

ESTUDO MORFOMÉTRICO DO PEDÍCULO DAS VÉRTEBRAS LOMBARES

MORPHOMETRIC STUDY OF LUMBAR VERTEBRAE'S PEDICLE

HELTON LUIZ APARECIDO DEFINO¹, JOSÉ ROBERTO BENITES VENDRAME²

RESUMO

Foi realizado estudo morfométrico de dez segmentos de coluna lombar de cadáveres adultos de ambos os sexos com a finalidade de estudar parâmetros relacionados com a morfometria dos pedículos da coluna lombar. Os pedículos foram seccionados transversalmente de ambos os lados na altura do seu menor diâmetro. As vértebras foram fotografadas e o estudo morfométrico foi realizado em aparelho Minimop, tendo sido avaliados bilateralmente: o formato do pedículo, o diâmetro, a espessura das paredes corticais, a área do pedículo, a área do osso cortical, a área de osso esponjoso, e a porcentagem de osso esponjoso e cortical do pedículo. O pedículo vertebral da coluna lombar apresenta forma oval, o diâmetro vertical é maior que o horizontal, a cortical medial é mais espessa, a área do pedículo aumenta no sentido crânio cauda, e a relação entre a área de osso cortical e esponjoso é constante em toda a extensão da coluna lombar.

Descritores: Vértebras lombares; Coluna vertebral; Cadáver.

SUMMARY

A morphometric study was performed on ten lumbar spine fragments from adult cadavers of both genders in order to study parameters related to lumbar spine pedicles' morphometry. The pedicles were cross-sectioned on both sides at the level of their smallest diameter. Vertebrae were photographed and the morphometric study was conducted using a Minimop instrument. The following parameters were bilaterally assessed: pedicle shape and diameter, cortical walls thickness, pedicle area, cortical bone area, spongy bone area, and percentage of spongy and cortical bone of the pedicle. The vertebral pedicle of the lumbar spine has an oval shape, its vertical diameter is larger than its horizontal diameter, the medial cortical bone wall is thicker, the area of the pedicle increases towards skull-tail, and the cortical and spongy bone areas ratio is constant throughout the extension of the lumbar spine.

Keywords: Lumbar Vertebrae; Spine; Cadaver.

Citação: Defino HLA, Vendrame JRB. Estudo morfométrico do pedículo das vértebras lombares. *Acta Ortop Bras.* [periódico na Internet]. 2007; 15(4):183-186. Disponível em URL: <http://www.scielo.br/aob>.

Citation: Defino HLA, Vendrame JRB. Morphometric study of lumbar vertebrae's pedicle. *Acta Ortop Bras.* [serial on the Internet]. 2007; 15(4): 183-186. Available from URL: <http://www.scielo.br/aob>.

INTRODUÇÃO

Os pedículos vertebrais tem sido muito utilizados como o local de ancoragem dos implantes na coluna vertebral, especialmente na coluna lombar^(1,2). O pedículo vertebral tem sido também utilizado como via de acesso para a realização de procedimentos no interior do corpo vertebral, como biópsias, vertebroplastia ou cifoplastia^(2,3).

A utilização do pedículo vertebral foi difundida por Roy-Camille⁽⁴⁾ e a sua aceitação está diretamente relacionada com as vantagens biomecânicas da fixação pedicular e a possibilidade da correção tridimensional das deformidades vertebrais com os sistemas de fixação pedicular^(1,2). No entanto, existem desvantagens da utilização do pedículo vertebral, representado principalmente pelo potencial de lesão dessa estrutura vertebral e lesão das estruturas vasculares ou nervosas adjacentes⁽⁵⁾.

O objetivo desse estudo é relatar os resultados do estudo morfométrico dos pedículos das vértebras lombares em adultos, com a finalidade de fornecer subsídios morfométricos para a utilização desse componente vertebral na ancoragem de implantes ou como via de acesso ao corpo vertebral.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados no estudo o segmento da coluna lombar (L1-L5) de 10 cadáveres humanos fornecidos pelo Serviço de Verificação de Óbitos da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto-USP.

Seis cadáveres eram do sexo masculino e quatro do sexo feminino, com idade variando de 27 a 88 anos (média-74 anos). As vértebras utilizadas no estudo não apresentavam lesões traumáticas, tumorais ou anomalias congênitas.

O estudo morfométrico foi realizado em aparelho Minimop, tendo sido avaliados bilateralmente: o formato do pedículo, o diâmetro, a espessura das paredes corticais, a área do pedículo, a área do osso cortical, a área de osso esponjoso, e a porcentagem de osso esponjoso e cortical do pedículo.

Para a realização do estudo e mensuração dos parâmetros relacionados as vértebras foram dissecadas, os tecidos moles adjacentes e as inserções ligamentares e musculares removidas. Após esse preparo as vértebras eram seccionadas através dos pedículos vertebrais com o eixo do corte transversal ao ponto mais delgado do pedículo vertebral. (Figura 1) A seguir a vértebra seccionada era fotografada, incluindo-se o pedículo seccionado, e a fotografia utilizada para a análise dos parâmetros morfométricos selecionados para o estudo.

RESULTADOS

Os parâmetros foram individualmente mensurados no lado direito e esquerdo de cada vértebra do segmento lombar da coluna vertebral e serão apresentados de acordo com o nível da vértebra (L1, L2, L3, L4 e L5). Os valores detalhados dos parâmetros mensurados estão representados nas Tabelas 1, 2, 3 e 4.

Trabalho realizado no Departamento de Biomecânica, Medicina e Reabilitação do Aparelho Locomotor da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo

Endereço para correspondência: Departamento de Biomecânica, Medicina e Reabilitação do Aparelho Locomotor da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo – Avenida Bandeirantes, 3900 – 11º and – Campus Universitário - Ribeirão Preto/São Paulo - hladefin@fmrp.usp.br

1. Professor Titular do Departamento de Biomecânica, Medicina e Reabilitação do Aparelho Locomotor da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo.

2. Aluno do Curso de Pós-Graduação do Departamento de Biomecânica, Medicina e Reabilitação do Aparelho Locomotor da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo.

Trabalho recebido em 18/08/06 aprovado em 11/11/06

Diâmetro pedículo			C1		C2		C3		C4		C5		C6		C7		C8		C9		C10		M
			e	d	e	d	e	d	e	d	E	d	e	d	e	d	e	d	E	d	e	d	
L1	C	V	16,4	17,3	15,5	15,3	13,8	15,2	16,9	17,2	16,3	15,2	14,9	16,5	16,6	15,8	18,3	15,5	18,0	17,1	14,0	14,7	16,0
		H	9,3	9,7	6,7	7,8	9,6	10,1	14,6	11,9	5,9	6,4	8,6	7,8	11,1	10,0	8,0	9,6	7,5	6,7	2,7	3,4	7,9
	E	V	15,2	16,8	12,8	11,8	10,0	11,1	14,3	15,3	13,4	12,7	12,6	13,9	14,8	13,9	17,5	13,6	16,9	15,7	12,6	13,6	13,9
L2	C	H	8,4	8,9	6,0	6,8	7,4	7,9	12,4	10,6	4,7	5,2	7,5	6,6	10,1	8,7	7,0	8,4	6,3	5,7	2,0	2,7	7,2
		V	15,5	16,8	15,5	16,7	14,2	16,1	14,9	13,3	16,3	17,2	13,3	13,6	14,9	15,1	19,5	17,3	15,1	13,6	14,8	15,6	15,5
	E	H	10,8	10,4	7,8	5,2	9,7	8,7	8,5	8,8	6,3	6,6	9,3	8,1	10,2	12,5	10,0	10,1	9,3	9,8	6,2	6,2	8,7
L3	C	V	13,4	14,8	12,9	15,0	10,8	14,1	13,4	11,6	9,4	9,4	11,8	12,1	12,3	13,3	18,7	16,1	13,3	12,3	14,2	13,6	12,6
		H	9,6	9,3	6,4	4,6	7,1	6,3	7,0	7,5	5,3	5,2	8,1	7,2	8,5	10,9	8,9	9,4	7,9	8,8	5	4,9	7,4
	E	V	17,5	17,2	14,9	14,3	15,0	13,2	28,7	25,8	14,4	13,1	15,5	12,5	17,4	15,6	16,8	17,1	15,7	17,5	15,1	14,8	16,5
L4	C	H	11,6	11,8	11,6	10,1	9,0	10,9	12,9	9,5	8,9	8,3	10,7	10,7	11,0	11,8	8,7	8,4	10,0	11,7	4,4	5,8	9,9
		V	15,8	14,8	12,7	11,6	11,4	10,2	23,9	20,5	10,8	10,4	14,2	10,7	14,9	13,3	15,2	16,1	14,4	15,5	12,9	13,2	14,1
	E	H	10,3	10,8	9,1	8,8	6,9	8,5	6,5	8,4	7,2	6,6	8,9	8,9	10,4	10,8	7,0	6,9	8,7	11,0	3,4	4,5	8,2
L5	C	V	17,4	17,0	17,1	15,0	19,3	17,4	29,4	24,5	12,0	13,0	14,8	12,2	18,3	15,7	16,0	15,8	30,1	22,6	15,1	15,2	17,9
		H	13,4	11,2	9,2	11,7	10,4	10,1	12,2	13,9	9,9	9,2	9,3	10,3	13,4	12,4	11,0	12,7	14,3	12,2	5,5	7,3	11,0
	E	V	16,2	15,0	14,9	12,6	17,4	14,1	25,7	23,4	9,9	11,3	13,1	10,8	16,8	14,1	13,4	14,2	28,3	22,0	13,6	14,4	16,9
L6	C	H	11,9	9,8	7,2	9,9	8,8	8,4	9,1	12,2	8,3	7,7	8,7	8,9	11,8	11,2	10,3	11,8	12,0	10,9	4,7	6,8	9,5
		V	18,6	16,9	22,7	17,8	14,7	14,8			16,1	14,9	23,0	18,1	21,4	20,8	20,1	18,8	20,3	25,4	18,9	18,9	19,0
	E	H	11,1	12,4	10,4	9,3	11,4	9,9			12,6	9,7	13,3	15,1	13,6	14,1	14,0	14,8	12,9	7,2	9,5	10,1	11,7
L7	C	V	17,2	12,9	20,7	12,6	12,2	11,8			14,7	12,5	21,2	16,2	20,0	19,6	18,9	17,5	18,5	24,3	17,6	17,4	17,0
		H	8,7	10,7	8,7	5,7	10,0	8,4			11,0	7,8	10,3	12,1	12,8	13,1	12,5	13,6	12,3	6,0	8,6	8,9	10,1

Tabela 1 - Valores dos diâmetros cortical externo (C) e trabecular (T) nos dois eixos do pedículo no plano coronal vertical (V) e horizontal (H).

Espessura cortical pedicular		C1		C2		C3		C4		C5		C6		C7		C8		C9		C10		M
		e	d	e	d	e	d	e	d	e	D	e	d	e	D	e	d	e	d	e	d	
L1	S	0,5	1,1	1,7	1,3	1,8	2,6	1,2	1,0	2,1	2,0	1,3	1,3	1,1	1,0	1,0	1,7	1,1	1,0	0,8	0,3	1,7
	I	0,9	0,2	1,2	2,5	2,8	3,7	1,8	1,3	1,9	1,0	1,5	1,9	1,1	2,2	1,0	1,1	1,1	0,9	0,9	0,6	1,3
	M	0,2	0,4	0,4	1,0	1,4	1,4	0,8	0,4	0,5	0,4	0,8	0,8	0,4	0,6	0,5	0,6	0,5	0,9	0,3	0,3	0,6
L2	L	0,9	0,2	0,4	0,6	1,1	0,7	0,2	0,6	0,5	0,5	0,5	0,1	0,4	0,6	0,5	0,5	0,6	0,4	0,4	0,4	0,5
	S	1,2	1,7	1,3	1,1	1,7	1,0	0,6	1,0	2,4	2,9	0,9	1,0	1,1	1,0	1,3	0,8	0,8	0,7	0,9	0,9	1,2
	I	1,3	1,4	1,8	2,2	1,4	1,4	0,9	0,7	2,1	2,1	1,1	1,0	1,4	1,7	1,2	0,8	0,9	0,7	1,0	0,9	1,3
L3	M	0,6	0,6	1,3	0,5	1,0	0,9	0,5	0,5	0,6	0,5	0,7	0,5	0,7	0,9	0,6	0,7	0,7	0,6	0,4	0,3	0,7
	L	0,6	0,3	0,7	0,4	0,5	0,9	0,8	0,4	0,9	0,6	0,4	0,4	0,8	0,6	0,8	0,5	0,5	0,5	0,3	0,2	0,6
	S	1,1	1,1	1,2	0,9	3,0	1,7	0,7	1,5	1,3	2,0	1,1	0,9	1,1	1,7	0,8	0,8	0,5	0,9	0,7	0,6	1,6
L4	I	1,5	1,4	1,5	1,6	1,2	2,0	0,8	1,1	1,3	1,8	0,5	0,8	1,1	1,5	0,9	1,0	0,8	0,7	0,9	0,6	1,2
	M	0,7	0,7	1,1	0,5	1,2	0,8	1,3	1,3	0,8	0,8	0,7	0,8	0,6	0,7	0,6	0,9	0,8	0,7	0,4	0,5	0,8
	L	0,7	0,4	0,4	0,7	0,8	1,2	1,0	1,2	0,7	0,5	0,6	0,7	0,7	0,6	0,3	0,6	0,8	0,7	0,4	0,3	0,7
L5	S	1,4	1,3	0,7	0,9	0,6	0,7	1,3	1,3	1,3	1,5	1,2	1,6	0,6	0,7	0,9	1,0	1,2	1,1	1,1	0,8	1,1
	I	1,4	1,3	1,0	1,0	1,0	1,8	1,3	1,6	1,2	1,6	0,6	0,9	0,8	1,0	1,1	0,8	1,0	0,8	0,9	0,8	1,1
	M	0,7	0,9	0,9	0,8	0,6	1,0	1,1	0,9	0,2	0,8	0,8	1,3	0,4	0,6	0,9	0,9	0,8	0,9	0,5	0,3	0,8
L6	L	0,5	0,7	0,5	0,5	0,2	0,7	1,3	0,9	0,2	0,8	0,5	0,6	0,6	0,5	0,6	0,8	1,1	1,0	0,3	0,6	0,8
	S	1,3	1,2	0,8	1,1	1,5	0,9			1,0	1,2	1,1	1,2	0,7	0,7	1	1,1	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0
	I	1,7	1,9	0,7	1,0	1,9	1,3			0,7	1,0	1,8	1,0	1,1	0,8	1	0,9	0,8	0,7	0,9	0,9	1,1
L7	M	1,3	0,8	0,8	1,2	1,6	1,0			0,4	0,9	0,8	1,0	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	1,5	0,4	0,5	0,9
	L	1,0	0,8	0,6	1,0	0,9	0,6			0,5	0,7	0,5	0,2	0,5	0,7	0,3	0,6	0,4	0,3	0,5	0,4	0,6

Tabela 2 - Valores da espessura da parede cortical pedicular superior (S), inferior (I), medial (M) e lateral (L).

Área		C1		C2		C3		C4		C5		C6		C7		C8		C9		C10		M
		e	D	e	d	e	d	e	d	e	d		d	E	d	e	d	E	d	e	d	
L1	C	20.4	14.9	17.6	21.2	50.0	48.6	47.2	38.3	25.7	25.5	23.6	21.8	25.9	26.4	20.8	24.6	24.5	16.1	11.0	11.8	25.8
	E	100.7	111.0	55.4	56.7	55.7	69.9	126.3	118.1	49.3	50.2	66.3	64.0	112.8	89.4	78.1	88.3	67.05	67.8	13.6	25.2	73.3
	T	121.1	125.9	73.0	77.9	105.7	118.5	173.5	156.4	75.0	75.7	89.9	85.8	138.7	115.8	98.9	112.9	92.0	83.9	24.6	37.0	99.1
L2	C	29.8	31.1	27.8	16.8	43.6	37.1	22.4	20.4	24.1	27.0	21.5	13.1	35.0	37.1	25.1	20.7	24.4	17.9	13.2	19.3	25.4
	E	93.6	101.5	62.0	50.2	56.8	64.1	66.6	59.4	68.3	70.4	72.1	69.2	69.8	111.2	116.3	106.7	70.9	66.5	42.8	47.7	73.3
	T	123.4	132.6	89.8	67.0	100.4	101.2	89.0	79.4	92.4	97.4	93.6	82.3	104.8	148.3	141.4	127.4	95.3	84.4	56.0	66.9	98.7
L3	C	30.0	28.2	39.1	32.1	43.1	45.9	130.1	25.2	34.5	27.8	34.4	28.1	32.8	32.1	27.8	22.7	24.8	28.3	16.7	18.7	38.2
	E	122.6	113.0	82.6	80.8	50.7	65.2	120.0	132.4	61.3	53.6	91.3	70.9	123.9	109.1	83.5	85.5	96.6	137.8	31.1	39.5	87.6
	T	152.6	141.2	121.7	112.9	93.8	111.1	250.1	157.6	95.8	81.4	125.7	99.0	156.7	141.1	111.3	108.2	121.4	166.1	47.8	58.2	125.8
L4	C	22.8	31.6	32.0	37.1	42.6	41.7	84.4	46.0	31.1	27.8	26.1	30.5	25.4	26.5	29.5	26.3	60.4	39.0	17.1	12.6	34.5
	E	159.3	106.0	83.5	97.6	109.9	94.4	174.6	236.5	62.5	67.4	81.5	71.1	150.9	117.3	98.2	124.0	222.3	183.2	48.3	65.6	135.3
	T	182.1	137.6	115.5	134.7	152.5	136.1	159.0	282.5	93.6	95.2	107.6	101.6	175.9	143.7	127.7	150.3	282.7	222.2	65.4	78.1	169.8
L5	C	37.6	51.6	31.7	75.7	43.0	27.9			33.9	36.9	51.8	59.7	31.4	31.6	34.6	32.2	22.7	32.1	24.4	28.1	38.2
	E	114.1	107.7	136.0	128.0	91.9	69.4			118.0	77.4	137.1	151.6	185.5	204.5	153.4	189.0	159.1	109.1	111.5	117.0	131.1
	T	151.7	159.3	167.0	203.7	134.9	97.3			151.9	114.3	188.9	211.3	216.8	236.1	188.0	221.2	181.8	141.1	135.9	145.1	169.3

O formato do pedículo era oval e irregular em todos os níveis estudados. O pedículo não possui a forma cilíndrica no corte transversal, e a sua forma é oval, existindo um diâmetro maior e um diâmetro menor. O diâmetro maior é no sentido crânio-caudal (vertical) e o diâmetro menor no sentido latero-lateral (horizontal). (Figura 1).

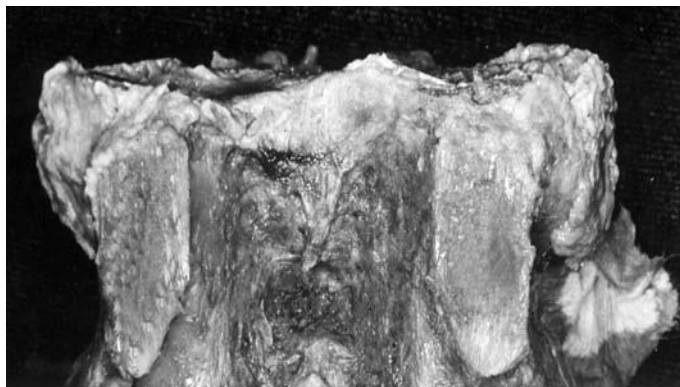


Figura 1 - Fotografia da vértebra após a secção transversal do pedículo. A área exposta do pedículo vertebral fornecia as informações para o estudo dos parâmetros selecionados.

O diâmetro cortical maior (vertical) era maior que o diâmetro cortical menor (horizontal), que confere a forma oval ao pedículo das vértebras lombares. Os diâmetros verticais e horizontais apresentaram aumento dos seus valores no sentido distal e mantiveram a diferença entre os seus valores, tendo sido observado a mesma tendência quando somente o componente de osso esponjoso foi considerado. (Figura 2).

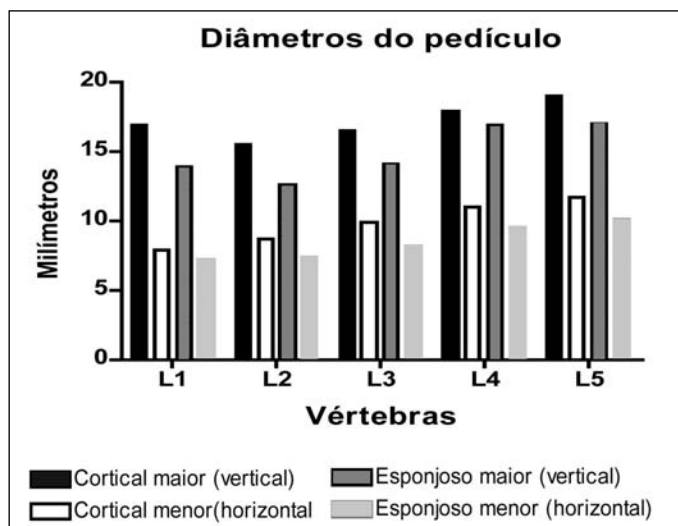


Figura 2 - Diferentes diâmetros estudados dos pedículos das vértebras lombares.

A espessura da parede cortical dos pedículos lombares apresentou maiores valores nas vértebras mais proximais, e maior espessura na parte superior. Essa diferença de espessura das paredes corticais superior e inferior não foi observada ao nível de L4 e L5, e os menores valores foram observados nesse nível. A cortical da parede medial do pedículo vertebral apresentou tendência de aumento da sua espessura no sentido caudal e maior espessura com relação à cortical medial. (Figura 3).

A área do pedículo apresentou aumento do seu valor no sentido caudal. A área de osso esponjoso apresentou maior valor que a área de osso cortical e a diferença foi mais acentuada ao nível de L4 e L5. (Figura 4).

A proporção de osso esponjoso em relação ao osso cortical foi mais elevada em todos os níveis, manteve-se constante até L4 e apresentou discreta redução ao nível de L5. (Figura 5).

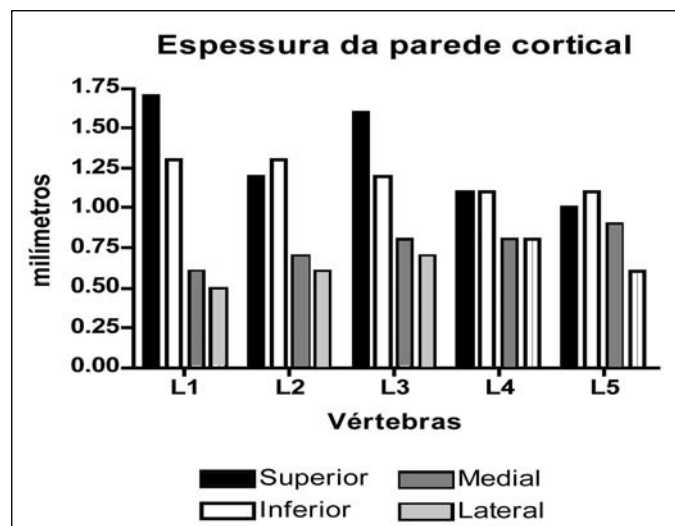


Figura 3 - Espessura das paredes dos pedículos vertebrais lombares.

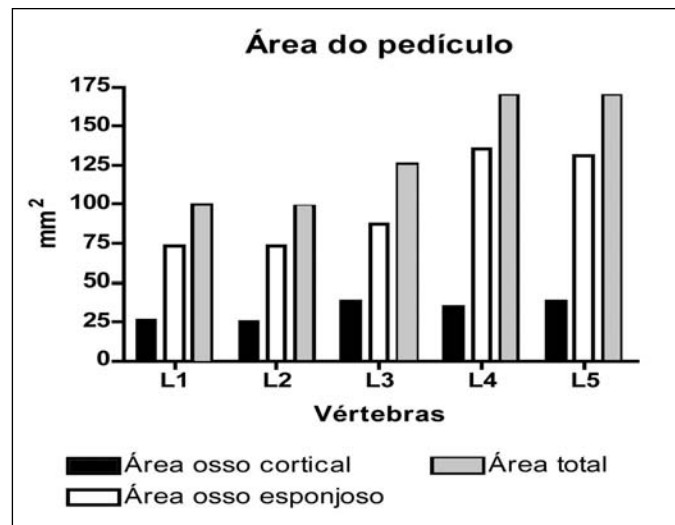


Figura 4 - Área do osso esponjoso, cortical e a área total da secção transversal dos pedículos das vértebras lombares.

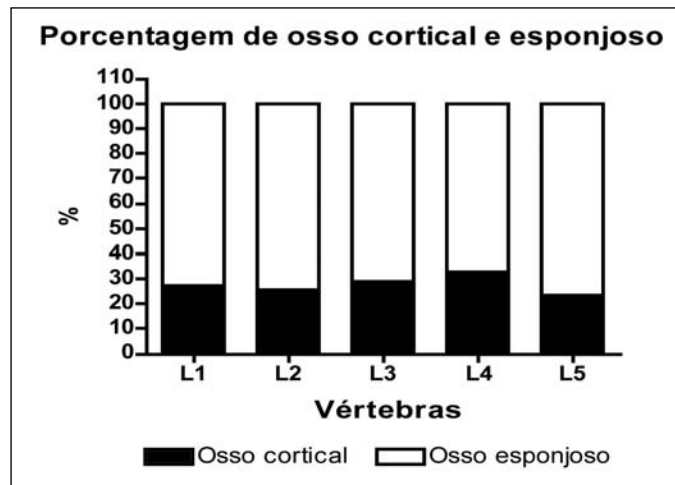


Figura 5 - Porcentagem de osso cortical e esponjoso dos pedículos das vértebras lombares.

DISCUSSÃO

O pedículo vertebral tem sido largamente empregado como o local da fixação dos implantes vertebrais desde a descrição pioneira da sua utilização pioneira por Roy-Camille⁽⁴⁾. A forma do pedículo não é cilíndrica como inicialmente descrita, e à medida que essa estrutura anatômica passou a ser mais utilizada, a sua morfologia foi melhor caracterizada⁽⁴⁾.

Os resultados de nosso estudo corroboram a idéia de que o pedículo da vértebra lombar não é uma estrutura cilíndrica e uniforme, e a análise dos valores dos parâmetros morfométricos estudados indicam que o pedículo não apresentam simetria na sua constituição.

As paredes da cortical lateral e medial não são possuem a mesma espessura, e a parede medial apresenta maior espessura de osso cortiça. Kothe et al.⁽⁶⁾ também relataram essa diferença entre as espessuras das corticais dos pedículos vertebrais. Segundo esses autores a espessura da cortical lateral do pedículo variava de 0,4 a 0,6mm e a cortical medial de 0,9 a 1,7mm. As corticais superiores e inferiores dos pedículos também apresentaram espessura diferente nos níveis mais craniais. No entanto, apresentaram valores muito próximos nos L4-L5. Essa diferença da espessura da camada de osso cortical do pedículo, reflete a falta da simetria dessa estrutura. A camada de osso cortical do pedículo tem sido descrita como possuindo características distintas da camada de osso cortical que recobre o corpo vertebral⁽⁶⁻⁹⁾.

O tamanho do diâmetro vertical e horizontal expressa a forma oval dos pedículos e o discreto aumento dos diâmetros no sentido crânio-caudal pode estar relacionado com o aumento das dimensões

que os pedículos apresentam nas vértebras mais caudais, relacionado talvez com o maior suporte das cargas fisiológicas.

A área total do pedículo também apresentou aumento no sentido caudal, podendo também estar relacionada com o aumento das dimensões das vértebras distais. Esse aumento foi acompanhado do aumento da área do osso cortical e osso esponjoso do pedículo. A área correspondente ao osso esponjoso é maior, e sua importância para a ancoragem dos implantes tem sido demonstrada^(9,10). No entanto, a porcentagem de osso esponjoso em relação ao osso cortical do pedículo manteve valor praticamente constante em todos os níveis da coluna lombar. Enquanto que os valores absolutos dos parâmetros estudados apresentavam tendência de aumento no sentido crânio-caudal, a relação entre o osso cortical e osso esponjoso do pedículo permaneceu constante.

Os valores absolutos individuais dos parâmetros estudados apresentaram variações que estão de acordo com as características anatômicas individuais da população e a sua análise em conjunto reflete as características morfológicas dos pedículos vertebrais da região lombar, que apresentam aumento das dimensões no sentido crânio caudal, mas mantém a relação entre a quantidade de osso esponjoso e cortical no seu interior.

CONCLUSÃO

Os pedículos vertebrais da região lombar apresentam forma oval e a espessura do osso cortical que o reveste não apresenta espessura homogênea, sendo mais espessa no lado medial. Os pedículos apresentam aumento da sua área e diâmetros no sentido crânio-caudal, mas a proporção entre o seu conteúdo de osso esponjoso e cortical permanece constante.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Boos N, Webb JK. Pedicle screw fixation in spinal disorders: a European view. *Eur Spine J*. 1997; 6:2-18.
2. Matsuzaki H, Tokuhashi Y, Matsumoto F, Hoshino M, Kiuchi T, Toriyama S. Problems and solutions of pedicle screw plate fixation of lumbar spine. *Spine*. 1990; 15:1159-65.
3. Lieberman I, Reinhardt M. Vertebroplasty and kyphoplasty for osteolytic vertebral collapse. *Clin Orthop Relat Res*. 2003; (415 Suppl):S176-86.
4. Roy-Camille R, Saillant G, Mazel C. Plating of thoracic, thoracolumbar and lumbar injuries with pedicle screw plates. *Orthop Clin North Am*. 1986; 17:147-59.
5. Weinstein JN, Spratt KF, Spengler D, Brick C, Reid S. Spinal pedicle fixation: reliability and validity of roentgenogram-based assessment and surgical factors on successful screw placement. *Spine*. 1988; 13:1012-8.
6. Kothe R, O'Holleran JD, Liu W, Panjabi MM. Internal architecture of the thoracic pedicle. An anatomic study. *Spine*. 1996; 21:264-70.
7. Knothe Tate ML, Niederer P, Knothe U. In vivo tracer transport through the lacunocanalicular system of rat bone in an environment devoid of mechanical loading. *Bone*. 1998; 22:107-17.
8. Silva MJ, Wang C, Keaveny TM, Hayes WC. Direct and computed tomography thickness measurements of the human, lumbar vertebral shell and endplate. *Bone*. 1994; 15:409-14.
9. Inceoglu S, Burghardt A, Akbay A, Majumdar S, McLain RF. Trabecular architecture of lumbar vertebral pedicle. *Spine*. 2005; 30:1485-90.
10. Defino HL, Vendrame JR. Role of cortical and cancellous bone of the vertebral pedicle in implant fixation. *Eur Spine J*. 2001; 10:325-33.