

Tropismo/inclinação facetária e sua associação com hérnia de disco intervertebral na região lombar da coluna – Uma avaliação radiológica*

Facet Tropism/Inclination and Its Association with Intervertebral Disc Herniation in the Lumbar Spine – A Radiological Evaluation

Sanjay Yadav¹ Rajkumar Arya¹ Raghul Dakshinamoorthy¹ Abhinav Anand Jha¹ Shivi Jain²
Ishan Kumar²

¹ Departamento de Ortopedia, Institute of Medical Sciences, Banaras Hindu University, Varanasi, Uttar Pradesh, Índia

² Departamento de Radiodiagnóstico e Imagem, Institute of Medical Sciences, Banaras Hindu University, Varanasi, Uttar Pradesh, Índia

Endereço para correspondência Sanjay Yadav, MS, DNB, Department of Orthopedics, Institute of Medical Sciences, Banaras Hindu University, Varanasi 221005, Uttar Pradesh, India (e-mail: drsanjay.pgi@gmail.com).

Rev Bras Ortop 2022;57(6):941–946.

Resumo

Objetivo Avaliar o papel do tropismo facetário (TF) no prolapso discal intervertebral.

Métodos Um total de 98 pacientes com dor lombar foram incluídos no estudo. Exames de ressonância magnética foram realizados e analisados, e os ângulos das facetas direita e esquerda foram medidos na seção axial. Os pacientes sem prolapso discal nos níveis L3-L4, L4-L5 e L5-S1 atuam como controles para aqueles com prolapso nos mesmos níveis. Fez-se também uma análise estatística.

Resultados A incidência de TF no nível L3-L4 foi de 85,2% em pacientes com hérnia discal ($n = 27$), e de 56,3% no grupo controle, o que foi estatisticamente significativo ($p = 0,008$). Da mesma forma, a incidência de TF no nível L4-L5 entre casos e controles foi de 71,4% ($n = 35$) e 52,4%, respectivamente ($p = 0,066$). No nível L5-S1, a incidência foi de 66% e 51% nos caso e nos controles, respectivamente ($p = 0,13$).

Conclusão Encontramos associação positiva entre TF e hérnia de disco no nível L3-L4, mas nenhuma associação nos níveis L4-L5 e L5-S1.

Keywords

- ▶ intervertebral disc degeneration
- ▶ lumbar vertebrae
- ▶ spondylolisthesis
- ▶ magnetic resonance

* Estudo desenvolvido no Departamento de Ortopedia, Institute of Medical Sciences, Banaras Hindu University, Índia

recebido
31 de Julho de 2021
aceito
14 de Outubro de 2021
Publicado on-line
Abril 19, 2022

DOI <https://doi.org/10.1055/s-0042-1742338>.
ISSN 0102-3616.

© 2022. Sociedade Brasileira de Ortopedia e Traumatologia. All rights reserved.
This is an open access article published by Thieme under the terms of the Creative Commons Attribution-NonDerivative-NonCommercial-License, permitting copying and reproduction so long as the original work is given appropriate credit. Contents may not be used for commercial purposes, or adapted, remixed, transformed or built upon. (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)
Thieme Revinter Publicações Ltda., Rua do Matoso 170, Rio de Janeiro, RJ, CEP 20270-135, Brazil

Abstract**Palavras-chave**

- ▶ degeneração do disco intervertebral
- ▶ vértebras lombares
- ▶ espondilolístese
- ▶ ressonância magnética

Objective To assess the role of facet tropism (FT) in intervertebral disc prolapse.

Methods A total 98 patients with lower back pain were included in the study. Magnetic resonance imaging scans were performed and analyzed. The angles of the right and left facets were measured on the axial section. Patients without disc prolapse at the L3-L4, L4-L5 and L5-S1 levels act as controls for those with disc prolapse at the same levels. A statistical analysis was also performed.

Results The incidence of FT at the L3-L4 level was of 85.2% in patients with disc herniation ($n = 27$), and of 56.3% in the control group, which was statistically significant ($p = 0.008$). Similarly, at the L4-L5 level, incidence of FT among cases and controls was of 71.4% ($n = 35$) and 52.4% respectively ($p = 0.066$). At the L5-S1 the incidence was of 66% and 51% among cases and controls respectively ($p = 0.13$).

Conclusion We found a positive association between FT and disc herniation at the L3-L4 level, but no association at the L4-L5 and L5-S1 levels.

Introdução

As facetas articulares conectam vértebras adjacentes, e são articulações sinoviais que ajudam na flexão, extensão e rotação da coluna vertebral. Para cada espaço discal, há duas articulações facetárias e um disco que, juntos, formam um tripé que cria um segmento de movimento. As articulações faceárias suportam ~ 33% da carga compressiva dinâmica e 35% da carga estática.^{1,2} O tropismo facetário (TF) é definido como uma assimetria no ângulo entre as articulações facetárias dos lados esquerdo e direito,^{3,4} e já se sugeriu que ele é uma importante causa de patologias discais degenerativas lombares e espondilolístese.^{5,6} Quando sintomática, tal condição muitas vezes requer intervenção cirúrgica. Em 1927, Putti⁷ propôs a influência de articulações zigoapofisárias assimétricas na patogênese da dor lombar. A assimetria na orientação da faceta foi determinada como uma característica normal em vértebras torácicas, mas não em vértebras lombares. Sugeriu-se que, no segmento lombar, isso possa se dever à condição patológica.

Há evidências conflitantes sobre a associação entre tropismo e prolapso discal. Há muito se pensa que a degeneração do disco na coluna vertebral pode mudar a cinemática e a distribuição da carga, resultando em efeitos estruturais e morfológicos secundários nas articulações facetárias e em sua orientação. Em contraste com esse ponto de vista, a assimetria na faceta articular aumenta o movimento em determinado segmento e reduz a tolerância às forças de cisalhamento anteriores.^{8,9} Isso pode exacerbar o processo de degeneração tanto das articulações do disco quanto da faceta, resultando em prolapso discal intervertebral.⁴ Van Schaik et al.¹⁰ mostraram uma relação considerável entre dor lombar e prolapso intervertebral no nível L4-L5. Farhan e Sullivan¹¹ sugeriram pela primeira vez a correlação entre TF e desenvolvimento de prolapso de disco lombar. No entanto, o papel do TF na patogênese do prolapso discal ainda não está claro. Neste estudo, pretendemos estudar a correlação entre o tropismo nas articulações facetárias e o prolapso discal degenerativo, assim como a associação da gravidade do TF ao prolapso discal. Identificar o papel da inclinação facetária no

prolapso discal intervertebral pode melhorar nossa compreensão da fisiopatologia articular facetária e melhorar o tratamento e o manejo do prolapso discal.

Métodos

Este é um estudo transversal. As imagens de ressonância magnética (RM) de pacientes consecutivos com dor nas costas por mais de 3 meses, com ou sem radiculopatia, e idade entre 19 e 64 anos, foram estudadas durante um período de 12 meses. Um total de 98 casos foram analisados, e os casos com cirurgia anterior da coluna lombar, deformidade espinhal, ou trauma antigo foram excluídos.

As devidas autorizações foram obtidas do Comitê de Ética de nossa instituição (IEC n° 2020/CE/2102). O desenho do estudo foi a avaliação retrospectiva das imagens de RM e detalhes dos casos disponíveis para nós.

Avaliação do TF: os ângulos facetários foram avaliados por RM da coluna vertebral. Todas as RMs foram realizadas no aparelho SIGNA 1.5T (GE Healthcare, Chicago, IL, EUA). A espessura da fatia da imagem foi de pelo menos 3 mm. O filme da seção axial ponderada em T2 dos níveis L3-L4, L4-L5, e L5-S1, com linhas de referência (linha de faceta e uma linha ao longo da borda posterior do corpo vertebral) desenhadas, foi selecionado para medir a angulação articular das facetas direita e esquerda em relação ao plano coronal que secciona de modo rente as facetas articulares em cada nível segmentar. O ângulo da faceta foi calculado cruzando a linha desenhada com a linha das facetas (linha que liga as pontas anteromedial e posterolateral de facetas articulares superiores; ▶ **Fig. 1**). A medição angular foi feita manualmente com um goniômetro. O TF foi calculado subtraindo-se o ângulo da faceta esquerda e o da direita, e o TF foi definido como uma diferença de angulação $\geq 7^\circ$ na orientação coronal dos ângulos das facetas esquerda e direita. Usamos o método de classificação de TF/inclinação facetária (IF) de Ko et al.,¹² da seguinte forma: grau 0 se $IF \leq 6^\circ$; grau 1 se IF entre 7° e 15° ; e grau 2 se $IF > 15^\circ$ (▶ **Tabela 1**). Os pacientes com graus 1 e 2 são considerados com TF, sendo o grau 2 considerado o tipo grave.

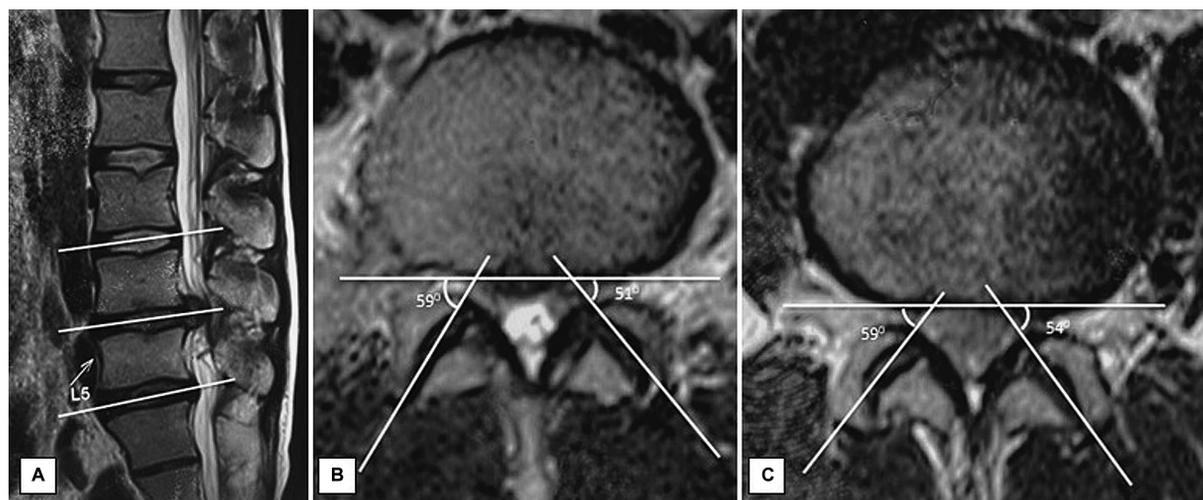


Fig. 1 (A) Corte sagital de imagem de ressonância magnética ponderada em T2 que mostra corte interdiscal nos níveis de L3 a S1; (B,C) imagens ponderadas em T2 de cortes axiais que mostram os ângulos das facetas esquerda e direita e o prolapso discal com tropismo facetário em diferentes níveis. (Medição do ângulo da faceta: uma linha de referência é desenhada ao longo da borda posterior da vértebra no plano coronal. As linhas de faceta que unem as extremidades anteromedial e posterolateral das articulações de faceta são desenhadas em ambos os lados cruzando a linha de referência. O ângulo entre linhas da faceta e linha de referência coronal são ângulos de faceta).

Tabela 1 Tropismo facetário segundo o método de Ko et al.¹²

Explicação	Grau	Ângulo do tropismo facetário
Sem tropismo facetário (sem assimetria)	Grau 0	$\leq 6^\circ$
Tropismo facetário moderado (assimetria moderada)	Grau 1	$7^\circ-15^\circ$
Tropismo facetário grave (assimetria grave)	Grau 2	$\geq 16^\circ$

A hérnia de disco também foi avaliada nos níveis L3 a S1. Pacientes sem prolapso discal nos níveis L3 a S1 atuaram como controles para aqueles com prolapso discal nesses níveis. Os dados foram registrados numa planilha do Microsoft Excel (Microsoft Corp., Redmond, WA, EUA). A análise estatística foi feita com o programa Statistical Package for the Social Sciences (IBM SPSS Statistics for Windows, IBM Corp., Armonk, NY, EUA), versão 22.0. Os dados foram expressos

como médias e desvios padrão. A relação entre hérnia de disco e inclinação da faceta foi avaliada por meio do teste do qui-quadrado. A significância estatística foi estabelecida como valores de $p \leq 0,05$.

Resultados

As RMs de 98 pacientes (54 homens e 44 mulheres) foram avaliadas. A idade média da amostra foi de 42,1 anos; a dos homens foi de 42,3 anos, e a das mulheres, 41,9 anos. Não se observou diferença significativa entre os gêneros com relação ao TF. Foram estudados 294 níveis lombares (588 ângulos de facetas), incluindo os níveis L3 e S1.

Angulação geral da faceta articular: a inclinação média das facetas articulares direita e esquerda e os casos com IF variável nos níveis L3 a S1 estão detalhados na **Tabela 2**. A prevalência de variabilidade na IF de acordo com a classificação do tropismo é mostrada na **Tabela 3**, que também apresenta a taxa de incidência do total de casos de TF versus os casos graves. No nível L3-L4, a taxa de TF grave foi de 8,2%, no nível L4-L5, de 6,1%, e, no nível L5-S1, 3,1%.

Tabela 2 Média do ângulo da faceta e tropismo facetário

Nível do segmento	Ângulo da faceta (mínimo; em graus)	Ângulo da faceta (máximo; em graus)	Média do ângulo da faceta (em graus)	Presença de tropismo (n)	Ausência de tropismo (n)
L3-L4 (à direita)	23	70	$43,2 \pm 9,01$	36	62
L3-L4 (à esquerda)	19	69	$46,4 \pm 9,23$		
L4-L5 (à direita)	15	68	$42,7 \pm 9,53$	31	67
L4-L5 (à esquerda)	19	74	$44 \pm 10,01$		
L5-S1 (à direita)	17	56	$39,02 \pm 8,06$	31	67
L5-S1 (à esquerda)	16	65	$41,9 \pm 9,31$		

Tabela 3 Incidência de tropismo facetário

Nível do segmento	Grau de tropismo facetário*	Número de pacientes	Taxa de incidência (total de casos/casos graves**; %)
L3-L4	0	62	36,7/8,2
	1	28	
	2	8	
L4-L5	0	66	32,6/6,1
	1	26	
	2	6	
L5-S1	0	67	31,6/3,1
	1	28	
	2	3	

Notas: *Método de classificação proposto por Ko et al.¹²

**Tropismo grave definido como de grau 2 pelo método de Ko et al.¹²

Tabela 4 Relação entre tropismo facetário e prolapso discal

Nível espinhal	Hérnia de disco – n (%)		Tropismo facetário – n (%)		Valor de p
			Sim	Não	
L3-L4	Presente	27 (27,6)	14 (51,8)	13 (48,2%)	0,038
	Ausente	71 (72,4)	22 (30,9)	49 (69,1%)	
L4-L5	Presente	35 (35,7)	17 (48,5)	18 (51,5%)	0,007
	Ausente	63 (64,3)	13 (23,1)	50 (76,9%)	
L5-S1	Presente	47 (47,9)	19 (40,4)	28 (59,6%)	0,073
	Ausente	51 (52)	12 (23,5)	39 (76,5%)	

Correlação entre TF e hérnia de disco: a relação entre hérnia de disco lombar e IF/TF variável está descrita na **Tabela 4**. A correlação no nível L4-L5 foi a mais estatisticamente significativa ($p=0,007$) seguida da correlação no nível L3-L4 ($p=0,03$).

Discussão

A orientação das facetas articulares tem um papel importante na compreensão da biomecânica da região lombar da coluna. Para seus movimentos coordenados, é necessário um alinhamento simétrico de ambos os lados da faceta articular. As facetas articulares assimétricas resultam em carregamento anormal de segmentos de movimento espinhal. Há poucos estudos que relatam associação entre variabilidade de IF e hérnia de disco lombar, e os resultados não são consistentes. A orientação da faceta articular e a variabilidade bilateral podem ser avaliadas por meio de RM sem exposição à radiação nociva.³ O curso normal de patologias de facetas articulares não é muito claro, e alguns estudos^{4,13-15} sugerem que o TF pode se dever ao processo de remodelação biológica secundário às alterações de disco e instabilidade da coluna vertebral no eixo rotacional.

Alguns estudos¹⁶⁻¹⁸ também sugerem que tenha origem no desenvolvimento.

O presente estudo estabelece que o tropismo/variabilidade bilateral ocorre nos níveis lombares, independentemente das alterações degenerativas. Isso desafia a noção de que a orientação facetária está relacionada à remodelagem causada pela degeneração da coluna. A articulação L3-L4 é mais arredondada, e resiste tanto às translações anteriores quanto às laterais, ao passo que a articulação L5-S1 é plana e orientada mais no plano coronal. Isso proporciona maior resistência às tensões anteriores de cisalhamento. A orientação da faceta articular no plano axial em pacientes com espondililostese nessa região apresentou variação de até 15° em um estudo.¹⁹

Kalichman et al.^{17,18} e Farfan e Sullivan¹¹ relataram que o ângulo da faceta articular lombar e a hérnia de disco lombar estavam significativamente ligados à assimetria da faceta articular lombar e sua gravidade. Resultados semelhantes foram encontrados neste estudo.

Em outro estudo, Noren et al.²⁰ verificaram que o TF é um fator de risco para o desenvolvimento de doença discal. Facetas articulares assimétricas e sagitalmente inclinadas estavam presentes em pacientes com prolapso discal lombar, especialmente nos indivíduos mais altos, no estudo de Karacan et al.⁴ Cyron e Hutton¹⁴ trabalham com a hipótese de que a orientação de faceta variável pode levar à instabilidade segmentar. Isso pode aumentar a tensão rotacional no anel fibroso e levar a prolapso discal. Em outro estudo, Chadha et al.²¹ relataram associação considerável entre TF e prolapso discal no nível L5-S1, mas nenhuma associação no nível L4-L5.

Por outro lado, alguns pesquisadores^{10,20,22,23} sugeriram que o TF não tem significância clínica. Eles consideram o TF um problema estrutural congênito, e não devido à idade ou à degeneração, e propõem que não há associação entre o ângulo da faceta e a hérnia de disco.

Vários outros estudos^{24,25} também demonstraram que a resposta axial de rotação-torque na coluna lombar não é afetada pela orientação da faceta articular com um grau semelhante de assimetria em todos os níveis. Lee et al.²⁶ não encontraram diferença significativa no TF entre discos com hérnia e discos normais em grupos adolescentes e adultos, exceto no nível L4-L5 em adultos.

Em flexão e extensão, a faceta articular mais orientada para a posição coronal restringe o movimento no plano sagital, causando rotação involuntária ao longo da faceta articular orientada sagitalmente. Masharawi et al.⁸ explicaram como o TF pode converter movimentos em um plano em um complexo movimento multiplanar. O núcleo muda de forma dispersa quando a flexão e o movimento torcional são acoplados. Muitos estudos biomecânicos^{27,28} mostraram que a combinação de flexão e torção causa de ferimentos ao anel posterolateral.

No presente estudo, o prolapso do disco intervertebral foi especialmente associado ao TF nos níveis L3-L4 e L4-L5, ao passo que a associação não foi estatisticamente significativa no nível L5-S1. Isso pode ser explicado por diferentes padrões de carregamento em diferentes níveis. A biomecânica no nível L4-L5 e nos níveis superiores é diferente da do nível L5-S1, pois o nível L4-L5 fica entre 2 segmentos móveis, e o nível

L5-S1, entre segmentos móveis e fixos. Além disso, o disco L5-S1 é submetido a maior força de cisalhamento antero-posterior devido ao aumento da inclinação em S1 e à ausência de papel protetor dos músculos extensores.^{21,29} A alta correlação entre TF e prolapso discal relatada em L4-L5, mas não em L5-S1, pode, portanto, ser explicada por uma variação no padrão de carregamento.

Este estudo tem várias limitações. Primeiramente, trata-se de um estudo de centro único com tamanho amostral pequeno. Em segundo lugar, pode ter havido erros na localização de margens de facetas articulares e do plano de referência. Osteófitos na faceta articular podem levar a erros na medição do ângulo da faceta. Em terceiro lugar, não é viável analisar o TF como um fator isolado; outras alterações degenerativas, como a degeneração assimétrica do disco, também podem afetar o TF; portanto, mais estudos sobre seus mecanismos patológicos são necessários. Um dos pontos fortes do estudo é a inclusão de pacientes sem prolapso discal no mesmo nível como controle para comparação, em vez de usar segmento adjacente, como foi feito em muitos estudos anteriores. No entanto, teria sido melhor se os controles tivessem sido obtidos realizando-se RM em sujeitos assintomáticos.

Conclusão

Significância clínica: este estudo mostra associação positiva entre variabilidade de IF e hérnia de disco no nível L4-L5, seguido do nível L3-L4. A orientação facetária pode indicar de qual lado se aproximar para a descompressão cirúrgica quando necessário. O acompanhamento de longo prazo pode ajudar a deduzir a história natural da variabilidade da orientação facetária.

Declaração de Contribuição dos Autores

Sanjay Yadav: Formulação (líder), rascunho original (igual), redação, revisão e edição (igual), e supervisão (líder); Rajkumar Arya: curadoria de dados (líder), análise formal (igual), e redação, revisão e edição (igual); Raghul Dakshinamoorthy: curadoria de dados (igual), redação, revisão e edição (igual), e análise formal (igual); Abhinav Anand Jha: pesquisa (igual), redação, revisão e edição (igual), e administração do projeto (igual); e Ishan Kumar: curadoria de dados, análise formal, e revisão e edição.

Suporte Financeiro

Os autores declaram que não receberam apoio financeiro de fontes públicas, comerciais ou sem fins lucrativos.

Conflito de Interesses

Os autores não têm conflito de interesses a declarar.

Referências

- Lorenz M, Patwardhan A, Vanderby R Jr. Load-bearing characteristics of lumbar facets in normal and surgically altered spinal segments. *Spine (Phila Pa 1976)* 1983;8(02):122-130
- Yang KH, King AIKH. Mechanism of facet load transmission as a hypothesis for low-back pain. *Spine (Phila Pa 1976)* 1984;9(06):557-565
- Boden SD, Riew KD, Yamaguchi K, Branch TP, Schellinger D, Wiesel SW. Orientation of the lumbar facet joints: association with degenerative disc disease. *J Bone Joint Surg Am* 1996;78(03):403-411
- Karacan I, Aydin T, Sahin Z, et al. Facet angles in lumbar disc herniation: their relation to anthropometric features. *Spine (Phila Pa 1976)* 2004;29(10):1132-1136
- Chotiyarnwong P, Pichaisak W. Facet joint orientation and tropism in lumbar degenerative disc disease and spondylolisthesis. *Global Spine J* 2014;4(1 Suppl):s-0034-1376586-s-0034-13765866
- Gao T, Lai Q, Zhou S, et al. Correlation between facet tropism and lumbar degenerative disease: a retrospective analysis. *BMC Musculoskelet Disord* 2017;18(01):483
- Putti V. New conceptions in the pathogenesis of sciatic pain. *Lancet* 1927;2:53-60
- Masharawi Y, Rothschild B, Salame K, Dar G, Peleg S, Hershkovitz I. Facet tropism and interfacet shape in the thoracolumbar vertebrae: characterization and biomechanical interpretation. *Spine (Phila Pa 1976)* 2005;30(11):E281-E292
- Park JB, Chang H, Kim KW, Park SJ. Facet tropism: a comparison between far lateral and posterolateral lumbar disc herniations. *Spine (Phila Pa 1976)* 2001;26(06):677-679
- Van Schaik JP, Verbiest H, Van Schaik FD. The orientation of laminae and facet joints in the lower lumbar spine. *Spine (Phila Pa 1976)* 1985;10(01):59-63
- Farfan HF, Sullivan JD. The relation of facet orientation to intervertebral disc failure. *Can J Surg* 1967;10(02):179-185
- Ko S, Chae S, Choi W, Kim JY, Kwon J, Doh J. The Prevalence of Facet Tropism and Its Correlation with Low Back Pain in Selected Community-Based Populations. *Clin Orthop Surg* 2019;11(02):176-182
- Farfan HF, Huberdeau RM, Dubow HI. Lumbar intervertebral disc degeneration: the influence of geometrical features on the pattern of disc degeneration—a post mortem study. *J Bone Joint Surg Am* 1972;54(03):492-510
- Cyron BM, Hutton WC. Articular tropism and stability of the lumbar spine. *Spine (Phila Pa 1976)* 1980;5(02):168-172
- Dai L, Jia L. Role of facet asymmetry in lumbar spine disorders. *Acta Orthop Belg* 1996;62(02):90-93
- Grogan J, Nowicki BH, Schmidt TA, Haughton VM. Lumbar facet joint tropism does not accelerate degeneration of the facet joints. *AJNR Am J Neuroradiol* 1997;18(07):1325-1329
- Kalichman L, Guermazi A, Li L, Hunter DJ, Suri P. Facet orientation and tropism: associations with spondylolysis. *J Spinal Disord Tech* 2010;23(02):101-105
- Kalichman L, Suri P, Guermazi A, Li L, Hunter DJ. Facet orientation and tropism: associations with facet joint osteoarthritis and degeneratives. *Spine (Phila Pa 1976)* 2009;34(16):E579-E585
- Williams R, Cheung JP, Goss B, et al. An International Multicenter Study Assessing the Role of Ethnicity on Variation of Lumbar Facet Joint Orientation and the Occurrence of Degenerative Spondylolisthesis in Asia Pacific: A Study from the AOSpine Asia Pacific Research Collaboration Consortium. *Global Spine J* 2016;6(01):35-45
- Noren R, Trafimow J, Andersson GB, Huckman MS. The role of facet joint tropism and facet angle in disc degeneration. *Spine (Phila Pa 1976)* 1991;16(05):530-532
- Chadha M, Sharma G, Arora SS, Kochar V. Association of facet tropism with lumbar disc herniation. *Eur Spine J* 2013;22(05):1045-1052
- Badgley C. The articular facets in relation to low back pain and sciatic radiation. *J Bone Joint Surg Am* 1941;23(02):481-496
- Vanharanta H, Floyd T, Ohnmeiss DD, Hochschuler SH, Guyer RD. The relationship of facet tropism to degenerative disc disease. *Spine (Phila Pa 1976)* 1993;18(08):1000-1005

- 24 Duncan NA, Ahmed AM. The role of axial rotation in the etiology of unilateral disc prolapse. An experimental and finite-element analysis. *Spine (Phila Pa 1976)* 1991;16(09):1089–1098
- 25 Cassidy JD, Loback D, Yong-Hing K, Tchang S. Lumbar facet joint asymmetry. Intervertebral disc herniation. *Spine (Phila Pa 1976)* 1992;17(05):570–574
- 26 Lee DY, Ahn Y, Lee SH. The influence of facet tropism on herniation of the lumbar disc in adolescents and adults. *J Bone Joint Surg Br* 2006;88(04):520–523
- 27 Veres SP, Robertson PA, Broom ND. The influence of torsion on disc herniation when combined with flexion. *Eur Spine J* 2010;19(09):1468–1478
- 28 Drake JD, Aultman CD, McGill SM, Callaghan JP. The influence of static axial torque in combined loading on intervertebral joint failure mechanics using a porcine model. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2005;20(10):1038–1045
- 29 Arjmand N, Shirazi-Adl A. Biomechanics of changes in lumbar posture in static lifting. *Spine (Phila Pa 1976)* 2005;30(23):2637–2648