

INFLUÊNCIA DO DIÂMETRO DO ORIFÍCIO PILOTO NA RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO DOS PARAFUSOS DO CORPO VERTEBRAL

THE INFLUENCE OF PILOT HOLE DIAMETER ON SCREW PULLOUT RESISTANCE

Helton L. A. Defino¹, Célia Regina Galloro Wichr², Antônio Carlos Shimano³, Frank Kandziora⁴

RESUMO

Foram realizados ensaios mecânicos com o objetivo de avaliar a influência do diâmetro do orifício piloto em relação ao diâmetro interno do parafuso na resistência ao arrancamento dos parafusos do sistema de fixação vertebral aplicados no corpo da vértebra. O estudo foi realizado em duas etapas. Na primeira etapa foram utilizados corpos de prova de poliuretano para a colocação de parafusos de 5mm e, 6mm, e na segunda etapa os parafusos foram inseridos na face lateral dos corpos das vértebras lombares de suínos. O orifício piloto foi realizado com brocas de diâmetro menor, igual ou maior que o diâmetro interno do parafuso. Foram realizados ensaios mecânicos de arrancamento em máquina universal de teste para a avaliação da força máxima de arrancamento dos implantes. Foi observado que o diâmetro do orifício piloto em relação ao diâmetro interno do parafuso influencia na resistência ao arrancamento dos implantes.

Descritores: Coluna vertebral; Parafusos osso; Biomecânica.

Citação: Defino HLA, Wichr CRG, Shimano AC, Kandziora F. Influência do diâmetro do orifício piloto na resistência ao arrancamento dos parafusos do corpo vertebral. *Acta Ortop Bras.* [periódico na Internet]. 2007; 15(2):76-79. Disponível em URL: <http://www.scielo.br/aob>.

SUMMARY

Mechanical assays were performed in order to assess the influence of pilot hole diameter versus screw's inner diameter on screw pullout resistance in the vertebral fixation systems applied to the vertebral body. The study was conducted in two stages. In the first, polyurethane test bodies were used for placing 5 and 6 mm screws, and, in the second stage, the screws were inserted into the lateral surface of the lumbar vertebral bodies of pigs. The pilot hole was built with drills with smaller, similar or larger diameter than screws' inner diameter. Mechanical pullout assays were performed using a universal test machine for the assessment of maximum pullout screw resistance. The diameter of the pilot hole versus screw's inner diameter was shown to influence screw pullout resistance.

Keywords: Spine; Bone screw; Biomechanics.

Citation: Defino HLA, Wichr CRG, Shimano AC, Kandziora F. The influence of pilot hole diameter on screw pullout resistance. *Acta Ortop Bras.* [serial on the Internet]. 2007; 15(2): 76-79. Available from URL: <http://www.scielo.br/aob>.

INTRODUÇÃO

Os sistemas de fixação vertebral são constituídos por diferentes componentes: componentes de ancoragem (parafusos, ganchos, fios de cerclagem); componentes longitudinais (hastes, placas); conectores transversais e acessórios (arruelas e porcas). Os componentes de ancoragem do sistema de fixação podem ser do tipo penetrante (parafusos) e não penetrante (ganchos e fios de cerclagem), e atuam como ponto de ancoragem dos sistemas de fixação nas vértebras, sobre os quais as forças de correção ou de neutralização são aplicadas⁽¹⁻⁴⁾

Os parafusos tem sido muito utilizados como elementos de ancoragem dos sistemas de fixação vertebral e têm sido inseridos nos pedículos, corpo vertebral e maciço articular. A colocação dos parafusos na vértebra requer a confecção do orifício piloto, cuja dimensão em relação ao diâmetro externo ou interno do parafuso está relacionada com o torque de inserção⁽⁵⁻⁸⁾. Desse modo, a confecção

do orifício piloto pode afetar as propriedades biomecânicas dos parafusos ancorados nas vértebras e influenciar as propriedades biomecânicas de todo o sistema de fixação vertebral com possível repercussão sobre o resultado final do tratamento.

O objetivo do estudo foi determinar a possível influência do diâmetro do orifício piloto na resistência ao arrancamento dos implantes utilizados na fixação da coluna vertebral, com ênfase para a fixação anterior do corpo vertebral.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados no estudo 168 blocos de poliuretano e 60 vértebras da coluna lombar de suínos da raça Landrace, machos com idade média de 150 dias e peso médio de 881,20 Kg. As vértebras foram dissecadas, separadas e conservadas em freezer à temperatura média de -20° C até a realização dos ensaios.

O implante utilizado no estudo foi o parafuso USS (Synthes) de aço inoxidável e com diâmetros de 5 e, 6mm (Figura 1), que foram

Trabalho realizado no Departamento de Biomecânica, Medicina e Reabilitação do Aparelho Locomotor da FMRP-USP

Endereço de correspondência: Departamento de Biomecânica, Medicina e Reabilitação do Aparelho Locomotor da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo – Avenida Bandeirantes, 3900 – 11º and – Campus Universitário - Ribeirão Preto/São Paulo - (16) 3602-2845/3633-03336 - hladefin@fmrp.usp.br

1 - Professor Associado do Departamento de Biomecânica, Medicina e Reabilitação do Aparelho Locomotor da FMRP-USP

2 - Aluna do Curso de Pós-Graduação do Departamento de Biomecânica, Medicina e Reabilitação do Aparelho Locomotor da FMRP-USP

3 - Professor Doutor do Departamento de Biomecânica, Medicina e Reabilitação do Aparelho Locomotor da FMRP-USP

4 - Chefe do Setor de Cirurgia da Coluna Vertebral do Departamento de Doenças do Aparelho Locomotor – Hospital Charité - Berlin Head of Spine Centre

Trabalho recebido em 15/08/06 e aprovado em 15/10/06

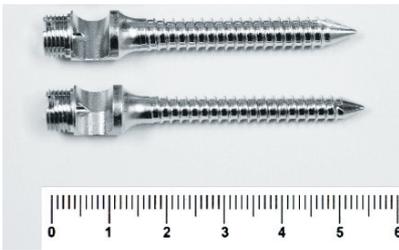


Figura 1 – Parafusos utilizados no estudo

inseridos nos corpos de prova de poliuretana e na face lateral dos corpos vertebrais das vértebras lombares de suínos após o preparo do orifício piloto com brocas de aço. A profundidade da perfuração do orifício piloto correspondia à profundidade da inserção dos parafusos, que foi padronizada em 30mm

para todos os corpos de prova e diâmetros dos parafusos.

O estudo foi realizado em duas etapas. Na primeira etapa foram realizados ensaios mecânicos com os parafusos de 5 e 6mm aplicados nos corpos de prova de poliuretana e com a realização de orifícios pilotos de diferentes diâmetros acima e abaixo do diâmetro interno do parafuso. A análise dos valores dos ensaios mecânicos realizados nos corpos de prova de poliuretana permitiu a escolha de um valor do diâmetro do orifício piloto acima e abaixo do diâmetro interno do parafuso para serem utilizados na segunda fase do estudo.

O diâmetro das brocas utilizadas para a realização dos orifícios pilotos para a inserção dos parafusos de 5mm (3,8mm de diâmetro interno) na poliuretana foi de 2,5mm; 2,7mm; 3,0mm; 3,2mm; 3,5mm; 3,8mm; 4,0mm e 4,5mm. Para a inserção dos parafusos de 6mm (4,8mm de diâmetro interno) na poliuretana os diâmetros das brocas foram: 3,5mm; 4,0mm; 4,5mm; 4,8mm; 5,0mm e 5,5mm. Na segunda etapa do estudo foram utilizadas brocas de diâmetro de 2,5mm; 3,8mm e 4,5mm para o preparo do orifício piloto nos corpos de prova de osso bovino e brocas de 3,5mm; 4,8mm e 5,5mm para os parafusos de 6mm. Desse modo foram realizadas perfurações com o diâmetro do orifício piloto menor, igual e maior que o diâmetro interno do parafuso.

Os ensaios mecânicos de arrancamento dos implantes foram realizados em Máquina Universal de Ensaio (EMIC®). Os corpos de prova foram fixados e a parte superior do parafuso foi tracionada por meio de cabo de aço, sobre o qual a força era aplicada para promover o arrancamento do parafuso (Figura 2) A máquina universal de teste estava acoplada a um microcomputador e a célula de carga de 200 Kgf e por meio do software TESC® a força aplicada era registrada até o arrancamento do implante. Foram realizados ensaios mecânicos em 12 corpos de prova de poliuretana e 10 vértebras da coluna lombar de suínos para cada diâmetro do orifício piloto estudado, perfazendo um total de 228 ensaios mecânicos.



Figura 2 – Parafuso inserido na vértebra lombar de suíno e o dispositivo colocado na cabeça do parafuso para a aplicação da força durante o ensaio mecânico de arrancamento.

A comparação dos resultados dos ensaios realizados na poliuretana foi realizado por meio da análise de variância (ANOVA) com o objetivo de verificar se existia diferença entre as médias das brocas para cada parafuso separadamente para cada uma das variáveis força e rigidez. Após a análise de variância ANOVA se constatado diferença entre as médias foi feito o teste de comparações múltiplas (Tukey) para a verificação de qual ou quais das brocas foram responsáveis por esta diferença. Foi adotado o nível de significância 5% ($p < 0,05\%$). para a com-

paração entre os valores obtidos com os diferentes diâmetros da perfuração do orifício piloto.

A comparação dos resultados do ensaios de arrancamento dos parafusos inseridos nas vértebras de suínos e a comparação entre os grupos foi realizada pelo método do modelo linear de efeitos mistos (efeitos aleatórios e fixos), tendo sido estabelecido o nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

RESULTADOS

Os resultados serão apresentados de acordo com a natureza do corpo de prova utilizado no ensaio e com o diâmetro do parafuso. Os resultados do teste de arrancamento dos parafusos de 5mm inseridos nos corpos de prova de poliuretana estão representados na Tabela 1 e Figura 3.

Diâmetro da perfuração(mm)	Força máxima de arrancamento (N)
2,5 (a)	41,28 ± 2,73
2,7 (a)	41,12 ± 2,43
3,0 (a) (b)	38,55 ± 2,36
3,2 (b)	36,13 ± 1,92
3,5 (c)	33,78 ± 1,70
3,8 (d)	28,05 ± 1,79
4,0 (e)	20,04 ± 1,19
4,5 (f)	4,35 ± 0,81

Tabela 1- Valores da força de arrancamento dos parafusos de 5mm inseridos nos corpos de prova de poliuretana e com diferentes diâmetros do orifício piloto.

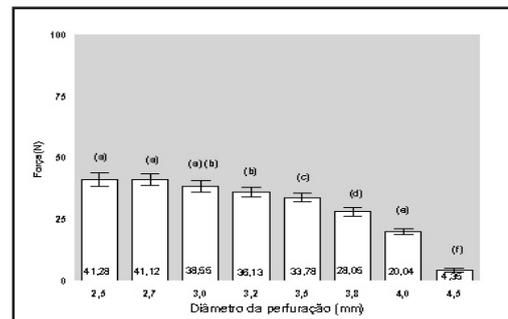


Figura 3 – Média da força máxima de arrancamento dos parafusos de 5mm inseridos nos corpos de prova de poliuretana e com diferentes diâmetros do orifício piloto.

Os ensaios de arrancamento dos parafusos de 5mm inseridos nos corpos de prova de poliuretana mostrou que ocorreu aumento da força máxima de arrancamento dos implantes com a redução do diâmetro do orifício piloto em relação ao diâmetro interno do parafuso. Foi observada diferença estatística entre todas as perfurações realizadas com o diâmetro menor que o diâmetro interno do parafuso. Na ordem decrescente dos diâmetros da perfuração foi observada diferença estatística entre a perfuração de 3,5mm e a perfuração correspondente ao diâmetro interno do parafuso (3,8mm). A perfuração imediatamente abaixo da perfuração de 3,5mm foi a perfuração de 3,2mm, e foi observado diferença estatística entre os valores da força máxima de arrancamento entre elas. Não foi observada diferença estatística entre os valores da força máxima de arrancamento com os diâmetros da perfuração de 3,2mm e 3,0mm, e também entre os diâmetros de 3 mm, 2,7mm e 2,5mm. Desse modo, a partir de 3,2mm não foi observado dife-

rença estatística entre a comparação dos valores imediatamente decrescentes da perfuração.

Os resultados dos ensaios de arrancamentos dos parafusos de 6mm inseridos na poliuretana estão representados na Tabela 2 e Figura 4. Foi observado aumento da força máxima de arrancamento dos implantes com a perfuração do orifício piloto com diâmetro menor que o diâmetro interno do parafuso (4,8mm). Foi observada diferença estatística significativa entre todos os valores da perfuração em relação ao diâmetro interno do parafuso (4,8mm) e também entre a comparação dos valores entre si das perfurações menores que o diâmetro interno do parafuso.

Foi observado diminuição dos valores da força máxima de arrancamento com o aumento do diâmetro do orifício piloto em relação ao diâmetro interno do parafuso. A diferença observada entre os valores das perfurações abaixo do diâmetro interno do parafuso foram significativas em relação ao diâmetro interno do parafuso (3,8mm) e entre os valores das perfurações entre si (4,0mm e 4,5mm).

Os resultados dos ensaios de arrancamento dos parafusos de 5mm inseridos nos corpos vertebrais de suínos estão representados na Tabela 3 e Figura 5. Foi observado aumento da força máxima de arrancamento dos implantes com a perfuração do orifício piloto com 2,5mm, abaixo do diâmetro interno do parafuso (3,8mm), mas a diferença não foi estatisticamente significativa. Os valores da força máxima de arrancamento foram menores com a perfuração do orifício piloto com a broca de 4,5mm, que era de diâmetro maior que o diâmetro interno do parafuso, e a diferença foi estatisticamente significativa.

Os resultados dos ensaios de arrancamento dos parafusos de 6mm inseridos nos corpos vertebrais de suínos estão na Tabela 4 e Figura 6. Foi observado aumento dos valores da força máxima de arrancamento dos implantes com a perfuração do orifício piloto de 3,5mm (menor que o diâmetro interno do parafuso) e redução da força máxima de arrancamento com a perfuração do orifício piloto com diâmetro de 5,5mm (maior que o orifício piloto). As diferenças entre os valores da força máxima de arrancamento dos implantes foi estatisticamente significativa para os valores abaixo e acima do diâmetro interno do parafuso.

Diâmetro da perfuração (mm)	Força máxima de arrancamento (N)
3,5 (a)	68,55 ± 5,23
4,0 (b)	62,17 ± 3,70
4,5 (c)	49,45 ± 2,69
4,8 (d)	38,68 ± 2,01
5,0 (e)	27,83 ± 3,29
5,5 (f)	6,03 ± 0,89

Tabela 2 - Valores da força de arrancamento dos parafusos de 6mm inseridos nos corpos de prova de poliuretana e com diferentes diâmetros do orifício piloto.

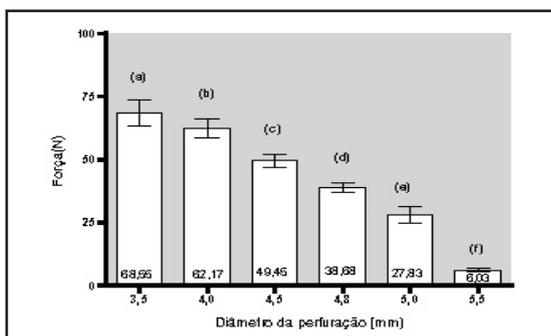


Figura 4 - Média da força máxima de arrancamento dos parafusos de 6mm inseridos nos corpos de prova de poliuretana e com diferentes diâmetros do orifício piloto.

Diâmetro da perfuração (mm)	Força máxima de arrancamento (N)
2,5	1.284,29 ± 249,46
3,8	974,11 ± 144,45
4,5	543,74 ± 102,49

Tabela 3 - Valores da força de arrancamento dos parafusos de 5mm inseridos nos corpos das vértebras lombares de suínos e com diferentes diâmetros do orifício piloto.

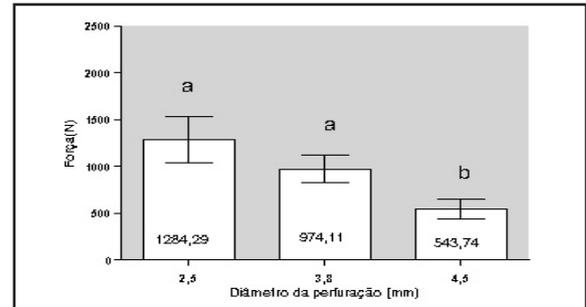


Figura 5- Média da força máxima de arrancamento dos parafusos de 5mm inseridos nos corpos das vértebras lombares de suínos e com diferentes diâmetros do orifício piloto.

Diâmetro da perfuração (mm)	Força máxima de arrancamento (N)
3,5	1806,64 ± 214,50
4,8	1537,42 ± 326,95
5,5	824,81 ± 138,54

Tabela 4- Valores da força de arrancamento dos parafusos de 6mm inseridos nos corpos das vértebras lombares de suínos e com diferentes diâmetros do orifício piloto.

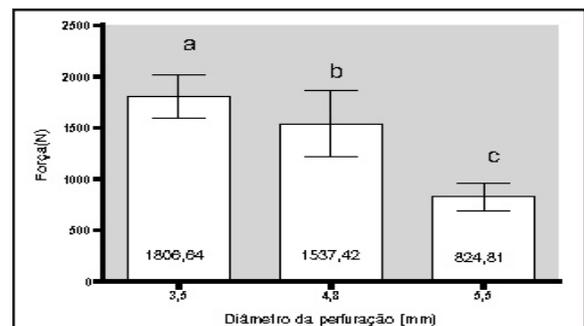


Figura 6 - Média da força máxima de arrancamento dos parafusos de 6mm inseridos nos corpos das vértebras lombares de suínos e com diferentes diâmetros do orifício piloto.

DISCUSSÃO

Os parafusos pertencem à categoria dos implantes penetrantes com resistência ao arrancamento e têm sido um dos implantes mais utilizados nas cirurgias de fixação vertebral⁽⁴⁾. Os parafusos possuem diferentes partes: cabeça, diâmetro externo, diâmetro interno, rosca e passo de rosca. O diâmetro externo é o maior diâmetro entre as bordas externas das roscas dos parafusos e o diâmetro interno é o diâmetro do corpo do parafuso sobre o qual as roscas estão fixadas^(2,4). Os parafusos são de um modo geral classificados em parafusos do tipo cortical ou esponjoso de acordo com a sua rosca e seu diâmetro interno. Os parafusos do tipo cortical apresentam rosca de menor diâmetro, menor distância entre os passos de rosca e menor diâmetro. Os parafusos do tipo

esponjoso apresentam roscas maiores, maior distância entre os passos de rosca e menor diâmetro interno^(2,4).

Os parafusos possuem diferentes partes com distintas funções mecânicas: cabeça, corpo e ponta. O corpo do parafuso possui a parte externa formada pela rosca do parafuso e a parte interna maciça, denominada de alma do parafuso^(2,4).

A parte interna do parafuso proporciona a resistência à torção e momentos de flexão, e é proporcional ao terceira potência do diâmetro interno ($R = \pi D^3/32$). A parte rosqueada do parafuso está mais relacionada com a resistência ao arrancamento dos parafusos^(1,4,5).

A resistência ao arrancamento dos parafusos é um fenômeno complexo e está ainda relacionado a outros fatores adicionais à rosca do parafuso, como a qualidade e densidade do tecido ósseo e o orifício piloto^(1,7-9).

O orifício piloto é realizado para orientar e facilitar a introdução dos parafusos no interior da vértebra. Os parafusos inseridos no corpo vertebral ficam em contato com o osso esponjoso, com exceção daqueles que atravessam a cortical oposta. Durante a inserção do parafuso no corpo vertebral o osso esponjoso adjacente é compactado, produzindo uma interface mais resistente entre o implante e osso adjacente, que resulta em aumento da resistência ao arrancamento dos implantes^(4,10).

Teoricamente a realização de orifícios pilotos de menor diâmetro em relação ao diâmetro interno do parafuso aumenta a quantidade de osso compactado ao redor do parafuso, aumentando a resistência ao arrancamento dos implantes.

Em ensaios anteriores observamos essa relação entre o diâmetro do orifício piloto e o diâmetro interno do parafuso com relação à força de arrancamento. Nesse ensaio alteramos a aplicação da força de arrancamento, o local da inserção do parafuso e tipo do corpo de prova, e os resultados foram concordantes com as observações anteriores. A redução do diâmetro do orifício piloto em relação ao diâmetro interno do parafuso aumenta a resistência ao arrancamento dos implantes e o aumento do diâmetro do orifício piloto reduz a resistência ao arrancamento dos implantes.

A observação do comportamento da força máxima necessária para o arrancamento dos implantes à medida que o diâmetro do orifício piloto era reduzido, mostrou o aumento da resistência ao arrancamento dos implantes. No entanto, a partir de determinados valores a diferença não foi estatisticamente significativa, indicando talvez que a partir de um determinado valor limite do diâmetro do orifício piloto a capacidade da impactação do osso esponjoso ao redor do implante vertebral não dependa mais do diâmetro do orifício piloto. A impactação do osso esponjoso que ocorre ao redor dos implantes não tem sido estudada e não sabemos até o momento as conseqüências biológicas e biomecânicas a longo prazo dessas microfaturas que são produzidas pela inserção dos implantes.

O aumento do orifício piloto provocou a redução da resistência dos implantes ao arrancamento e foi observado diferença estatística em todos os valores abaixo do diâmetro interno do parafuso e também diferença estatística entre os diferentes valores do diâmetro do

orifício piloto. Esse resultado mostra a relação direta entre a redução da resistência ao arrancamento dos implantes e o aumento do diâmetro do orifício piloto em relação ao diâmetro interno dos parafusos. À medida que maior quantidade de osso é removido durante a perfuração, ocorre a impactação de menor quantidade de osso ao redor do parafuso, enfraquecendo a interface entre o implante e o osso ao redor, e conseqüentemente reduzindo a resistência ao arrancamento dos implantes.

A resistência dos implantes ao arrancamento é um fenômeno complexo e dependente de inúmeros fatores^(4,5,6,10,11). No modelo experimental que utilizamos procuramos simular a situação da colocação dos implantes em corpos de prova de matriz homogênea, justificando a utilização dos corpos de prova de madeira e poliuretano, que têm sido utilizados nos experimentos relacionados a esse tema. A utilização das vértebras de suínos está relacionada à dificuldade da obtenção de vértebras humanas que não sejam osteoporóticas e possuam características semelhantes com relação à densidade óssea. Não podemos deixar de mencionar as dificuldades médico-legais atuais para a obtenção de vértebras de cadáveres para esse tipo de estudo e que tem conduzido para a utilização de vértebras de animais. No entanto, a natureza dos corpos de prova não interferiu nos objetivos do estudo, pois estávamos interessados apenas no estudo de um dos parâmetros envolvidos na resistência ao arrancamento dos parafusos, e foi possível estabelecer e repetir a relação entre os parâmetros estudados nos diferentes corpos de prova.

A resistência dos parafusos ao arrancamento é dependente de muitos fatores, mas foi possível estabelecer a relação entre o diâmetro do orifício piloto e o diâmetro interno do parafuso na resistência ao arrancamento dos implantes. Esse fato possui grande aplicação prática e deve ser observado durante a colocação de parafusos nos corpos vertebrais com o objetivo de obter-se o máximo rendimento dos implantes por meio do conhecimento das suas propriedades e características biomecânicas.

CONCLUSÃO

Nos ensaios mecânicos realizados o diâmetro do orifício piloto em relação ao diâmetro interno do parafuso influenciou na resistência ao arrancamento do parafuso. A perfuração do orifício piloto com diâmetro menor que o diâmetro interno aumenta a resistência ao arrancamento do parafuso, e a perfuração do orifício piloto com diâmetro maior que o diâmetro interno do parafuso diminui a resistência ao arrancamento do parafuso.

AGRADECIMENTOS

Trabalho realizado com o apoio da FAPES e CAPES -PROBRAL.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Hirano T, Hasegawa K, Takahashi HE, Uchiyama S, Hara T, Washio T et al. Structural characteristics of the pedicle and its role in screw stability. *Spine*. 1997; 22:2504-9.
2. Brownwe DB, Jupiter JB, Levine AM, Trafton PG. *Skeletal Trauma*. 3rd ed.. Philadelphia: Saunders; 2004.
3. Chen SI, Lin RM, Chang CH. Biomechanical investigation of pedicle screw-vertebrae complex: a finite element approach using bonded and contact interface conditions. *Med Eng Phys*. 2003; 25:275-82.
4. Benzel EC. *Biomechanics of spine stabilization*. New York: Thieme; 2001.
5. Carmouche JJ, Molinari RW, Gerlinger T, Devine J, Patience T. Effects of pilot hole preparation technique on pedicle screw fixation in different regions of the osteoporotic thoracic and lumbar spine. *J Neurosurg Spine*. 2005; 3:364-70.
6. Daftari TK, Horton WC, Hutton WC. Correlations between screw hole preparation, torque of insertion, and pullout strength for spinal screws. *J Spinal Disord*. 1994; 7:139-45.
7. George DC, Krag MH, Johnson CC, Van Hal ME, Haugh LD, Grobler LJ. Hole preparation techniques for transpedicle screws. Effect on pull-out strength from human cadaveric vertebrae. *Spine*. 1991; 16:181-4.
8. DeCoster TA, Heetkerks DB. Optimizing bone screw pullout force. *J Orthop Trauma*. 1990; 4:169-74.
9. Halvorson TL, Kelley LA, Thomas KA, Whitecloud TS III, Cook SD. Effects of bone mineral density on pedicle screw fixation. *Spine*. 1994; 19:2415-20.
10. Öktenoglu BT, Ferreira LA, Andalkar BA, Özer AF, Sario'glu AC, Benzel EC. Effects of hole preparation on screw pullout resistance and insertional torque: a biomechanical study. *J Neurosurg*. 2006; 94:91-6.
11. Abshire BB, McLain RF, Valdevit A, Kambic HE. Characteristics of pullout failure in conical and cylindrical pedicle screws after full insertion and back-out. *Spine*. 2001; 1:408-14.