

Desenvolvimento de software para determinação dos parâmetros sagitais e ponto de inflexão

Software development for determining sagittal parameters and inflection point

Software development for determining sagittal parameters and inflection point

DOI:10.34119/bjhrv7n3-380

Submitted: May 10th, 2024

Approved: May 31th, 2024

Adimilson dos Santos Delgado

Mestre em Bioengenharia

Instituição: Universidade de São Paulo (USP), Programa de Pós-Graduação Interunidades em Bioengenharia (EESC/FMRP/IQSC)

Endereço: São Carlos, São Paulo, Brasil

E-mail: delganeuro@usp.br

Bruna Souza Morais

Doutora em Bioengenharia

Instituição: Universidade de São Paulo (USP), Programa de Pós-Graduação Interunidades em Bioengenharia (EESC/FMRP/IQSC)

Endereço: São Carlos, São Paulo, Brasil

E-mail: b.souzamorais@usp.br

Helton Luiz Aparecido Defino

Doutor em Medicina

Instituição: Universidade de São Paulo, Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto
Departamento de Biomecânica, Medicina e Reabilitação

Endereço: Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil

E-mail: hladefin@fmrp.usp.br

Arlindo Neto Montagnoli

Doutor em Engenharia

Instituição: Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR), Departamento de Engenharia Elétrica

Endereço: São Carlos, São Paulo, Brasil

E-mail: arlindonm@gmail.com

RESUMO

A otimização da análise paramétrica para programação cirúrgica da coluna vertebral passa pela inclusão de parâmetros funcionais que refletem as características individuais, além dos parâmetros anatômicos comumente utilizados. Assim, o objetivo deste trabalho é validar e apresentar uma nova ferramenta de análise paramétrica anatômica e funcional. A metodologia de validação baseou-se na comparação pela diferença média absoluta dos parâmetros versão pélvica (VP), inclinação sacral (IS), incidência pélvica (IP), cifose torácica (CT) e lordose

lombor (LL), calculados com o *software* proposto e o Surgimap, para 10 voluntários assintomáticos. O resultado para cada parâmetro foi: IS = 0.25°, VP = 0.09°, IP = 0.24°, CT = 4.3°, LL = 0.51°. Os pontos de inflexão da coluna foram localizados pela derivada da curva da coluna vertebral modelada pela interpolação dos centroides dos corpos vertebrais. Focando as análises na lordose lombor, demonstrou-se que o ponto de inflexão nem sempre coincide com o referencial anatômico da mudança de curvatura da coluna. Os resultados preliminares apresentam fortes indícios que a introdução dos parâmetros funcionais representam a coluna vertebral de forma mais próxima do real, sendo promissores para os avanços na programação cirúrgica.

Palavras-chave: alinhamento sagital, parâmetros espinopélvicos, parâmetros vertebrais, ponto de inflexão, cifose torácica, lordose lombor.

ABSTRACT

Optimization of parametric analysis for spinal surgical programming involves the inclusion of functional parameters that reflect individual characteristics, in addition to commonly used anatomical parameters. Thus, the objective of this work is to validate and present a new tool for anatomical and functional parametric analysis. The validation methodology was based on the comparison by the mean absolute difference of the parameters pelvic version (VP), sacral inclination (SI), pelvic incidence (PI), thoracic kyphosis (CT) and lumbar lordosis (LL), calculated with the proposed software and Surgimap, for 10 asymptomatic volunteers. The result for each parameter was: IS = 0.25°, VP = 0.09°, IP = 0.24°, CT = 4.3°, LL = 0.51°. The column inflection points were located by the derivative of the vertebral column curve modeled by the interpolation of centroids of vertebral bodies. Focusing the analyzes on lumbar lordosis, it has been shown that the inflection point does not always coincide with the anatomic reference point of the change of curvature of the spine. The preliminary results show strong indications that the introduction of the functional parameters represents the spine in a manner closer to the real, being promising for the advances in surgical programming.

Keywords: sagittal alignment, spinopelvic parameters, vertebral parameters, point of inflection, thoracic kyphosis, lumbar lordosis.

RESUMEN

La optimización del análisis paramétrico para la programación quirúrgica espinal implica la inclusión de parámetros funcionales que reflejan características individuales, además de los parámetros anatómicos comúnmente utilizados. Así, el objetivo de este trabajo es validar y presentar una nueva herramienta para el análisis paramétrico anatómico y funcional. La metodología de validación se basó en la comparación por la diferencia absoluta media de los parámetros versión pélvica (VP), inclinación sacra (IE), incidencia pélvica (IP), cifosis torácica (CT) y lordosis lombor (LL), calculados con el software propuesto y Surgimap, para 10 voluntarios asintomáticos. El resultado para cada parámetro fue: IS = 0,25°, VP = 0,09°, IP = 0,24°, CT = 4,3°, LL = 0,51°. Los puntos de inflexión de la columna se localizaron por la derivada de la curva de la columna vertebral modelada por la interpolación de los centroides de los cuerpos vertebrales. Centrando los análisis en la lordosis lombor, se ha demostrado que el punto de inflexión no siempre coincide con el punto de referencia anatómico del cambio de curvatura de la columna vertebral. Los resultados preliminares muestran fuertes indicios de que la introducción de los parámetros funcionales representa la columna vertebral de una manera más cercana a la real, siendo prometedora para los avances en programación quirúrgica.

Palabras clave: alineación sagital, parâmetros espinopélvicos, parâmetros vertebrales, punto de inflexión, cifosis torácica, lordosis lumbar.

1 INTRODUÇÃO

A manutenção do equilíbrio nas diversas posturas corporais evidencia a harmonia estático-dinâmica da coluna vertebral. É propriamente esse equilíbrio que proporciona sua funcionalidade na sustentação corporal e concomitantemente garante uma aparência harmônica (Roussouly *et al.*, 2019). Entretanto, grande parte dos estudos de análise da coluna são feitos em posturas estáticas considerando-a como uma estrutura rígida e ignorando suas características individuais.

Vários parâmetros anatômicos combinados foram descritos na literatura para se caracterizar o alinhamento da coluna vertebral e já estão bem consolidados na prática do planejamento cirúrgico da coluna vertebral (Roussouly *et al.*, 2019). Mas todos eles foram focados em parâmetros morfológicos e em parâmetros pélvicos. No entanto, esta análise tem se mostrado insuficiente para determinar as estratégias do tratamento cirúrgico ao subestimar a especificidade de dados relacionados aos parâmetros espinopélvicos.

Software de análise computadorizada, como o Surgimap, Optispine, Keops, buscam aprimorar a acurácia e a reprodutibilidade entre os mais diversos parâmetros da coluna para poder ser utilizado como uma parametrização de análise para as correções cirúrgicas (Roussouly *et al.*, 2019; Lafage *et al.*, 2015). No entanto, a maior parte desses programas levam em consideração a aferição apenas de parâmetros anatômicos, morfológicos e não-funcionais, não priorizando as mudanças correlacionadas com o ponto de inflexão da coluna vertebral.

O ponto de inflexão é uma alternativa para análise das curvaturas da coluna vertebral com base na mudança de curvatura, ao contrário do método tradicional, onde os limites anatômicos são pré-estabelecidos e imutáveis. Apesar da literatura definir originalmente a lordose lombar com início e fim limitados anatomicamente pelo platô superior de L1 e o de S1, quando se leva em consideração o ângulo de mudança da curva da coluna, esse ponto pode não coincidir com o anatômico, estendendo-se, por exemplo, do nível de T9 a T12. Esta observação vem de encontro a necessidade descrita nos trabalhos de Roussouly, que vislumbrava a possibilidade de unir referenciais anatômicos e funcionais, que por sua vez pudessem determinar mudanças relevantes nos cálculos de programação cirúrgica da coluna, potencialmente minimizando erros (Roussouly *et al.*, 2019; Roussouly; Pinheiro-Franco, 2011).

Assim, ressalta-se a importância de aprimorar a metodologia de análise paramétrica da coluna para uma melhor programação cirúrgica, minimização dos erros e falhas de cálculo. A inclusão dos parâmetros funcionais vem de encontro à necessidade de analisar o alinhamento sagital de uma forma mais individualizada (Pan; Wang; Sun, 2020; Choi *et al.*, 2020).

A proposta do presente estudo é a validação do software que implemente uma metodologia de análise paramétrica anatômica e funcional da coluna para programação cirúrgica:

- Calcular os parâmetros anatômicos e comparar com resultados obtidos com o software de referência Surgimap;
- Determinar de forma automatizada através de cálculos matemáticos o ponto de inflexão da coluna vertebral como um parâmetro funcional a ser considerado para programação nas cirurgias de coluna.

2 METODOLOGIA

2.1 PROTOCOLO DE COLETA

Um estudo prospectivo foi realizado com base em 10 exames radiológicos de Raio-X de coluna panorâmica de pacientes sendo 8 do sexo masculino e 2 do sexo feminino, com idade entre 18 a 40 anos. As imagens foram coletadas de um banco de dados no período de Janeiro de 2019 a Julho de 2021. Os exames avaliados foram obtidos através de Raio-X simples de coluna vertebral panorâmica em incidência em perfil, desde a região crânio-vertebral, região cervical até as cabeças femurais, que deviam estar incluídas nos campos de visão e possuir contornos visíveis.

O posicionamento do indivíduo para a radiografia panorâmica da coluna vertebral foi realizado com base no estudo de Marks, Stanford e Newton (2009). O estudo radiológico da coluna total foi obtido com o posicionamento do paciente em pé (pósterio-anterior e lateral-perfil), sendo incluído apenas o estudo lateral, com os membros superiores apoiados em um suporte, em 30 graus de flexão e os cotovelos ligeiramente fletidos. Este posicionamento foi escolhido por ser o mais comparável a uma posição ortostática funcional, que não altere significativamente o alinhamento sagital da coluna vertebral (Savarese *et al.*, 2020).

Foram incluídos no estudo somente imagens obtidas com total visualização de todos os elementos da estrutura óssea desde a transição crânio-vertebral, vértebras da coluna cervical, coluna torácica, coluna lombar e sacral, bacia até as cabeças femurais. Foram excluídos

indivíduos com histórico prévio de cirurgias na coluna ou no quadril, bem como aqueles com doenças na articulação femoroacetabular, doenças neurológicas ou neuromusculares.

2.2 VALIDAÇÃO DA FERRAMENTA

A validação da ferramenta foi feita pela comparação das medições no Surgimap e no novo software, dos principais parâmetros espinopélvicos: parâmetros pélvicos (versão pélvica (VP), inclinação sacral (IS) e incidência pélvica (IP)) e parâmetros vertebrais (cifose torácica (CT), lordose lombar (LL)) (Roussouly; Pinheiro-Franco, 2011; Le Huec *et al.*, 2015; Diebo *et al.*, 2015). A precisão foi avaliada pelo cálculo da diferença média absoluta para cada parâmetro (Lafage *et al.*, 2015).

Para aferição no software proposto inicialmente, foram feitas as marcações da cabeça do fêmur e dos vértices do corpo vertebral de C3 a S1. A partir desta marcação, foi realizada a modelagem matemática da coluna utilizando os mesmos referenciais do Surgimap, para padronização dos cálculos espinopélvicos.

No Surgimap as medições foram feitas com o Sagital Spino-Pelvic Wizard que leva em consideração os seguintes referenciais anatômicos: cabeças femurais, platô superior de S1, L1 e T1 e platô inferior de C2. Para eliminar o viés topográfico de marcação, a localização desses pontos no Surgimap foi feita sobre os mesmos pontos mapeados previamente no software apresentado.

2.3 PONTO DE INFLEXÃO

O ponto de inflexão foi calculado matematicamente através da mudança do ângulo da curva da coluna vertebral. Inicialmente foi realizada uma modelagem da curvatura da coluna vertebral baseado no centróide dos corpos vertebrais. Em seguida foi calculada a inclinação do gráfico ajustado para coluna, com base no coeficiente angular. O ponto de inflexão da coluna vertebral corresponde quando o coeficiente angular é igual a zero.

3 RESULTADOS

Apesar de se obter a marcação da coluna vertebral desde a junção crânio-vertebral até o sacro e a cabeça do fêmur, como forma de sistematização para a criação da ferramenta paramétrica, o presente trabalho apresenta como alvo preliminar o estudo da coluna vertebral lombar do ponto de vista anatômico e funcional. Os limites anatômicos considerados foram: superiormente o platô superior de L1, inferiormente o platô superior de S1.

A análise de precisão das aferições feitas no novo software, e no Surgimap, foi realizada com base no cálculo da diferença média absoluta para cada parâmetro. Aonde os valores encontrados foram:

$$IS = 0.25^\circ, VP = 0.09^\circ, IP = 0.24^\circ, LL = 0.51^\circ \text{ e } CT = 4.3^\circ$$

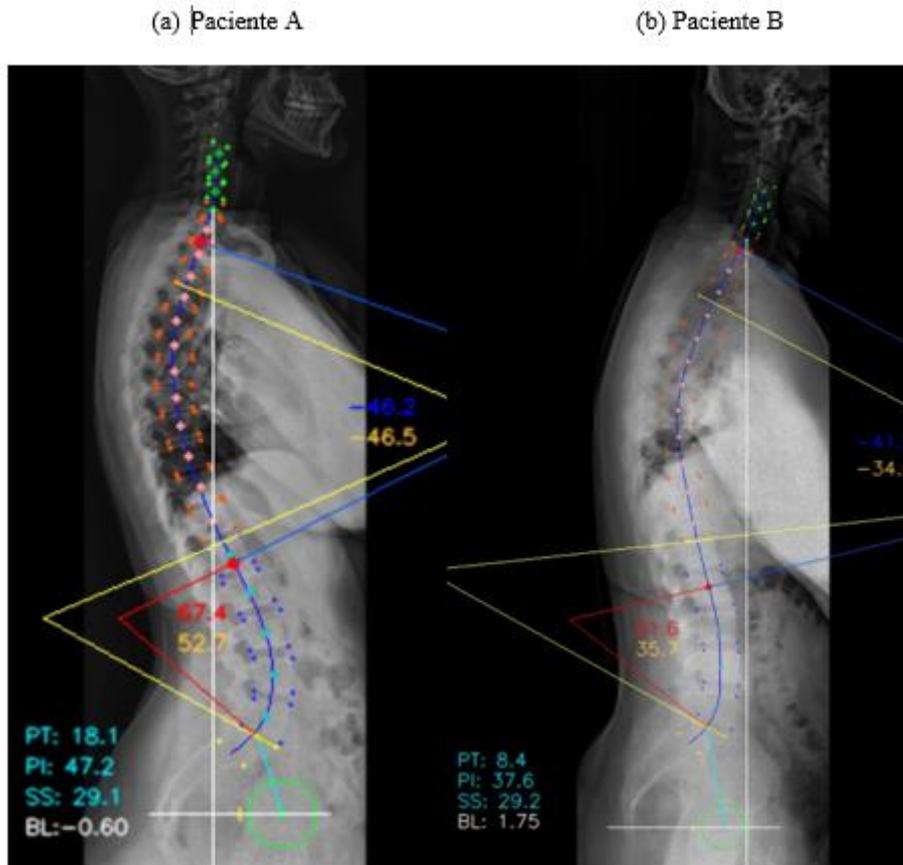
Os valores obtidos da diferença média absoluta para IS, VP, IP e LL, próximos a zero, indicam a proximidade das medições do Surgimap e do software proposto validando a ferramenta.

A diferença maior observada na Cifose Torácica está em conformidade com resultados obtidos da literatura (Lafage *et al.*, 2015). Uma possível justificativa para essa maior diferença encontrada pode estar correlacionada a dificuldade na visualização e demarcação exata dos referenciais anatômicos, causada pela sobreposição de imagens na região torácica superior. Portanto, o estudo evidencia a necessidade de novas ferramentas de análise de imagem que melhoram a precisão dos resultados obtidos.

A Figura 1 mostram a análise paramétrica para os Pacientes A e B, respectivamente, calculada no novo software. O centróide de cada vértebra é calculado a partir de seus respectivos vértices. A linha azul representa o gráfico da modelagem da coluna obtido a partir do centróide e os pontos em vermelho são os pontos de inflexão.

Figura 1: Análise Paramétrica da Coluna.

O gráfico em azul é a modelagem da coluna vertebral ajustada pelos centróides dos corpos vertebrais. Os pontos em vermelho são os pontos de inflexão



Fonte: Elaboração Própria.

A Figura 2 é a proposição de um modelo para determinação do ponto de inflexão. O gráfico da modelagem da curvatura da coluna vertebral baseado no centróide dos corpos vertebrais, em azul, é a mesma mostrada nas Figuras 1a e 1b, respectivamente. A função em laranja é a derivada do gráfico da curvatura da coluna e representa a inclinação da curva ajustada para coluna com base no coeficiente angular. O ponto de inflexão lombar, em vermelho, está onde a derivada é igual a zero. Para o caso do paciente da Figura 1a o ponto de inflexão está próximo L1, correspondendo ao referencial anatômico da mudança de curvatura da coluna. Entretanto, observa-se na análise de outro paciente, Figura 1b, que o ponto de inflexão está mais próximo a L2 do que a L1. Isso ratifica a necessidade do ponto de inflexão, já que o referencial anatômico nem sempre coincide com o referencial funcional.

4 CONCLUSÃO

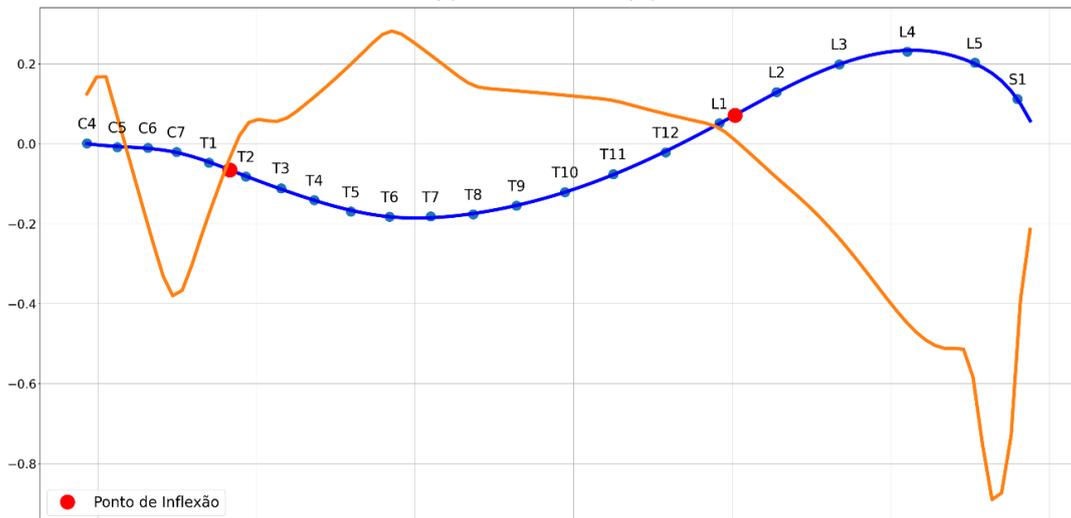
O estudo em desenvolvimento aponta que os parâmetros funcionais associados aos anatômicos já consolidados, são promissores para minimização de possíveis falhas na programação cirúrgica da coluna vertebral.

Apesar do estudo preliminar evidenciar a validade da ferramenta proposta com o diferencial da determinação do ponto de inflexão de forma automatizada, reconhece-se a necessidade de estudos complementares para que o software tenha uma aplicabilidade clínica na programação cirúrgica do cirurgião de coluna.

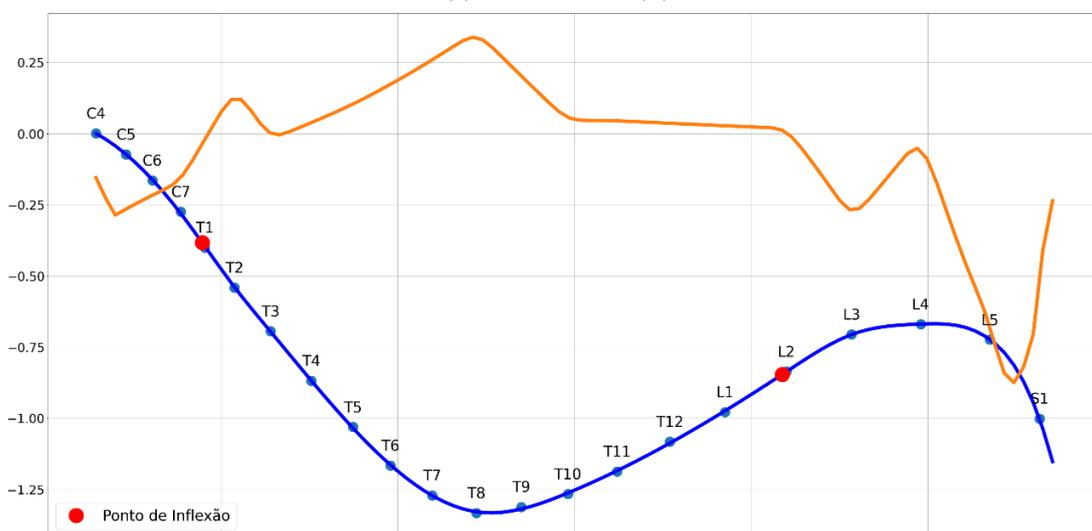
Figura 2: Cálculo do Ponto de Inflexão.

O gráfico em azul é a modelagem da coluna vertebral. O gráfico em laranja é a derivada da curva da coluna vertebral. Os pontos em vermelho são os pontos de inflexão, quando a derivada da curva é zero.

(a) Paciente (A)



(a) Paciente (B)



Fonte: Elaboração Própria.

REFERÊNCIAS

- CHOI, S. H.; HWANG, C. J.; CHO, J. H.; LEE, C. S.; KANG, C. N.; JUNG, J. W.; AHN, H. S.; LEE, D. H. The influence of spinopelvic morphologies on sagittal spinal alignment: an analysis of incidence angle of inflection points. **European Spine Journal**, v. 29, n. 4, p. 831-839, 2020. DOI: 10.1007/s00586-020-06329-3.
- DIEBO, B. G.; VARGHESE, J. J.; LAFAGE, R.; SCHWAB, F. J.; LAFAGE, V. Sagittal alignment of the spine: What do you need to know? **Clinical Neurology and Neurosurgery**, vol. 139, p. 295-301, 2015.
- LAFAGE, R.; FERRERO, E.; HENRY, J. K.; CHALLIER, V.; DIEBO, B.; LIABAUD, B.; LAFAGE, V.; SCHWAB, F. Validation of a new computer-assisted tool to measure spinopelvic parameters. **The Spine Journal**, v. 15, n. 12, p. 2493-502, 2015. DOI: 10.1016/j.spinee.2015.08.067.
- LE HUEC, J.C.; FAUNDEZ, A.; DOMINGUEZ, D.; HOFFMEYER, P.; AUNOBLE, S. Evidence showing the relationship between sagittal balance and clinical outcomes in surgical treatment of degenerative spinal diseases: a literature review. **International Orthopaedics (SICOT)**, v. 39, p. 87-95, 2015. DOI: 10.1007/s00264-014-2516-6.
- MARKS, M.; STANFORD, C.; NEWTON, P. Which lateral radiographic positioning technique provides the most reliable and functional representation of a patient's sagittal balance? **Spine**, v. 34, n. 9, p. 949-954, 2009. DOI: 10.1097/BRS.0b013e318199650a.
- PAN, C.; WANG, G.; SUN, J.; LV, G. Correlations between the inflection point and spinal sagittal alignment in asymptomatic adults. **European Spine Journal**, v. 29, n. 9, p. 2272-2280, 2020. DOI: 10.1007/s00586-020-06360-4.
- ROUSSOULY, P.; PINHEIRO-FRANCO, J.; LABELLE, H.; GEHRCHEN, M. **Sagittal Balance of the Spine: From Normal to Pathology: A Key for Treatment Strategy**. New York: Thieme Medical Publishers, 2019.
- ROUSSOULY, P.; PINHEIRO-FRANCO, J. Sagittal parameters of the spine: biomechanical approach. **European Spine Journal**, p. 578-85, 2011. DOI: 10.1007/s00586-011-1924-1.
- SAVARESE, L. G.; MENEZES-REIS, R.; BONUGLI, G. P.; HERRERO, C. F. P. S.; DEFINO, H. L. A.; NOGUEIRA-BARBOSA, M. H. Equilíbrio sagital espinopélvico: o que o radiologista precisa saber? **Radiol Bras**, v. 53, n. 3, p.175–184, 2020. DOI: 10.1590/0100-3984.2019.0048.