

Reprodutibilidade interobservadores da avaliação radiográfica de instabilidade em coluna lombar

Interobserver reproducibility of radiographic evaluation of lumbar spine instability

Saulo de Tarso de Sá Pereira Segundo¹, Edgar Santiago Valesin Filho¹, Mario Lenza¹,
Durval do Carmo Barros Santos¹, Laercio Alberto Rosemberg¹, Mario Ferretti¹

RESUMO

Objetivo: Mensurar a reprodutibilidade interobservadores da avaliação radiográfica da instabilidade da coluna lombar. **Métodos:** Foram realizadas mensurações das radiografias dinâmicas de coluna lombar na incidência em perfil, avaliando-se a translação anterior e a angulação entre os corpos vertebrais. Os exames foram avaliados em *workstations* da própria instituição, por meio do sistema Vue RIS (PACS) da Carestream Health, versão 11.0.12.14 Inc. 2009®. **Resultados:** A proporção de concordância em detecção de casos de instabilidade radiográfica entre os observadores variou de 88,1 a 94,4%, e os coeficientes de concordância AC1 estiveram todos acima de 0,8, indicando concordância excelente. **Conclusão:** A análise interobservadores realizada entre médicos ortopedistas com diferentes níveis de treinamento em radiografias dinâmicas da coluna vertebral obteve elevada reprodutibilidade e concordância. No entanto, alguns fatores, como método manual de aferição e a presença de osteófitos vertebrais, podem ter gerado alguns resultados menos consistentes nessa avaliação comparativa de medidas.

Descritores: Dor lombar; Espondilolistese; Instabilidade articular/radiografia; Região lombossacral/radiografia

ABSTRACT

Objective: To measure the interobserver reproducibility of the radiographic evaluation of lumbar spine instability. **Methods:** Measurements of the dynamic radiographs of the lumbar spine in lateral view were performed, evaluating the anterior translation and the angulation among the vertebral bodies. The tests were evaluated at workstations of the organization, through the Carestream Health Vue RIS (PACS), version 11.0.12.14 Inc. 2009® system. **Results:** Agreement in detecting cases of radiographic instability among the observers varied from 88.1 to 94.4%, and the agreement coefficients AC1 were all above 0.8, indicating excellent agreement. **Conclusion:**

The interobserver analysis performed among orthopedic surgeons with different levels of training in dynamic radiographs of the spine obtained high reproducibility and agreement. However, some factors, such as the manual method of measurement and the presence of vertebral osteophytes, might have generated a few less accurate results in this comparative evaluation of measurements.

Keywords: Low back pain; Spondylolisthesis; Joint instability/radiography; Lumbosacral region/radiography

INTRODUÇÃO

A dor lombar é uma importante queixa clínica na prática médica diária, e está presente em cerca de 58% dos indivíduos ao longo de suas vidas e em 36% em um período de 1 ano. Apresenta-se, na maioria das vezes, como crises agudas e autolimitadas.⁽¹⁾ A dor lombar crônica, acompanhada ou não de irradiação para o membro inferior, o que caracteriza a ciatalgia, possui diferentes etiologias, dentre as quais a instabilidade degenerativa da coluna vertebral representa alta prevalência.⁽²⁻⁴⁾ A instabilidade da coluna vertebral é definida pela perda da capacidade da coluna vertebral de manter seus padrões de deslocamento em condições fisiológicas, podendo acarretar dor e incapacidade funcional.⁽²⁾

As radiografias dinâmicas em flexão-extensão da coluna vertebral são métodos simples, de baixo custo e não invasivos para o diagnóstico das instabilidades. A presença de movimentação anormal, em translação sagital ou angulação segmentar nessa avaliação configura a instabilidade radiográfica da coluna vertebral.^(4,5) Diferentes métodos de avaliação são sugeridos para as

¹ Hospital Israelita Albert Einstein, São Paulo, SP, Brasil.

Autor correspondente: Mario Ferretti – Avenida Albert Einstein, 627/701 – Morumbi – CEP: 05652-900 – São Paulo, SP, Brasil – Tel.: (11) 2151-1444 – E-mail: mario.ferretti@einstein.br

Data de submissão: 2/9/2015 – Data de aceite: 11/5/2016

Conflitos de interesse: não há.

DOI: 10.1590/S1679-45082016AO3489

aferições radiográficas. Instrumentos manuais, digitalizados e outros praticamente automáticos, com auxílio de modelos sobrepostos computadorizados, são alternativas. Muitos autores atribuem valores diversos para caracterizar instabilidade translacional e angular. Alguns estudos também observam as variações na altura do espaço discal anterior e posterior, em posição de flexão e extensão nessa análise, embora tal avaliação não seja consensual nas revisões de literatura sobre o assunto.^(4,6,7)

A correlação de causa e consequência entre a instabilidade da coluna vertebral com a sintomatologia é controversa. Vários autores relacionam a instabilidade vertebral radiográfica com a intensidade da sintomatologia e a necessidade de fusão intervertebral ou artrodesse para seu tratamento definitivo.^(4,8,9) A presença isolada de instabilidade radiográfica não necessariamente está relacionada à manifestação de sinais e sintomas clínicos e vice-versa, devendo-se considerar, para a decisão da melhor conduta a ser aplicada individualmente, a queixa específica do paciente, em conjunto com os achados radiológicos.^(2,10)

OBJETIVO

Mensurar a reprodutibilidade interobservadores da avaliação radiográfica da instabilidade da coluna lombar.

MÉTODOS

Estudo foi desenvolvido no Hospital Israelita Albert Einstein e aprovado pelo Comitê de Ética e Pesquisa da instituição sob o número CAAE: 47375315.3.0000.0071, parecer 1.204.567, e isento do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. Foi desenhado como um estudo de mensuração da reprodutibilidade (interobservadores) da avaliação radiográfica da instabilidade da coluna lombar em segmentos vertebrais L4/L5 e L5/S1. No período compreendido entre janeiro de 2014 a maio de 2015, foram selecionadas, de forma aleatória e por um observador independente, radiografias da coluna lombossacra nas incidências anteroposterior e perfil, em posições neutras e dinâmicas (em extensão e flexão). Utilizamos os seguintes critérios de exclusão: radiografias de pacientes com trauma vertebral agudo, fratura patológica na região lombossacral ou qualquer outra afecção prévia de etiologia diversa, como neoplasia ou infecção, que interferisse na anatomia normal da região; radiografias de pacientes esqueleticamente imaturos, portadores de deformidades congênicas ou idiopáticas; fratura pregressa da coluna; exames de má qualidade; pacientes submetidos a cirurgias na coluna lombossacra.

Exames radiográficos

Os pacientes foram submetidos às radiografias da coluna lombar anteroposterior e perfil, em flexão e extensão máximas, segundo a técnica inicialmente descrita por Knutsson⁽¹¹⁾ para avaliação de instabilidade intersegmentar e posteriormente caracterizada por Putto et al.⁽¹²⁾ Para realizar a radiografia em flexão, o paciente se sentou sobre um banco ou suporte alto, de maneira que permaneceu com os pés completamente apoiados no solo, e joelhos e quadris em discreta flexão. Os braços permaneceram cruzados sobre o tórax. Assim, o paciente foi orientado a fletir anteriormente o tronco, o máximo possível, para realização da imagem neste ponto. Para radiografia em extensão, o paciente permaneceu em posição ortostática e com os braços cruzados sobre o tórax, e, então, foi orientado a realizar a extensão ativa máxima possível do tronco, para captação da imagem neste momento. Foram realizadas mensurações das radiografias dinâmicas de coluna lombar na incidência em perfil, avaliando-se a translação anterior e a angulação entre os corpos vertebrais. Os exames foram avaliados em estações de trabalho da própria instituição, por meio do sistema Vue RIS (PACS) da *Carestream Health*, version 11.0.12.14 Inc. 2009[®].

Descrição das medidas

As medidas de translação sagital intersegmentar e rotação ou angulação intervertebral foram realizadas segundo os métodos clássicos descritos na literatura para avaliação de instabilidade.⁽¹³⁻¹⁶⁾ Consideramos, assim, instabilidade para valores de angulação sagital $>15^\circ$ entre L4/L5 e entre L5/S1, e também valores em milímetros de translação no plano sagital $>4\text{mm}$ ou deslocamento $>15\%$ da medida do platô vertebral inferior. O segmento foi considerado instável quando apresentou rotação ou translação sagital maior do que os valores descritos. A instabilidade, no presente estudo, foi avaliada nos segmentos L4/L5 e L5/S1, devido à maior aplicabilidade clínica, uma vez que estes níveis são os mais frequentemente acometidos em doenças degenerativas da coluna lombossacra.⁽¹⁷⁻²⁰⁾

O ângulo de rotação sagital para cada segmento vertebral móvel (L4/L5 e L5/S1) foi calculado por meio da diferença entre os valores de medida do ângulo de Cobb (formado entre a linha tangente ao platô inferior da vértebra superior e a tangente ao platô superior da vértebra inferior) obtidas em radiografias dinâmicas, flexão-extensão em perfil^(6,21) (Figura 1).

Os valores da angulação foram considerados positivos conforme essa aferição determinou ângulo lordótico; enquanto valores negativos foram considerados confor-

me a avaliação entre os platôs vertebrais determinou ângulos cifóticos. As medidas de variação foram realizadas partindo-se da extensão para flexão. A translação sagital em cada segmento foi calculada por meio das medidas do deslocamento em milímetros, da vértebra superior em relação à inferior, obtidas em radiografias de flexão-extensão, partindo-se da extensão para flexão (Figura 2). Para translação, valores de medida foram considerados positivos quando o limite posteroinferior do corpo vertebral superior esteve anterior ao limite posterossuperior da vertebra inferior adjacente (listese). Valores de medida foram considerados negativos quando o posicionamento do limite posterossuperior da vértebra superior esteve posterior ao limite posterossuperior da vértebra inferior (retrolistese).

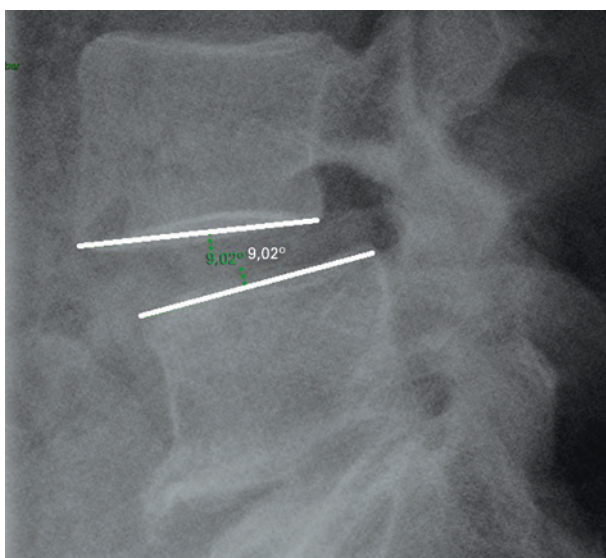


Figura 1. Ângulo de rotação sagital (L4/L5)

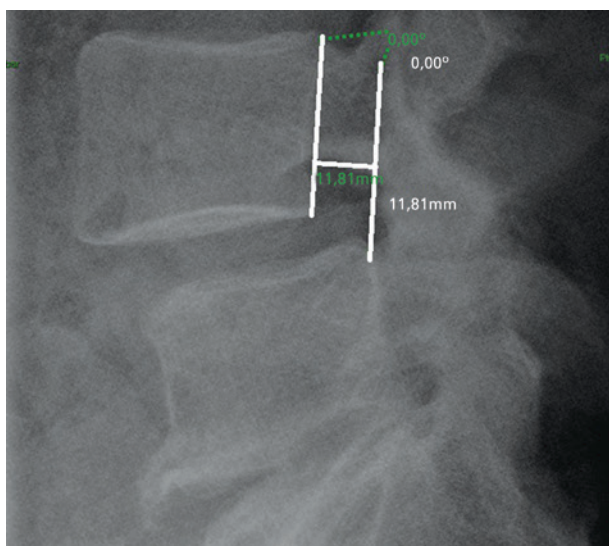


Figura 2. Medida de translação sagital (L4/L5)

Realizamos uma avaliação complementar de deslocamento dinâmico anteroposterior intervertebral no plano sagital, utilizando a medida do deslocamento aferido, em milímetros, em relação à medida anteroposterior observada no platô vertebral inferior correspondente. O objetivo foi evitar viés de magnificação radiográfica e obter maior acurácia, em conformidade com a proporcionalidade do tamanho variável das vértebras individualmente, entre cada paciente.⁽⁷⁾ Para essa análise, utilizamos o valor médio obtido entre cada radiografia avaliada, em neutro, flexão e extensão. Valores que superaram 15% da medida média do platô vertebral caracterizaram instabilidade. Apesar de apresentar limitações, a análise radiográfica dinâmica em flexão-extensão permanece atualmente o critério de referência padrão mais comum para diagnóstico de instabilidade segmentar lombar estrutural.^(4,22,23)

Observadores

Dois observadores efetuaram a análise dos exames radiográficos. Suas especialidades eram ortopedista com especialidade em coluna – com 6 anos de prática (observador 1) e residência do terceiro ano de ortopedia (observador 2). As imagens foram avaliadas e classificadas por ambos os observadores após seleção aleatória e exclusão de casos impertinentes por um observador independente, também ortopedista.

Tamanho da amostra

Para o cálculo do tamanho da amostra, consideramos o objetivo principal de estimar um intervalo de confiança de 95% para o índice Kappa modificado por Fleiss et al.⁽²⁴⁾ Considerando uma precisão absoluta de 5%, estimamos que 130 exames precisariam ser observados. Entretanto, excluímos quatro exames que não continham as três imagens necessárias para que o caso pudesse ser avaliado no banco de dados, totalizando assim 126 pacientes.

Análise estatística

Para a análise de concordância interobservadores, utilizou-se a proporção de concordância, e os coeficientes Kappa de Cohen e análise de concordância (AC), AC1 de Gwet;^(25,26) foram apresentados conjuntamente os valores de p e intervalos de confiança de 95%. Coeficientes de concordância oferecem e corrigem a proporção de concordância pura emparelhada entre observadores. Os valores dos coeficientes variam de -1 a +1. Quando o valor é -1, o significado é de discordância total; quando o valor é +1, ele indica total concordância; e quando o

valor é zero, ele representa não concordância. Os valores podem ainda ser arbitrariamente atribuídos a subdivisões, para avaliações paramétricas de concordância, com valores até 0,20, indicando concordância insatisfatória; entre 0,21 e 0,40, pouca concordância; entre 0,41 e 0,60, moderada concordância; entre 0,61 e 0,80, concordância satisfatória e adequada; e valores acima de 0,80 representam concordância quase excelente.^(27,28) O *software* utilizado foi o R, versão 3.0.3 e o nível de significância adotado foi de 5%.

RESULTADOS

Foram observados exames radiográficos de 126 pacientes. Para o nível L4/L5, considerando como instáveis aqueles com diferença entre valores dinâmicos de translação vertebral >4mm, o observador 1 identificou 18 casos de instabilidade sagital (14,3%) e 14 casos (11,1%) de instabilidade angular ou rotacional, assumindo diferenças angulares entre extensão e flexão >15° para este nível espinal. O observador 2 identificou 7 casos de instabilidade sagital (5,6%) e 9 casos (7,1%) de instabilidade angular ou rotacional. Para análise de valores a partir da relação entre milímetros observados na instabilidade translacional e o valor médio das medidas dos platôs vertebrais de L5, determinando positividade resultados ≥15%, ambos observadores encontraram quatro casos compatíveis com instabilidade (3,2%), anotados segundo essa metodologia.

Para o nível L5/S1, o observador 1 identificou 10 casos de instabilidade sagital (7,9%) e 19 casos (15,1%) de instabilidade angular ou rotacional. O observador 2 identificou 11 casos de instabilidade sagital (8,7%) e 6 casos (4,8%) de instabilidade angular ou rotacional. Para análise de valores a partir da relação entre milímetros observados na instabilidade translacional e o valor médio das medidas dos platôs vertebrais de S1, o observador 1 encontrou quatro casos compatíveis com instabilidade (3,2%), e 3 casos (2,4%) foram apontados pelo observador 2. Os resultados estão descritos nas tabelas 1 e 2.

Tabela 1. Descrição da frequência de instabilidades observadas

Região	Instabilidade	Observador 1		Observador 2	
		Presente n (%)	Ausente n (%)	Presente n (%)	Ausente n (%)
L4-L5	Sagital	18 (14,3)	108 (85,7)	7 (5,6)	119 (94,4)
	Angular	14 (11,1)	112 (88,9)	9 (7,1)	117 (92,9)
	Fundamentada nos platôs	4 (3,2)	122 (96,8)	4 (3,2)	122 (96,8)
L5-S1	Sagital	10 (7,9)	116 (92,1)	11 (8,7)	115 (91,3)
	Angular	19 (15,1)	107 (84,9)	6 (4,8)	120 (95,2)
	Fundamentada nos platôs	4 (3,2)	122 (96,8)	3 (2,4)	123 (97,6)

Tabela 2. Análise de concordância entre observadores

Região	Instabilidade	PC	Kappa (IC95%)	Valor de p*	AC1 (IC95%)	Valor de p†
L4-L5	Sagital	0,90	0,43 (0,28-0,59)	<0,001	0,87 (0,80-0,95)	<0,001
	Angular	0,93	0,57 (0,40-0,74)	<0,001	0,91 (0,86-0,97)	<0,001
	Fundamentada nos platôs	0,94	-0,03 (-0,21-0,14)	0,713	0,93 (0,88-0,98)	<0,001
L5-S1	Sagital	0,90	0,32 (0,15-0,50)	<0,001	0,88 (0,81-0,95)	<0,001
	Angular	0,88	0,35 (0,21-0,50)	<0,001	0,86 (0,78-0,93)	<0,001
	Fundamentada nos platôs	0,94	-0,03 (-0,2-0,14)	0,751	0,94 (0,90-0,99)	<0,001

*Valor de p referente à hipótese nula: Kappa = 0; †valor p referente à hipótese nula. PC: proporção de concordância; IC95%: intervalo de confiança de 95%; AC: análise de concordância.

A proporção de concordância em detecção de casos de instabilidade radiográfica entre os observadores variou de 88,1 a 94,4%, e os coeficientes de concordância AC1 estiveram todos acima de 0,8, indicando concordância excelente (Tabela 1).

DISCUSSÃO

Embora alguns autores recomendem o uso limitado das radiografias dinâmicas de coluna vertebral para determinação de instabilidade e possível definição de conduta cirúrgica em casos de lombalgia, sua aplicação, em conjunto com demais métodos de imagem complementares e com um exame físico criterioso, permite importante auxílio diagnóstico e terapêutico para tratamento adequado desses pacientes.^(23,29-32) Para Panjabi, os critérios apresentados para instabilidade sagital entre L4 e L5 e entre L5 e S1 são valores >4,5mm; e instabilidade angular >20° em avaliação dinâmica L4/L5 e >25° entre L5/S1.⁽²⁾ Dessa maneira, não existe hoje um conceito exato sobre valores e técnica mais precisos nesta análise; entretanto, a literatura aponta resultados indicando fusão ou artrodese como uma opção favorável para tratamento de paciente portadores de lombalgia e instabilidades radiográficas aferidas maiores que 4mm no plano sagital e 10° em avaliação angular, segundo critérios de Hanley para instabilidade vertebral.⁽¹⁵⁾ A acurácia das medidas também pode apresentar variações de acordo com a experiência e o nível de treinamento do observador que as realiza. Iguchi et al.,⁽⁴⁾ em estudo direcionado à avaliação de instabilidade vertebral, por meio de radiografias dinâmicas de 1.090 pacientes, utilizaram 3 observadores distintos. A diferença média interobservadores obtida foi <0,5mm para translação sagital, e <2° para angulação. O índice de concordância entre as medidas de translação e angulação variou entre 0,81 e 0,95. O método foi considerado confiável com elevado grau de reprodutibilidade, uma vez que valores mínimos de diferença entre as aferições não possuem repercussão clínica significativa.

Dentre os fatores que comprometem uma precisa análise radiográfica, estão: a ampla faixa etária observada em alguns estudos, os métodos diversos de aferição que comprometem a acurácia das medidas, o número amostral insuficiente e a inclusão de radiografias de má qualidade. Por meio de seus resultados, também indicam que a translação sagital possui maior influência em relação à angulação segmentar na sintomatologia; e a concomitância de ambos os achados radiográficos aponta para sintomas mais exuberantes e persistentes. Em estudo de Pearson et al.,⁽²³⁾ 30 conjuntos de radiografias dinâmicas foram avaliados por três médicos ortopedistas residentes; as aferições em radiografias digitais, por meio de método manual computadorizado, determinaram, na análise interobservadores, porcentual total de concordância entre 79 e 81%, incluindo variações da altura discal anterior e posterior. Os valores foram calculados e comparados neste mesmo estudo por três observadores técnicos, não médicos. Estes observadores utilizaram um *software* que digitaliza a imagem e determina automaticamente padrões específicos para cada vértebra, a partir de técnicas de sobreposição de imagens, assim, houve uma relativa melhora com concordância entre 95 e 98%. Os autores concluíram que pequenas variações em medidas de instabilidade, a partir de aferições radiográficas manuais, são determinadas por meio desse método, e que dispositivos tecnológicos podem ser incorporados para aumentar a precisão das medidas de instabilidade vertebral. Cakir et al.⁽³³⁾ em análise de instabilidade vertebral angular, a partir do método de Cobb, entre L4/L5 e L5/S1, em 24 pares de radiografias em flexão e extensão, verificaram entre dois observadores experientes coeficiente de correlação de 0,92, enquanto a mesma comparação de resultados de aferições realizadas por um observador inexperiente e um experiente determinou coeficiente de correlação de 0,79.

Não encontramos estudos semelhantes na literatura nacional, envolvendo aferições de radiografias dinâmicas em coluna lombar, incluindo número de relevância estatística (126 pacientes no presente estudo) e observadores ortopedistas com diferentes níveis de experiência. Entretanto, Sperandio et al.⁽³⁴⁾ realizaram aferições do ângulo de Cobb em 17 indivíduos. As medidas foram realizadas por um ortopedista experiente e dois fisioterapeutas sem experiência em mensurações radiográficas. A magnitude dos coeficientes de correlação oscilou de bom a excelente, nos níveis torácico e toracolombar. Na coluna lombar, não houve correlação significativa interobservadores, possivelmente em decorrência de um pequeno número de pacientes com curvas localizadas nesta topografia. Teixeira et al.,⁽³⁵⁾ em estudo incluindo 40 casos de doença vertebral metastática e avaliação de estabilidade pela escala *Spine Instability Neoplastic*

Score (SINS), aplicada a 17 médicos de diferentes formações e níveis de experiência, demonstraram que a concordância interobservadores foi exclusivamente elevada entre cirurgiões de coluna experientes. Entre os demais os resultados, foram considerados ruins. Pratali et al.⁽³⁶⁾ procuraram investigar a reprodutibilidade entre cirurgiões de coluna, quanto à definição do tratamento de lesões metastáticas vertebrais, levando em consideração a estabilidade mecânica das lesões. Foram apresentados 20 casos de lesões metastáticas vertebrais isoladas a 10 especialistas, tendo sido observada reprodutibilidade ruim interobservadores na decisão do tratamento de lesões metastáticas vertebrais, ao considerar a estabilidade das lesões. Gotfryd et al.⁽³⁷⁾ avaliaram a fusão vertebral por meio da análise interobservadores de 20 radiografias pós-operatórias de pacientes submetidos à artrodese posterolateral de coluna lombossacral. Seis ortopedistas realizaram as aferições. A análise estatística demonstrou concordância fraca e ruim interobservadores para a maior parte dos casos. Assim, estudos que incluem observadores com diferentes capacitações e experiências apresentam resultados variados em análises de concordância de aferições radiográficas, em se tratando de deformidades, neoplasias ou doenças degenerativas.⁽³⁵⁻³⁷⁾

Consideramos o presente estudo interessante, à medida que compara resultados obtidos em aferições realizadas por dois médicos de uma mesma especialidade, ambos ortopedistas, porém com diferentes níveis de treinamento e experiência. O observador menos experiente apontou, em geral, menos casos de instabilidade em relação ao observador com treinamento e subespecialização em doenças da coluna vertebral. Ainda assim, os valores de concordância obtidos (0,86 e 0,94) foram considerados excelentes. Verificamos que, para ambos observadores, os casos de instabilidade sagital fundamentada nas medidas do platô vertebral foram inferiores de maneira significativa em relação aos casos determinados por valores de deslocamento translacional exclusivamente. Possivelmente, a presença de osteófitos em muitas radiografias avaliadas determinaram resultados conflitantes neste sentido, superestimando o diâmetro real do platô vertebral correspondente e configurando, assim, um provável viés neste método de avaliação.

São possíveis fatores limitantes observados neste estudo: o número de pacientes, que, em análise futura, pode ser aumentado, em busca de resultados mais precisos, e a ampla faixa etária amostral, além de uma observação em tempo único. Uma análise intraobservadores, em um tempo diferente da análise primária, também poderia acrescentar novos dados e colaborar na análise comparativa individual dos resultados.

Um estudo futuro, que correlacione o grau de instabilidade radiográfica com a intensidade da sintomato-

logia dos pacientes, pode colaborar também para maior entendimento desta complexa relação, além de indicar a possível tendência às maiores limitações clínicas presentes em casos de instabilidade sagital, em comparação com instabilidade angular, conforme apontam alguns estudos da literatura.^(4,38)

CONCLUSÃO

A análise interobservadores realizada entre médicos ortopedistas com diferentes níveis de treinamento em radiografias dinâmicas da coluna vertebral obteve elevada reprodutibilidade e concordância, embora alguns fatores, como método manual de aferição e a presença de osteófitos vertebrais, possam ter gerado alguns resultados menos consistentes nessa avaliação comparativa de medidas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos colegas Olavo Nakamura e Rodrigo Pffiffer, por suas contribuições na elaboração e no desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- Walsh K, Cruddas M, Coggon D. Low back pain in eight areas of Britain. *J Epidemiol Community Health*. 1992;46(3):227-30.
- Panjabi MM. Clinical spinal instability and low back pain. *J Electromyogr Kinesiol*. 2003;13(4):371-9.
- Sato H, Kikuchi S. The natural history of radiographic instability of the lumbar spine. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1993;18(14):2075-9.
- Iguchi T, Kanemura A, Kasahara K, Sato K, Kurihara A, Yoshiya S, et al. Lumbar instability and clinical symptoms: which is the more critical factor for symptoms: sagittal translation or segment angulation? *J Spinal Disord Tech*. 2004;17(4):284-90.
- Leone A, Guglielmi G, Cassar-Pullicino VN, Bonomo L. Lumbar intervertebral instability: a review. *Radiology*. 2007;245(1):62-77. Review.
- Pearson AM, Spratt KF, Genuario J, McGough W, Kosman K, Lurie J, et al. Precision of lumbar intervertebral measurements: does a computer-assisted technique improve reliability? *Spine (Phila Pa 1976)*. 2011;36(7):572-80.
- Dupuis PR, Yong-Hing K, Cassidy JD, Kirkaldy-Willis WH. Radiographic diagnosis of degenerative lumbar spinal instability. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1985;10(3):262-76.
- Nachemson AL. The role of spine fusion. *Spine*. 1981;6:306-7.
- Nachemson AL. Instability of the lumbar spine. Pathology, treatment, and clinical evaluation. *Neurosurg Clin N Am*. 1991;2(4):785-90. Review.
- Biely S, Smith SS, Silfies SP. Clinical instability of the Lumbar Spine: diagnosis and intervention. *Orthopaedic Practice*. 2006;18(3):11-8.
- Knutsson F. The instability associated with disk degeneration in the lumbar spine. *Acta Radiol*. 1944;25:593-609.
- Putto E, Tallroth K. Extension flexion radiographs for motion studies of the lumbar spine. A comparison of two methods. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1990;15(2):107-10.
- Panjabi MM, Ito S, Pearson AM, Ivancic PC. Injury mechanisms of the cervical intervertebral disc during simulated whiplash. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2004;29(11):1217-25.
- Panjabi MM, White AA 3rd. Basic biomechanics of the spine. *Neurosurgery*. 1980;7(1):76-93.
- Hanley EN Jr. The indications for lumbar spinal fusion with and without instrumentation. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1995;20(24 Suppl):143S-53S. Review.
- Boden SD, Wiesel SW. Lumbosacral segmental motion in normal individuals. Have we been measuring instability properly? *Spine (Phila Pa 1976)*. 1990;15(6):571-6. Erratum in: *Spine*. 1991;16(7):855.
- Denard PJ, Holton KF, Miller J, Fink HA, Kado DM, Yoo JU, Marshall LM; Osteoporotic Fractures in Men (MrOS) Study Group. Lumbar spondylolisthesis among elderly men: prevalence, correlates and progression. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2010;35(10):1072-8.
- Taher F, Essig D, Lebl DR, Hughes AP, Sama AA, Cammissa FP, et al. Lumbar degenerative disc disease: current and future concepts of diagnosis and management. *Adv Orthop*. 2012:970752.
- Cabraja M, Mohamed E, Koepfen D, Kroppenstedt S. The analysis of segmental mobility with different lumbar radiographs in symptomatic patients with a spondylolisthesis. *Eur Spine J*. 2012;21(2):256-61.
- Hasegawa K, Kitahara K, Hara T, Takano K, Shimoda H. Biomechanical evaluation of segmental instability in degenerative lumbar spondylolisthesis. *Eur Spine J*. 2009;18(4):465-70.
- Anderson DG, Limthongkul W, Sayadipour A, Kepler CK, Harrop JS, Maltenfort M, et al. A radiographic analysis of degenerative spondylolisthesis at the L4-5 level. *J Neurosurg Spine*. 2012;16(2):130-4.
- Pitkänen MT, Manninen HI, Lindgren KA, Sihvonen TA, Airaksinen O, Soimakallio S. Segmental lumbar spine instability at flexion-extension radiography can be predicted by conventional radiography. *Clin Radiol*. 2002;57(7):632-9.
- Pearson AM, Spratt KF, Genuario J, McGough W, Kosman K, Lurie J, et al. Precision of lumbar intervertebral measurements: does a computer-assisted technique improve reliability? *Spine (Phila Pa 1976)*. 2011;36(7):572-80.
- Fleiss JL, Slakter MJ, Fischman SL, Park MH, Chilton NW. Inter-examiner reliability in caries trials. *J Dent Res*. 1979;58(2):604-9.
- Gwet KL. Computing inter-rater reliability and its variance in the presence of high agreement. *Br J Math Stat Psychol*. 2008;61(Pt 1):29-48.
- Wongpakaran N, Wongpakaran T, Wedding D, Gwet KL. A comparison of Cohen's Kappa and Gwet's AC1 when calculating inter-rater reliability coefficients: a study conducted with personality disorder samples. *BMC Med Res Methodol*. 2013;13:61.
- Landis JR, Koch GG. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*. 1977;33(1):159-74.
- Svanholm H, Starklint H, Gundersen HJ, Fabricius J, Barlebo H, Olsen S. Reproducibility of histomorphologic diagnoses with special reference to the kappa statistic. *APMIS*. 1989;97(8):689-98.
- Friberg O. Lumbar instability: a dynamic approach by traction-compression radiography. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1987;12(2):119-29.
- Hayes MA, Howard TC, Gruel CR, Kopta JA. Roentgenographic evaluation of lumbar spine flexion-extension in asymptomatic individuals. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1989;14(3):327-31.
- Stokes IA, Frymoyer JW. Segmental motion and instability. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1987;12(7):688-91.
- Brown MD, Holmes DC, Heiner AD, Wehman KF. Intraoperative measurement of lumbar spine motion segment stiffness. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2002;27(9):954-8.
- Cakir B, Richter M, Käfer W, Wieser M, Puhl W, Schmidt R. Evaluation of lumbar spine motion with dynamic X-ray—a reliability analysis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2006;31(11):1258-64.
- Sperandio FF, Tavares GM, Santos GM. Intra and interobserver reproducibility in the Cobb angle in scoliosis patients. *Rev Bras Crescimento Desenvol Hum*. 2011;21(1):21-9.
- Teixeira WG, Coutinho PR, Marchese LD, Narazaki DK, Cristante AF, Teixeira MJ, et al. Interobserver agreement for the spine instability neoplastic score varies according to the experience of the evaluator. *Clinics (Sao Paulo)*. 2013;68(2):213-8.
- Pratali RR, Rizzo Neto MI, Zuiani GR, Cavali PT, Pasqualini W, Veiga IG, et al. Reproducibility analysis of the stability and treatment of vertebral metastatic lesions. *Coluna/Columna*. 2014;13(3):232-4.
- Gottfryd AO, Pomar Fde M, Carneiro Neto NJ, Franzin FJ, Rodrigues LM, Poletto PR. Reliability analysis of radiographic methods for determination of posterolateral lumbosacral fusion. *einstein (São Paulo)*. 2014;12(2):198-203.
- Sengupta DK, Fan H. The basis of mechanical instability in degenerative disc disease: a cadaveric study of abnormal motion versus load distribution. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2014;39(13):1032-43.