

INFLUÊNCIA DA CONGRUÊNCIA DO MACHEAMENTO DO ORIFÍCIO PILOTO NA ANCORAGEM DO PARAFUSO PEDICULAR

INFLUENCE OF THE CONGRUENCE OF PILOT HOLE TAPPING ON THE ANCHORAGE OF THE PEDICLE SCREW

INFLUENCIA DE LA CONGRUENCIA DEL TALADRAMIENTO DEL ORIFICIO PILOTO EN EL ANCLAJE DEL TORNILLO PEDICULAR

RODRIGO BARRA CAIADO FLEURY,¹ ANTÔNIO CARLOS SHIMANO,¹ THIAGO DANTAS MATOS,¹ KELSEN DE OLIVEIRA TEIXEIRA,¹ VALÉRIA ROMERO,² HELTON LUIZ APARECIDO DEFINO¹

1. Universidade de São Paulo, Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Departamento de Biomecânica, Medicina e Reabilitação do Aparelho Locomotor, Ribeirão Preto, SP, Brasil.
2. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Ciências Médicas, Departamento de Clínica Médica, Campinas, SP, Brasil.

RESUMO

Objetivos: Observar a influência da congruência do macheamento do orifício piloto na ancoragem dos parafusos pediculares. **Métodos:** Parafusos de 5,5 e 6,5 mm, pertencentes a dois sistemas de fixação vertebral (Pedicol e Safe), foram introduzidos em blocos de poliuretano. Os grupos experimentais foram formados de acordo com o preparo do orifício piloto: A - perfuração com broca de 2,7 mm, B - macheamento do orifício piloto com macho de diâmetro inferior ao diâmetro do parafuso e desenho de rosca congruente, C - macheamento do orifício piloto com macho de diâmetro inferior ao diâmetro do parafuso e desenho de rosca incongruente. Os blocos de poliuretano com os parafusos foram submetidos a ensaio de resistência à tração para avaliar a resistência dos parafusos ao arrancamento. **Resultados:** A utilização do macheamento do orifício piloto de menor tamanho e congruente aumentou a resistência ao arrancamento dos parafusos de superfície rugosa (Safe). Os parafusos de superfície lisa (Pedicol) apresentaram maior resistência ao arrancamento com a utilização do macheamento com menor diâmetro e incongruente. **Conclusões:** A congruência do macho utilizado para o preparo do orifício piloto aumentou a resistência ao arrancamento nos parafusos de superfície rugosa. **Nível de Evidência III; Estudo Terapêutico.**

Descritores: Coluna Vertebral; Parafusos Ósseos; Fenômenos Biomecânicos.

ABSTRACT

Objectives: To observe the influence of the congruence of the tapping of the pilot hole on the anchorage of the pedicle screws. **Methods:** 5.5 and 6.5 mm screws from two vertebral fixation systems (Pedicol and Safe) were inserted into polyurethane blocks. Experimental groups were formed according to the pilot hole preparation: A- drilling with a 2.7 mm drill bit, B- Tapping of the pilot hole with a tap of lesser diameter than the diameter of the screw with a congruent thread design, C- Tapping of the pilot hole with a tap of lesser diameter than the diameter of the screw and an incongruous thread design. The polyurethane blocks with the screws were subjected to a tensile strength test to evaluate the pullout resistance of the screws. **Results:** Using congruent pilot hole tapping of a lesser diameter and congruent thread design increased the pullout resistance of the rough-surface screws (Safe). The screws with a smooth surface (Pedicol) presented greater pullout resistance with tapping of a lesser diameter and incongruous thread design. **Conclusions:** The congruence of the tap used to prepare the pilot hole increased the pullout resistance of the rough-surfaced screws. **Level of Evidence III; Therapeutic Study.**

Keywords: Spine; Bone Screws; Biomechanical Phenomena.

RESUMEN

Objetivos: Observar la influencia de la congruencia del taladramiento del orificio piloto en el anclaje de los tornillos pediculares. **Métodos:** Fueron introducidos tornillos de 5,5 y 6,5 mm, pertenecientes a dos sistemas de fijación vertebral (Pedicol y Safe) en bloques de poliuretano. Los grupos experimentales fueron formados de acuerdo con la preparación del orificio piloto: A- perforación con broca de 2,7 mm, B- taladramiento del orificio piloto con mecha de diámetro inferior al diámetro del tornillo y diseño de rosca congruente, C- taladramiento del orificio piloto con mecha de diámetro inferior al diámetro del tornillo y diseño de rosca incongruente. Los bloques de poliuretano con los tornillos fueron sometidos a ensayo de resistencia a la tracción para evaluar la resistencia de los tornillos al arrancamiento. **Resultados:** El uso del taladramiento del orificio piloto de menor tamaño y congruente aumentó la resistencia al arrancamiento de los tornillos de superficie rugosa (Safe). Los tornillos de superficie lisa (Pedicol) presentaron mayor resistencia al arrancamiento con el uso del taladramiento con menor diámetro e incongruente. **Conclusiones:** La congruencia de la mecha utilizada para la preparación del orificio piloto aumentó la resistencia al arrancamiento en los tornillos de superficie rugosa. **Nivel de Evidencia III; Estudio terapéutico.**

Descriptores: Columna Vertebral; Tornillos Óseos; Fenómenos Biomecânicos.

Estudo realizado no Departamento de Biomecânica, Medicina e Reabilitação do Aparelho Locomotor da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, SP, Brasil.
Correspondência: Rua Joaquim Caetano, 1159, Centro, Jataí, GO, Brasil. 75805-040. caiadomed@hotmail.com

INTRODUÇÃO

Os sistemas de fixação vertebral que utilizam o pedículo vertebral para a ancoragem dos implantes tem sido universalmente utilizados devido às vantagens biomecânicas desses sistemas de fixação.¹

As propriedades biomecânicas dos sistemas de fixação pedicular estão diretamente relacionadas com a ancoragem dos parafusos nos pedículos vertebrais.² A ancoragem dos parafusos nos pedículos vertebrais depende da densidade óssea, do material e desenho do implante e do preparo do orifício piloto.³

No preparo do orifício piloto o diâmetro da perfuração em relação às dimensões do parafuso e o modo de preparo influenciam a ancoragem dos implantes.^{4,5} O diâmetro do orifício piloto deve ser inferior ao diâmetro externo do implante, bem como o machejamento do orifício piloto.⁶ A realização do machejamento do orifício piloto com diâmetro igual ao diâmetro externo do implante reduz a resistência ao arrancamento dos implantes, e tem sido recomendado o machejamento do orifício piloto com diâmetro inferior ao diâmetro externo do parafuso.⁷⁻⁹ O desenho da rosca do macho tem sido apontado como mais um parâmetro relacionado ao preparo do orifício piloto e que influenciaria a resistência ao arrancamento dos implantes, tendo sido recomendado a utilização de macho com diâmetro menor que o implante e com o mesmo desenho de rosca.⁶

O relato da influência do desenho e dimensões da rosca do macho na resistência ao arrancamento dos implantes motivou a realização do estudo. O objetivo do presente estudo foi a avaliação da influência do desenho e dimensões da rosca do macho utilizado no preparo do orifício piloto sobre a resistência ao arrancamento dos parafusos do sistema de fixação pedicular.

MATERIAL E MÉTODOS

O modelo experimental do estudo foi elaborado para que parafusos do mesmo diâmetro (5,5 e 6,5mm) e com desenho e dimensões de rosca diferentes, pertencentes a dois sistemas de fixação vertebral (Pedicol e Safe – Víncula, Brasil), fossem submetidos a ensaios mecânicos de resistência ao arrancamento, após o preparo do orifício piloto com machejamento de menor diâmetro em relação ao diâmetro externo do parafuso pedicular, com a utilização de machos de mesmo diâmetro e desenhos de rosca diferentes.

Foram utilizados blocos de poliuretano com densidade de 10 PCF ou 0,16g/cm³ e dimensão de 5cmx8cmx5cm (Nacional Ltda). No centro da face superior de cada bloco de poliuretano foi realizada a perfuração do orifício piloto com broca de 2,7mm. Os parafusos foram inseridos no orifício piloto formando três grupos experimentais: A- sem o machejamento do orifício piloto; B- com o machejamento do orifício piloto utilizando macho de menor diâmetro que o diâmetro externo do parafuso e com desenho de rosca semelhante; C- com machejamento do orifício piloto utilizando macho com diâmetro menor que o diâmetro externo do parafuso e com desenho de rosca diferente. (Tabela 1) O machejamento do orifício piloto era realizado na mesma profundidade do comprimento do parafuso (40 mm).

Foram utilizados parafusos do sistema de fixação pedicular (Safe Víncula, Brasil) e (Pedicol Plus Víncula, Brasil) com 5,5mm e 6,5mm de diâmetro externo e 40mm de comprimento. (Tabela 2) Os parafusos do sistema de fixação pedicular (Safe Víncula) possuem superfície rugosa, e os parafusos do sistema de fixação pedicular (Pedicol Plus Víncula) possuem superfície lisa. Os parafusos de ambos os sistemas são de titânio F-136 e possuem diâmetro interno cônico.

Cada grupo experimental foi formado de acordo com o tipo de parafuso utilizado (Safe ou Pedicol Plus), diâmetro do parafuso

Tabela 1. Valores dos machos utilizados e respectivos diâmetro externo e passo de rosca.

Macho	Diâmetro externo (mm)	Passo de rosca (mm)
Pedicol 5,0mm	5,0	2,5
Pedicol 6,0mm	6,0	2,5
Safe 5,0mm	5,0	2,25
Safe 6,0mm	6,0	2,25

(5,5 e 6,5mm) e modo de preparo do orifício piloto (A- sem o machejamento do orifício piloto; B- com o machejamento do orifício piloto utilizando macho de menor diâmetro que o diâmetro externo do parafuso e com desenho de rosca semelhante; C- com machejamento do orifício piloto utilizando macho com diâmetro menor que o diâmetro externo do parafuso e com desenho de rosca diferente). Cada grupo experimental foi formado por cinco blocos de poliuretano.

A resistência dos parafusos ao arrancamento foi avaliada por meio da utilização de máquina universal de testes EMIC® (DL 10000; EMIC, São José dos Pinhais, PR, Brasil) – Figura 1. Uma haste foi acoplada a cabeça do parafuso e a força de arrancamento aplicada verticalmente. A resistência de arrancamento foi aplicada na velocidade de 2,0mm/min até o arrancamento do parafuso do bloco de poliuretano.

Análise Estatística

A análise estatística foi realizada por meio de uma abordagem paramétrica, no qual foi utilizado o teste t-*Student* para a comparação das médias de todos os grupos. Prévio ao teste t foi verificado se os dados seguiam todas as restrições de aplicação, normalidade (avaliada por meio do teste (Shapiro – Wilk) e variâncias iguais (por meio do teste F).

Tabela 2. Valores dos machos utilizados e respectivos diâmetro externo e passo de rosca.

Parafuso	Diâmetro externo (mm)	Passo de rosca (mm)
Pedicol 5,0mm	5,5	2,5
Pedicol 6,0mm	6,5	2,5
Safe 5,0mm	5,5	2,25
Safe 6,0mm	6,5	2,25

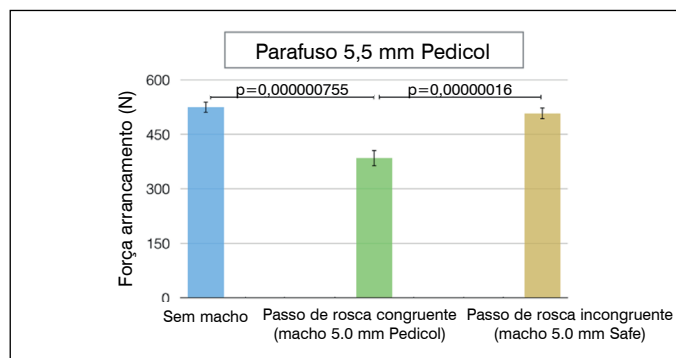


Figura 1. Gráfico ilustra a força de arrancamento nos parafusos Pedicol de 5,5mm nas diferentes modalidades de preparo do orifício piloto.

RESULTADOS

Os resultados dos ensaios de resistência ao arrancamento dos parafusos estão ilustrados na Tabela 3 e Figuras 1 a 4.

O parafuso liso (Pedicol) de 5,5mm e 6,5mm apresentou maior resistência ao arrancamento quando o machejamento do orifício piloto foi realizado com macho de menor diâmetro e passo de rosca diferente do parafuso. (Figuras 1 e 2) Nessa modalidade de parafuso a utilização de machejamento com menor diâmetro e passo de rosca diferente do parafuso aumentou a resistência ao arrancamento dos parafusos. (Figuras 1 e 2) A inserção do parafuso sem o machejamento do orifício piloto aumentou a resistência ao arrancamento quando comparado ao grupo em que o machejamento foi realizado com macho de menor diâmetro e passo de rosca semelhante ao parafuso. (Figuras 1 e 2)

O parafuso rugoso (Safe) de 5,5mm e 6,5mm apresentou maior resistência ao arrancamento quando o machejamento do orifício piloto foi realizado com macho de menor diâmetro e passo de rosca semelhante ao parafuso. (Figuras 3 e 4) Nessa modalidade de

Tabela 3. Valores da média e desvio padrão da força de arrancamento nos diferentes grupos experimentais.

Parafuso (mm) / Modelo do Macho (mm)	Desvio padrão (n)	Média (n)
Pedicol 5,5 / Macho 5,0 Pedicol	22,19	384,38
Pedicol 5,5 / Macho 5,0 Safe	15,34	507,28
Pedicol 5,5 / Sem macheamento	14,86	524,36
Pedicol 6,5 / Macho 6,0 Pedicol	45,40	451,64
Pedicol 6,5 / Macho 6,0 Safe	12,35	568,25
Pedicol 6,5 / Sem macheamento	29,39	622,72
Safe 5,5 / Macho 5,0 Safe	46,80	476,80
Safe 5,5 / Macho 5,0 Pedicol	34,82	365,17
Safe 5,5 / Sem macheamento	48,55	536,35
Safe 6,5 / Macho 6,0 Safe	49,86	518,33
Safe 6,5 / Macho 6,0 Pedicol	26,52	357,10
Safe 6,5 / Sem macheamento	17,31	599,43

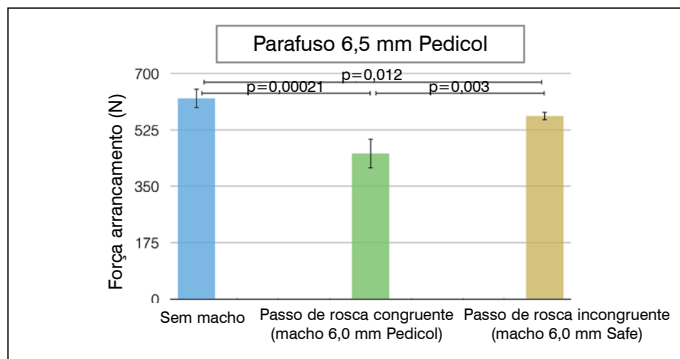


Figura 2. Gráfico ilustra a força de arrancamento nos parafusos Pedicol de 6,5mm nas diferentes modalidades de preparo do orifício piloto.

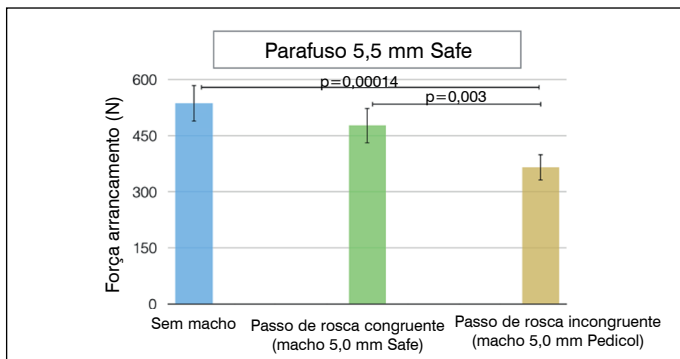


Figura 3. Gráfico ilustra a força de arrancamento nos parafusos Safe de 5,5mm nas diferentes modalidades de preparo do orifício piloto.

parafuso a utilização do macho de menor diâmetro e passo de rosca semelhante ao parafuso aumentou a resistência ao arrancamento dos parafusos. (Figuras 3 e 4) O não macheamento do orifício piloto aumentou a resistência ao arrancamento dos parafusos entre as diferentes modalidades de preparo do orifício piloto somente nos parafusos de 6,5mm. (Figuras 3 e 4) Nos parafusos de 6,5mm o não macheamento do orifício piloto aumentou a resistência ao arrancamento quando comparado com as demais modalidades de preparo do orifício piloto. Nos parafusos de 5,5mm o não macheamento do orifício piloto aumentou a resistência somente em relação ao grupo no qual o preparo do orifício piloto foi realizado com macho de menor diâmetro e passo de rosca diferente do parafuso. (Figuras 3 e 4)

A comparação entre os valores da resistência ao arrancamento dos parafusos nos diferentes grupos experimentais está ilustrada nas Tabelas 3 e 4.

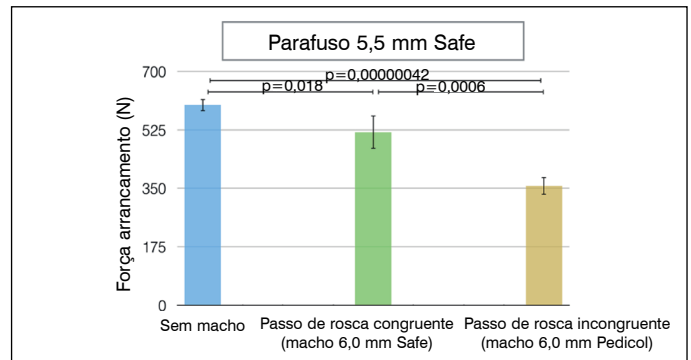


Figura 4. Gráfico ilustra a força de arrancamento nos parafusos Safe de 6,5mm nas diferentes modalidades de preparo do orifício piloto.

Tabela 4. Resultado da comparação dos valores da força de arrancamento entre os grupos experimentais (teste t Student - $p < 0,05$).

Comparações	Teste t
Pedicol 5,5mm 5P vs Pedicol 5,5mm 5S	0,0000016
Pedicol 5,5mm SM vs Pedicol 5,5mm 5P	0,000000755
Pedicol 5,5mm SM vs Pedicol 5,5mm 5Safe	0,26
Pedicol 6,5mm 6P vs Pedicol 6,5mm 6Safe	0,003
Pedicol 6,5mm SM vs Pedicol 6,5mm 6P	0,00021
Pedicol 6,5mm SM vs Pedicol 6,5mm 6Safe	0,012
Safe 5,5mm 5S vs Safe 5,5mm 5P	0,003
Safe 5,5mm SM vs Safe 5,5mm 5P	0,00014
Safe 5,5mm SM vs Safe 5,5mm 5S	0,08
Safe 6,5mm 6S vs Safe 6,5mm 6P	0,0006
Safe 6,5mm SM vs Safe 6,5mm 6P	0,00000042
Safe 6,5mm SM vs Safe 6,5mm 6S	0,018

5P= Macho 5,0mm Pedicol; 5S= Macho 5,0mm Safe; 6S= Macho 6,0mm Safe; 6P= Macho 6,0mm Pedicol; SM= Sem macheamento.

DISCUSSÃO

O desenho da rosca do macho utilizado para o preparo do orifício piloto influenciou a resistência ao arrancamento dos parafusos do sistema de fixação vertebral utilizados nesse estudo. Nos parafusos de superfície rugosa (Safe) a congruência do macheamento aumentou a resistência dos parafusos pediculares ao arrancamento. Nos parafusos de superfície lisa (Pedicol) a resistência ao arrancamento foi observado com a utilização do macheamento incongruente.

Os parafusos pediculares tem sido amplamente utilizado nos sistemas de fixação vertebral, e a sua inserção no pedículo vertebral tem sido realizada por meio da perfuração do orifício piloto, seguida do macheamento e inserção dos parafusos no pedículo vertebral. Esses passos técnicos foram influenciados pela técnica da osteossíntese dos ossos longos, na qual o orifício piloto era realizado para a inserção precisa dos parafusos no osso cortical. O macheamento do orifício piloto permitia a configuração do desenho do parafuso no osso cortical e a sua adaptação, evitando as fraturas do osso cortical adjacente.⁴ No osso cortical o macheamento era realizado com o mesmo diâmetro do parafuso. No entanto, nos ossos esponjosos e na coluna vertebral o macheamento do orifício piloto com o mesmo diâmetro do parafuso ocasionava redução da resistência dos implantes ao arrancamento.⁸⁻⁹

O macheamento do orifício piloto com o mesmo diâmetro dos parafusos reduz a resistência ao arrancamento dos parafusos e não apresenta vantagens.⁵ A utilização do macheamento dos parafusos dos sistemas de fixação vertebral tem sido realizada com o diâmetro menor que o diâmetro do parafuso pedicular, e os estudos biomecânicos tem evidenciado a superioridade biomecânica do macheamento do orifício piloto com diâmetro menor que o diâmetro dos parafusos pediculares.⁶ Observaram que o macheamento com diâmetro menor que 1mm aumentava a resistência ao arrancamento dos parafusos pediculares.⁷ Ao contrário do macheamento dos ossos corticais, o macheamento do orifício piloto dos parafusos

pediculares com diâmetro menor que o diâmetro dos parafusos aumenta a resistência dos parafusos pediculares ao arrancamento, e tem sido utilizada nos sistemas de fixação vertebral.¹⁰

O macheamento do orifício piloto dos parafusos pediculares tem sido utilizado com muita frequência para a colocação dos parafusos pediculares, considerando as razões biomecânicas mencionadas e também como medida de segurança para a verificação da integridade das paredes dos pedículos vertebrais antes da introdução dos parafusos pediculares, além de permitir que o parafuso seja inserido com menor resistência facilitando a inserção do parafuso. A utilização de orifício piloto de menor diâmetro e a abolição do seu macheamento aumenta a resistência dos parafusos ao arrancamento.⁶ Esse fato foi observado em todos os grupos experimentais do nosso estudo. No entanto, durante a implantação cirúrgica dos parafusos pediculares a abolição do macheamento impede a verificação da integridade das paredes do pedículo antes da inserção dos implantes.

O macheamento do orifício piloto com a utilização de macho com menor diâmetro em relação ao parafuso está fundamentado pelos estudos biomecânicos realizados⁷ e a importância do desenho do passo da rosca do macho foi relatado por Bohl et al. Esses autores observaram em ensaios mecânicos que a utilização de machos incongruentes, ou seja, com passo da rosca diferente do parafuso pedicular ocasionam a redução da resistência ao arrancamento dos implantes.⁶

No presente estudo a influência da incongruência do passo de rosca dos machos no preparo do orifício piloto foi parcialmente observada. Somente uma modalidade de parafusos (Safe) que possui superfície rugosa apresentou o padrão descrito por Bohl et al., no qual a incongruência do macheamento ocasionou a resistência dos parafusos ao arrancamento. Nos parafusos de superfície lisa (Pedicol) o efeito observado em nosso estudo foi contrário ao descrito por Bohl et al., tendo sido observado maior resistência ao arrancamento dos implantes com a utilização do macho incongruente.

O modelo experimental utilizado para avaliar a hipótese de que a congruência do macheamento do orifício piloto influencia na resistência ao arrancamento dos parafusos pediculares deve considerar que a poliuretana é de natureza homogênea e similar

ao osso esponjoso da vértebra, porém na realidade é um material sintético e com propriedades distintas da vértebra. No entanto, esse modelo tem sido largamente utilizado e relatado como de validade clínica.^{11,12} Deve ser também considerado na análise do modelo, que os parafusos dos sistemas de fixação pedicular são submetidos principalmente às cargas cíclicas, ao contrário da resistência ao arrancamento dos parafusos pediculares utilizados no estudo. Essas considerações não invalidam o modelo utilizado e os resultados, mas servem para auxiliar na análise crítica dos resultados.

A resistência ao arrancamento dos parafusos pediculares apresenta grande importância na estabilidade mecânica dos sistemas de fixação pedicular e depende dos implantes, da densidade do tecido ósseo e do preparo do orifício piloto.^{4,5} O preparo do orifício piloto é o único parâmetro que depende da atuação do cirurgião no ato cirúrgico e pode alterar o resultado final do tratamento realizado.

A influência da congruência do macheamento do orifício piloto e na resistência ao arrancamento dos implantes pode ser apenas um dos fatores que fazem parte da constelação de elementos que influenciam a estabilidade da ancoragem dos implantes. Em nosso estudo essa influência pode somente ser observada parcialmente nos parafusos de superfície rugosa e os resultados, que não corroboram totalmente os estudos realizados,⁶ reforçando a necessidade de estudos adicionais nessa área para confirmar a relevância da congruência do macheamento do orifício piloto na ancoragem dos parafusos pediculares.

CONCLUSÃO

A congruência do macheamento do orifício piloto influenciou a resistência ao arrancamento dos parafusos pediculares de superfície rugosa. Nos parafusos pediculares de superfície lisa a utilização de machos incongruentes aumentou a resistência ao arrancamento dos implantes.

Todos os autores declaram não haver nenhum potencial conflito de interesses referente a este artigo.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES: Cada autor contribuiu individual e significativamente para o desenvolvimento deste artigo. RBCF: contribuições substanciais para a concepção e desenho do trabalho, aquisição e interpretação dos dados para o trabalho e aprovação final da versão a ser publicada. KT: contribuição para coleta e análise de dados. TDM: contribuição para coleta e análise de dados. ACS: contribuições substanciais para a coleta de dados do trabalho. HD: 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. VR: revisão de conteúdo intelectual importante.

REFERÊNCIAS

1. Tsai WC, Chen PQ, Lu TW, Wu SS, Shih KS, Lin SC. Comparison and prediction of pullout strength of conical and cylindrical pedicle screws within synthetic bone. *BMC Musculoskelet Disord*. 2009;10:44.
2. Weinstein JN, Rydevik BL, Rauschnig W. Anatomic and technical considerations of pedicle screw fixation. *Clin Orthop Relat Res*. 1992;(284):34-46.
3. Koranyi E, Bowman CE, Knecht CD, Janssen M. Holding power of orthopedic screws in bone. *Clin Orthop Relat Res*. 1970;72:283-6.
4. Oktenoğlu BT, Ferrara LA, Andalkar N, Ozer AF, Sarioğlu AC, Benzel EC. Effects of hole preparation on screw pullout resistance and insertional torque: a biomechanical study. *J Neurosurg*. 2001;94(1 Suppl):91-6.
5. Zdeblick TA, Kunz DN, Cooke ME, McCabe R. Pedicle screw pullout strength. Correlation with insertional torque. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1993;18(12):1673-6.
6. Bohl DD, Basques BA, Golinvaux NS, Toy JO, Matheis EA, Bucklen BS, et al. Undertapping of Lumbar Pedicle Screws Can Result in Tapping With a Pitch That Differs From That of the Screw, Which Decreases Screw Pullout Force. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2015;40(12):E729-34.
7. Chatzistergos PE, Sapkas G, Kourkoulis SK. The influence of the insertion technique on the pullout force of pedicle screws: an experimental study. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2010;35(9):E332-7.
8. Phan K, Hogan J, Maharaj M, Mobbs RJ. Cortical Bone Trajectory for Lumbar Pedicle Screw Placement: A Review of Published Reports. *Orthop Surg*. 2015;7(3):213-21.
9. Derincek A, Wu C, Mehbod A, Transfeldt EE. Biomechanical comparison of anatomic trajectory pedicle screw versus injectable calcium sulfate graft-augmented pedicle screw for salvage in cadaveric thoracic bone. *J Spinal Disord Tech*. 2006;19(4):286-91.
10. Kuklo TR, Lehman RA. Effect of various tapping diameters on insertion of thoracic pedicle screws: a biomechanical analysis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2003;28(18):2066-71.
11. Conrad BP, Cordista AG, Horodyski M, Rehtine GR. Biomechanical evaluation of the pullout strength of cervical screws. *J Spinal Disord Tech*. 2005;18(6):506-10.
12. Brown GA, McCarthy T, Bourgeault CA, Callahan DJ. Mechanical performance of standard and cannulated 4.0-mm cancellous bone screws. *J Orthop Res*. 2000;18(2):307-12.