**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE MEDICINA DE RIBEIRÃO PRETO**

THIAGO DANTAS MATOS

Alteração morfológica do forâmen lombar e lordose segmentar relacionadas ao posicionamento do espaçador intersomático na artrodese lombar intersomática transforaminal

Ribeirão Preto

2020

THIAGO DANTAS MATOS

Alteração morfológica do forâmen lombar e lordose segmentar relacionadas ao posicionamento do espaçador intersomático na artrodese lombar intersomática transforaminal

Versão corrigida. A versão original encontra-se disponível tanto na Biblioteca da Unidade que aloja o Programa, quanto na Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da USP (BDTD)

Dissertação apresentada à Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências, pelo Programa de Pós-Graduação Ciências da Saúde Aplicadas ao Aparelho Locomotor.

Orientador: Prof. Dr. Helton Luiz Aparecido Defino

Ribeirão Preto

2020

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial desta dissertação, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Matos, Thiago Dantas

Alteração morfológica do forâmen lombar e lordose segmentar relacionadas ao posicionamento do espaçador intersomático na artrodese lombar intersomática transforaminal. Ribeirão Preto, 2020.

67p. :21 il. ; 30cm.

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ciências da Saúde Aplicadas ao Aparelho Locomotor da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto/USP.

Orientador: Defino, Helton Luiz Aparecido.

1. Fusão vertebral. 2. Lordose 3. Coluna vertebral.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome: Thiago Dantas Matos

Título: Alteração morfológica do forâmen lombar e lordose segmentar relacionadas ao posicionamento do espaçador intersomático na artrodese lombar intersomática transforaminal.

Dissertação apresentada à Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof.Dr. _____

Instituição: _____

Assinatura: _____

Prof.Dr. _____

Instituição: _____

Assinatura: _____

Prof.Dr. _____

Instituição: _____

Assinatura: _____

Epígrafe

EPÍGRAFE

“Seja um estudante, não um seguidor. Não vá simplesmente fazer o que alguém diz. Tenha interesse pelo que alguém diz, então debata, pondere e considere de todos os ângulos “
(Jim Rohn)

Dedicatória

DEDICATÓRIA

À minha esposa Luíza pelo apoio e companheirismo em todos os momentos, aos meus pais Elton e Jerusa, que dedicaram sua vida aos seus filhos, à minha irmã Vanessa por seus ensinamentos e carinho, e por fim, não menos importante, à Deus, por sempre guiar o meu caminho.

Agradecimentos

AGRADECIMENTOS

Ao **Prof. Dr. Helton Luiz Aparecido Defino**, pelo ensinamento não somente profissionais como pessoais proporcionado por todo esse período, sendo exemplo a seguir.

Aos mesmo amigos e companheiros de trabalho **Herton R. T. Costa, Rodrigo B. C. Fleury, Kelsen de O. Teixeira, Rangel R. de Assis, Gabriel Bessa** pelo apoio e ensinamentos.

A **VINCULA**® apoio prestado com os espaçadores de TLIF, fundamental para a realização do presente estudo

Ao **Prof. Luís Vicente Garcia**, pelo ensinamento e atenção para o esclarecimento de dúvidas na elaboração do projeto.

A **Rita de Cássia Stela Cossalter**, secretária da pós-graduação do Programa de Ciências da Saúde Aplicadas ao Aparelho Locomotor da FMRP-USP, pelo apoio em todo o processo do curso de pós-graduação.

As secretárias e funcionários do Departamento de Biomecânica, Medicina e Reabilitação do Aparelho Locomotor da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo: **Elisângela Bernardi de Oliveira, Eliane Santos Damasceno e Ivan Barbosa** pela ajuda e amizade.

O presente trabalho foi realizado com apoio da **Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES)** - Código de Financiamento 001

Resumo

RESUMO

Matos TD. Alteração morfológica do forâmen lombar e lordose segmentar relacionadas ao posicionamento do espaçador intersomático na artrodese lombar intersomática transforaminal [dissertação]. Ribeirão Preto: Universidade de São Paulo, Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto; 2020.

Introdução: A artrodese lombar intersomática transforaminal (TLIF) é um importante procedimento que tem sido utilizada para o tratamento de doenças degenerativas que acometem a coluna lombar. O objetivo do estudo foi avaliar as alterações morfológicas do forâmen intervertebral e da lordose segmentar relacionadas ao posicionamento do espaçador intersomático e realização de facetectomia uni ou bilateral na artrodese lombar intersomática transforaminal (TLIF). **Materiais e Métodos:** Espaçadores de PEEK foram colocados no espaço discal (L1-S1) de modelo anatômico de poliuretano. Os espaçadores de diferentes alturas (8, 10, 12 e 14 mm) foram posicionados na parte posterior, média ou anterior da superfície do corpo vertebral e a altura do forame intervertebral e lordose segmentar mensuradas após a sua inserção, com técnica de facetectomia uni ou bilateral. **Resultado:** Foi observado redução da altura do forâmen intervertebral em todos os posicionamentos e alturas dos espaçadores em relação ao controle. O posicionamento posterior do espaçador induziu à menor redução da altura do forâmen vertebral. A lordose do segmento vertebral apresentou tendência de aumento em relação ao controle, tendo sido observado a maior tendência com o posicionamento posterior do espaçador. Não houve diferença significativa com a realização de facetectomia bilateral na altura do forame intervertebral e houve uma tendência ao aumento da lordose. **Conclusão:** O posicionamento do espaçador induz a alterações da altura do forame intervertebral e lordose do segmento vertebral. O posicionamento posterior do espaçador induz a menor redução da altura do forame intervertebral e aumento da lordose do segmento vertebral.

Palavras-chave: Fusão vertebral. Lordose. Coluna vertebral.

Abstract

ABSTRACT

Matos TD. Morphologic changes of lumbar foramen and segmental lordosis related to cage position in transforaminal lumbar interbody fusion [dissertation]. Ribeirão Preto: Universidade de São Paulo, Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto; 2020.

Background: Transforaminal lumbar interbody fusion (TLIF) is an important procedure that has been used in the treatment of lumbar spine degenerative disease. The aim of this study was to evaluate the morphological alterations of intervertebral foramen and segmental lordosis related to the positioning of the intersomatic spacer and facetectomy uni or bilateral in transforaminal interbody lumbar fusion (TLIF). **Methods / Designs:** PEEK Cages were placed in the disc space (L1-S1) of polyurethane anterograde model. The Cages of different heights (8, 10, 12 and 14 mm) were positioned in the posterior, middle or anterior part of the surface of the vertebral body and the height of the intervertebral foramina and segmental lordosis measured after their insertion, with uni or bilateral facetectomy technique. **Results:** The height of the vertebral foramen was observed in all the positions and heights of the Cages in relation to the control. Posterior positioning of the Cage induced a smaller reduction in the height of the vertebral foramen. Vertebral lordosis presented a tendency to increase in relation to the control, and the greatest tendency was observed with the posterior positioning of the Cage. There was no statistic difference in the height of lumbar foramen when performing facetectomy bilaterally, and there was a tendency to increase lordosis. **Conclusion:** The positioning of the Cage induces changes in the height of the intervertebral foramen and lordosis of the vertebral segment. The posterior positioning of the Cage induces the smaller reduction of the height of the intervertebral foramen and increase of the lordosis of the vertebral segment.

Keywords: Spinal fusion. Lordosis. Spine.

Lista de Figuras

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Peça anatômica da coluna vertebral mostrando em vermelho a mensuração do ângulo de lordose lombar pelo método de Cobb, sendo o ângulo representado em verde.

Fonte: Acervo do laboratório de anatomia da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade São Paulo (FMRP-USP) Pag. 26

Figura 2: Peça anatômica da coluna lombo-sacral mostrando os forâmens intervertebrais a direita de L1 até S1, seta forâmen de L4/L5 Fonte: Acervo do laboratório de anatomia da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade São Paulo (FMRP-USP) Pag. 28

Figura 3: Posicionamento dos espaçadores durante a técnica de TLIF descrita por Harms e Jerszensky. Fonte: Harms e Jerszensky., Pag. 98, figuras 19b e 20 (16). Pag. 30

Figura 4: Modelo de estrutura óssea de L1 ate sacra com ligamentos longitudinal anterior e posterior, e disco intervertebral. (Marca Nacional Ossos ®). Pag. 36

Figura 5: Fios de *Steimann* de 5,0mm de aço inox. Pag. 37

Figura 6: Foto dos espaçadores em ordem crescente de altura (8, 10, 12 e 14 mm). Pag. 37

Figura 7: Goniômetro digital transparente marca IGAGING ® modelo 35-310G, apresentando uma leitura de 0,05° no leitor digital e com uma acurácia de $\pm 0,03^\circ$. Pag. 38

Figura 8: Paquímetro universal da marca HTOM modelo em aço inox 6 polegadas - 150mm, com graduação de 0,05mm e certificado de precisão pela *Stock Center Hansatecnica* ® no dia 23/10/2017. Pag. 38

Figura 9: Desenho ilustrando o posicionamento do espaçador na superfície superior do corpo vertebral (posterior, medial e anterior). Pag 39

Figura 10: Ponto de entrada do fio de *Steimann* na borda inferolateral da articulação facetária sobre a linha transversal que bissecta o processo transversal, B; Angulação medial do fio foi realizada sobre visualização direta da inclinação medial do pedículo.

Pag 39

Figura 11: Fotografia da marcação da ressecção facetária (superior e inferior) figura A, e exposição do disco intervertebral para a realização da discectomia figura B. Pag. 40

Figura 12: Fotografia do posicionamento do espaçador após marcação da posição no terço posterior, médio e anterior. Pag. 41

Figura 13: Fotografia do limite máximo de compressão com a peça apresentando pelo o contato dos elementos posteriores (processo espinhoso), seta vermelha. Pag. 42

Figura 14: Fotografia da mensuração do ângulo da lordose segmentar no nível de L1/L2 utilizando goniômetro digital. Pag. 43

Figura 15: Fotografia da mensuração da altura do forâmen intervertebral com utilização do paquímetro, seta em vermelho apresenta a padronização do ponto de apoio do instrumento. Pag. 44

Figura 16. Análise da altura do forâmen (mm) com facetectomia unilateral. Pag. 48

Figura 17. Análise da altura do forâmen (mm) com facetectomia bilateral. Pag. 49

Figura 18: Análise dos valores da lordose (graus) com facetectomia unilateral. Pag. 51

Figura 19: Análise dos valores da lordose (graus) com facetectomia bilateral. Pag. 51

Figura 20: Fotografia do modelo da coluna vertebral ilustrando a colocação do espaçador de tamanho 14mm na parte posterior (esquerda) e parte anterior (direita) da superfície do corpo vertebral. Pag. 53

Figura 21: Figura ilustrativa da fórmula de determinação da altura do espaçador anterior ou posterior para a mesma lordose do segmento. Pag. 54

Lista de Tabelas

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores da altura do forâmen intervertebral nos diferentes grupos experimentais. Pag. 47

Tabela 2: Valores da lordose em graus nos diferentes grupos experimentais. Pag. 50

Tabela 3: Valores da altura do forâmen intervertebral e da lordose segmentar com a utilização do espaçador vertebral de altura próxima a altura do disco intervertebral. Pag.

Lista de Siglas e Abreviações

LISTA DE SIGLAS E ABREVIÇÕES

TLIF- Fusão intersomática lombar Transforaminal

FMRP- Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto

USP- Universidade de São Paulo

IMC- Índice de Massa Corpórea

RM- Ressonância Magnética

PLIF- Fusão Posterior Lombar Intersomática

PEEK- Polietereetercetona

MIS-TLIF- Fusão Intersomática Lombar Transforaminal Minimamente Invasivo

AD- Altura Discal

AE- Altura do Espaçador

Post- Posterior

Med- Medial

Ant- Anterior

Cont- Controle

Sumário

SUMARIO

1-INTRODUÇÃO.....	26
1.1 LORDOSE LOMBAR	26
1.2 FORÂMEN INTERVERTEBRAL.....	27
1.3 ARTRODESE LOMBAR E SUA RELAÇÃO COM A LORDOSE SEGMENTAR E O FORÂMEN LOMBAR	29
2- OBJETIVOS.....	34
2.1 OBJETIVO PRIMÁRIO	34
2.2 OBJETIVO SECUNDÁRIO	34
3- MATERIAS E MÉTODOS.....	36
3.1- MATERIAIS:	36
3.2.1 POSICIONAMENTO DO FIO PEDICULAR.....	39
3.2.2 FACETECTOMIA E DISCECTOMIA	40
3.2.3 POSICIONAMENTO DOS ESPAÇADORES INTERVERTEBRAIS	40
3.2.4 COMPRESSÃO.....	41
3.3- MENSURAÇÃO DE DADOS:.....	42
3.3.1 MENSURAÇÃO INICIAL (CONTROLE)	42
3.3.2 MENSURAÇÃO DA LORDOSE	43
3.3.3 MENSURAÇÃO DO ALTURA DO FORÂMEN INTERVERTEBRAL.....	44
3.4- ANÁLISE DE DADOS:.....	44
3.5- ANÁLISE ESTATÍSTICA:.....	45
4- RESULTADOS	47
4.1 ALTURA DO FORÂMEN INTERVERTEBRAL.....	47
4.2 LORDOSE SEGMENTAR.....	49

4.3 FÓRMULA DE EQUIPARAÇÃO DE LORDOSE	53
5- DISCUSSÃO.....	56
5.1 RELAÇÃO DO ESPAÇADOR COM ALTURA DO FORÂMEN.....	56
5.2 RELAÇÃO DO ESPAÇADOR COM A LORDOSE SEGMENTAR.....	58
5.3 LIMITAÇÕES DO ESTUDO	59
6- CONCLUSÃO	61
REFERÊNCIAS	63
ANEXO A.....	66

Introdução

1-INTRODUÇÃO

1.1 Lordose lombar

Lordose é uma palavra oriunda do grego antigo “*lordós*” que significa curva para frente, ou curva anterior da coluna vertebral. Por definição, em consenso, é a medida angular da primeira vertebra lombar L1 até a quinta vertebra lombar L5, sendo o método de Cobb’s o mais praticado para a sua mensuração, que é realizada desde o platô superior de L1 até o platô superior de S1 (Figura 1). Seu valor normal é de 30-80 graus e pode variar de acordo com a idade, sexo, altura, peso/IMC, gravidez, etnia, fatores hereditários e fatores extrínsecos (1).

Figura 1- Peça anatômica da coluna vertebral mostrando em vermelho a mensuração do ângulo de lordose lombar pelo método de Cobb, sendo o ângulo representado em verde

Fonte: Acervo do laboratório de anatomia da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade São Paulo (FMRP-USP)

Existe descrição da lordose lombar presente durante a vida fetal, sendo possível observar uma curvatura lordótica na junção lombosacral (2,3). Choufani et al. (2009) (3), utilizaram ressonância magnética (RM) de 45 fetos de 23 a 40 semanas de gestação, na qual foi observado que todos apresentavam uma curvatura lombar lordótica com raio médio de 18,7 mm. Entretanto, outros autores acreditam que a coluna fetal apresenta apenas uma curvatura cifótica no sentido crânio-caudal e que a lordose se desenvolve após o nascimento (4). Ocorreria um aumento considerável da lordose durante os primeiros 3 anos de vida, e segundo Reichmann e Lewin (1971) (2), no final desse período a criança apresentará uma lordose lombar semelhante à do adulto. No entanto, outros autores acreditam que a lordose continua aumentando no decorrer da idade (5,6).

Muitos estudos descrevem a importância clínica e funcional da lordose lombar, sendo um fator fundamental para o alinhamento sagital normal. O alinhamento é caracterizado pela compensação das curvas da coluna, no qual a linha vertical que passa do centro de C7 até S1 não deve exceder a 50mm da borda súpero-posterior de S1 (1,7,8). É importante ressaltar que não há um valor específico para a lordose, ela pode variar de acordo com cada indivíduo, principalmente relacionada aos parâmetros espino-pélvicos: inclinação sacral, inclinação pélvica e incidência pélvica, conforme classificado por Roussouly et al. (2005) (8). Dessa forma, uma perda da lordose e concomitante desalinhamento sagital resultaria em fadiga muscular com consequente dor lombar crônica (1). Contudo, há uma necessidade da reconstrução precisa da curva lordótica (9).

1.2 Forâmen intervertebral

O Forâmen intervertebral lombar é uma abertura localizada entre as estruturas anteriores da coluna (corpo, disco e ligamento) e o arco posterior (pedículos, lâminas, transversos e facetas). Apresenta forma elíptica, com variação de tamanho de 12 a 19 mm,

em sua apresentação normal. É limitado superior e inferiormente pela incisura vertebral dos pedículos das vertebrais adjacentes, anteriormente pelo corpo vertebral e ligamento longitudinal posterior, posteriormente pelo processo articular superior e inferior, medial pela bainha dural e lateralmente pela fáscia e músculo psoas maior (10) (Figura 2).

Figura 2- Peça anatômica da coluna lombo-sacral mostrando os forâmens intervertebrais a direita de L1 até S1, seta forâmen de L4/L5

Fonte: Acervo do laboratório de anatomia da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade São Paulo (FMRP-USP)

A redução na sua altura pode levar uma estenose foraminal e consequentemente há um contato das estrutura que limitam o forâmen com a raiz que emerge pelo o mesmo. Este contato pode levar a um processo inflamatório com apresentação clínica de radiculopatia. Dessa forma, a manutenção da altura do disco intervertebral é necessária para preservar as dimensões do forâmen e assim manter a descompressão das estruturas neurais existente.

1.3 Artrodese Lombar e sua relação com a lordose segmentar e o forâmen lombar

O procedimento de artrodese da coluna lombar iniciou para o tratamento da infecção tuberculosa da coluna, espondilolisteses lombares e para as escolioses. No ano de 1911, Albee et al. (11) descreveu sobre a fusão da coluna lombar com a utilização de enxerto autólogo da tíbia, sendo posicionado o mesmo sobre os processos espinhosos. Neste mesmo ano, Hibbs et al. (12) descreveram outro trabalho de fusão da coluna, independente do trabalho de Albee, sobre a decorticação dos processos espinhosos para um leito de fusão vertebral, principalmente para o tratamento de doença de Pott.

Durante o decorrer das décadas houve uma mudança sobre entendimento do eixo de sustentação da coluna, que se encontra na região anterior sobre os corpos vertebrais, e não sobre os elementos posteriores, como se acreditava anteriormente. Dessa forma surgiram as técnicas para a artrodese intersomática (13).

A artrodese intersomática lombar posterior (PLIF) foi descrita pela primeira vez por Briggs e Milligan em 1944, e foi realizada principalmente na área da junção lombossacral (13). Em 1946, Jaslow (14) publicou uma técnica na qual realizava a ressecção de todo o disco vertebral associado a decorticação e preenchimento do espaço com enxerto do autólogo do processo espinhoso, que possuía em média 2 cm de altura, tendo como vantagem a prevenção da compressão das raízes no forâmen vertebral com o restabelecimento da altura discal. Essa técnica de PLIF foi consagrada após a publicação do Cloward (1953) (15), um neurocirurgião do Havaí, que utilizava enxertos da crista ilíaca impactados no espaço discal.

Em 1998, Harms e Jerszensky (16) descreveram a técnica da artrodese transforaminal intersomática lombar (TLIF), na qual seria uma alternativa para a tradicional fusão intersomática lombar posterior (PLIF) e fusão anteroposterior combinada (FPA). As principais indicações para a TLIF incluem estenose espinal

sintomática com instabilidade segmentar, doença discal degenerativa, espondilolisteses, espondilólise e hérnia discal recidivante (16).

Figura 3- Posicionamento dos espaçadores durante a técnica de TLIF descrita por Harms e Jeszensky

Fonte: Harms e Jeszenszky (1998, p. 98) (16)

Na descrição original da técnica, era realizada discectomia por meio do acesso transforaminal unilateral, seguida da enxertia óssea (autógeno) na região anterior do corpo, atrás do ligamento longitudinal anterior. Dois espaçadores intersomáticos cilíndricos de titânio eram posicionados lado-lado na região central ou posterior do espaço intervertebral (16) (Figura 3). Algumas vantagens importantes o TLIF apresentava sobre as técnicas anteriores PLIF e FPA, principalmente: acesso extra canal vertebral para realização da discectomia, menor risco de tração dural ou lesão da raiz nervosa, menor fibrose epidural e ainda evita o risco das complicações relacionadas à abordagem anterior (13,16).

Após a publicação da técnica de TLIF foram apresentadas várias modificações. Alguns autores avaliavam o formato do espaçador para uma melhor adaptação no espaço intervertebral, melhorando a osteointegração com o platô vertebral e consequente

formação de uma artrodese sólida e estável nos segmentos operados (17,18). Dessa forma, conseguiria uma melhor sustentação das cargas e a altura adequada do disco. O espaçador com formato banana de PEEK (Polietere tercetona) se consagrou como principal implante, comumente utilizado, para a realização da artrose intersomática no TLIF (13,17,19-21).

Nos últimos tempos tem aumentado a atenção sobre o equilíbrio sagital e para procedimentos cirúrgicos que reestabeleça a lordose lombar (9,22-26). Os efeitos deletérios da cifose segmentar iatrogênica, ou perda de lordose, após a instrumentação da coluna lombar provoca a “síndrome de *flatback*”. Dessa forma, aumenta o movimento de carga excêntrica nos segmentos adjacentes, que a longo prazo leva a degeneração discal. Esse processo está associado ao insucesso do procedimento cirúrgico e dor lombar crônica (19,27,28).

A restauração ou a manutenção da lordose do segmento vertebral tem norteado o tratamento cirúrgico devido à sua influência nos resultados clínicos (29). O desenho e o posicionamento dos espaçadores vertebrais utilizados nesses procedimentos atuam sobre a lordose do segmento vertebral operado. Com relação ao desenho dos espaçadores, aqueles que possuem angulação lordótica têm a capacidade de manter ou restaurar a lordose devido à sua forma geométrica (18). O posicionamento em relação à superfície do corpo vertebral, dos demais espaçadores que não possuem angulação, exerceria influência sobre a lordose do segmento vertebral operado. No entanto, não há um consenso sobre o posicionamento adequado do espaçador sobre a superfície do corpo. Segundo Kwon et al. (2003) (30) a utilização do espaçador deve ser feita mais anterior possível sobre o platô vertebral, assim alcançaria mais estabilidade do segmento e aumentaria a lordose do segmento operado (30,31). Entretanto, Faundez et al. (2008) (32) não encontraram diferença na lordose lombar em relação ao posicionamento do espaçador, esse resultado foi também encontrado por Ould-Slimane et al. (2011) (9).

O posicionamento do espaçador exerce também influência sobre o forâmen intervertebral (33). Estenose do forâmen contralateral após a realização de TLIF aberto tem sido relacionada a hipercorreção da lordose (34,35). Segundo Jang et al. (2015) (34) foi descrita uma incidência de 5,9% de radiculopatia contralateral, secundária à redução das dimensões do forâmen vertebral após a realização do TLIF.

Existem vários relatos de radiculopatia contralateral após TLIF, tanto com acesso percutâneo MIS-TLIF quanto com TLIF aberto (34-36). O mecanismo preciso da compressão contralateral não foi esclarecido. Foi hipotetizado que o aumento da lordose durante a cirurgia poderia induzir estenose do forâmen contralateral (33,34). Por outro lado, o aumento da altura do disco com um único espaçador produziria uma descompressão indireta adequada do forâmen (33).

Embora existam relatos clínicos de alterações morfológicas nos forâmens intervertebrais lombares e a influência da posição dos espaçadores na lordose segmentar após TLIF, não encontramos na literatura relatos de estudos em bancada para observar a influência dos espaçadores vertebrais sobre a altura do forâmen intervertebral e lordose do segmento vertebral operado.

Objetivos

2- OBJETIVOS

2.1 Objetivo Primário

O objetivo do estudo foi avaliar as alterações morfológicas do forâmen intervertebral (altura) e a lordose segmentar após o procedimento de TLIF com a utilização dos espaçadores posicionados posteriormente, médio e anteriormente, sobre a superfície do corpo vertebral, e com as diferentes alturas dos espaçadores (8,10,12 e 14mm).

2.2 Objetivo secundário

Avaliar se existe mudanças dos parâmetros, altura do forâmen intervertebral e lordose do segmento lombar, quanto a realização de facetectomia unilateral ou bilateral.

Materiais e métodos

3- MATERIAS E MÉTODOS

Trabalho de Biomecânica realizado no Laboratório de Bioengenharia da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, SP, Brasil. Não houve nenhum conflito de interesse entre os pesquisadores participantes deste estudo e fonte de financiamento ou grupos privados.

3.1- Materiais:

O estudo utilizou um modelo anatômico sintético de coluna vertebral lombosacral similar ao do ser humano adulto. Esse modelo apresentava estrutura óssea de L1 até o sacro, com discos intervertebrais e ligamentos longitudinal anterior e posterior. O corpo vertebral foi confeccionado com espuma sólida de poliuretano de baixa densidade e disco intervertebral de polietileno (Marca Nacional Ossos ®) (Figura 4)

Fio de *Steimann* de 5,0mm de aço inox, para posicionar nos pedículos (Figura 5).

Figura 4- Modelo de estrutura óssea de L1 ate sacra com ligamentos longitudinal anterior e posterior, e disco intervertebral. (Marca Nacional Ossos ®)

Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 5- Fios de *Steimann* de 5,0mm de aço inox

Fonte: Elaborada pelo autor

Os espaçadores de PEEK (polieteretercetona) modelo Fusimax TLP ® (Marca Vincula ®), com 8 mm de largura, 29mm de comprimento e alturas de 8, 10, 12 e 14 mm e sem angulação, foram utilizados nos ensaios para a artrodese lombar intersomática transforaminal (TLIF) (Figura 6).

Figura 6- Foto dos espaçadores em ordem crescente de altura (8, 10, 12 e 14 mm)

Fonte: Elaborada pelo autor

Para mensuração dos dados da lordose segmentar foi utilizado um goniômetro digital transparente marca IGAGING ® modelo 35-310G, apresentando uma leitura de 0,05° no leitor digital e com uma acurácia de $\pm 0,03^\circ$ (Figura 7). A mensuração do altura do forâmen intervertebral foi realizada com a utilização de um paquímetro universal da marca HTOM modelo em aço inox 6 polegadas - 150mm, com graduação de 0,05mm, sendo utilizada apenas a primeira casa decimal no estudo. O paquímetro foi certificado de precisão pela *Stock Center Hansatecnica* ® no dia 23/10/2017 (Figura 8).

Figura 7- Goniômetro digital transparente marca IGAGING ® modelo 35-310G, apresentando uma leitura de 0,05° no leitor digital e com uma acurácia de $\pm 0,03^\circ$

Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 8- Paquímetro universal da marca HTOM modelo em aço inox 6 polegadas - 150mm, com graduação de 0,05mm e certificado de precisão pela *Stock Center Hansatecnica* ® no dia 23/10/2017

Fonte: Elaborada pelo autor

O modelo experimental consistia na remoção do disco intervertebral pela técnica transforaminal, colocação do espaçador intervertebral, aplicação de compressão no segmento vertebral, e mensuração bilateral da lordose segmentar e altura do forâmen vertebral. Foram inseridos os espaçadores com altura de 8, 10, 12 e 14 mm em todos os espaços discais, com exceção de L1-L2, que devido à sua altura o espaçador de 14 mm não pode ser utilizado. As variáveis do estudo foram o posicionamento dos espaçadores intervertebrais na parte posterior, média ou anterior da superfície superior do corpo vertebral (Figura 9) e a altura dos espaçadores intervertebrais (8, 10, 12 e 14 mm) (Figura 6), com a remoção uni ou bilateral das facetas articulares do segmento vertebral.

Figura 9- Desenho ilustrando o posicionamento do espaçador na superfície superior do corpo vertebral (posterior, medial e anterior)

Fonte: Elaborada pelo autor

3.2.1 Posicionamento do fio pedicular

Foi utilizado o fio de *Steimann* de 5.0 mm e posicionado em cada pedículo do segmento a ser analisado, totalizando 4 pedículos em cada segmento. Iniciamos a análise pelo segmento de L1-L2 e prosseguimos até o nível de L5-S1. O fio foi posicionado na borda inferolateral da articulação da faceta em uma linha transversa imaginária de bissecção do processo transverso, a angulação medial do fio foi realizada sobre visualização direta da inclinação medial do pedículo (Figura 10). Não houve violação da cortical dos pedículos pelo o fio ou reposicionamento do fio, dessa forma mantivemos o mesmo posicionamento do fio para todas as análises do segmento.

Figura 10- A; Ponto de entrada do fio de *Steimann* na borda inferolateral da articulação facetária sobre a linha transversal que bissecta o processo transverso, B; Angulação medial do fio foi realizada sobre visualização direta da inclinação medial do pedículo

Fonte: Elaborada pelo autor

3.2.2 Facetectomia e discectomia

Inicialmente foi realizado a ressecção das facetas articulares unilateral a direita do segmento em análise (faceta superior da vertebra inferior e faceta inferior da vertebra superior) conforme ilustrado da Figura 11. Por esse acesso foi realizado ressecção de toda estrutura discal sintética conforme apresentado na Figura 12. Após realizada a mensuração dos dados de todas as variáveis prosseguiu-se com a realização da facetectomia contra-lateral a esquerda, também foi ressecada a faceta superior e inferior, dessa forma configurava uma apresentação de facetectomia bilateral.

Figura 11- Fotografia da marcação da ressecção facetaria (superior e inferior) figura A, e exposição do disco intervertebral para a realização da discectomia figura B.

Fonte: Elaborada pelo autor

3.2.3 Posicionamento dos espaçadores intervertebrais

O espaçador intervertebral foi posicionado na região posterior, medial e anterior da superfície do corpo vertebral conforme apresentado na Figura 9. Foi realizada a mensuração do comprimento total do corpo vertebral e após dividido em três partes iguais para determinar o terço posterior, médio e anterior. Para padronizar a posição do espaçador em cada terço sobre a superfície do corpo foi realizado marcações do primeiro posicionamento (Figura 12).

Figura 12- Fotografia do posicionamento do espaçador após marcação da posição no terço posterior, médio e anterior

Fonte: Elaborada pelo autor

Inicialmente o espaçador foi posicionado no terço posterior, seguido pelo médio e anterior. Seguimos a sequência crescente de altura dos espaçadores, dessa forma foi utilizado para análise inicialmente o espaçador com tamanho de 8mm, seguido pelo o 10mm, 12mm e 14 mm. Entretanto, no nível de L1-L2 não foi possível posicionar o espaçador com altura de 14 mm devido a altura do espaço discal ser menor que a altura do espaçador em análise.

3.2.4 Compressão

A compressão do segmento vertebral foi realizada com a utilização de pinça de compressão, e o limite da realização da compressão era o contato ósseo dos elementos posteriores, que era obstáculo mecânico para a aplicação adicional da compressão no segmento vertebral (Figura 13).

Figura 13- Fotografia do limite máximo de compressão com a peça apresentando pelo o contato dos elementos posteriores (processo espinhoso), seta vermelha

Fonte: Elaborada pelo autor

3.3- Mensuração de Dados:

A lordose do segmento vertebral foi avaliada por meio da mensuração do ângulo formado por fios de *Steimann* inseridos no interior dos pedículos vertebrais. A altura do forâmen intervertebral foi avaliada por meio da mensuração direta com paquímetro. A mensuração era realizada bilateralmente antes da remoção do disco intervertebral e após a colocação do espaçador intervertebral, conforme variáveis posicionamento e altura, Figuras 6 e 9, e aplicação de compressão no segmento vertebral. O ensaio foi realizado inicialmente com facetectomia unilateral e repetido com facetectomia bilateral.

3.3.1 Mensuração inicial (controle)

Para determinação dos valores normais ou iniciais para o modelo estudado foi realizada a mensuração da altura do forâmen intervertebral de todos os segmentos de L1

até S1 e mensuração do valor do ângulo lordótico de cada segmento. Esses valores obtidos foram determinados como controle para a análise do estudo.

3.3.2 Mensuração da lordose

A lordose foi determinada por meio da mensuração do ângulo formado por fios de *Steimann* inseridos no interior dos pedículos vertebrais. Para mensuração foi utilizado um goniômetro digital, Figura 14, sendo posicionado com adaptação nos fios de *Steimann* e sempre alinhado com o eixo central da régua. Inicialmente foi realizada a mensuração da lordose segmentar bilateralmente antes da realização do procedimento, para a determinação dos valor de controle (item 3.3.1), e após posicionamento dos espaçadores conforme variáveis (posição, altura) e realização da compressão. O ensaio foi realizado inicialmente com facetectomia unilateral e repetido com facetectomia bilateral (item 3.2.2). Os valores obtidos eram considerados apenas a primeira casa decimal.

Figura 14- Fotografia da mensuração do ângulo da lordose segmentar no nível de L1/L2 utilizando goniômetro digital

Fonte: Elaborada pelo autor

3.3.3 Mensuração do altura do forâmen intervertebral

A altura do forâmen intervertebral foi determinada pela mensuração com a utilização de um paquímetro (Figura 8) do diâmetro craniocaudal do forâmen intervertebral. O limite superiormente foi a incisura vertebral do pedículo da vértebra superior e inferiormente a incisura vertebral do pedículo da vertebra inferior (Figura 15). Para padronizar às mensurações foi realizado um marcação para o ponto de apoio do paquímetro em cada incisura sobre os pedículos.

Figura 15- Fotografia da mensuração da altura do forâmen intervertebral com utilização do paquímetro, seta em vermelho apresenta a padronização do ponto de apoio do instrumento

Fonte: Elaborada pelo autor

3.4- Análise de dados:

Foram coletadas 476 medidas (lordose segmentar e altura do forâmen intervertebral), dessas 76 foram do seguimento de L1/L2 e 100 para cada seguimento de

L2-S1 (4 segmentos). No nível de L1/L2 não foi possível utilizar o espaçador tamanho 14 mm, dessa forma houve menos medidas para esse nível. Os dados foram apresentados em forma de tabelas e gráficos utilizando o Excel 2011® e o programa SAS Institute Inc., SAS/STAT® User'sGuide, Version 9.4, Cary, NC: SAS Institute Inc., 2012.

3.5- Análise estatística:

O estudo estatístico foi realizado por meio do teste de Kolmogorov–Smirnov para a determinação da normalidade da amostra de cada grupo. O teste de mediana de Mood, que é um teste não paramétrico, foi utilizado para a comparação entre as medianas para avaliar a influência do posicionamento dos espaçadores intervertebrais, altura dos espaçadores intervertebrais e remoção uni ou bilateral das facetas articulares na lordose e altura do forâmen intervertebral no segmento vertebral, com nível de significação para $p < 0,05$.

Foi utilizado o programa SAS Institute Inc., *SAS/STAT® User'sGuide, Version 9.4*, Cary, NC: SAS Institute Inc., 2012, para realizar as análises estatísticas.

Resultados

4- RESULTADOS

4.1 Altura do forâmen intervertebral

Foi observada redução da altura do forâmen intervertebral em relação aos valores do grupo controle em todos os ensaios realizados (Mood $p < 0,05$). A redução da altura do forâmen intervertebral ocorreu independentemente da posição e altura dos espaçadores na superfície da vértebra (Tabela 1 e Figuras 16 e 17. Houve redução da altura do forâmen intervertebral tanto com facetectomia unilateral quanto para bilateral (Mood $p < 5$). Entretanto, não houve diferença estatística entre o ensaio unilateral versus o bilateral.

Tabela 1- Valores da altura do forâmen intervertebral nos diferentes grupos experimentais

Espaçador	Grupo	Fac. Unilateral	Fac. Bilateral
		Média (desvio padrão)	Média (desvio padrão)
8	Anterior *	12.70 ± 1.96	11.70 ± 1.75
	Médio *	12.80 ± 2.20	11.80 ± 1.75
	Posterior *	14.50 ± 1.70	13.60 ± 1.78
10	Anterior *	13.00 ± 1.70	12.88 ± 2.17
	Médio *	13.30 ± 1.48	13.20 ± 1.92
	Posterior *	15.40 ± 1.52	14.90 ± 1.56
12	Anterior *	14.90 ± 2.33	13.50 ± 2.12
	Médio *	15.10 ± 2.07	13.60 ± 2.19
	Posterior *	17.10 ± 0.74	16.30 ± 1.48
14	Anterior *	15.63 ± 2.69	15.25 ± 2.90
	Médio *	16.00 ± 2.16	17.00 ± 2.61
	Posterior *	18.50 ± 1.73	19.00 ± 1.47

O asterisco indica diferença estatística (Mood $p < 0,05$) em relação ao grupo controle
 Fonte: Elaborada pelo autor

Foi observado tendência de maior redução da altura do forâmen intervertebral à medida que o espaçador era deslocado para a posição anterior da superfície do corpo vertebral (Figuras 16 e 17). No entanto, não foi observada diferença estatística. Essa tendência foi também observada com a realização da facetectomia uni ou bilateral, não sendo também observado diferença estatística entre elas.

Figura 16- Análise da altura do forâmen (mm) com facetectomia unilateral

Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 17- Análise da altura do forâmen (mm) com facetectomia bilateral

Fonte: Elaborada pelo autor

No posicionamento posterior da superfície do corpo vertebral o espaçador de 14 mm de altura apresentou menor redução da altura do forâmen intervertebral com significância estatística (Mood $p < 0,05$) quando comparado com os demais espaçadores com altura menor na mesma posição.

A realização da facetectomia uni ou bilateral não apresentou com diferença significativa nas análises dos valores da altura do forâmen intervertebral para as variáveis do estudo, posicionamento ou altura do espaçador.

4.2 Lordose segmentar

Foi observado aumento da lordose do segmento vertebral em relação ao controle em todos as variáveis analisadas (posicionamento do espaçador em relação a superfície do corpo e altura do espaçador). O posicionamento posterior do espaçador sobre a

superfície do corpo vertebral e a utilização de espaçador de maior altura apresentaram tendência para a obtenção de maiores valores da lordose do segmento no qual o TLIF foi realizado (Tabela 2 e Figuras 18 e 19).

Tabela 2- Valores da lordose em graus nos diferentes grupos experimentais

Espaçador	Grupo	Fac. Unilateral	Fac. Bilateral
		Média (desvio padrão)	Média (desvio padrão)
8	Anterior	9.40 ± 2.19	9.80 ± 2.28
	Médio	11.60 ± 2.70	11.80 ± 2.49
	Posterior	12.80 ± 5.22	13.40 ± 4.88
10	Anterior	10.40 ± 3.05	10.80 ± 3.27
	Médio	12.60 ± 5.55	13.00 ± 5.39
	Posterior	13.60 ± 5.41	13.60 ± 5.41
12	Anterior	12.80 ± 6.06	13.00 ± 6.28
	Médio	13.80 ± 6.14	15.00 ± 6.48
	Posterior	15.40 ± 7.27	16.20 ± 6.87
14	Anterior	15.25 ± 6.29	17.00 ± 6.16
	Médio	16.75 ± 8.66	17.75 ± 7.68
	Posterior	17.75 ± 8.02	18.75 ± 7.63

Fonte: Elaborada pelo autor

Os resultados encontrados apresentaram uma tendência de aumento da lordose com a facetectomia bilateral. No entanto, não foi possível observar diferença estatística na análise da lordose considerando o posicionamento e altura dos espaçadores e a realização da facetectomia uni ou bilateral (Figuras 18 e 19).

Figura 18- Análise dos valores da lordose (graus) com facetectomia unilateral

Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 19- Análise dos valores da lordose (graus) com facetectomia bilateral

Fonte: Elaborada pelo autor

A análise dos resultados considerando somente a utilização do espaçador vertebral de altura próxima a altura do disco intervertebral está representada na Tabela 3. A utilização do espaçador de altura próxima a altura do disco intervertebral mostrou que o maior valor da lordose do segmento vertebral foi observado com o posicionamento posterior do espaçador. O posicionamento posterior do espaçador nessa situação foi o que produziu a menor redução da altura do forame intervertebral. Na fotografia apresentada na figura 20 demonstra o posicionamento do espaçador tamanho 14mm no espaço discal L5/S1, com altura de 15mm, e observamos que há uma menor altura do forâmen intervertebral e maior ângulo lordótico com o posicionamento posterior.

Tabela 3- Valores da altura do forâmen intervertebral e da lordose segmentar com a utilização do espaçador vertebral de altura próxima a altura do disco intervertebral

Segmento	AD	AE	Altura do Forâmen(mm)				Lordose em Graus			
			Post.	Med.	Ant.	Cont.	Post.	Med.	Ant.	Cont.
L1/L2	13	12	17	13	14	18	11	9	6	4
L2/L3	15	14	19	15	17	20,5	13	12	12	6
L3/L4	15	14	18	14,5	14,5	21	16	14	15	8
L4/L5	15	14	19,5	19,0	18	21,5	16	16	15	7
L5/S1	15	14	18,5	18,0	11,5	19	30	29	26	12

AD- Altura discal, AE- Altura do Espaçador (mm), Post.-posterior, Med.-medial, Ant.-anterior e Cont.-controle

Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 20- Fotografia do modelo da coluna vertebral ilustrando a colocação do espaçador de tamanho 14mm na parte posterior (esquerda) e parte anterior (direita) da superfície do corpo vertebral

Fonte: Elaborada pelo autor

4.3 Fórmula de equiparação de lordose

Os resultados do experimento foram validados por meio dos princípios trigonométricos, nos quais o maior valor angular do segmento vertebral foi observado com o posicionamento posterior dos espaçadores Figuras 18 e 19 .Considerando “A” como sendo a altura do espaçador anterior, “P” a altura do espaçador posterior, “d” a distância da borda posterior do corpo vertebral (na linha média) a borda posterior do espaçador (na linha média), e ângulo “L” como ângulo da lordose segmentar apresentada, a formula $A = P + (d \times \text{sen } L)$ permite demonstrar a obtenção do mesmo grau de lordose segmentar com espaçadores de diferentes alturas posicionados na parte anterior ou posterior do corpo vertebral (Figura 21).

Figura 21- Figura ilustrativa da fórmula de determinação da altura do espaçador anterior ou posterior para a mesma lordose do segmento

Fonte: Elaborada pelo autor

Discussão

5- DISCUSSÃO

Diferentes técnicas de fusões lombares foi desenvolvida desde Albee et al. (11) relatou a primeira fusão posterior em 1911. Após quase 7 décadas com a descrição do Harms e Jeszenszky, em 1998 (16) do TLIF, que consagrou nos anos 90 como uma das técnicas mais utilizadas pelos os neurocirurgiões e cirurgiões ortopédicos de coluna para o tratamento da mais diversas patologias da coluna lombar, como estenose espinhal sintomática com instabilidade segmentar, doença discal degenerativa, espondilolisteses, espondilólise e hérnia discal recidivante. Apresentado como vantagem em relação aos procedimentos anteriores uma abordagem extra canal vertebral e um risco menor de retração dural, além de melhor estabilidade biomecânica em relação ao PLIF. Dessa forma, o presente estudo apresenta uma análise diferente sobre a correlação do posicionamento do espaçador de TLIF, com a altura do forâmen intervertebral lombar e lordose segmentar.

5.1 Relação do espaçador com altura do forâmen

A posição dos espaçadores do tipo banana nos procedimentos de TLIF induz alterações morfológicas no forâmen intervertebral, assim como na lordose do segmento operado. Radiculopatia contralateral após TLIF é relatada como 2-8,5% após TLIF-MIS (36,37) e 1,9-5,9% após TLIF aberto (34-36) e chamou a atenção para alterações no forâmen intervertebral após este procedimento. Este fenômeno não foi explicado satisfatoriamente. A estenose foraminal contralateral é a causa mais frequente de radiculopatia contralateral após o uso de um TLIF unilateral e outros fatores como mau posicionamento do parafuso, herniação discal e hematoma também foram relatados (34).

No presente estudo, uma diminuição estatística da altura do forâmen intervertebral foi observada em todos os espaçadores avaliados (Tabela 1). No entanto, deve ser

considerado que a maioria dos espaçadores utilizados possuíam menor altura em relação à altura do disco controle. A restauração da altura original do disco não poderia ter ocorrido com espaçador de menor altura, mas o posicionamento dos espaçadores mostrou diferença na redução da altura do forâmen intervertebral (Tabela 3). O posicionamento posterior do espaçador apresentava menor redução da altura do forâmen intervertebral nos diferentes tamanhos dos espaçadores avaliados. Esse resultado também foi encontrado por Iwata et al. (2015) (33), em seu estudo mostraram que houve um aumento significativo da altura do forâmen com o posicionamento posterior.

Embora não tenha sido observada diferença estatística entre os posicionamentos do espaçador sobre a altura do forâmen intervertebral, foi observada a tendência para a sua menor redução com o posicionamento posterior. A menor redução da altura do forâmen intervertebral com o posicionamento posterior apresenta relevância clínica, porque uma causa da radiculopatia contralateral é devido a uma falha de descompressão indireta (34,36). A restauração da altura do disco deve ser suficiente para permitir a descompressão indireta do forâmen contralateral, com a altura adequada do espaçador e a posição posterior do mesmo de acordo com nossos achados. A descompressão indireta do forâmen contralateral no TLIF depende da altura e posição do espaçador.

Originalmente, a técnica de TLIF foi descrita para usar dois espaçadores de titânio no terço médio ou posterior do espaço intervertebral e preenchimento com enxerto anteriormente atrás do ligamento longitudinal anterior. Os espaçadores devem fornecer distração inicial e estabilidade segmentar, bem como suporte de cargas axiais (16). Estudos de biomecânica sugeriram que a colocação anterior dos espaçadores resultaria em melhor compartilhamento de carga e aumentaria a estabilidade (31,32). Embora a colocação anterior dos espaçadores possa melhorar a rigidez de construção da fusão, por outro lado reduz a altura do forâmen intervertebral, causando estenose do forâmen

intervertebral contralateral. Conclusão diferente foi apresentada por estudos mecânicos in vitro que recomendavam a colocação póstero-lateral de gaiolas TLIF para alcançar melhor estabilidade mecânica e altas taxas de fusão (38).

5.2 Relação do espaçador com a lordose segmentar

O alinhamento ideal do plano sagital da coluna lombar ainda é desconhecido. No entanto, a correlação positiva entre a retomada ou manutenção da lordose lombar e desfechos clínicos tem sido amplamente relatada (23,29,39). Para evitar a “síndrome de *flatback*”, as lordoses segmentares devem ser mantidas ou reconstruídas. Em fusões longas deve levar em consideração a anatomia pélvica de cada paciente para definir o padrão de uma lordose ideal (40). Vaz et al. (7) descreveram quatro padrão lordóticos típicos. Nas fusões curtas quando não restabelecido a lordose ideal no segmento artrodesado há uma compensação da lordose baixa pelo segmento adjacente, o que resultará em carga biomecânicas alteradas nesse segmento e consequentemente leva a degeneração e resultados clínicos ruins (40).

Um aumento da lordose comparado aos valores de controle foi observado na altura dos diferentes espaçadores, bem como na sua localização. Foi observada uma tendência a obter mais lordose com localização posterior sobre o platô vertebral. A produção de lordose segmentar foi associada à diminuição da altura do forâmen intervertebral. Uma correlação negativa entre o aumento do ângulo lordótico segmentar e as alterações na morfologia foraminal e na área transversal tem sido relatada (33). O aumento da lordose durante o TLIF pode ter efeito no forâmen contralateral (34,36). O ângulo lordótico segmentar é significativamente maior nos pacientes sintomáticos com radiculopatia contralateral quando comparados aos assintomáticos (34).

É concebível que a limitação óssea e dos tecidos moles possa restringir a criação de lordose e esse possa ser um fator modificável relacionado a qualquer procedimento

cirúrgico, principalmente após a realização do TLIF (40). Partindo desse princípio foi levando a hipótese de que há realização de facetectomia bilateral poderia aumentar a angulação da lordose após o procedimento no presente estudo. Contudo, descobrimos uma pequena tendência de aumento pela técnica de facetectomia bilateral sem significância estatística. Achado semelhante foi encontrado por Robertson et al. (2018) (40) no qual mostrou um aumento da lordose após a ressecção das facetas bilateralmente. Os procedimentos de TLIF com preservação da faceta contralateral limita a compressão, principalmente quando há existência de espondiloartrose ou osteofitoses. Outra complicação clínica frequente pela manutenção da faceta contralateral é a radiculopatia, secundária a compressão da raiz emergente naquela forâmen (34).

5.3 Limitações do estudo

A análise dos resultados do estudo deve considerar que o modelo utilizado não apresenta as características biológicas e biomecânicas perfeita da coluna lombar. Os ligamentos e outras estruturas que participam das propriedades biomecânicas da coluna lombar não estão presentes no modelo artificial utilizado. No entanto, os resultados observados abrem a perspectiva para uma análise crítica das alterações induzidas pelos espaçadores intervertebrais, bem como a motivação para o estudo dessas alterações utilizando vértebras humanas para a observação mais precisa das alterações induzidas pelos espaçadores vertebrais.

O espaçador deve ser capaz de restaurar a altura do disco intervertebral e de manter ou restaurar a lordose segmentar. De acordo com os resultados do presente estudo, os espaçadores devem ser colocados na parte posterior da coluna vertebral para melhor executar essas tarefas.

Conclusão

6- CONCLUSÃO

A melhor posição do espaçador intervertebral, na qual se obtêm menor redução da altura do forâmen intervertebral e aumento da lordose do segmento, é na região posterior do platô vertebral. O espaçador de 14 mm foi o que obteve uma menor redução da altura do forâmen quando comparados com os demais espaçadores. Apesar de apresentar um aumento da lordose segmentar com a realização de facetectomia bilateral não houve diferença significativa.

Referências

REFERÊNCIAS

1. Been E, Kalichman L. Lumbar lordosis. *Spine J.* 2014;14(1):87-97.
2. Reichmann S, Lewin T. The development of the lumbar lordosis. A post mortem study on excised lumbar spines. *Arch Orthop Unfallchir.* 1971;69(3):275-85.
3. Choufani E, Jouve JL, Pomero V, Adalian P, Chaumoitre K, Panuel M. Lumbosacral lordosis in fetal spine: genetic or mechanic parameter. *Eur Spine J.* 2009;18(9):1342-8.
4. Abitbol MM. Evolution of the lumbosacral angle. *Am J Phys Anthropol.* 1987;72(3):361-72.
5. Cil A, Yazici M, Uzumcugil A, Kandemir U, Alanay A, Alanay Y, et al. The evolution of sagittal segmental alignment of the spine during childhood. *Spine (Phila Pa 1976).* 2005;30(1):93-100.
6. Willner S, Johnson B. Thoracic kyphosis and lumbar lordosis during the growth period in children. *Acta Paediatr Scand.* 1983;72(6):873-8.
7. Vaz G, Roussouly P, Dimnet EBJ. Sagittal morphology and equilibrium of pelvis and spine. *Eur Spine J.* 2002;11(1):80-7.
8. Roussouly P, Gollogly S, Berthonnaud E, Dimnet J. Classification of the normal variation in the sagittal alignment of the human lumbar spine and pelvis in the standing position. *Spine (Phila Pa 1976).* 2005;30(3):346-53.
9. Ould-Slimane M, Lenoir T, Dauzac C, Rillardon L, Hoffmann E, Guigui P, et al. Influence of transforaminal lumbar interbody fusion procedures on spinal and pelvic parameters of sagittal balance. *Eur Spine J.* 2011;21(6):1200-6.
10. Yan S, Zhang Y, Wang K, Han Y, Zhu K, He F, et al. Three-Dimensional Morphological Characteristics of Lower Lumbar Intervertebral Foramen with Age. *Biomed Res Int.* 2018;2018:8157061.
11. Albee FH. Transplantation of a portion of the tibia into the spine for Pott's disease. A preliminary report. *JAMA.* 1911;57(11):885-6.
12. Hibbs RA. An operation for progressive spinal deformities: a preliminary report of three cases from the service of the orthopaedic hospital. 1911. *Clin Orthop Relat Res.* 2007;460:17-20.
13. Rickert M, Rauschmann M, Fleege C, Behrbalk E, Harms J. [Interbody fusion procedures. Development from a historical perspective]. *Orthopade.* 2015;44(2):104-13. German.
14. Jaslow IA. Intercorporal bone graft in spinal fusion after disc removal. *Surg Gynecol Obstet.* 1946;82:215-8.
15. Cloward RB. The treatment of ruptured lumbar inter- vertebral discs by vertebral body fusion. I. Indications, operative technique, after care. *J Neurosurg.* 1953;10(2):154-68.
16. Harms JG, Jeszszky D. Die posteriore lumbale interkorpo fusion in unilateraler transforaminaler technik. *Oper Orthop Traumatol.* 1998;10(2):90-102.
17. Lam FC, Alkalay R, Groff MW. The effects of design and positioning of carbon fiber lumbar interbody cages and their subsidence in vertebral bodies. *J Spinal Disord Tech.* 2012;25(2):116-22.
18. Gödde S, Fritsch E, Dienst M, Kohn D. Influence of cage geometry on sagittal alignment in instrumented posterior lumbar interbody fusion. *Spine (Phila Pa 1976).* 2003;28(15):1693-9.
19. Groth AT, Kuklo TR, Klemme WR, Polly DW, Schroeder TM. Comparison of sagittal contour and posterior disc height following interbody fusion: threaded cylindrical

- cages versus structural allograft versus vertical cages. *J Spinal Disord Tech.* 2005;18(4):332-6.
20. Zhou J, Wang B, Dong J, Li X, Zhou X, Fang T, et al. Instrumented transforaminal lumbar interbody fusion with single cage for the treatment of degenerative lumbar disease. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2011;131(9):1239-45.
 21. el-Masry MA, Khayal H, Salah H. Unilateral transforaminal lumbar interbody fusion (TLIF) using a single cage for treatment of low grade lytic spondylolisthesis. *Acta Orthop Belg.* 2008;74(5):667-71.
 22. Kida K, Tadokoro N, Kumon M, Ikeuchi M, Kawazoe T, Tani T. Can cantilever transforaminal lumbar interbody fusion (C-TLIF) maintain segmental lordosis for degenerative spondylolisthesis on a long-term basis? *Arch Orthop Trauma Surg.* 2014;134(3):311-5.
 23. Liang Y, Shi W, Jiang C, Chen Z, Liu F, Feng Z, et al. Clinical outcomes and sagittal alignment of single-level unilateral instrumented transforaminal lumbar interbody fusion with a 4 to 5-year follow-up. *Eur Spine J.* 2015;24(11):2560-6.
 24. Pereira C, Santos Silva P, Cunha M, Vaz R, Pereira P. How does minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion influence lumbar radiologic parameters? *World Neurosurg.* 2018;116:e895-e902.
 25. Aoki Y, Nakajima A, Takahashi H, Sonobe M, Terajima F, Saito M, et al. Influence of pelvic incidence-lumbar lordosis mismatch on surgical outcomes of short-segment transforaminal lumbar interbody fusion. *BMC Musculoskelet Disord.* 2015;16:213.
 26. Kim SB, Jeon TS, Heo YM, Lee WS, Yi JW, Kim TK, et al. Radiographic results of single level transforaminal lumbar interbody fusion in degenerative lumbar spine disease: focusing on changes of segmental lordosis in fusion segment. *Clin Orthop Surg.* 2009;1(4):207-13.
 27. Booth KC, Bridwell KH, Lenke LG, Baldus CR, Blanke KM. Complications and predictive factors for the successful treatment of flatback deformity (fixed sagittal imbalance). *Spine (Phila Pa 1976).* 1999;24(16):1712-20.
 28. Gelb DE, Lenke LG, Bridwell KH, Blanke K, McEnery KW. An analysis of sagittal spinal alignment in 100 asymptomatic middle and older aged volunteers. *Spine (Phila Pa 1976).* 1995;20(12):1351-8.
 29. Lazenec JY, Ramaré S, Arafati N, Laudet CG, Gorin M, Roger B, et al. Sagittal alignment in lumbosacral fusion: relations between radiological parameters and pain. *Eur Spine J.* 2000;9:47-55.
 30. Kwon BK, Berta S, Daffner SD, Vaccaro AR, Hilibrand AS, Grauer JN, et al. Radiographic analysis of transforaminal lumbar interbody fusion for the treatment of adult isthmic spondylolisthesis. *J Spinal Disord Tech.* 2003;16(5):469-76.
 31. Polly DW, Klemme WR, Cunningham BW, Burnette JB, Haggerty CJ, Oda I. The biomechanical significance of anterior column support in a simulated single-level spinal fusion. *J Spinal Disord.* 2000;13(1):58-62.
 32. Faundez AA, Mehbod AA, Wu C, Wu W, Ploumis A, Transfeldt EE. Position of interbody spacer in transforaminal lumbar interbody fusion: effect on 3-dimensional stability and sagittal lumbar contour. *J Spinal Disord Tech.* 2008;21(3):175-80.
 33. Iwata T, Miyamoto K, Hioki A, Fushimi K, Ohno T, Shimizu K. Morphologic changes in contralateral lumbar foramen in unilateral cantilever transforaminal lumbar interbody fusion using kidney-type intervertebral spacers. *J Spinal Disord Tech.* 2015;28(5):E270-6.

34. Jang KM, Park SW, Kim YB, Park YS, Nam TK, Lee YS. Acute contralateral radiculopathy after unilateral transforaminal lumbar interbody fusion. *J Korean Neurosurg Soc.* 2015;58(4):350-6.
35. Hunt T, Shen FH, Shaffrey CI, Arlet V. Contralateral radiculopathy after transforaminal lumbar interbody fusion. *Eur Spine J.* 2007;16 Suppl 3:311-4.
36. Yang Y, Liu ZY, Zhang LM, Dong JW, Xie PG, Chen RQ, et al. Risk factor of contralateral radiculopathy following microendoscopy-assisted minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion. *Eur Spine J.* 2017;27(8):1925-32.
37. Schwender JD, Holly LT, Rouben DP, Foley KT. Minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion (TLIF): technical feasibility and initial results. *J Spinal Disord Tech.* 2005;18 Suppl:S1-6.
38. Lowe TG, Hashim S, Wilson LA, O'Brien MF, Smith DA, Diekmann MJ, et al. A biomechanical study of regional endplate strength and cage morphology as it relates to structural interbody support. *Spine (Phila Pa 1976).* 2004;29(21):2389-94.
39. Kim JT, Shin MH, Lee HJ, Choi DY. Restoration of lumbopelvic sagittal alignment and its maintenance following transforaminal lumbar interbody fusion (TLIF): comparison between straight type versus curvilinear type cage. *Eur Spine J.* 2015;24(11):2588-96.
40. Robertson PA, Armstrong WA, Woods DL, Rawlinson JJ. Lordosis recreation in transforaminal and posterior lumbar interbody fusion: a cadaveric study of the influence of surgical bone resection and cage angle. *Spine (Phila Pa 1976).* 2018;43(22):E1350-E7.

ANEXO A

SOLICITAÇÃO DE DISPENSA DO TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO - TCLE Eu, Thiago Dantas Matos portador do CPF nº 013.380.935-84, Pesquisador responsável pelo projeto “**Alteração morfológica do forâmen lombar e lordose segmentar relacionadas ao posicionamento do espaçador intersomático na artrodese lombar intersomática transforaminal.**”, solicito perante este Comitê de Ética em Pesquisa a dispensa da utilização do TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO - TCLE para a coleta de dados, tendo em vista que o mesmo utilizará somente dados obtidos a partir do estudo de bancada com a utilização de um biomodelo sintético. Ribeirão Preto, 06/12/2018

Assinatura do Pesquisador Responsável pelo Projeto