizados. O aumento do torque de inserção durante a inserção dos parafusos de superfície áspera pode ser explicado pelo maior atrito da superfície rugosa do implante com a interface do corpo de prova, embora não tenha sido observada em todos os ensaios. O torque de inserção não apresenta correlação com a resistência ao arrancamento dos parafusos pediculares,⁶ e os resultados observados nos ensaios do presente estudo corroboram esses relatos.

A resistência ao arrancamento dos parafusos de superfície áspera não foi superior aos parafusos de superfície lisa nos ensaios mecânicos realizados em nosso estudo, com exceção dos parafusos de 4,8mm inseridos após o macheamento utilizando os machos dos referidos sistemas de fixação. Provavelmente outros fatores, com destaque para o menor diâmetro do macheamento do orifício piloto, participaram desse resultado isolado dos ensaios.¹

A soltura dos parafusos pediculares é um indicador “in vivo” da falha da fixação dos implantes e tem sido observado em ~ 0,6 a 11% dos pacientes.¹³ No sentido de aumentar a ancoragem dos implantes e reduzir o índice de soltura dos parafusos pediculares, algumas estratégias têm sido aplicadas sobre os implantes; o tratamento da superfície dos implantes tem sido uma das alternativas relatadas com

Tabela 3 Comparação dos valores do torque de inserção

Diâmetro Parafuso	Macheamento Do Orifício Piloto	Tipo da Superfície do Parafuso	Mediana	IC (95%)	p-valor
4,8 mm	Sem Macho	Lisa (Pedicol)	0,323	-0,103; 0,130	0,527
4,8 mm	Sem Macho	Áspera (SAFE)	0,284		
4,8 mm	4,0 mm Pedicol	Lisa (Pedicol)	0,160	-0,244; -0,071	*0,002
4,8 mm	4,3 mm SAFE	Áspera (SAFE)	0,289		
5,5 mm	Sem macho	Lisa (Pedicol)	0,240	-0,262; 0,103	0,099
5,5 mm	Sem macho	Áspera (SAFE)	0,370		
5,5 mm	4,0 mm Pedicol	Lisa (Pedicol)	0,204	-0,309; -0,116	*0,002
5,5 mm	4,3 mm SAFE	Áspera (SAFE)	0,422		
5,5 mm	5,0 mm Pedicol	Lisa (Pedicol)	0,136	-0,278; -0,085	*0,002
5,5 mm	5,0 mm SAFE	Áspera (SAFE)	0,338		
6,5 mm	Sem macho	Lisa (Pedicol)	0,372	-0,287; -0,151	*0,002
6,5 mm	Sem macho	Áspera (SAFE)	0,626		
6,5 mm	4,0 mm Pedicol	Lisa (Pedicol)	0,392	-0,444; 0,045	0,058
6,5 mm	4,3 mm SAFE	Áspera (SAFE)	0,536		
6,5 mm	5,0 mm Pedicol	Lisa (Pedicol)	0,403	-0,305; -0,018	*0,002
6,5 mm	5,0 mm SAFE	Áspera (SAFE)	0,626		
6,5 mm	6,0 mm Pedicol	Lisa (Pedicol)	0,290	-0,173; 0,054	0,058
6,5 mm	6,0 mm SAFE	Áspera (SAFE)	0,327		

Abreviações: IC, índice de confiança; P, Macho Pedicol; S, Macho SAFE; SM, Sem macho. O asterisco (*) indica diferença estatística (teste não paramétrico de Mood- $p < 0,05$).

Tabela 4 Comparação da força de resistência ao arrancamento

Diâmetro do Parafuso	Macheamento do Orifício piloto	Tipo de Superfície	Mediana	IC (95%)	p-valor
4,8 mm	Sem Macho	Lisa (Pedicol)	454,90	-36,0; 82,1	0,527
4,8 mm	Sem Macho	Áspera (SAFE)	433,30		
4,8 mm	4,0 mm Pedicol	Lisa (Pedicol)	251,0	-231,0; -73,0	*0,002
4,8 mm	4,3 mm SAFE	Áspera (SAFE)	430,0		
5,5 mm	Sem Macho	Lisa (Pedicol)	532,0	-97,0; 69,0	0,527
5,5 mm	Sem Macho	Áspera (SAFE)	538,0		
5,5 mm	4,5 mm Pedicol	Lisa (Pedicol)	522,0	-9,0; 107,0	0,527
5,5 mm	4,5 mm SAFE	Áspera (SAFE)	491,0		
5,5 mm	5,0 mm Pedicol	Lisa (Pedicol)	383,0	-172,0; 11,0	0,058
5,5 mm	5,0 mm SAFE	Áspera (SAFE)	475,0		
6,5 mm	Sem Macho	Lisa (Pedicol)	617,1	-42,5; 75,7	0,058
6,5 mm	Sem Macho	Áspera (SAFE)	600,7		
6,5 mm	4,5 mm Pedicol	Lisa (Pedicol)	678,0	-37,0; 128,0	0,527
6,5 mm	4,5 mm SAFE	Áspera (SAFE)	671,0		
6,5 mm	5,0 mm Pedicol	Lisa (Pedicol)	649,0	-62,0; 144,0	0,527
6,5 mm	5,0 mm SAFE	Áspera (SAFE)	626,0		
6,5 mm	6,0 mm Pedicol	Lisa (Pedicol)	446,0	-174,0; 74,0	0,058
6,5 mm	6,0 mm SAFE	Áspera (SAFE)	529,0		

Abreviações: IC, índice de confiança; P, Macho Pedicol; S, Macho SAFE; SM, Sem macho. O asterisco (*) indica diferença estatística (teste não paramétrico de Mood- $p < 0,05$).

bons resultados clínicos e experimentais.¹⁴ O aumento da rugosidade da superfície dos implantes estimula o crescimento ósseo, aumenta a taxa de osteointegração e reduz a falha dos implantes.⁵ Os efeitos benéficos da rugosidade da superfície dos implantes sobre a osteointegração têm sido experimentalmente observados.¹¹

A maior resistência ao arrancamento dos parafusos com superfície áspera comparado com os parafusos de superfície lisa foi observada na fase aguda e crônica, após a inserção em vértebras de ovelhas.⁷ Os resultados do presente estudo não corroboram com esses relatos, mas deve ser considerado o modelo experimental utilizado. Em nosso estudo, os ensaios foram realizados com os parafusos inseridos no poliuretano, que apesar de ser amplamente utilizado nessa modalidade de ensaio mecânico deve ser reconhecido como uma limitação. Os benefícios e as limitações reais podem somente ser notados por meio da observação clínica. No entanto, a realização de ensaios mecânicos é o passo inicial para a investigação das propriedades biomecânicas dos implantes. Essa modalidade de teste, utilizando materiais sintéticos e ensaios de arrancamento é de fácil execução e reprodutibilidade e representam a etapa inicial dessa modalidade de investigação experimental.

Os parafusos de superfície áspera não apresentaram superioridade em relação aos parafusos de superfície lisa nos ensaios de arrancamento realizados na fase aguda da inserção dos parafusos. No entanto, deve ser considerado que o aumento da resistência ao arrancamento dos implantes está relacionado com a osteointegração que ocorre na interface entre o implante e o osso. O efeito da osteointegração não pode ser observado no modelo experimental utilizado devido à utilização de corpo de prova sintético e realização do experimento na fase aguda da inserção dos implantes. Estudos adicionais “in vivo” devem ser realizados, permitindo a ocorrência da osteointegração para que o seu efeito possa ser observado sobre a resistência ao arrancamento dos implantes, uma vez que em nossa observação experimental a superfície áspera do implante isoladamente não aumentou a sua resistência ao arrancamento.

Conclusão

Os parafusos pediculares de superfície áspera não apresentaram aumento da resistência ao arrancamento na fase aguda da sua inserção em blocos de poliuretano, quando comparados aos parafusos de superfície lisa. Os parafusos com superfície áspera apresentaram maior torque de inserção em relação aos parafusos de superfície lisa, dependendo do diâmetro do parafuso e do preparo do orifício piloto.

Declaração da Contribuição de Autores

Cada autor contribuiu individual e significativamente para o desenvolvimento deste artigo. Fleury R. B. C.(0000-0001--7643-6466)*: Contribuições substanciais para a concepção e desenho do trabalho, aquisição e interpretação de dados para o trabalho e aprovação final da versão a ser publicada; Shimano A. C.(0000-0002-3119-2362)*: contribuição para a coleta, análise e aprovação final dos dados; Matos T.

D. (0000-0003-3853-502X)*: contribuição para a coleta e análise de dados; Teixeira K. O. (0000-0002-8165-2427)*: contribuição para a coleta e análise de dados; Romero V. (0000-0002-3278-5223)*: revisão para conteúdo intelectual importante; Defino H. L. A. (0000-0003-4274-0130)*: Contribuições substanciais para a concepção e desenho do trabalho, contribuições para a análise e interpretação dos dados para o trabalho e aprovação final da versão a ser publicada.

Conflito de Interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

Referências

- 1 Shea TM, Laun J, Gonzalez-Blohm SA, et al. Designs and techniques that improve the pullout strength of pedicle screws in osteoporotic vertebrae: current status. *Biomed Res Int* 2014; 2014:748393
- 2 De lure F, Bosco G, Cappuccio M, Paderni S, Amendola L. Posterior lumbar fusion by peek rods in degenerative spine: preliminary report on 30 cases. *Eur Spine J* 2012;21(Suppl 1):S50-S54
- 3 Zhang QH, Tan SH, Chou SM. Effects of bone materials on the screw pull-out strength in human spine. *Med Eng Phys* 2006;28(08):795-801
- 4 Hasegawa T, Inufusa A, Imai Y, Mikawa Y, Lim TH, An HS. Hydroxyapatite-coating of pedicle screws improves resistance against pull-out force in the osteoporotic canine lumbar spine model: a pilot study. *Spine J* 2005;5(03):239-243
- 5 Ong JL, Carnes DL, Bessho K. Evaluation of titanium plasma-sprayed and plasma-sprayed hydroxyapatite implants in vivo. *Biomaterials* 2004;25(19):4601-4606
- 6 Wiendieck K, Müller H, Buchfelder M, Sommer B. Mechanical stability of a novel screw design after repeated insertion: can the double-thread screw serve as a back up? *J Neurosurg Sci* 2018;62(03):271-278
- 7 Wang WT, Guo CH, Duan K, et al. Dual pitch titanium-coated pedicle screws improve initial and early fixation in a polyetheretherketone rod semi-rigid fixation system in sheep. *Chin Med J (Engl)* 2019;132(21):2594-2600
- 8 Hsu CC, Chao CK, Wang JL, et al. Increase of pullout strength of spinal pedicle screws with conical core: biomechanical tests and finite element analyses. *J Orthop Res.* 2005;23:788-794
- 9 Rosa RC, Silva P, Shimano AC, et al. Análise biomecânica de variáveis relacionadas à resistência ao arrancamento dos parafusos do sistema de fixação vertebral. *Rev Bras Ortop* 2008;43(07):293-299
- 10 Kueny RA, Kolb JP, Lehmann W, Püschel K, Morlock MM, Huber G. Influence of the screw augmentation technique and a diameter increase on pedicle screw fixation in the osteoporotic spine: pullout versus fatigue testing. *Eur Spine J* 2014;23(10):2196-2202
- 11 Kim YY, Choi WS, Rhyu KW. Assessment of pedicle screw pullout strength based on various screw designs and bone densities-an ex vivo biomechanical study. *Spine J* 2012;12(02):164-168
- 12 Schroeder A, van der Zypen E, Stich H, Sutter F. The reactions of bone, connective tissue, and epithelium to endosteal implants with titanium-sprayed surfaces. *J Maxillofac Surg* 1981;9(01):15-25
- 13 Esses SI, Sachs BL, Dreyzin V. Complications associated with the technique of pedicle screw fixation. A selected survey of ABS members. *Spine* 1993;18(15):2231-2238
- 14 Upasani VV, Farnsworth CL, Tomlinson T, et al. Pedicle screw surface coatings improve fixation in nonfusion spinal constructs. *Spine (Phila Pa 1976)* 2009;34(04):335-343