

# ESTUDO ANATÔMICO DIMENSIONAL DO ARCO POSTERIOR DE C2 PARA A INSTRUMENTAÇÃO COM PARAFUSO INTRALAMINAR

*POSTERIOR INSTRUMENTATION FOR LAMINAR SCREW OF C2: A DIMENSIONAL ANATOMIC STUDY OF AXIS*

*LUIZ SORRENTI, MAURICIO MASASI IYAGUCHI, RAFAEL BARBAN SPOSETO, MARCELO PODEROSO DE ARAÚJO, ALEXANDRE SADAQ IUTAKA, TARCISIO ELOY PESSOA DE BARROS FILHO, IVAN DIAS DA ROCHA*

## RESUMO

**Introdução:** A articulação atlantoaxial possui mecanismos estabilizadores C1-C2, ligamentares, ósseos e capsulares, mantendo a relação anatômica adequada entre C1 e C2. A falha, traumática ou atraumática, isolada ou um conjunto destes mecanismos leva à instabilidade atlantoaxial, podendo culminar em alterações neurológicas, dor e limitação da mobilidade cervical. Casos com déficit neurológico e de instabilidade moderada a grave, são passíveis de tratamento cirúrgico. Desde 1910 inúmeras técnicas de estabilização cirúrgica C1-C2 são praticadas e mesmo recentemente novas técnicas de estabilização C1-C2 vêm sendo desenvolvidas. Novas técnicas foram desenvolvidas utilizando parafusos bilaterais na massa lateral de C1 e na lâmina de C2, conectados por barras. **Objetivo:** Mensurar as dimensões da lâmina de C2 para avaliar a segurança e dimensão do parafuso a ser utilizado, pela técnica de Wright. **Métodos:** Estudo anatômico com 29 cadáveres adultos dissecando a lâmina de C2, aferindo medidas externa e interna da lâmina no plano sagital, coronal e axial. **Resultados:** A média das medidas das porções médias externas das lâminas de C2 foi 5,83 mm, das quais 8,93% foram abaixo de 3,5mm. **Conclusão:** Sugerimos um estudo tomográfico pré-operatório, para identificar pacientes com lâminas menores e logo em maior risco.

**Descritores:** *Axis. Parafusos ósseos. Coluna cervical. Articulação atlanto-axial. Instrumentação.*

## ABSTRACT

**Introduction:** The atlantoaxial joint has stabilizing mechanisms (bones, ligaments and capsules) keeping the anatomic relation between C1-C2. When one or more of those mechanisms fail, in a traumatic or non-traumatic way, an instability atlantoaxial occurs leading to neurologic impairment, pain and cervical mobility limitation. Neurologic impairment and moderate to severe instability may need surgical treatment. Since 1910, a great number of C1-C2 stabilization techniques have been developed, and, even recently, new methods have been developed. New techniques using bilateral screws on C1 lateral mass and C2 laminar screws connected by rods were developed. **Objective:** To measure C2 lamina size in order to evaluate the safety and the dimension of the screw used in Wright's technique. **Methods:** We conducted an anatomic study with 29 human adult cadavers whose C2 laminae were dissected and measured, in sagittal, coronal and axial planes. **Results:** The average measure of the external middle portion of C2 lamina was 5,83mm, and 8,93% were below 3,5mm. **Conclusion:** We suggest a tomographic study prior to surgery in order to identify patients with smaller laminae, thus presenting a higher risk.

**Keywords:** *Axis. Bone screws. Spine. Atlanto-axial joint. Instrumentation.*

**Citação:** Sorrenti L, Iyaguchi MM, Sposeto RB, Araújo MP, Iutaka AS, Barros Filho TEP et al. Estudo anatômico dimensional do arco posterior de c2 para a instrumentação com parafuso intralaminar. *Acta Ortop Bras.* [online]. 2009; 17(4):219-23. Disponível em URL: <http://www.scielo.br/aob>.

**Citation:** Sorrenti L, Iyaguchi MM, Sposeto RB, Araújo MP, Iutaka AS, Barros Filho TEP et al. Posterior instrumentation for laminar screw of c2: a dimensional anatomic study of axis. *Acta Ortop Bras.* [online]. 2009; 17(4):219-23. Available from URL: <http://www.scielo.br/aob>.

## INTRODUÇÃO

A estabilidade da articulação atlantoaxial é proporcionada pelos mecanismos estabilizadores C1-C2, que incluem: os ligamentos alares, o ligamento cruciforme do Atlas (transverso, longitudinal superior e inferior) o ligamento apical, dente do Áxis, a cápsula articular, a membrana atlantoaxial anterior e posterior, a membrana tectórica, as facetas articulares, a integridade óssea de C1 e C2, dentre outros mecanismos passivos e ativos. A falha de um, ou de um conjunto destes, resultaria na instabilidade atlantoaxial de etiologia traumática, atraumática ou congênita,

culminando em alterações neurológicas, dor e/ou limitação da mobilidade cervical.

A cirurgia normalmente é reservada para pacientes com déficit neurológico e nos casos de instabilidade moderada a grave.<sup>1</sup> Indicações para a estabilização posterior de C1-C2 são diversas e incluem as fraturas do processo odontóide tipo II e III (quando associada à fratura de Jefferson ou à fratura da articulação atlantoaxial) e falha de outros métodos de tratamento), malformações congênitas de C2 (ex: os odontóideum e agenesia do odontóide), doenças degenerativas, doenças inflamatórias, tumores, infecções que cursam com

Todos os autores declaram não haver nenhum potencial conflito de interesses referente a este artigo.

LIM 41 – Laboratório de Investigação Médica do Sistema Músculo-Esquelético do Departamento de Ortopedia e Traumatologia HC/FMUSP

Endereço para Correspondência: *Rafael Barban Sposeto – Rua Dona Brigida, 625, apto 81 Maggiore, VI Mariana. CEP 04111-081 – São Paulo – SP – Brasil – E-mail: rafaels\_87@yahoo.com.br*

Trabalho recebido em 11/06/08 aprovado em 14/09/08

instabilidade atlantoaxial, instabilidade pós-operatória (laminectomias e remoção da faceta articular), frouxidão ligamentar C1-C2 com intervalo atlanto-dental aumentado (ex.: artrite reumatóide).

As avaliações das técnicas de artrodese C1-C2 disponíveis atualmente sugerem que a fixação utilizando parafusos intralaminares em C2 pode diminuir o risco de lesões neurológicas, ao mesmo tempo em que aumentaria as taxas de sucesso de artrodese e diminuiria o risco de pseudoartrose.

O objetivo deste trabalho foi mensurar, por meio da dissecação dos elementos posteriores de C2 em cadáveres, as dimensões internas e externas da lâmina de C2 para avaliar a segurança e dimensão dos parafusos a serem utilizados.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Foi realizado um estudo anatômico de 29 cadáveres adultos (maiores que 18 anos), oriundos do Serviço de Verificação de Óbitos da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, conforme autorização da comissão de ética do Hospital das Clínicas da Universidade de São Paulo. As peças foram aleatoriamente selecionadas dentre um período de junho de 2006 a junho de 2007.

Os critérios de exclusão utilizados foram:

- cirurgia cervical;
- história de traumatismo cervical;
- doenças osteometabólicas;
- doenças reumatológicas;
- imaturidade esquelética; e
- anomalias congênitas cervicais.

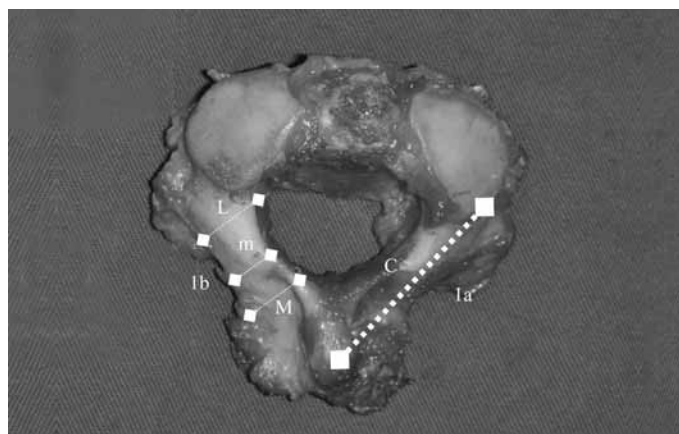
Os mesmos encontravam-se conservados, não sendo utilizados cadáveres decompostos.

O estudo começa com o corpo em decúbito ventral com um suporte cefálico, sendo realizada uma via de acesso longitudinal posterior (aproximadamente 10 cm) à coluna cervical alta. O arco posterior da segunda vértebra cervical é minuciosamente dissecado, assim como os arcos da primeira e terceira vértebras cervicais. O processo espinhoso, as lâminas e os pedículos de C3 são ressecados *in situ*, favorecendo o posicionamento adequado do instrumental e a osteotomia dos pedículos de C2. O bloco incluindo parte dos pedículos, as massas laterais, as lamínas e o processo espinhoso é ressecado com formões delicados e serras.

As partes moles aderidas são cuidadosamente ressecadas do arco posterior de C2, deixando a peça anatômica composta apenas por osso. As mesmas são medidas com um paquímetro preciso e um goniômetro, sendo aferidos os seguintes parâmetros:

1. Comprimento total das lâminas (C), no plano transversal, medido entre o centro do processo espinhoso e o início das massas laterais. (Figura 1a)
2. Espessura da lâmina (plano transversal) medida em três pontos: próxima do processo espinhoso (medial - M), próxima da massa lateral (lateral - L) e na metade da distância entre essas duas medidas (média - m). (Figura 1b)
3. Altura da lâmina (plano sagital) medida em três pontos, próxima do processo espinhoso (medial -M), próxima da massa lateral (lateral - L) e na metade da distância entre essas duas medidas (média - m). (Figura 2)
4. Ângulo interlaminar ( $\beta$ ) formado pelas porções anteriores das lâminas de C2, cujo vértice é a base do processo espinhoso. (Figura 3)

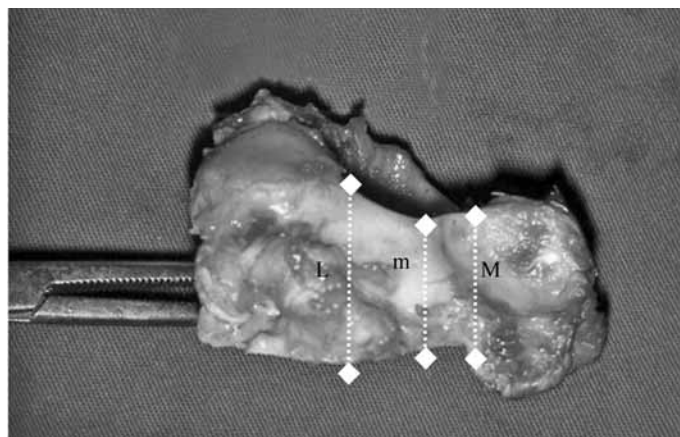
Após as aferições destas medidas as peças serão cortadas transversalmente (Figura 4), no centro de sua altura através de uma serra delicada e a seguir serão aferidos os seguintes parâmetros:



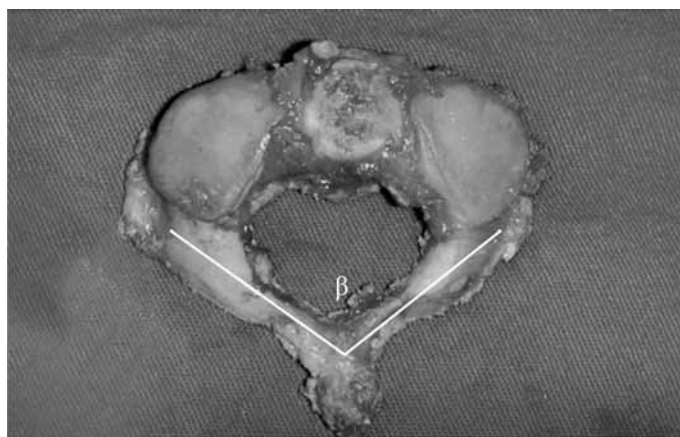
**Figura 1** - Vista superior do Áxis (Peça anatômica ressecada):

a: Comprimento externo da lâmina (C);

b: Espessura externa da lâmina, medial (M), média (m) e lateral (L).

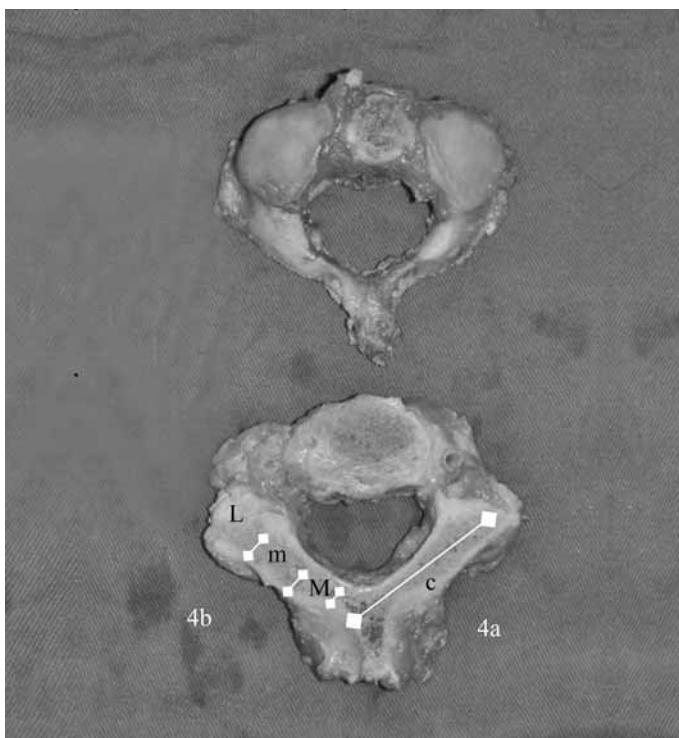


**Figura 2** - Peça anatômica ressecada, vista lateral demonstrando as três localizações das medidas da altura externa, medial (M), média (m) e lateral (L).



**Figura 3** - Ângulo interlaminar.

5. Espessura interna das lâminas (plano transversal) medida da espessura do osso esponjoso das lâminas, intervalo interno entre as tábuas ósseas que formam as lâminas, aferido em três pontos, próximo do processo espinhoso, próximo da massa lateral e na metade da distância entre essas duas medidas.
6. Comprimento interno das lâminas (plano transversal) distância entre a base do processo espinhoso e a junção entre a lâmina e a pares contralateral.



**Figura 4** – Corte transverso de C2:  
a: comprimento interno da lâmina (c);  
b: espessura interna medial (M), média (m) e lateral (L).

Depois de aferidas essas medidas, será realizada uma análise estatística com o ângulo interlamina, comprimento e largura da lâmina de C2 (tanto intramedular quanto extra cortical) comparando esses valores com os parafusos laminares disponíveis, demonstrando se há ou não espaço intramedular para esse tipo de fixação. A análise estatística descritiva foi feita através da média e desvio padrão das medidas aferidas nas peças.

## RESULTADOS

Vinte e oito cadáveres foram avaliados, após exclusão de um caso que apresentava fusão das vértebras C2-C3. Nesta amostragem, 20 eram do sexo masculino e nove do sexo feminino, destes onze brancos, dez pardos e oito negros.

A média de idade entre os cadáveres foi de 58,71 anos (variação de 31 a 91 anos). A altura média foi de 1,71 metros, variando de 1,60 a 1,90. Eles apresentavam o peso médio de 67,10 quilos (49,9 a 85) e todos os óbitos foram ocorridos em consequência de fatores clínicos, sem traumas.

A angulação média entre as lâminas de C2 foi de 88,61 graus (variação de 72 a 110) e as demais medidas obtidas nas Tabelas de 1 a 5.

## DISCUSSÃO

Desde 1910 inúmeras técnicas de estabilização cirúrgica C1-C2 são praticadas para o tratamento de instabilidades C1-C2, e, recentemente, novas técnicas de estabilização C1-C2 vem sendo desenvolvidas. Em 1910, Mixter e Osgood<sup>2</sup> descreveram a técnica de amarrilho dos processos espinhosos C1-C2 com seda; em 1939 Gallie<sup>3</sup> descreveu amarrilho das lâminas de C1-C2; em 1978 Brooks e Jenkins<sup>4</sup> descreveram um método alternativo de amarrilho das lâminas de C1-C2, posteriormente modificado por Dickman e Sonntag.<sup>5</sup> Em 1980 clampes interlaminares<sup>6</sup> foram popularizados.

**Tabela 1** – Medidas do comprimento externo das lâminas (mm)

	Paciente	D- Ext	E - Ext
	1	36	38
	2	32	35
	3	39	37
	4	36	39
	5	41	42
	6	38	37
	7	40	41,5
	8	33	34
	9	33	35
	10	36	36
	11	34	35
	12	34	36
	13	39	40
	14	36	38
	15	37	38,5
	16	27	25
	17	27	25
	18	26	24
	19	25	24
	20	20	17
	21	29	28
	22	27	24
	23	20	20
	24	21	22
	25	20	21
	26	19	19
	27	17	17
	28	27	27
	Média	30,32	30,53
	Desvio padrão	7,30	8,13

**Tabela 2** – Medidas da espessura externa das lâminas direita e esquerda em suas porções medial, média e lateral (mm)

	Espessura Externa Direita			Espessura Externa Esquerda			
	Paciente	Medial	Médio	Lateral	Medial	Médio	Lateral
	1	7	7	9	8	6	6
	2	8	7	8	7,5	7	8
	3	5,5	4,5	6	7	6	7
	4	6,2	4,8	6	8	6,3	8
	5	8	6	9	7	5	10
	6	9	6	7	9	6	8
	7	10	9	10	10	7,5	8
	8	6	4,5	7,5	5	4	5,5
	9	8	5	7	6	6	8
	10	11	7	8	10	7	9
	11	6	5	5,5	6	5	6
	12	6	5,5	6,5	8	6	7,5
	13	9	7,5	9	9	7	9
	14	7,5	7	8	8	6,5	8
	15	8	6	8	7,5	6	8
	16	4	3	6	4	4	6
	17	4	3	5	4	3	5
	18	5	5	7	5	4	6
	19	5,5	5	6,5	5,5	5	6
	20	4	3	7	4,5	4	5
	21	6	5	9	8	7,5	8,5
	22	6	5	9	6	5	8
	23	6	4	8	6	3	7
	24	6	5	8	7	6	8
	25	7	7	10	8	7	10
	26	14	12	12	12	10	12
	27	7	5	6	8	5	6
	28	11	9	11	12	9,5	10
	Média	7,16	5,80	7,81	7,35	5,86	7,62
	Desvio padrão	2,31	1,97	1,69	2,09	1,67	1,68

**Tabela 3 – Medidas da altura das lâminas direita e esquerda, em suas porções medial, média e lateral (mm)**

	Altura Plano Coronal Direito				Altura Plano Coronal Esquerdo		
	Paciente	Medial	Médio	Lateral	Medial	Médio	Lateral
1	12	12	15	14	13	17	
2	15	13	14	16	13	14	
3	13	11	12	13	12	14	
4	14	13	12	13	13	14	
5	16	12	16	13	12	13	
6	12	11	13	11	12	14	
7	14	13	18	13	13	16	
8	14,5	13	15	14,5	12	13,5	
9	14	12	13	14	11	12	
10	11	11	13	12	12	13	
11	11,5	11	12	12	11,5	12	
12	13	12	14	12,5	12	13	
13	15	13	16	15	13	15	
14	13	12	14	13	12	15	
15	14	12,5	14	15	13	15	
16	11	9	11	10	8	11	
17	10	8	12	11	9	11	
18	13	11	13	13	12	13	
19	12	10	13	12,5	10,5	13	
20	12	12	16	12	12	13	
21	12	12	14	12,5	11	13	
22	13	10	16	14	12	17	
23	16	12	16	16	13	17	
24	12	11	15	13	12	14	
25	10	10	7	11	10	8	
26	6	6	12	6	6	11	
27	12	11	10	12	10	10	
28	12,5	11,5	14	15	12,5	12	
Média		12,62	11,25	13,56	12,82	11,51	13,34
Desvio padrão		2,04	1,60	2,21	2,01	1,65	2,10

**Tabela 4 – Medidas do comprimento interno das lâminas direita e esquerda (mm)**

	Paciente	Direito	Esquerdo
1		34	30
2		36	37
3		33	40
4		29	39
5		34	35
6		30	30
7		34	32
8		28	28
9		30	28
10		38	38
11		29	28
12		29	31
13		36	38
14		33	35
15		35	36
16		25	24
17		19	19
18		23,5	25
19		24	25
20		24	23,5
21		31	28
22		28,5	28
23		37	32
24		25	24
25		27	29
26		28	25
27		24	22
28		30	30
Média		29,78	29,98
Desvio padrão		4,78	5,60

**Tabela 5 – Medidas da espessura interna das lâminas direita e esquerda (mm)**

	Lâmina Direita			Lâmina Esquerda			
	Paciente	Medial	Médio	Lateral	Medial	Médio	Lateral
1	5	4	6	5	4	7	
2	6	5	7	6	5	7	
3	9	2	4	7	2	4	
4	6	4	6	5	6	7	
5	8	3	3	1	2	5	
6	5	4	5	6	3	4	
7	10	6	8	9	6	9	
8	4	3	5	3	2,5	5	
9	5	3	6	5	3	5	
10	11	6	8	11	4	6	
11	5	3	5	3	2,5	3,5	
12	5,5	3	5	5	3	5	
13	10	6	8	9	5,5	8	
14	7	4	5	6	4	7	
15	7	4	6	6	4	6	
16	3	3	4	3	3	5	
17	3	2	4	3	2	3	
18	4	3	5	4	2	4	
19	4	3,5	4,5	4	3	5	
20	4	3	6	3,5	3	5	
21	4	3	7	4	3	6	
22	3	2,5	5	3,5	2,5	5	
23	7	2	5	8	2	7	
24	4	3	6	5	4	6	
25	4	2	4,5	5	2	7	
26	3	4	9	3,5	3,5	8	
27	5	1	7	5	2	7	
28	3	4	6	3	4,5	5	
Média		5,51	3,42	5,71	5,05	3,32	5,76
Desvio padrão		2,31	1,23	1,43	2,20	1,22	1,47

Fixação posterior com parafusos transarticulares C1-C2 e parafusos na massa lateral de C1, no pedículo e lâmina de C2 foram desenvolvidos mais recentemente.

Todas estas técnicas estão propícias a falhas, complicações e dificuldades técnicas. As técnicas de amarrilhos sublaminares, com a passagem no arco de C1<sup>3</sup>, ou dupla passagem em C1 e C2<sup>4</sup> apresentam riscos de lesão neurológica inerente à passagem de fios sublaminares, além da necessidade de utilização de órtese externa rígida e uma alta taxa de não consolidação da artrodese, podendo variar de 9% a 25%.<sup>7-9</sup> Alguns autores consideram que a não consolidação está relacionada com a pouca estabilidade mecânica, principalmente rotacional, fornecida pelas técnicas com amarrilho isolado (Gallie ou Brooks-Jenkins).<sup>10-14</sup>

A técnica de Magerl<sup>15</sup> apresenta boa estabilidade e vários ensaios clínicos mostraram sua eficácia para a obtenção da artrodese e bons resultados clínicos. Utiliza um sistema de fixação em três pontos, com dois parafusos trans-articulares C1-C2 (direito e esquerdo) associado a um amarrilho como na técnica de Gallie. Não há a necessidade de órteses rígidas e as taxas de artrodese são elevadas.<sup>15,16</sup> Entretanto estudos anatômicos demonstraram que a artéria vertebral pode ser lesada nesta técnica, principalmente quando há alterações anatômicas no seu trajeto próximo da paars de C2 (migração medial ou superior da artéria), impedindo a utilização desta técnica em até 20% dos casos.<sup>16-20</sup> Esta técnica torna-se inviável quando ocorre uma subluxação não redutível maior

que 50% de C1 sobre C2.<sup>21</sup> O ângulo de inserção verticalizado do parafuso pode representar outra dificuldade técnica, impedindo seu uso em pacientes com cifose torácica acentuada e podendo levar a necessidade de uma via de acesso ampliada até C6-C7 para conseguir o ângulo de colocação do parafuso.<sup>22</sup>

Nesta situação, podemos utilizar a técnica descrita por Harms<sup>13,20,23</sup>, que usa um sistema de fixação com parafusos nas massas laterais de C1 conectados por meio de hastes a parafusos colocados no pedículo de C2. Nesta técnica existe a possibilidade de redução da subluxação e na maioria dos casos é possível colocar o parafuso no pedículo de C2, pois apresenta uma posição mais medial e inferior em relação ao parafuso transarticular da técnica de Magerl.<sup>13-15</sup> Vários estudos mostram poucos problemas para a colocação de parafusos na massa lateral de C1, como na técnica de Harms<sup>24-26</sup>, porém alguns pacientes apresentam um pedículo de C2 que não permite a passagem de parafusos<sup>22,24-27</sup> devido às mesmas alterações descritas para a técnica de Magerl.

Wright et al.<sup>28</sup> desenvolveu uma técnica de fixação entre C1 e C2 utilizando parafusos bilaterais nas massas laterais de C1 e nas lâminas de C2, conectados por hastes. Em série de 10 casos, observou-se baixo índice de complicações e adequada estabilidade do segmento fixado. Os bons resultados foram atribuídos ao reduzido risco de lesões iatrogênicas na colocação dos parafusos, já que os locais de inserção não apresentam grande proximidade com estruturas vasculares ou neurais.<sup>20-22,24-28</sup>

A resistência biomecânica da técnica de Wright foi observada em estudo com peças anatômicas de cadáveres, demonstrando alta estabilidade da síntese.<sup>20</sup>

Wright et al.<sup>23</sup> e Cassinelli et al.<sup>29</sup> em estudos anatômicos com ossos secos de cadáveres mostraram a viabilidade da locação de parafusos nas lâminas de C2. Cassinelli et al.<sup>29</sup> em seu estudo com 420 ossos secos de cadáveres obteve uma média da espessura da lâmina de 5,7 mm, sendo que 70,5% apresentaram uma espessura maior ou igual a 5 mm, 92,6% maior ou igual a 4 mm e 96,7% maior ou igual a 3,5mm, dados compatíveis com nosso presente estudo que apresentou uma média das medidas da espessura externas das porções médias das lâminas de 5,83 mm, sendo que 76,78% apresentaram uma espessura maior ou igual a 5 mm, 91,07% maior ou igual a 4 mm e 91,07% maior ou igual a 3,5 mm. Essa pequena variação entre os percentuais provavelmente se deve a um número menor de peças anatômicas.

## CONCLUSÃO

Nosso presente estudo corrobora com a conclusão dos estudos realizados previamente, mostrando a viabilidade de locação de parafusos intralaminares na vértebra C2.

Como identificamos 8,93% de espécimes com espessura externa da lâmina menores que 3,5 mm (diâmetro do parafuso normalmente utilizado) sugerimos a realização de estudo tomográfico pré-operatório para identificação de pacientes com maior risco cirúrgico.

## REFERÊNCIAS

1. Szpalski M, Gunzburg R. The degenerative cervical spine. *J Bone Joint Surg Br.* 2001;83:933-4.
2. Mixter SJ, Osgood RB. Traumatic lesions of the atlas and axis. *Ann Surg.* 1910;51:193-207.
3. Gallie WE. Fractures and dislocations of cervical spine. *Am J Surg.* 1939;46:495-9.
4. Brooks AL, Jenkins EB. Atlantoaxial arthrodesis by the wedge compression method. *J Bone Joint Surg Am.* 1978;60:279-84.
5. Dickman CA, Sonntag VK, Papadopoulos SM, Hadley MN. The interspinous method of posterior atlantoaxial arthrodesis. *J Neurosurg.* 1991;74:190-8.
6. Holness RO, Huestis WS, Howes WJ, Langille RA. Posterior stabilization with an interlaminar clamp in cervical injuries: technical note and review of the long term experience with the method. *Neurosurg.* 1984;14:318-22.
7. Hamilton JD, Gordon MM, McInnes IB, Johnston RA, Madhok R, Capell HA. Improved medical and surgical management of cervical spine disease in patients with rheumatoid arthritis over 10 years. *Ann Rheum Dis.* 2000;59:434-8.
8. Kolen ER, Schmidt MH. Rheumatoid arthritis of the cervical spine. *Semin Neurol.* 2002;22:179-86.
9. Clark CR, Goetz DD, Menezes AH. Arthrodesis of the cervical spine in rheumatoid arthritis. *J Bone Joint Surg Am.* 1989;71:381-92.
10. Richter M, Schmidt R, Claes L, Puhl W, Wilke HJ. Posterior atlantoaxial fixation: biomechanical in vitro comparison of six different techniques. *Spine.* 2002;27:1724-32.
11. Oda I, Abumi K, Sell LC, Haggerty CJ, Cunningham BW, McAfee PC. Biomechanical evaluation of five different occipito-atlanto-axial fixation techniques. *Spine.* 1999;24:2377-82.
12. Puttlitz CM, Melcher RP, Kleinstueck FS, Harms J, Bradford DS, Lotz JC. Stability analysis of craniovertebral junction fixation techniques. *J Bone Joint Surg Am.* 2004;86:561-8.
13. Melcher RP, Puttlitz CM, Kleinstueck FS, Lotz JC, Harms J, Bradford DS. Biomechanical testing of posterior atlantoaxial fixation techniques. *Spine.* 2002;27:2435-40.
14. Henriques T, Cunningham BW, Olerud C, Shimamoto N, Lee GA, Larsson S et al. Biomechanical comparison of five different atlantoaxial posterior fixation techniques. *Spine.* 2000; 25:2877-83.
15. Abou Madawi A, Solanki G, Casey AT, Crockard HA. Variation of the groove in the axis vertebra for the vertebral artery. Implications for instrumentation. *J Bone Joint Surg Br.* 1997;79: 820-3.
16. Madawi AA, Casey AT, Solanki GA, Tuite G, Veres R, Crockard HA. Radiological and anatomical evaluation of the atlantoaxial transarticular screw fixation technique. *J Neurosurg.* 1997;86:961-8.
17. Neo M, Matsushita M, Iwashita Y, Yasuda T, Sakamoto T, Nakamura T. Atlantoaxial transarticular screw fixation for a high-riding vertebral artery. *Spine.* 2003;28:666-70.
18. Farey ID, Nadkarni S, Smith N. Modified Gallie technique versus transarticular screw fixation in C1-C2 fusion. *Clin Orthop Relat Res.* 1999;(359):126-35.
19. Wright NM, Laurysen C. Vertebral artery injury in C1-C2 transarticular screw fixation: results of a survey of the AANS/ CNS section on disorders of the spine and peripheral nerves. *American Association of Neurological Surgeons/Congress of Neurological Surgeons.* *J Neurosurg.* 1998;88: 634-40.
20. Gorek J, Acaroglu E, Berven S, Yousef A, Puttlitz CM. Constructs incorporating intralaminar C2 screws provide rigid stability for atlantoaxial fixation. *Spine.* 2005;30:1513-8.
21. Song GS, Theodore N, Dickman CA, Sonntag VK. Unilateral posterior atlantoaxial transarticular screw fixation. *J Neurosurg.* 1997;87:851-5.
22. Resnick DK, Lapsiwala S, Trost GR. Anatomic suitability of the C1-C2 complex for pedicle screw fixation. *Spine.* 2002;27:1494-8.
23. Harms J, Melcher RP. Posterior C1-C2 fusion with polyaxial screw and rod fixation. *Spine.* 2001;26:2467-71.
24. Wang MY, Samudrala S. Cadaveric morphometric analysis for atlantal lateral mass screw placement. *Neurosurgery.* 2004;54:1436-9.
25. Currier BL, Todd LT, Maus TP, Fisher DR, Yaszemski MJ. Anatomic relationship of the internal carotid artery to the C1 vertebra: A case report of cervical reconstruction for chordoma and pilot study to assess the risk of screw fixation of the atlas. *Spine.* 2003;28:E461-7.
26. Tan M, Wang H, Wang Y, Zhang G, Yi P, Li Z et al. Morphometric evaluation of screw fixation in atlas via posterior arch and lateral mass. *Spine.* 2003;28:888-95.
27. Bozbuga M, Ozturk A, Ari Z, Sahinoglu K, Bayraktar B, Cecen A. Morphometric evaluation of subaxial cervical vertebrae for surgical application of transpedicular screw fixation. *Spine.* 2004;29:1876-80.
28. Wright NM. Posterior C2 fixation using bilateral, crossing C2 laminar screws: case series and technical note. *J Spinal Disord Tech.* 2004;17:158-62.
29. Cassinelli E, Lee M, Skalak A, Ahn N, Wright N. Anatomic considerations for the placement of C2 laminar screws. *Spine.* 2006;31:2767-71.