

IMAGEM BIPLANAR COM CAPACIDADE TRIDIMENSIONAL: APLICABILIDADE DO NOVO EXAME NAS DEFORMIDADES NA COLUNA VERTEBRAL

BIPLANAR IMAGING WITH TRIDIMENSIONAL CAPABILITIES: APPLICABILITY OF THIS NEW EXAMINATION TO SPINAL DEFORMITIES

IMAGEN BIPLANAR CON CAPACIDAD TRIDIMENSIONAL: APLICABILIDAD DEL NUEVO EXAMEN EN LAS DEFORMIDADES EN LA COLUMNA VERTEBRAL

RAPHAEL DE REZENDE PRATALI,¹ MURILO TAVARES DAHER,² ROBERT MEVES³

1. Hospital do Servidor Público Estadual, São Paulo, SP, Brasil.

2. Centro de Reabilitação e Readaptação Dr. Henrique Santillo (CRER), Goiânia, GO, Brasil.

3. Santa Casa de São Paulo, Faculdade de Ciências Médicas (FCMSCSP), São Paulo, SP, Brasil.

RESUMO

O presente estudo apresenta detalhes sobre a aplicabilidade do novo sistema de aquisição de imagem, denominado sistema de imagem biplanar, com capacidade tridimensional (EOS[®]) no tratamento de deformidades da coluna vertebral. Tal sistema permite a aquisição radiográfica do corpo inteiro, com grande redução da dose de radiação absorvida pelo paciente e reconstrução estereoradiográfica em imagem tridimensional (3D) das estruturas ósseas, incluindo a coluna vertebral. No caso de escoliose idiopática do adolescente, a análise da deformidade da coluna vertebral com reconstrução 3D permite a melhor compreensão da deformidade e planejamento cirúrgico. No caso da deformidade da coluna vertebral do adulto, a análise do corpo inteiro permite a avaliação da deformidade espinopélvica, incluindo a perda do alinhamento sagital, além da avaliação adicional dos mecanismos compensatórios recrutados pelo indivíduo na tentativa de manter o equilíbrio sagital. **Nível de evidência III; Revisão Descritiva.**

Descritores: Radiografia; Tecnologia Radiológica; Coluna Vertebral; Escoliose; Mau alinhamento Ósseo.

ABSTRACT

*This study presents details about the applicability of the new image acquisition system, called the biplanar imaging system, with three-dimensional capabilities (EOS[®]) to the treatment of spinal deformities. This system allows radiographic acquisition of the entire body, with a great reduction in the dose of radiation absorbed by the patient and three-dimensional (3D) stereoradiographic image reconstruction of bone structures, including the spine. In the case of adolescent idiopathic scoliosis, the analysis of the spinal deformity with 3D reconstruction allows better understanding of the deformity and surgical planning. In the case of adult spinal deformity, full-body analysis allows an evaluation of the spinopelvic deformity, including loss of sagittal alignment, in addition to an evaluation of compensatory mechanisms recruited by the individual in an attempt to maintain the sagittal balance. **Level of evidence III; Descriptive Review.***

Keywords: Radiography; Technology, Radiologic; Spine; Scoliosis; Bone Malalignment.

RESUMEN

*El presente estudio presenta detalles sobre la aplicabilidad del nuevo sistema de adquisición de imagen denominado sistema de imagen biplanar, con capacidad tridimensional (EOS[®]) en el tratamiento de deformidades de la columna vertebral. Tal sistema permite la adquisición radiográfica del cuerpo entero, con gran reducción de la dosis de radiación absorbida por el paciente y reconstrucción estereoradiográfica en imagen tridimensional (3D) de las estructuras óseas, incluyendo la columna vertebral. En el caso de escoliosis idiopática del adolescente, el análisis de la deformidad de la columna vertebral con reconstrucción 3D permite la mejor comprensión de la deformidad y planificación quirúrgica. En el caso de la deformidad de la columna vertebral del adulto, el análisis del cuerpo entero permite la evaluación de la deformidad espinopélvica, incluyendo la pérdida de la alineación sagital, además de la evaluación adicional de los mecanismos compensatorios reclutados por el individuo en el intento de mantener el equilibrio sagital. **Nivel de evidencia III; Revisión Descritiva.***

Descriptores: Radiografía; Tecnología Radiológica; Columna Vertebral; Escoliosis; Desviación Ósea.

INTRODUÇÃO

A tecnologia idealizada pelo Professor Georges Charpak,¹ vencedor do prêmio Nobel de física de 1992, permitiu o desenvolvimento de um novo sistema de aquisição de imagem, conhecido

como sistema de imagem biplanar com capacidade tridimensional (EOS[®]).² Com base num detector ultrasensível para Raio-X, tal sistema é capaz de limitar a dose de radiação absorvida pelo paciente, além de permitir aquisição de imagem simultânea nos planos anteroposterior (AP) e lateral (L), bidimensional (2D), do corpo

Estudo realizado no Hospital do Servidor Público Estadual Rua Borges Lagoa, 1755, Sala 180, Vila Clementino, São Paulo, SP, Brasil. CEP: 04038-034, the Faculdade de Ciências Médicas de São Paulo. Rua Marquês de Itu, 558, Vila Buarque, São Paulo, SP, Brasil. CEP: 01223-000, and the Centro de Reabilitação e Readaptação Dr. Henrique Santillo. Avenida Vereador José Monteiro, 1655, Setor Negrão de Lima, Goiânia, GO, Brasil. CEP: 74653-230.

Correspondência: Raphael de Rezende Pratali. Rua Borges Lagoa, 1755, Sala 180, Vila Clementino, São Paulo, SP, Brasil. CEP: 04038-034. pratalir@gmail.com

inteiro.²⁻⁵ A aquisição simultânea da imagem nos dois planos, quando realizado em ambiente calibrado, permite ainda reconstrução estereoradiográfica em imagem tridimensional (3D) das estruturas ósseas e da coluna vertebral.²⁻⁵ (Figura 1)

Com tal sistema de imagem biplanar, a aquisição de imagem do corpo total é feita rapidamente, em torno de 30 segundos,² e com dose de radiação cerca de 10 vezes menor que para obtenção de uma radiografia total da coluna vertebral.^{6,7} Outra vantagem é a obtenção de imagem em tamanho real, sem magnificação, devido à aquisição simultânea por duas fontes de Raio-X.⁵ Finalmente, um dos principais recursos desse sistema de imagem é a capacidade de obter imagens de estruturas ósseas com reconstrução 3D a partir da aquisição em dois planos. Essa capacidade depende de um software que utiliza algoritmos baseados em modelos estatísticos e reconhecimento do formato dos elementos ósseos e um operador bem treinado para identificar pontos chaves no formato dos elementos ósseos em questão.^{3,4}

O emprego da aquisição de imagem pelo sistema biplanar tem evoluído consideravelmente nos últimos anos, com crescente aplicabilidade prática sobretudo na avaliação de afecções da coluna vertebral.⁵ O objetivo do presente artigo é uma atualização apresentando e discutindo sobre os benefícios da aquisição de imagem do esqueleto pelo sistema de imagem biplanar considerando deformidades da coluna vertebral, tanto em pacientes pediátricos quanto adultos.

A escoliose idiopática do adolescente (EIA) é a deformidade vertebral mais comum na prática clínica e acomete 1,5 a 3% dos adolescentes.⁸ Apesar da definição levar em consideração apenas o plano coronal (angulação maior do que 10°),⁸ é sabidamente uma deformidade tridimensional, na qual existe uma torção da coluna vertebral e de todo o tronco.⁹

O reconhecimento das características tridimensionais dessa deformidade permitiu a evolução dos sistemas de fixação observada nas últimas décadas, desde as hastes de distração de Harrington da década de 60 (correção uniplanar), o sistema de fixação segmentar com os fios de Luque nos anos 70 (biplanar), até os ganchos e manobras de derrotação das hastes de Cotrel-Dubousset nos anos 80 (correção triplanar).¹⁰ Mais recentemente, com o advento dos parafusos pediculares, essa correção foi otimizada, permitindo a derrotação vertebral direta das vértebras do ápice da deformidade.¹¹

No entanto, apesar da grande evolução observada no tratamento dessa deformidade, a propedêutica se manteve praticamente inalterada, com a radiografia simples sendo basicamente o único exame utilizado para diagnóstico, classificação e planejamento terapêutico.¹² A caracterização da escoliose, uma deformidade tridimensional, por meio da radiografia, um método bidimensional, acarreta algumas limitações, sendo as principais a quantificação da rotação da vértebra apical (RVA) e a medida das curvas no plano sagital.

O método mais utilizado na prática clínica para a avaliação da RVA através de radiografia simples é o método de Nash-Moe, entretanto apresenta algumas limitações, como a graduação de neutro a “++++”, sem correlação com a medida em graus.^{13,14} Já a caracterização das curvas no plano sagital é um desafio ainda maior, pois quanto mais grave a curva, maior a rotação axial e pior a caracterização do plano sagital através da radiografia em perfil. Isso porque a rotação não

permite a avaliação do “perfil verdadeiro” da alma da curva, justamente a região de maior gravidade da deformidade. Isso foi demonstrado no estudo de Péroux et al., que através de radiografias oblíquas determinou o perfil verdadeiro da alma da curva, caracterizando o *plan d’élection* de Stagnara.¹⁵ Esses parâmetros são de fundamental importância, pois se tem bem estabelecido que a hipocifose torácica é um dos eventos mais importantes na patogênese da deformidade e, juntamente com a rotação axial, possui relação com progressão da curva.¹⁶

A avaliação desses parâmetros poderia ser realizada utilizando exames sofisticados como a tomografia computadorizada (TC) ou a ressonância magnética (RM), entretanto estes apresentam algumas limitações incluindo custo elevado, não permitir a avaliação do paciente em posição ortostática e, com a TC, altas doses de radiação.¹⁴ A questão da exposição à radiação se torna ainda mais relevante na população pediátrica, que geralmente necessita de numerosos exames ao longo da vida para acompanhamento.¹⁷ Como já mencionado, a aquisição de imagens com o sistema biplanar permite a avaliação do paciente na posição ortostática com exposição à radiação cerca de 10 vezes inferior a obtenção de uma radiografia de coluna total.^{6,7} Mais recentemente, novos protocolos com utilização de micro doses têm permitido a realização de exames com até 5,5 vezes menos radiação do que o protocolo habitual, sem perda importante da qualidade das imagens. Esse protocolo é sugerido para a fase de acompanhamento dos pacientes, com doses praticamente negligenciável de radiação ionizante.^{17,18}

O sistema de imagem biplanar permite a análise de todos os parâmetros bi-dimensionais, (Figura 2) como na radiografia convencional, além da análise tridimensional, com a reconstrução das imagens em 3D. (Figura 2) A mensuração dos parâmetros radiográficos de interesse na EIA demonstraram elevada acurácia comparado com a mensuração de imagens obtidas por TC, considerando tanto o valor do Cobb, quanto a cifose torácica e a rotação axial.¹⁹

Utilizando essa tecnologia, Newton et al., conseguiram demonstrar o verdadeiro posicionamento das vértebras no plano sagital. Os autores avaliaram a angulação sagital de cada vértebra em relação a vértebra adjacente e observaram que as medidas bidimensionais tendem a hiprestimar a cifose torácica medida entre T5 e T12 em 11° em média. Além dessas informações permitem o refinamento na correção cirúrgica a medida que se entende a relação exata entre uma vertebra e outra, eles chamam a atenção para a impossibilidade de se comparar a cifose torácica pré-operatório com a medidas do pós-operatório, já que durante a correção é realizado a derrotação das vértebras da alma da curva.²⁰

Além dos parâmetros habituais já estudados nas radiografias, o sistema de imagem biplanar permite a avaliação de diversos outros parâmetros, tanto regionais (Cobb máximo, Cobb coronal, Cobb sagital, plano de máxima curvatura (PMC) e plano formado pelas vértebras final-apical-final, quanto locais (acunhamento da vértebra e disco, rotação no plano transversal e medidas pélvicas). Além disso, novas formas de apresentação da deformidade têm sido desenvolvidas com base nesses parâmetros, principalmente o plano de máxima curvatura (PMC) medido utilizando a orientação do plano formado pelas vértebras final-apical-final para a curva torácica proximal, torácica principal e curva lombar/toracolombar. No paciente com coluna normal, a orientação das vértebras final-apical-final é praticamente na linha média (zero graus), já que as curvas fisiológicas são a cifose torácica e lordose lombar, que se encontram no plano sagital. No intuito de facilitar a visualização da deformidade no plano axial, foi desenvolvido uma representação gráfica, chamada de visão de “da Vinci”, que permite avaliar esses planos de maneira mais simplificada.¹⁰ (Figura 2)

Comprovando a importância da avaliação tridimensional da deformidade e na sua aplicabilidade na prática clínica, a *Scoliosis Research Society* (SRS) criou um comitê para o desenvolvimento da classificação 3D da EIA. Utilizando técnicas de agrupamento de dados, eles identificaram formas diferentes de curvas, mesmo entre curvas classificados como mesmo tipo utilizando a classificação de Lenke.¹⁰ Apesar de ainda não disponível, os membros desse comitê acreditam que ela permitirá entender melhor os aspectos tridimensionais da deformidade, definir melhor a forma de correção desses parâmetros e melhorar a avaliação dos resultados pós-operatórios.¹⁰

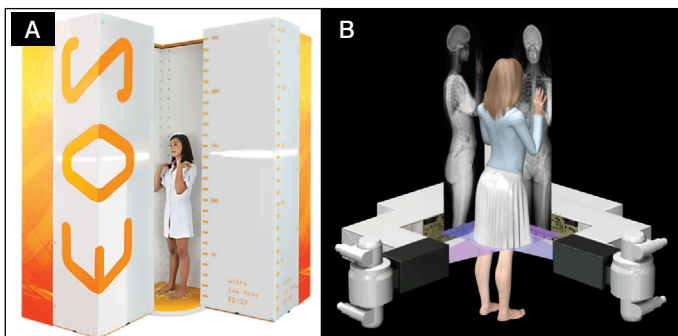


Figura 1. A. Posicionamento da paciente no interior da cabine do aparelho. B. Esquema mostrando a aquisição simultânea das imagens de frente e perfil (biplanar) em varredura craniocaudal.

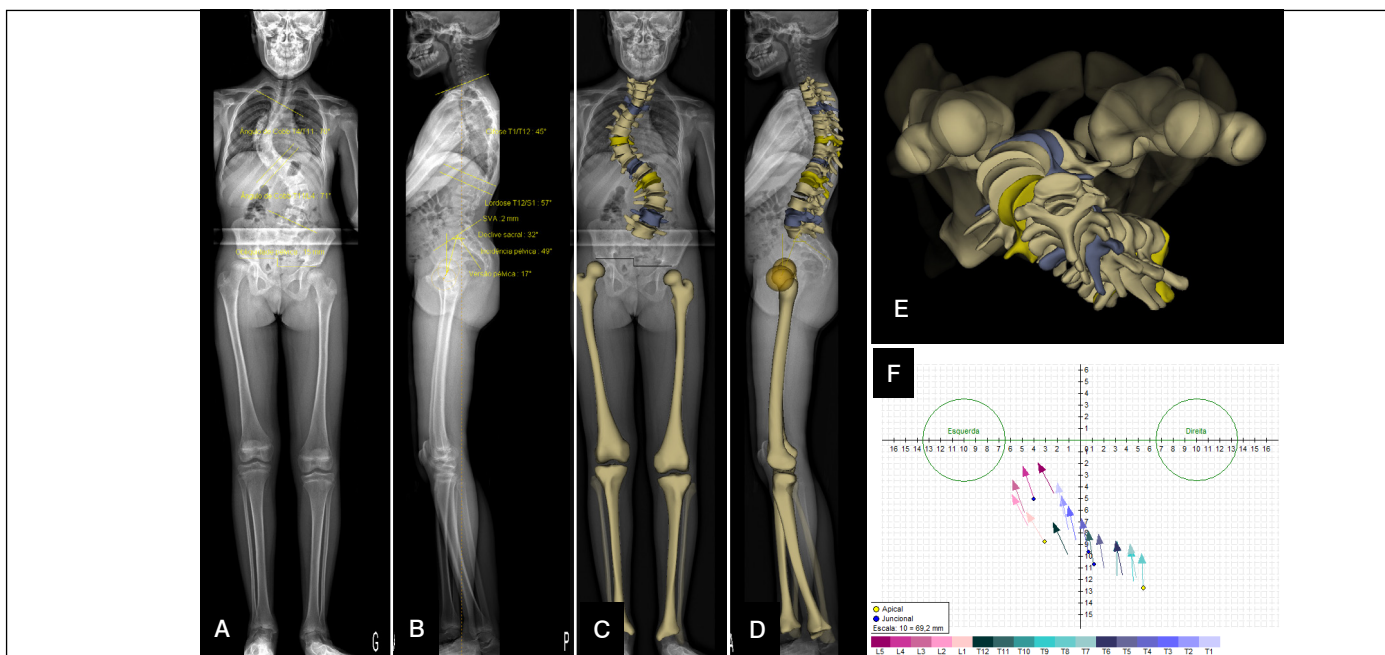


Figura 2. A e B. Imagens radiográficas bidimensionais do corpo inteiro frente (A) e perfil (B) de uma paciente com EIA, com medida dos parâmetros radiográficos de interesse da coluna vertebral; C e D. Reconstrução estereoradiográfica 3D dos elementos ósseos da coluna vertebral e dos membros inferiores; E. Visão axial da reconstrução 3D da coluna vertebral, mostrando o deslocamento de cada vertebral nesse plano; F. Gráfico mostrando o verdadeiro posicionamento de cada vertebra no plano axial e os vetores de inclinação vertebral, que denotam seu grau de rotação.

Deformidade da coluna vertebral do adulto

O estudo da deformidade da coluna vertebral no adulto (DCVA) desperta interesse frente ao envelhecimento populacional observado globalmente.²¹ Tal deformidade está relacionada com incapacidade funcional muito intensa, comparável com condições crônicas como diabetes, câncer, doenças respiratórias e cardíacas,²¹ e uma considerável parcela dos pacientes procuram por tratamento cirúrgico. A avaliação dos pacientes com DCVA assim como o planejamento do tratamento envolve a análise de parâmetros radiográficos bem estabelecidos,²¹⁻²³ alguns deles utilizados no sistema de classificação SRS-Schwab, o mais amplamente utilizado e que teve relevância clínica demonstrada.²⁴ Tal sistema de classificação consiste em um componente descritivo do tipo de deformidade, incluindo dupla curva coronal (torácica e lombar), curva torácica, curva lombar e deformidades sem deformidade no plano coronal, além de três modificadores sagitais, de acordo com o valor dos parâmetros radiográficos relacionados ao alinhamento sagital da coluna vertebral que mais se correlacionam com incapacidade funcional, incluindo o eixo vertical sagital (EVS), a versão pélvica (VP) e a discrepância entre a incidência pélvica e a lordose lombar (IP-LL).²⁴

Todo interesse do estudo da relação do alinhamento sagital vertebral com o alinhamento pélvico vem do conceito introduzido pelo Professor Dubouset do “Cone de Economia”, que consiste na estreita margem que o corpo é capaz de permanecer equilibrado com mínimo esforço e sem suporte externo.²⁵ Estudo recente procurou avaliar o conceito do “Cone de Economia” pesquisando a relação da linha de gravidade (LG) do corpo com a posição do pé, considerando os parâmetros radiográficos do alinhamento sagital vertebral dos voluntários. Foi demonstrado que a inclinação anterior do tronco, representada pelo aumento do EVS, leva a uma retroversão da pelve, com aumento do ângulo de VP, e/ou flexão do joelho, de modo que a localização da LG não se altera com relação à posição do pé.²⁶ Sendo assim, com intuito de manter o centro da massa corporal, representado pela LG, com relação próxima à posição do pé, mantendo o “Cone de Economia”, a perda do alinhamento sagital vertebral é acompanhada do recrutamento de mecanismos compensatórios.²⁷⁻²⁹ A identificação desses mecanismos compensatórios permite a interpretação real da deformidade vertebral e se faz fundamental

no planejamento da correção cirúrgica visando otimizar a obtenção do alinhamento pós-operatório.²⁹

Muitos dos mecanismos compensatórios são observados na própria coluna vertebral e na pelve, incluindo hiperlordose cervical, hipocifose torácica e retroversão pélvica, podendo ser avaliadas mediante exame de radiografia panorâmica ortostática da coluna total. No entanto, outros mecanismos compensatórios envolvendo os membros inferiores, incluindo alterações na posição do quadril, joelho e tornozelo,²⁷⁻³⁰ não podem ser contempladas com exames de imagem convencionais da coluna vertebral. A avaliação dos pacientes com DCVA pelo sistema de imagem biplanar de corpo inteiro permite um melhor entendimento tanto da deformidade espino-pélvica quanto dos mecanismos compensatórios recrutados, com uma análise completa do alinhamento sagital.^{27,29} (Figura 3)

Ferrero et al. conduziram um estudo analisando o alinhamento sagital de acordo com avaliação do corpo inteiro com imagens obtidas pelo sistema biplanar.²⁹ Considerando uma grande amostra de indivíduos com DCVA, observou-se que a perda da lordose lombar e a inclinação anterior do tronco (aumento do EVS e do ângulo de Inclinação T1 espinopélvica), representando perda do alinhamento sagital vertebral, associavam-se com o recrutamento de mecanismos compensatórios, incluindo retroversão da pelve (aumento da VP), deslocamento posterior da pelve e flexão do joelho.²⁹ (Figura 3) Houve correlação estatisticamente significativa entre os parâmetros radiográficos espino-pélvicos e os parâmetros considerados na avaliação dos mecanismos compensatórios dos membros inferiores, ressaltando o papel desses mecanismos na tentativa de reduzir a perda do alinhamento sagital da coluna vertebral e toda incapacidade funcional associada.²⁹

Uma vez que o impacto clínico da DCVA esteja associada com a gravidade da deformidade intrínseca na coluna vertebral e com o comportamento dos mecanismos compensatórios, foi estabelecido um novo parâmetro radiográfico que permite contemplar tanto a perda do alinhamento sagital espino-pélvica quanto os mecanismos compensatórios, denominado ângulo sagital global (ASG).³¹ (Figura 3) Em uma análise retrospectiva considerando 143 pacientes com DCVA submetidos à avaliação por imagem com o sistema biplanar de corpo inteiro, Diebo et al., demonstram correlação desse novo parâmetro com o índice de

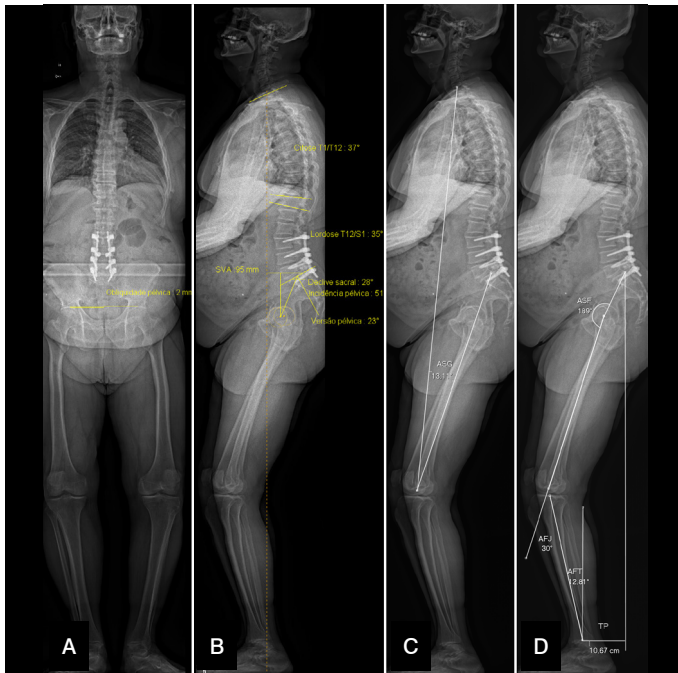


Figura 3. Imagens do corpo inteiro de frente de um paciente com DCVA; B. Imagem radiográfica do corpo inteiro de perfil do paciente, com a medida dos parâmetros que indicam a perda do alinhamento sagital espinopélvico, incluindo a incidência pélvica, a versão pélvica, a lordose lombar, a cifose torácica e o eixo vertical sagital; C. Medida do parâmetro radiográfico ângulo sagital global (ASG) que permite contemplar a perda do alinhamento sagital espinopélvico e o recrutamento de mecanismos compensatórios nos membros inferiores simultaneamente; D. Medida dos parâmetros radiográficos indicativos dos mecanismos compensatórios frente à perda do alinhamento sagital: ângulo de flexão do joelho (AFJ), ângulo sacro-femoral (ASF), ângulo de flexão do tornozelo (AFT) e deslocamento posterior da pelve (TP).

Oswestry e o questionário Scoliosis Research Society-22, além de correlação significativa com os parâmetros radiográficos de avaliação do alinhamento espinopélvico (EVS e VP) e com os mecanismos compensatórios dos membros inferiores (ângulo sacro-femoral, ângulo de flexão do joelho e ângulo de flexão do tornozelo).³¹

CONSIDERAÇÕES

A nova tecnologia para aquisição de imagem radiográfica do corpo inteiro e com capacidade de reconstrução 3D dos elementos ósseos, permite uma melhor compreensão da deformidade da coluna vertebral, com novas perspectivas para a tomada de decisão do planejamento cirúrgico no trato das deformidades da coluna vertebral. Tudo isso associado com a exposição a dose de radiação absorvida pelo paciente cerca de 10 vezes menor que a necessária para uma radiografia da coluna total. Uma das principais limitações da aquisição de imagens da coluna vertebral com essa nova tecnologia é a incapacidade de realização do exame com o paciente em decúbito, importante para avaliação da flexibilidade da deformidade (tanto com as inclinações laterais na EIA como o simples decúbito para retirar o efeito da musculatura sobre a deformidade). Concluindo, pode-se inferir que a análise das imagens obtidas pelo sistema biplanar de corpo inteiro e com capacidade 3D permite uma melhor avaliação da deformidade, possivelmente com planejamento cirúrgico mais completo, comprovadamente com uma menor exposição à radiação. Faltam estudos que demonstrem melhora no resultado e na segurança associada ao tratamento das deformidades da coluna vertebral associado com a análise de imagens com essa nova tecnologia.

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 desse artigo. Os autores RRP e MTD escreveram o manuscrito, com revisão final do autor RM. Todos os autores contribuíram de maneira igual intelectualmente para o conceito do artigo e aprovaram sua versão final.

REFERÊNCIAS

- Charpak G. La detection des particules. Recherche. 1981;128:1384-96.
- Dubouset J, Charpak G, Dorion I, Skalli W, Lavaste F, Deguise J, et al. A new 2D and 3D imaging approach to musculoskeletal physiology and pathology with low-dose radiation and the standing position: the EOS system. Bull Acad Natl Med. 2005;189(2):287-97.
- Humbert L, De Guise JA, Aubert B, Godbout B, Skalli W. 3D reconstruction of the spine from biplanar X-rays using parametric models based on transversal and longitudinal inferences. Med Eng Phys. 2009;31(6):681-7.
- Chaibi Y, Cresson T, Aubert B, Hausselle J, Neyret P, Hauger O, et al. Fast 3D reconstruction of the lower limb using a parametric model and statistical inferences and clinical measurements calculation from biplanar X-rays. Comput Methods Biomech Biomed Eng. 2012;15(5):457-66.
- Melhem E, Assi A, Rachkidi RE, Ghanem I. EOS biplanar X-ray imaging: concept, developments, benefits, and limitations. J Child Orthop. 2016;10(1):1-14.
- Kalifa G, Charpak Y, Maccia C, Fery-Lemonnier E, Bloch J, Boussard JM, et al. Evaluation of a new low-dose digital X-ray device: first dosimetric and clinical results in children. Pediatr Radiol. 1998;28(7):557-61.
- Damet J, Fournier P, Monnin P, Sans-Merce M, Ceroni D, Zand T, et al. Occupational and patient exposure as well as image quality for full spine examinations with the EOS imaging system. Med Phys. 2014;41(6):063901.
- Lonstein JE. Adolescent idiopathic scoliosis. Lancet. 1994;344(8934):1407-12.
- Weinstein SL. Natural history. Spine (Phila Pa 1976). 1999;24(24):2592-600.
- Labelle H, Aubin CE, Jackson R, Lenke L, Newton P, Parent S. Seeing the spine in 3D: how will it change what we do? J Pediatr Orthop. 2011;31(1 Suppl):S37-45.
- Lee SM, Suk SI, Chung ER. Direct vertebral rotation: a new technique of three-dimensional deformity correction with segmental pedicle screw fixation in adolescent idiopathic scoliosis. Spine (Phila Pa 1976). 2004;29(3):343-9.
- Lenke LG, Edwards CC, Bridwell KH. The Lenke classification of adolescent idiopathic scoliosis: how it organizes curve patterns as a template to perform selective fusions of the spine. Spine (Phila Pa 1976). 2003;28(20S):S199-207.
- Nash CL, Moe JH. A study of vertebral rotation. J Bone Joint Surg Am. 1969;51(2):223-9.
- Sullivan TB, Bastrom T, Reighard F, Jeffords M, Newton PO. A Novel Method for Estimating Three-Dimensional Apical Vertebral Rotation Using Two-Dimensional Coronal Cobb Angle and Thoracic Kyphosis. Spine Deform. 2017;5(4):244-9.
- Du Peloux J. Le plan d'élection pour l'examen radiologique des cyphoscolioses. Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot. 1965;51:517-24.
- Dickson RA, Lawton JO, Archer IA, Butt VP. The pathogenesis of idiopathic scoliosis. Biplanar spinal asymmetry. J Bone Joint Surg Br. 1984;66(1):8-15.
- Newton PO, Khandwala Y, Bartley CE, Reighard FG, Bastrom TP, Yaszay B. New EOS imaging protocol allows a substantial reduction in radiation exposure for scoliosis patients. Spine Deform. 2016;4(2):138-44.
- Ilharberdor B, Ferrero E, Alison M, Mazda K. EOS microdose protocol for the radiological follow-up of adolescent idiopathic scoliosis. Eur Spine J. 2016;25(2):526-31.
- Glaser DA, Doan J, Newton PO. Comparison of 3-dimensional spinal reconstruction accuracy: biplanar radiographs with EOS versus computed tomography. Spine (Phila Pa 1976). 2012;37(16):1391-7.
- Newton PO, Fujimori T, Doan J, Reighard FG, Bastrom TP, Misaghi A. Defining the "Three-Dimensional Sagittal Plane" in Thoracic Adolescent Idiopathic Scoliosis. J Bone Joint Surg Am. 2015;97(20):1694-701.
- Pratali R, Diebo B, Schwab F. Adult spine deformity – an overview of radiographic and clinical considerations. Coluna/Columna. 2017;16(2):149-52.
- Tebet MA. Conceitos atuais sobre equilíbrio sagital e classificação da espondilolise e espondilolise. Rev Bras Ortop. 2014;49(1):3-12.
- Pratali RR, Hennemann SA, Amaral R, Da Silva LECT, De Carvalho MOP, Daher MT, et al. Terminologia padronizada da deformidade vertebral do adulto para o Português do Brasil. Coluna/Columna. 2015;14(4):281-5.
- Terran J, Schwab F, Shaffrey CI, Smith JS, Devos P, Ames CP, et al. The SRS-Schwab adult spinal deformity classification: assessment and clinical correlations based on a prospective operative and nonoperative cohort. Neurosurgery. 2013;73(4):559-68.
- Dubouset J. Three-dimensional analysis of the scoliotic deformity. In: Weinstein SL, editors. Pediatric Spine: Principles and Practice. New York, NY: Raven Press; 1994.
- Lafage V, Schwab F, Skalli W, Hawkinson N, Gagey PM, Ondra S, et al. Standing balance and sagittal plane spinal deformity Analysis of spinopelvic and gravity line parameters. Spine (Phila Pa 1976). 2008;33(14):1572-8.
- Barrey C, Roussouly P, Le Huec JC, D'Acunzi G, Perrin G. Compensatory mechanisms contributing to keep the sagittal balance of the spine. Eur Spine J. 2013;22(Suppl 6):S834-41.
- Obeid I, Hauger O, Aunoble S, Bourghli A, Pellet N, Vital JM. Global analysis of sagittal spinal alignment in major deformities: correlation between lack of lumbar lordosis and flexion of the knee. Eur Spine J. 2011;20(Suppl 5):S681-5.
- Ferrero E, Liabaud B, Chailier V, Lafage R, Diebo BG, Vira S. Role of pelvic translation and lower-extremity compensation to maintain gravity line position in spinal deformity. J Neurosurg Spine. 2016;24(3):436-46.
- Barrey C, Roussouly P, Perrin G, Le Huec JC. Sagittal balance disorders in severe degenerative spine. Can we identify the compensatory mechanisms? Eur Spine J. 2011;20(Suppl. 5):S626-33.
- Diebo BG, Oren JH, Chailier V, Lafage R, Ferrero E, Liu S, et al. Global sagittal axis: a step toward full-body assessment of sagittal plane deformity in the human body. J Neurosurg Spine. 2016;25(4):494-9.