Universidade de São Paulo
Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto

Reconstruções Multiplanares da Tomografia Computadorizada no Estudo da Artrodese Atlanto-axial Transarticular

Marcello Henrique Nogueira Barbosa

Ribeirão Preto
2003

Universidade de São Paulo

Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto

Reconstruções Multiplanares da Tomografia Computadorizada no Estudo da Artrodese Atlanto-axial Transarticular

Aluno: Marcello Henrique Nogueira Barbosa
Orientador: Prof. Dr. Helton L. A. Defino

DEDALUS - Acervo - FMRP

11200035520

5207

BIBLIOTECA
FACULDADE DE MEDICINA DE
RIBEIRÃO PRETO DA U.S.P.

Tese apresentada à Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo, para concorrer ao Título de Doutor, pelo curso de pós-graduação em medicina. Departamento de Biomecânica, Medicina e Reabilitação do Aparelho Locomotor

Ribeirão Preto
2003

Nogueira-Barbosa, Marcello Henrique
Reconstruções multiplanares da tomografia computadorizada
no estudo da artrodese atlanto-axial transarticular
82p.:il., 30cm

Tese apresentada à Faculdade de Medicina de Ribeirão
Preto da Universidade de São Paulo, para concorrer ao título
de Doutor, pelo curso de pós-graduação em medicina.
Departamento de Biomecânica, Medicina e Reabilitação do
Aparelho Locomotor
Orientador: Defino, Helton L. A.

1.articulação atlanto-axial 2. artrodese 3.tomografia
computadorizada por raios x 4. artrodese atlânto axial

Àqueles que iluminam o meu caminho.

À minha esposa Caroline pelo amor,

carinho e compreensão.

**Aos meus pais e avós pelo amor e por me ensinarem as coisas
simples e importantes.**

Agradecimentos

Ao meu orientador Prof. Dr. Helton L.A. Defino, pela amizade, dedicação, paciência, apoio, estímulo e orientação. Muito obrigado!

Ao Dr. Renato Campos Soares de Faria e ao Dr. Gilson Soares de Faria, colegas de trabalho e médicos responsáveis pelo Instituto Diagnóstico de Imagem (I.D.I.) do Hospital Santa Casa de Misericórdia de Ribeirão Preto, onde foram colhidos os dados deste trabalho. Agradeço especialmente pelo consentimento em realizar esse trabalho no setor de tomografia computadorizada do serviço e pelo apoio exemplar e compreensão nos momentos em que precisei me dedicar à pesquisa.

Ao Prof. Dr. José B. Volpon, meu orientador no mestrado, sempre um exemplo de profissional e pesquisador, pelo apoio na continuidade da carreira acadêmica.

Ao Prof. Dr. Antonio Carlos dos Santos e ao Prof. Dr. Jorge Elias Jr. que tiveram papel fundamental na minha decisão em iniciar e progredir na pós-graduação. Agradeço pela amizade e pelo incentivo durante todos esses anos.

À secretária do departamento de Ortopedia, Sra. Rosa P. Brittes Alves pela colaboração na diagramação de gráficos e tabelas, na edição de fotografias e formatação do trabalho.

À secretária do departamento de Ortopedia, Sra. Maria de Fátima Feitosa de Lima pela atenção, dedicação e carinho durante toda a minha pós-graduação.

Aos funcionários do I.D.I., Fernando Calhau Nery, Ely Calhau Nery e Hélio Calhau Nery, pela amizade e pelo suporte técnico que possibilitou a avaliação dos exames de tomografia do arquivo de fitas magnéticas do

serviço, entre tantos auxílios que prontamente me oferecem nos momentos de precisão.

Ao professor Dieter Grob do Departamento de Cirurgia Ortopédica, Unidade de Coluna, da Klinik Wilhelm Schultess, Zurique, Suíça, agradeço pela troca de idéias que foi importante para a compreensão da anatomia cirúrgica envolvida no presente trabalho.

Ao Dr. Luís Henrique Damasceno ortopedista e pós-graduando da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto - USP, pela disponibilidade em discutir o trabalho.

Ao Dr. Paulo Henrique Castro Corrêa, do Hospital Santa Casa de Misericórdia de Ribeirão Preto e ao Prof. Dr. Carlos Elísio Corrêa, da Faculdade de Medicina de Catanduva, por meio dos quais obtive acesso às vértebras que serviram de material de estudo e para ilustração do trabalho. Agradeço à Prefeitura Municipal de Catanduva/SP pelo fornecimento do material à Faculdade de Medicina de Catanduva para fins de pesquisa na Universidade de São Paulo.

Aos professores, médicos, médicos residentes e funcionários do Centro de Diagnóstico por Imagem e Física Médica do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, pelo apoio e compreensão durante a realização deste trabalho.

A todos aqueles que direta ou indiretamente colaboraram na realização desse trabalho.

Agradecimento especial

**A minha esposa pelo apoio, participação e envolvimento,
sem os quais eu não teria chegado aqui.**

Resumo

BARBOSA, M.H.N. Reconstruções multiplanares da tomografia computadorizada helicoidal no estudo da artrodese atlanto-axial transarticular. 2003. 82p. Tese de Doutorado – Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto.

A artrodese transarticular por meio de parafusos proporciona fixação atlanto axial rígida com vantagens biomecânicas em relação às outras técnicas de artrodese, podendo ser utilizada inclusive nos casos em que o arco posterior do atlas estiver ausente, fraturado ou destruído. Há entretanto risco de lesão da artéria vertebral e de outras estruturas vâsculo-nervosas, em parte relacionado a variações da normalidade na anatomia regional. O objetivo desse estudo foi realizar uma descrição morfométrica das estruturas ósseas do segmento atlanto-axial relacionadas com a execução dessa técnica cirúrgica. O eixo de colocação do parafuso foi o referencial para a seleção dos planos axial oblíquo e parassagital oblíquo obtidos por meio de reconstruções multiplanares da tomografia computadorizada helicoidal. Foram utilizados 100 exames de tomografia computadorizada helicoidal com aquisição volumétrica que incluía o atlas e o eixo. As mensurações foram realizadas nos segmentos atlanto-axiais nos lados direito e esquerdo. Os parâmetros selecionados para mensuração foram a largura e a altura do istmo da parte interarticular de C2, o comprimento ideal do parafuso, os ângulos sagital e medial do trajeto do parafuso através do istmo de C2 e a distância do trajeto do implante ao sulco da artéria vertebral. Os valores obtidos para cada parâmetro estudado foram: largura do istmo da parte interarticular, $7,75\text{mm} \pm 1,27\text{mm}$; altura do istmo da parte interarticular, $7,94\text{mm} \pm 1,72\text{mm}$; comprimento ideal do parafuso, $39,03\text{mm} \pm 2,81\text{mm}$; ângulo sagital do trajeto do parafuso, $57,54^\circ \pm 5,28^\circ$ e ângulo medial do trajeto do parafuso, $7,90^\circ \pm 4,05^\circ$. Em 5% dos istmos de C2 estudados a espessura do istmo mediu abaixo de 5mm, seja em altura ou largura. Os valores das variáveis lineares no sexo masculino foram estatisticamente superiores, não havendo diferença significativa entre os sexos para as variáveis

angulares. A avaliação das imagens no plano parassagital oblíquo obtidos no trajeto do parafuso mostraram o sulco da artéria vertebral em 23% das vértebras de forma unilateral e em 7% das vértebras de forma bilateral. Nos casos em que o sulco da artéria vertebral estava presente foi mensurada a distância do sulco até o trajeto ideal do parafuso. Em 7,5% dos complexos istmo-massa lateral estudados essa distancia mediu menos do que 2,5mm. Com base nos resultados obtidos foi proposta uma classificação do eixo em dois tipos básicos segundo a morfologia do istmo da parte interarticular e da massa lateral de C2, conforme as reconstruções multiplanares selecionadas. Os complexos istmo-massa lateral nos quais não foi identificada variação anatômica predispondo a lesões da artéria vertebral foram classificados como tipo I. Os casos nos quais a técnica de fixação transarticular C1-C2 poderia colocar em risco a integridade da artéria vertebral devido a alguma alteração anatômica óssea foram classificados como tipo II. Na amostra estudada foram identificados 11% de complexos istmo – massa lateral de C2 do tipo II. A avaliação pré-operatória é muito importante para identificar esses casos.

Palavras chave: articulação atlanto-axial, artrodese, tomografia computadorizada por raios-x.

Sumário

Resumo

1. Introdução	1
1.1 Considerações anatômicas sobre a coluna cervical alta	1
1.2 Artéria vertebral.....	6
1.3 Morfometria da coluna vertebral.....	9
1.4 Fixação transarticular C1-C2.....	10
1.5 Tomografia Computadorizada Helicoidal.....	16
1.6 Motivação do trabalho	21
1.7 Objetivos do trabalho	22
2. Material e Métodos.....	23
2.1 Material.....	23
2.2 Tomografia computadorizada helicoidal.....	24
2.3 Método	25
2.3.1 <i>Reconstrução das imagens</i>	25
2.3.2 <i>Parâmetros estudados</i>	25
2.3.3 <i>Estudo estatístico</i>	30
3. Resultados.....	32
3.1 Considerações gerais.....	32
3.2 Parâmetros avaliados.....	36
3.2.1 <i>Largura do istmo da parte interarticular</i>	36
3.2.2 <i>Altura do istmo da parte interarticular</i>	38
3.2.3 <i>Comprimento ideal do parafuso</i>	40
3.2.4 <i>Ângulo sagital</i>	42
3.2.5 <i>Ângulo medial</i>	44
3.2.6 <i>Distância entre o sulco da artéria vertebral e a trajetória do implante</i>	46
3.3 Variação intraobservador	47
3.4 Proposta de classificação do eixo	51
4. Discussão	55
5. Conclusões.....	68
6. Referências bibliográficas	69
6. Referências bibliográficas	69
Lista de abreviaturas e siglas	80
Summary	

1. Introdução

1.1 Considerações anatômicas sobre a coluna cervical alta

A coluna cervical alta é formada pelo atlas e pelo eixo, apresentando características anatômicas e funcionais que a diferenciam dos segmentos mais caudais da coluna cervical, sendo por isso estudada separadamente.

O atlas é a vértebra mais cranial da coluna cervical e é constituído por duas massas laterais que são unidas por meio do arco anterior e do arco posterior. Os dois arcos e as massas laterais delimitam o canal vertebral. Cada massa lateral apresenta um prolongamento lateral horizontal, denominado processo transversário. A primeira vértebra cervical se diferencia das demais por não apresentar corpo vertebral e processo espinhoso.

As massas laterais do atlas possuem forma cilíndrica e cada massa lateral apresenta na face superior uma cavidade glenóidea para articular com um dos côndilos occipitais. A cavidade glenóidea possui eixo maior orientado obliquamente, sendo a sua porção anterior medial em relação a sua porção posterior (figura 1). Na face medial das massas laterais do atlas, de ambos os lados, existe o tubérculo de inserção do ligamento transversário, situado inferior e medialmente à metade anterior da cavidade glenóidea (figura 1).

O arco anterior do atlas descreve trajetória quase retilínea e apresenta na sua face anterior uma proeminência na linha média, denominada de tubérculo anterior do atlas. Na face posterior do arco anterior do atlas, também na linha média, existe uma superfície articular côncava e de forma oval por meio da qual o atlas se articula com o processo odontóide do eixo (figura 2).

O arco posterior de C1 descreve uma trajetória curva de concavidade anterior possuindo na sua face posterior na linha média o tubérculo posterior do atlas (figura 1). Na junção entre o arco posterior e as massas laterais do atlas, cranialmente, existe um sulco no qual se alojam a artéria vertebral e o primeiro nervo cervical. Em alguns indivíduos esse sulco se transforma em um canal.

Figura 1 – Atlas (vértebra C1): vistas superior e inferior; A: Processo transversus; B: Tubérculo anterior; C: Tubérculo posterior; D: Face articular para o côndilo occipital; E: Face articular para o eixo; F: Forame transversus; G: Sulco da artéria vertebral no arco posterior; H: Tubérculo de inserção do ligamento transversus; I: Face articular para o odontóide

Figura 2 – Articulação atlanto-axial: vista oblíqua postero-lateral; A: Processo odontóide; B: Articulação atlanto-axial; C: Forame transversus do atlas D: Forame transversus do eixo; E: Processo transversus do Atlas; F: Processo transversus do eixo

Os processos transversos de C1 servem de inserção para vigorosos músculos e estão mais desenvolvidos do que os processos transversos das

vértebras mais distais. O processo transverso do atlas se diferencia dos demais por não apresentar bifurcação na sua extremidade lateral e não possuir um sulco na sua face superior. O forame transverso é amplo e apresenta forma oval.

O canal vertebral ao nível de C1 pode ser didaticamente dividido em duas porções: uma anterior quadrilátera e outra posterior, que tem a forma de uma elipse cujo eixo maior está disposto transversalmente. Estas duas porções são separadas pelo ligamento transverso. A porção anterior do canal vertebral ao nível de C1 é ocupada pelo processo odontóide e a porção posterior é ocupada pela medula e pelas meninges.

O áxis é a segunda vértebra cervical e também possui características únicas que a diferenciam das demais vértebras da coluna cervical. Ela possui um processo odontóide ou dente, que é uma eminência óssea projetada na direção superior a partir do corpo vertebral. O processo odontóide se articula anteriormente com o arco anterior de C1 (figura 2).

Figura 3 – Áxis (vértebra C2); A: Vista anterior; B: Vista pósterio-superior; C: Vista lateral; D: Vista pósterio-lateral

Apesar de apresentar características particulares a vértebra C2 também possui elementos que são comuns às outras vértebras, como o canal vertebral, o processo espinhoso, os dois processos transversos, as duas massas articulares, as duas lâminas e os dois pedículos (figura 3).

A face inferior do corpo de C2 é côncava no sentido antero-posterior (figura 3). Lateralmente ao processo odontóide a vértebra C2 apresenta de cada lado articulações com a massa lateral do atlas (C1) e com a terceira vértebra cervical (C3). As duas faces articulares inferiores de C2 estão direcionadas anterior e inferiormente, de forma similar as vértebras cervicais distais (figura 3). O canal vertebral de C2 é menos amplo do que o canal de C1, porem é maior do que o canal das vértebras localizadas abaixo.

Há controvérsia a respeito da definição dos pedículos da vértebra C2. Designa-se genericamente como pedículo a delgada porção óssea da vértebra que de cada lado une a base dos processos transversos e processos articulares à parte posterior e lateral do corpo vertebral (Testut & Latarjet, 1973). Como consequência dessa definição, em geral os pedículos correspondem aos limites laterais do canal vertebral. Benzel (1996) e Mandel et al. (2000) chamaram a atenção para o fato de que muitos artigos da literatura médica utilizaram o termo pedículo, no caso da segunda vértebra cervical, para descrever o que corresponde ao istmo interapofisário ou istmo da parte interarticular, que se localiza entre as facetas articulares superior e inferior. Xu et al. (1995); Ebraheim et al. (1996); Karaicovic et al. (1997), Madawi et al. (1997a); Howington, Kruse & Awasthi (2001) também utilizaram o termo pedículo para designar a porção anatômica da segunda vértebra cervical que em nosso trabalho foi denominada istmo da parte interarticular. O pedículo de C2 está localizado mais anteriormente e medialmente, conectando o corpo vertebral aos elementos posteriores, conforme a definição anatômica (figura 4). Portanto no caso do áxis os pedículos não corresponderiam exatamente aos limites laterais do canal vertebral, estando localizados mais anteriormente.

O processo espinhoso em C2 é bifido e espesso, podendo ser palpado imediatamente abaixo da protuberância occipital externa. O processo

transverso do áxis é o menor de todas as vértebras cervicais e apresenta apenas um tubérculo na sua extremidade.

Figura 4 – Áxis (C2): Na imagem superior podemos identificar A: pedículo do áxis e B: istmo da parte interarticular do áxis. Na imagem inferior podemos perceber que em um mesmo paciente um corte tomográfico axial convencional (a esquerda) passando pela vértebra C2 na região do sulco da artéria vertebral (seta) pode ocasionar a sensação de que seria impossível identificar um trajeto seguro para o implante na técnica de artrodese transarticular; enquanto a imagem a direita, uma reconstrução MPR no plano parassagital oblíquo mostra um trajeto seguro para o implante através do istmo da parte interarticular do áxis (seta)

O ligamento transverso estabiliza a articulação C1-C2, restringindo os movimentos de translação do atlas no plano horizontal. Entre o ligamento transverso e a face posterior do odontóide há uma bolsa sinovial. O ligamento apical ancora a extremidade cranial do processo odontóide à borda anterior do forame magno, e os ligamentos alares estabilizam o processo odontóide em relação as bordas laterais do forame magno. As cápsulas articulares facetárias também possuem importante papel na estabilidade articular. O complexo cápsulo-ligamentar possui papel muito importante na estabilidade da articulação atlanto-axial uma vez que as facetas articulares entre C1 e C2 apresentam orientação horizontal e que não existe disco intervertebral C1-C2.

1.2 Artéria vertebral

Apesar do nome a artéria vertebral irriga principalmente a parte posterior do encéfalo. A artéria vertebral é originada da primeira porção da artéria subclávia medialmente ao músculo escaleno anterior. Em aproximadamente 6% dos indivíduos a artéria vertebral esquerda é oriunda do arco da aorta. Uma variação da normalidade muito mais rara é a artéria vertebral direita originada do tronco braquio-cefálico ou da carótida comum direita, situação que pode estar associada à existência de artéria subclávia direita retroesofágica.

A artéria vertebral pode ser didaticamente dividida em 4 segmentos. O segmento mais proximal (V1) se estende desde a origem do vaso até a entrada no processo transversos de C6. Após a sua origem a artéria vertebral se dirige para trás e para cima constituindo uma referência anatômica para a localização do gânglio simpático estrelado. A artéria ascende verticalmente, entre o músculo longo do pescoço e o músculo escaleno anterior, situando-se anteriormente ao processo transversos da vértebra C7. Nesse segmento a artéria vertebral não possui ramificações.

Em nível mais cranial a artéria penetra no forame transversos da vértebra C6 e ascende, passando sucessivamente através dos forames transversos das seis primeiras vértebras cervicais até o atlas (figura 5). Em raras ocasiões a artéria vertebral pode circundar o processo transversos de C1 ao invés de penetrá-lo, situação em geral associada a um processo transversos não perfurado. Embora a entrada da artéria vertebral na coluna vertebral ocorra na grande maioria das vezes ao nível do forame transversos de C6, eventualmente ela pode ocorrer em níveis mais caudais ou em níveis mais craniais. Quando a artéria vertebral possui origem no arco aórtico, ela freqüentemente penetra na coluna vertebral por meio de processo transversos em nível cranial a C6.

O segundo segmento da artéria vertebral (V2) tem início ao penetrar o forame transversos de C6, e se estende até o forame transversos de C2. Durante o trajeto a artéria também passa entre os músculos intertransversos e

anteriormente às raízes nervosas que emergem dos forames intervertebrais. Em seu trajeto o segmento V2 da artéria é acompanhado pela veia vertebral (ou de um plexo venoso) e pelos filetes nervosos simpáticos. Nesse segmento a artéria vertebral possui pequenos ramos espinais e musculares.

Figura 5 – Peça anatômica com ressecção dos arcos neurais, com exceção do arco posterior do atlas, demonstrando as artérias vertebrais (setas).

O terceiro segmento da artéria vertebral (V3) inicia na saída do forame transverso de C2 e termina no ponto em que a artéria penetra a membrana atlanto-occipital, onde se torna intradural. No segmento V3 a artéria tem uma redundância conhecida como curva de segurança. Aproximadamente metade da rotação cervical ocorre ao nível de C1-C2 e a redundância da artéria serve para acomodar as várias distâncias possíveis entre C1 e C2 durante os estágios da rotação. Esta terceira porção da artéria vertebral eventualmente pode ser lesada quando ocorre uma rotação súbita da cabeça por exemplo em acidentes automobilísticos e quedas (Berguer, 1996).

Estudos angiográficos e observação em vértebras de cadáver (figuras 2, 3 e 5) mostraram que o forame transverso em C2 é um canal angulado com

aberturas inferior e lateral, no qual a artéria vertebral é redirecionada com um desvio de cerca de 45° em relação ao seu trajeto anterior (Bland & Boushey, 1987). Ao deixar o eixo a artéria vertebral se dirige até o forame transversos do atlas descrevendo uma curva vertical de concavidade voltada para dentro. Ao sair do forame transversos do atlas faz uma segunda curva, esta horizontal e côncava para frente.

O quarto segmento da artéria vertebral (V4) corresponde ao segmento intradural e se estende da perfuração da membrana atlanto-occipital até a junção com a artéria vertebral contra-lateral onde se forma a artéria basilar. O segmento V4 da artéria vertebral possui um ramo importante de cada lado, que se anastomosa com o ramo do lado contra-lateral para formar a artéria espinal anterior que irriga a porção anterior da medula. As artérias cerebelares inferiores posteriores e as artérias espinais posteriores também possuem origem no segmento V4.

Figura 6 – vista inferior do eixo com detalhe do lado esquerdo. A: Forame transversos; B: Faceta articular inferior; C: Istmo da parte interarticular; D: Processo transversos; E: Platô vertebral inferior

Os detalhes da relação da artéria vertebral com as massas laterais das vértebras C1 e C2 não tiveram muito destaque na literatura médica. Madawi et al. (1997a) interessados na técnica de fixação transarticular C1-C2 realizaram

medidas da altura da massa lateral de C2 para avaliar indiretamente o sulco da artéria vertebral.

Anderson & Shealy em 1970 relataram um caso de uma artéria vertebral tortuosa com erosão do pedículo de C3, alargamento do forame intervertebral C3-C4 e compressão radicular ao nível do forame.

Ebraheim et al. (1998) descreveram quantitativamente o sulco da artéria vertebral no atlas. Esse trabalho realizou as mensurações do sulco da artéria vertebral e definiu a relação do sulco com a linha média posteriormente. Os resultados desse estudo sugerem limites de segurança para a dissecação do arco posterior de C1 em relação à linha média.

1.3 Morfometria da coluna vertebral

Os estudos morfométricos da coluna vertebral têm sido impulsionados pelo desenvolvimento de novas técnicas e de novos implantes cirúrgicos. O objetivo desses estudos tem sido em geral a redução dos possíveis riscos de lesão das estruturas neuro-vasculares e de facilitação da realização das novas técnicas cirúrgicas.

Inicialmente grande parte desses estudos foi voltada para a morfometria dos pedículos das vértebras. Saillant (1976) foi o pioneiro no estudo da morfometria do pedículo das vértebras torácicas e lombares. Na literatura encontramos vários outros artigos dedicados ao estudo morfométrico dos pedículos lombares e ou torácicos (Zindrick et al., 1986; Berry et al., 1987; Krag et al., 1988; Kim et al., 1994; McCormack et al., 1995, Vaccaro et al., 1995, Ebraheim et al., 1997, Cinotti et al., 1999, Defino & Mauad Filho, 1999, Mitra et al., 2002).

Stanescu et al. (1994) mapearam a junção cervico-torácica com o propósito de estudar a colocação de parafusos transpediculares para fixação.

Mais recentemente a fixação posterior por meio de parafusos transpediculares nas porções média e baixa da coluna cervical foi considerada como uma técnica segura e estimulou o estudo dos pedículos das vértebras

cervicais (Xu et al., 1995; Ebraheim et al., 1996; Karaikovic et al., 1997; Shin et al., 2000; Howington, Kruse & Awasthi, 2001). Karaikovic et al. (1997) e Shin et al. (2000) avaliaram a anatomia dos pedículos cervicais com interesse na fixação posterior.

A anatomia relacionada ao odontóide foi estudada por Schaffler et al. (1992) e Heggeness & Doherty, (1993).

O desenvolvimento de novas técnicas de artrodese da articulação atlanto-axial também motivou a realização de estudos morfométricos desse segmento anatômico da coluna vertebral destacando-se os trabalhos realizados por Madawi et al. (1997a), Madawi et al. (1997b), Ebraheim et al. (2000), Nadim et al. (2000) e Mandel et al. (2000).

1.4 Fixação transarticular C1-C2

A lesão dos elementos ósseos ou ligamentares do complexo atlanto-axial pode produzir instabilidade desse segmento com risco de compressão das estruturas nervosas adjacentes. As indicações de artrodese atlanto-axial estão associadas com a instabilidade aguda ou crônica da articulação atlanto-axial. As causas da instabilidade podem ser variadas, incluindo lesão traumática, pseudoartrose do odontóide, artrite reumatóide, síndrome de Down e outras anomalias congênitas, infecção e tumor (McGraw & Rusch, 1973, Fielding, Hawkins & Ratzan, 1976; Ranawat et al., 1979; Levine & Edwards, 1986; Grob et al., 1991; Dickman & Sonntag, 1998).

Diferentes técnicas cirúrgicas foram desenvolvidas para essa finalidade e inicialmente a fixação do atlas ao eixo foi realizada utilizando seda trançada, fásia lata e posteriormente foram utilizados fios metálicos de cerclagem em combinação com diferentes modalidades de enxerto ósseo (Krag, 1997).

Durante muito tempo o padrão para a fixação da articulação C1-C2 foi a cerclagem com fios metálicos, que eram aplicados na face posterior dessas vértebras, utilizando-se as técnicas descritas por Gallie, Brooks, ou suas variações (McGraw & Rusch, 1973; Fielding, Hawkins & Ratzan, 1976; Brooks

& Jenkins, 1978; Griswold et al., 1978; Glynn & Sheehan, 1983; Levine & Edwards, 1986).

Para conseguir a artrodese C1-C2 nos casos em que o arco posterior de C1 é hipoplásico, sofreu fratura ou foi removido cirurgicamente, foram desenvolvidas técnicas de fixação por parafuso (Krag, 1997), destacando-se entre elas a fixação C1-C2 via posterior por meio de parafusos transarticulares proposta por Magerl (Magerl & Seeman, 1987; Grob & Magerl, 1987) (figura 7).

A técnica de fixação transarticular proporciona maior estabilidade biomecânica e maior controle das forças rotacionais quando comparada com as técnicas que utilizam isoladamente a cerclagem pela via posterior (Caspar, 1987; Hanson et al., 1991; Grob et al. 1991; Wilke et al., 1992; Naderi et al., 1998). Na técnica de Magerl não é necessário que os arcos posteriores de C1 e C2 estejam íntegros, sendo que essa é uma necessidade para a aplicação das técnicas anteriores. Por outro lado a destruição óssea da massa lateral do atlas ou do istmo da parte interarticular do eixo pela artrite reumatóide, por tumores ou infecção tornam a colocação do parafuso transarticular mais perigosa e podendo até contraindicar a técnica.

A obtenção de uma fixação rígida imediata da articulação é outra grande vantagem da técnica de fixação transarticular. No entanto a técnica de fixação transarticular C1-C2 demanda treinamento técnico e experiência, devendo-se ressaltar o risco de lesão da artéria vertebral.

Na técnica descrita por Magerl (Aebi, Thalgott & Webb, 1998) o paciente é colocado em decúbito ventral e com a coluna cervical em flexão para facilitar a inserção dos parafusos. O intensificador de imagem na projeção lateral serve para controlar a redução de C1-C2 e orientar a colocação dos implantes. Os arcos posteriores de C1 a C3 são expostos por meio de ampla incisão na linha média, incluindo o processo espinhoso, a lâmina e a faceta articular inferior de C2. A broca oscilatória de 2,5mm é inserida na direção sagital tendo como ponto de entrada a borda inferior do processo articular, sendo visualizada por meio do intensificador de imagem na posição lateral. A broca atravessa o istmo próximo a sua superfície medial e posterior, alcançando no seu trajeto final a

massa lateral do atlas, próximo a sua margem posterior e inferior. O trajeto da perfuração da broca é realizado em direção cranial para atingir a massa lateral do atlas aproximadamente no terço médio de sua altura (Xu et al., 1998).

Figura 7 – A: Desenho da vista posterior do segmento atlanto-axial mostrando técnica de fixação transarticular C1-C2 por meio de parafusos. B: Radiografia simples em perfil evidenciando parafusos transarticulares C1-C2. Nesse caso específico também há artrodese C2-C3

A broca não deve ser direcionada no plano horizontal, pois desse modo pode ocasionar lesão da artéria vertebral, e também porque dessa forma o parafuso poderia não atingir o atlas. Em geral são utilizados parafusos de 3,5mm de diâmetro. O comprimento do parafuso é mensurado e a direção do canal do parafuso é conferida por meio do intensificador de imagem. O ideal é que os parafusos utilizados sejam de titânio ou de outro material que não seja paramagnético para otimizar a avaliação pós-operatória com exames de diagnóstico por imagem.

Dickman e Sonntag (1998) sugeriram a utilização de parafusos de 4mm de calibre na fixação transarticular C1-C2 para minimizar o risco de fratura do parafuso, entretanto na literatura predomina a recomendação do uso de parafusos de 3,5mm de espessura.

Recentemente a literatura apresentou um enfoque especial no estudo de parâmetros anatômicos relacionados com as cirurgias que utilizam fixação por parafusos nos istmos interapofisários de C2 (Xu et al., 1995; Ebraheim et al., 1996; Howington, Kruse & Awasthi, 2001) e parafusos para fixação

transarticular C1-C2 (Madawi et al., 1997a; Madawi et al., 1997b; Ebraheim et al., 2000; Nadim et al., 2000; Mandel et al., 2000).

Madawi et al. (1997a) estudaram a variação do sulco da artéria vertebral no eixo. Esses autores estudaram 50 vértebras de cadáver e os resultados das mensurações realizadas sugeriram que variações da artéria vertebral podem estar associadas com o afinamento da massa lateral e do pedículo de C2. Em 11 das vértebras estudadas a altura interna da massa lateral de C2 mensurada ao nível do topo do sulco da artéria vertebral foi inferior a 2,1mm, e a largura do pedículo ao nível do forame transversal menor ou igual a 2mm. Em três das vértebras estudadas os sulcos na massa articular lateral de C2 estavam aumentados em ambos os lados. Em uma das vértebras constatou-se alargamento do sulco da artéria vertebral do lado direito e em 7 vértebras do lado esquerdo. Os autores concluíram que a fixação por parafuso transarticular apresentaria risco de lesão da artéria vertebral em 22% dos espécimes examinados.

Mandel et al. (2000) avaliaram a anatomia do istmo de C2 considerando a colocação de parafusos transarticulares. Estudaram o istmo da parte interarticular da vértebra C2 em 205 cadáveres medindo a altura e a largura do istmo de C2 com paquímetro digital. Os resultados obtidos sugerem que haveria risco de lesão da artéria vertebral em 11,7% das vértebras C2 estudadas e nas quais um ou ambos os istmos mediram menos do que 5 mm de altura. A tomografia computadorizada foi utilizada para avaliar seis dos espécimes, sendo que cinco desses espécimes foram escolhidos entre aqueles que apresentaram afinamento do istmo. Nesse subgrupo em que foram realizadas as medidas diretas e pela tomografia foi observada boa correlação entre as duas medidas.

A técnica de Magerl tem apresentado baixa taxa de pseudoartrose quando comparada com as técnicas de cerclagem dos elementos posteriores. Na maioria das séries relatadas pela literatura médica a proporção de pseudoartrose com as técnicas de cerclagem dos elementos posteriores tem variado entre 10% e 30% (Anderson & D'Alonzo, 1974; Ferlic et al., 1975;

Fielding et al., 1976; Bohlman, 1978; Brooks & Jenkins, 1978; Griswold et al., 1978; Ranawat et al., 1979; Fielding et al., 1980; Conaty & Mongan, 1981; Glynn & Sheehan, 1983; Dickman & Sonntag, 1991; Dickman & Sonntag, 1995). No entanto as taxas de pseudoartrose relatadas com a utilização da técnica de Magerl tem sido bem inferiores, na faixa de 0,2% a 4% (Grob et al., 1991; Dickman & Sonntag, 1998; Wright & Lauryssen, 1988; Haid, 2001). O grau de consolidação obtido com a técnica de fixação transarticular tem sido alto mesmo em situações adversas como em pacientes com osteoporose e artrite reumatóide (Madawi et al., 1997b).

Os relatos das complicações na literatura relacionadas com a passagem de parafusos transarticulares C1-C2 tem sido variáveis.

Wright & Lauryssen (1988) relataram casos de lesão da artéria vertebral em uma pesquisa da Associação Americana de Neurocirurgiões (AANS) um questionário foi enviado a 847 cirurgiões, dos quais 25,1% (213 cirurgiões) responderam. Segundo as respostas obtidas foram implantados 2492 parafusos transarticulares em 1318 pacientes por 101 cirurgiões. Foram relatados 2,4% de casos de lesão da artéria vertebral e suspeita de lesão em outros 1,7% dos pacientes. O risco de déficit neurológico decorrente da lesão da artéria vertebral foi de 0,2%. Wright & Lauryssen (1988) relataram ainda 0,3% de laceração da dura-máter intra-operatória; 0,4% de soltura do parafuso do complexo atlanto-axial; 0,8% de quebra de parafusos e 0,5% de infecção. Houve um paciente (0,1%) em que foi necessária a remoção do parafuso por causa de neuralgia suboccipital persistente. Não houve nessa série nenhum caso de parestesia no território do nervo hipoglosso.

Coric et al. (1996) relataram um caso de fístula artério-venosa como complicação de fixação transarticular C1-C2 por meio de parafuso. Na avaliação 12 semanas após a cirurgia a paciente relatou desaparecimento da dor cervical, mas referiu o aparecimento de fraqueza muscular no membro superior direito. As radiografias mostravam consolidação da artrodese e a investigação com mielografia associada a mielo-CT mostraram lesão extradural comprimindo o saco dural de forma circunferencial. A angiografia realizada com

subtração digital demonstrou comunicação artério-venosa ao nível da segunda vértebra cervical envolvendo ambas as artérias vertebrais. Foi optado pelo tratamento endovascular por meio de oclusão com balão e molas em ambas as artérias, tendo sido realizada a oclusão de uma artéria de cada vez. A angiografia após o tratamento mostrou preenchimento dos vasos da fossa posterior por colaterais. Após três meses de seguimento a paciente voltou a atividade normal, com queixa ocasional de disestesia nas mãos.

Madawi et al. (1997b) estudaram 61 pacientes submetidos à fixação transarticular com parafusos C1-C2. Nessa série a indicação da fixação estava relacionada com instabilidade C1-C2 secundária à artrite reumatóide (37 pacientes) e trauma (15 pacientes). Como complicação da fixação houve 5 casos de lesão da artéria vertebral e uma paralisia temporária de nervo craniano. O posicionamento inadequado do parafuso ocorreu em 14% dos parafusos inseridos e 5 dos parafusos estavam quebrados nos controles evolutivos pós-operatórios. Todos os parafusos quebrados eram parafusos que tinham sido mal posicionados. Em todos os cinco casos de lesão da artéria vertebral dessa série (8,2%) a redução C1-C2 não havia sido realizada de forma satisfatória antes da inserção do parafuso. Outro fator de risco de complicação identificado foi o antecedente de odontoidectomia transoral prévia com retirada do tubérculo anterior de C1. O tubérculo anterior de C1 é um ponto de referência importante na fluoroscopia intra-operatória para auxiliar a passagem dos parafusos.

Grob et al.(1991) apresentaram uma revisão de 161 pacientes operados em 4 centros na Suíça. Nessa casuística não houve nenhum caso de lesão da artéria vertebral, da medula espinhal ou da dura-máter. Um paciente em que o parafuso se projetou anteriormente ao côndilo occipital desenvolveu paralisia do hipoglosso. O posicionamento dos parafusos foi considerado ideal em 85% dos casos. Houve apenas 0,6% de pseudoartrose com a técnica de fixação trans-articular e não houve casos de migração significativa dos parafusos. Nessa série foram registradas cinco mortes de pacientes, três no pós-operatório devido à insuficiência cardíaca (2 pacientes) e pneumonia

(1 paciente). Os pacientes que faleceram no pós-operatório tinham 81, 88 e 71 anos respectivamente. Os outros dois pacientes que morreram necessitaram de entubação laríngea prolongada, um após descompressão transoral e outro por edema local após a realização de corpectomia anterior. Os autores concluíram que intervenções cirúrgicas suboccipitais apresentam maior risco nos pacientes debilitados e idosos, e também nas intervenções combinadas com acesso cirúrgico anterior.

Stillerman & Wilson (1993) relataram a utilização da técnica de fixação transarticular em 22 pacientes sem nenhum caso de lesão vascular, havendo nessa série dois casos que evoluíram com hipoestesia suboccipital. Haid (2001) relata uma série de 75 pacientes em que também não houve nenhuma lesão da artéria vertebral.

Dickman & Sonntag (1998) relataram uma série de 121 pacientes operados com a técnica de fixação transarticular C1-C2 com parafusos, sendo que em 106 pacientes foram utilizados parafusos bilateralmente e em outros 15 pacientes foi utilizado parafuso apenas de um lado. Nessa série foi documentada uma oclusão da artéria vertebral por meio da angiografia, porém assintomática.

Baseado na necessidade de diminuir os riscos de lesão vascular e de uma longa curva de treinamento Harms & Melcher em 2001 descreveram uma nova técnica de fixação entre as massas laterais de C1 e a parte interarticular de C2 bilateralmente. A técnica utiliza parafusos poliaxiais fixados posteriormente por hastes. Essa técnica possibilita a fixação C1-C2 nos casos em que existe limitação da técnica de fixação transarticular, proporcionando uma alternativa, como por exemplo, nos casos de trajeto anômalo da artéria vertebral e nos casos em que a subluxação C1-C2 é irreduzível.

1.5 Tomografia Computadorizada Helicoidal

A tomografia computadorizada axial foi introduzida por Hounsfield (1973), tendo sido desenvolvida para mostrar imagens do corpo humano com o

propósito de diagnóstico em planos seccionais evitando o inconveniente da superposição de estruturas localizadas em diferentes planos.

Os componentes essenciais de um aparelho de tomografia computadorizada são o *gantry* (estrutura em forma de moldura pela qual passa o corpo do paciente durante o exame e que contem tanto a ampola quanto os detectores dos raios-X), a mesa de exame, o processador computacional e o monitor ou sistema de demonstração das imagens (*display*).

Para a formação de cada imagem é obtida uma reconstrução bidimensional a partir de uma série de projeções unidimensionais. O exame implica na utilização de feixes de raios-X que atravessam o corpo do paciente sendo que a quantidade de raios-X transmitidos através dos tecidos estudados é mensurada por meio de detectores especiais. A conversão dos raios-X para energia elétrica pode ocorrer por meio de dois princípios básicos fundamentais.

Os detectores por ionização de gás convertem a energia dos raios-X diretamente em energia elétrica. Detectores de cintilação utilizam cristais que convertem os raios-X em energia luminosa e posteriormente por meio de fotomultiplicadores convertem a energia luminosa em energia elétrica. Atualmente são utilizados detectores com cristais de estado sólido.

Várias medidas da transmissão dos raios-X são realizadas em múltiplas projeções, com diferentes ângulos. Essas projeções em diferentes ângulos fornecem informações que combinadas por meio do processamento de dados levam a produção da imagem utilizando-se um método conhecido como retroprojeção (Brooks & Di Chiro, 1975; Gordon et al., 1975). O computador utiliza as informações coletadas pelos detectores para formar a imagem de tomografia computadorizada através de algoritmos de reconstrução. A imagem obtida é uma reconstrução bidimensional que corresponde a um corte ou uma secção transversal do paciente.

A imagem no plano seccional do paciente é dividida em 512 ou 1024 elementos denominados de *pixels*. Cada elemento ou *pixel* corresponde a uma pequena região do paciente e recebe um valor numérico de acordo com a sua

atenuação dos raios-X. Cada *pixel* corresponde, portanto a um determinado volume de tecido do paciente, que é denominado *voxel*. A espessura de cada elemento de *voxel* é igual à espessura do corte da imagem de tomografia computadorizada.

A atenuação de raios-X é a redução da intensidade do feixe de radiação quando passa através de um objeto. Alguns fótons são absorvidos pelo objeto e outros são espalhados. No caso da tomografia computadorizada a atenuação vai depender da densidade atômica (átomos/volume), número atômico (Z) e da energia do fóton (Seeran, 2001).

Os valores de atenuação dos raios-X são expressos por meio de uma unidade padronizada, a unidade Hounsfield (UH), a qual é normalizada em relação à água. Por definição a densidade da água é 0 UH. O ar é o material que tem menor atenuação dos feixes de raios-X e tem coeficiente de atenuação de -1000 UH.

Os valores numéricos atribuídos a cada *pixel* de acordo com a sua atenuação dos raios-X são transformados em uma escala de cinza. Nessa escala em geral o nível mais escuro representa a densidade do ar e o nível mais claro da escala representa materiais densos como o osso.

As imagens de tomografia computadorizada são adquiridas no plano axial (transversal ao corpo do paciente). Quando se trata da coluna vertebral existem limitações físicas em relação ao posicionamento do paciente no aparelho de tomografia computadorizada que praticamente impedem a obtenção direta de imagens nos planos sagital e coronal.

Por outro lado a partir de um conjunto de imagens contíguas previamente obtidas no plano axial, é possível fazer um rearranjo dos *pixels* através de técnicas computacionais de maneira a produzir imagens nos planos sagital ou coronal denominadas reconstruções. As reconstruções podem ser úteis para o diagnóstico adicionando informações a respeito das relações anatômicas entre as estruturas estudadas. As imagens reconstruídas possuem

melhor qualidade quando as varreduras são realizadas com cortes mais finos e quando há uma maior sobreposição entre os cortes axiais contíguos.

Graças aos avanços tecnológicos a tomografia computadorizada passou por muitas inovações e uma das mais importantes foi a introdução da técnica de giro contínuo (*slip ring*) que possibilitou a criação da tomografia helicoidal (ou espiral). A tecnologia do giro contínuo foi possível por meio de dispositivos eletromecânicos que transmitem energia elétrica através de uma interface em rotação. Essa tecnologia permitiu eliminar os cabos de alta tensão para o tubo de raios-X. Esses cabos se tornaram um fator de limitação para a velocidade de rotação do tubo de raios-X.

A tomografia computadorizada helicoidal foi desenvolvida por Kalender no final dos anos 80 (Kalender et al., 1989; Kalender et al., 1990). Na tomografia helicoidal ocorre um movimento contínuo e simultâneo da mesa de exame onde fica o paciente e do tubo de raios-X, proporcionando a aquisição volumétrica de dados e a obtenção de reconstruções com alta resolução não só no plano axial, mas também reconstruções multiplanares (figura 8) e tridimensionais ou 3-D.

Há vários tipos de equipamento helicoidal que vão diferir entre si além de outros fatores pelo número e pela posição dos detectores de raios-X. Atualmente existem aparelhos de tomografia helicoidal que possuem duas ou mais camadas de detectores, dispostas em paralelo, denominados tomógrafos multicorte (*multi slice*). Os tomógrafos multicorte possibilitam aumentar a velocidade de cobertura de um determinado volume resultando na diminuição do tempo de aquisição dos dados.

Figura 8 – Reconstrução multiplanar (MPR) de tomografia computadorizada no plano coronal mostrando a coluna cervical e as artérias vertebrais. As setas brancas mostram placas calcificadas na parede da artéria vertebral esquerda

Na tomografia computadorizada helicoidal alguns dos parâmetros a serem selecionados para a execução do exame são semelhantes aos parâmetros selecionados na tomografia convencional, como por exemplo, a espessura de corte, o FOV (*field of view*, ou campo de visão), tamanho da matriz e volume de interesse.

Existem vários parâmetros que são importantes para uma aquisição de imagens na tomografia helicoidal (Luboldt et al., 1999) devendo-se ressaltar: a espessura de corte; o espaçamento entre as imagens reconstruídas que está diretamente relacionado ao número de imagens reconstruídas após uma aquisição volumétrica (*index*); a velocidade do movimento da mesa (*pitch*), a razão entre a velocidade do movimento da mesa e a espessura de corte (*pitch factor*); o algoritmo de reconstrução; e a interpolação espiral.

Vários trabalhos validaram a utilização das reconstruções da tomografia computadorizada helicoidal na realização de mensurações lineares (Olcott et al., 1997; Cavalcanti et al., 1998; Cavalcanti et al., 1999; Smith et al., 2001).

1.6 Motivação do trabalho

O potencial de lesão da artéria vertebral durante a cirurgia de artrodese transarticular C1-C2 (Wright & Lauryssen, 1988; Coric et al, 1996; Madawi et al., 1997b; Dickman & Sonntag, 1998) e a necessidade de avaliação pré-operatória para diminuir o risco de lesões neurovasculares (Madawi et al., 1997a; Dickman & Sonntag, 1998; Solanski & Crockard, 1999; Mandel et al., 2000; Howington et al., 2001) foram a motivação do presente trabalho. Embora muitos autores tenham enfatizado a necessidade pré-operatória por métodos de diagnóstico de imagem não há nenhuma publicação apresentando um protocolo de exame específico para esse fim, que seja de nosso conhecimento. O intuito do trabalho foi avaliar a utilização das imagens de reconstrução multiplanar (MPR) da tomografia computadorizada helicoidal com aquisição volumétrica no estudo pré-operatório na avaliação do eixo e do atlas.

O trabalho realizado é um estudo descritivo morfométrico por meio de avaliação de método de diagnóstico por imagem.

1.7 Objetivos do trabalho

Descrever parâmetros morfométricos do eixo e do atlas relacionados à técnica de artrodese transarticular C1-C2 mensurados por meio das imagens de reconstrução multiplanar da tomografia computadorizada helicoidal

Avaliar a reprodutibilidade das mensurações realizadas por meio das imagens de reconstrução multiplanar da tomografia computadorizada helicoidal.

Avaliar a ocorrência de variações anatômicas do eixo no trajeto ideal do parafuso na técnica cirúrgica de artrodese transarticular C1-C2.

Apresentar um protocolo de avaliação pré-operatória na artrodese C1-C2 por meio da tomografia computadorizada helicoidal utilizando reconstruções multiplanares (MPR).

2. Material e Métodos

2.1 Material

Foram utilizados no estudo 100 exames de angiotomografia das carótidas de pacientes consecutivos do Serviço de Tomografia Computadorizada do Hospital Santa Casa de Misericórdia de Ribeirão Preto, realizados no período de 1996 a 2002. O trabalho foi realizado com o consentimento dos responsáveis pelo serviço de tomografia computadorizada do Instituto de Diagnóstico por Imagem da Santa Casa de Ribeirão Preto. Os exames estão arquivados em fitas magnéticas tendo sido transferidos para uma estação computacional de trabalho na ocasião das mensurações que foram efetuadas.

Os 100 exames de angiotomografia estudados pertenciam a pacientes que foram submetidos à investigação radiológica de doenças arteriais das carótidas e de seus ramos intracranianos.

Foram excluídos do trabalho exames de controle evolutivo de pacientes que já tinham sido avaliados uma vez, evitando incluir duas ou mais vezes o mesmo paciente. Foram excluídos exames realizados com protocolo diferente do protocolo padrão, o qual será descrito a seguir. Também foram excluídos dois exames, um deles devido à qualidade inadequada das imagens e um exame de uma paciente com 5 anos de idade em que a ossificação das vértebras ainda estava incompleta.

No grupo estudado não foram identificados casos com fraturas, lesões ósseas expansivas ou destrutivas, nem erosões ósseas nas margens articulares. Incidentalmente foram encontrados dois casos de fusão entre as vértebras C2 e C3 e esses dois casos não foram excluídos do trabalho.

2.2 Tomografia computadorizada helicoidal

Os exames foram realizados em aparelho de tomografia computadorizada helicoidal de quarta geração modelo PQ 5000 da Picker (Picker Corp, Highland Heights, OH).

O protocolo utilizado na realização dos exames tomográficos incluiu a aquisição em bloco no modo helicoidal desde a região da fúrcula esternal até a sela túrcica, com espessura de corte de 3mm, relação velocidade da mesa / espessura de corte (*pitch factor*) de 2,0 e espaçamento de reconstrução (*index*) de 1,5mm. Os exames foram realizados com injeção de 120ml a 150ml de contraste iodado por meio de bomba injetora, utilizando-se um retardo (*scan delay*) de 25s a 30s entre a injeção e a varredura pela tomografia computadorizada. A velocidade de injeção do contraste utilizada foi de 3ml/s a 4ml/s. A técnica empregada foi de 120KV e 200mA a 225mA.

2.3 Método

2.3.1 Reconstrução das imagens

Os exames foram transferidos das fitas magnéticas para a estação computacional de trabalho Voxel Q Picker, na qual foram realizadas reconstruções multiplanares (MPR) nos planos anatômicos axial, coronal e sagital. Também foram obtidas reconstruções multiplanares oblíquas (MPR oblíquo). Essas reconstruções foram utilizadas para possibilitar a seleção dos planos axial oblíquo e parassagital oblíquo, que seguiam a orientação do eixo do parafuso utilizado na artrodese transarticular C1-C2 e que foi a referência utilizada nesse estudo.

As medidas dos parâmetros selecionados para o estudo foram realizadas manualmente com cursor digital nas reconstruções multiplanares (MPR).

2.3.2 Parâmetros estudados

Os parâmetros selecionados para o estudo estão diretamente relacionados com a técnica cirúrgica da fixação transarticular C1-C2 por meio de parafusos. Dessa forma os parâmetros selecionados para o estudo não apresentam uma relação direta e simples com os elementos anatômicos do eixo, e sim com o posicionamento dos parafusos utilizados na fixação transarticular C1-C2, segundo a técnica descrita por Magerl (1987). Segundo essa técnica os parafusos são inseridos na borda inferior da faceta articular de C2 e direcionados no sentido cranial para atingir a porção média da massa lateral de C1, passando pelo istmo da parte interarticular do eixo no plano sagital (figuras 9 e 10).

O eixo da colocação do parafuso transarticular foi utilizado como referência para determinar dois planos denominados como axial oblíquo e para

sagital oblíquo, nos quais foram realizadas as mensurações, pois a técnica de artrodese mencionada foi o foco da atenção desse trabalho (figuras 9 e 10).

O plano axial difere do plano axial habitual obtido na tomografia computadorizada, tendo sido determinado para passar pela porção central do istmo da parte interarticular de C2 e pelo terço médio da altura da massa lateral de C1, correspondendo ao plano de inserção do parafuso (figura 9). O plano parassagital oblíquo foi escolhido passando pela porção média da articulação C1-C2 e pelo centro do istmo da parte interarticular do eixo o que também corresponde ao posicionamento ideal dos implantes na técnica de fixação transarticular C1-C2 (figura 10). Cada parâmetro foi mensurado nos dois lados da segunda vértebra cervical de cada um dos pacientes.

Após a seleção dos dois planos foram obtidos os seguintes parâmetros:

largura do istmo da parte interarticular

altura do istmo da parte interarticular

comprimento ideal do parafuso

ângulo sagital do trajeto do parafuso através do istmo

ângulo medial do trajeto do parafuso através do istmo

distância do trajeto do implante ao sulco da artéria vertebral

No plano parassagital oblíquo foram mensurados: altura do istmo da parte interarticular (figura 10), ângulo sagital do trajeto do parafuso através do istmo (figura 12), distância do ponto de entrada do implante até a cortical anterior de C1 (figura 10) e distância do trajeto do implante ao sulco da artéria vertebral (figura 13).

No plano axial oblíquo foram mensurados: largura do istmo da parte interarticular (figura 9) e ângulo medial do trajeto do parafuso através do istmo (figura 11).

A largura do istmo foi selecionada de forma a corresponder ao diâmetro transversal do istmo, mensurando-se a distância entre as superfícies externas das corticais ósseas no ponto da menor espessura do istmo em uma reta

perpendicular às corticais (figura 9). Essa mensuração incluiu portanto o osso cortical e o osso esponjoso.

Figura 9 – A: Reconstrução realizada por meio da tomografia computadorizada helicoidal no plano axial oblíquo que inclui o trajeto ideal do parafuso transarticular C1-C2. Do lado direito temos as medidas da largura do istmo da parte interarticular do eixo; B: Complexo atlanto-axial (vértebras de cadáver) com corte realizado no plano axial oblíquo no trajeto do parafuso transarticular, semelhante ao corte utilizado no estudo por meio da tomografia computadorizada helicoidal incluindo parafuso, para evidenciar proporcionalmente as dimensões do parafuso e do istmo. C: referência ilustrando o plano de corte axial oblíquo (linha pontilhada).

O ângulo medial do istmo foi obtido a partir de duas retas, uma no eixo longo do istmo e a outra unindo os pontos médios do processo odontóide e do arco posterior de C2 (figura 11). Os ângulos mensurados foram definidos como positivos quando o vértice do ângulo era anterior e como negativos quando o vértice do ângulo era posterior.

A altura do istmo foi medida de forma parecida com a largura externa, perpendicular as superfícies externas das corticais ósseas no ponto da menor espessura do istmo (figura 10).

O comprimento ideal do parafuso (CIP) foi mensurado como a distância do ponto de inserção do implante na faceta articular inferior do eixo até a

cortical anterior da massa lateral do atlas no trajeto ideal do parafuso. O CIP foi mensurado na direção de uma reta que passava pelo centro do istmo da parte interarticular de C2 e alcançava a massa lateral de C1 ao nível da porção média de sua altura (figura 10).

Figura 10 – A: Complexo atlanto-axial (vértebras de cadáver) com corte realizado no plano parassagital oblíquo no trajeto do parafuso transarticular, semelhante ao corte utilizado no estudo por meio da tomografia computadorizada helicoidal. **B:** Complexo atlanto-axial (vértebras de cadáver) com corte realizado no plano parassagital oblíquo no trajeto do parafuso transarticular, com sobreposição de parafuso de 3,5mm de calibre. **C:** Reconstrução realizada por meio da tomografia computadorizada helicoidal no plano axial oblíquo que inclui o trajeto ideal do parafuso transarticular C1-C2. Na imagem da esquerda estão presentes as mensurações do comprimento ideal do parafuso e da altura do istmo da parte interarticular do eixo. Na imagem do lado direito identificamos o trajeto ideal do parafuso transarticular C1-C2 com a seta preta. **D e E:** referências ilustrando o plano de corte parassagital oblíquo (linha pontilhada)

O ângulo sagital do istmo foi obtido a partir de duas retas: uma reta passando pelo eixo longo do istmo no plano parassagital e a outra reta pelo platô vertebral inferior da vértebra C2 (figura 12). Na maioria dos casos o platô vertebral de C2 era côncavo no sentido antero-posterior, e nesses casos foi escolhida como referência uma reta passando pelos pontos mais inferiores do corpo vertebral de C2, um no extremo anterior e outro no extremo posterior do platô vertebral. As imagens para mensuração do ângulo sagital foram

reconstruídas com 12mm de espessura para possibilitar a visualização do istmo da parte interarticular e do platô vertebral na mesma imagem

A distância entre a reta localizada no trajeto ideal do parafuso e o sulco da artéria vertebral foi mensurada apenas nos casos em que este sulco se mostrou proeminente naquela imagem obtida no plano parassagital oblíquo tendo sido sempre escolhida para essa medida a menor distância perpendicular entre o sulco e a reta localizada no eixo ideal de colocação do implante (figura 13). Essa distância não pôde ser mensurada nos casos em que o sulco da artéria vertebral não estava presente.

Figura 11 – A: Reconstrução por meio da tomografia computadorizada no plano axial mostrando o ângulo medial do istmo da parte interarticular do eixo. B: Reconstrução por meio da tomografia computadorizada no plano axial oblíquo mostrando o ângulo medial do trajeto ideal do parafuso transarticular C1-C2, no mesmo paciente. Essa comparação ilustra claramente a diferença entre as duas medidas

Figura 12 – a) Reconstrução por meio da tomografia computadorizada no plano parassagital mostrando o ângulo sagital do istmo da parte interarticular do eixo. b) Reconstrução por meio da tomografia computadorizada no plano parassagital oblíquo mostrando o ângulo sagital do trajeto ideal do parafuso transarticular C1-C2, no mesmo paciente. Essa comparação ilustra claramente a diferença entre essas duas medidas.

Figura 13 – A: Imagem de reconstrução obtida por meio da tomografia computadorizada helicoidal no plano parassagital oblíquo da técnica de fixação transarticular C1-C2. Artéria vertebral opacificada pelo contraste endovenoso, ocupando o sulco da artéria vertebral na massa lateral do eixo. B: Mensuração do comprimento ideal do parafuso da técnica de fixação transarticular C1-C2 (linha tracejada) e mensuração da distância do trajeto ideal do parafuso até o sulco da artéria vértebra (linha contínua).

2.3.3 Estudo estatístico

Foram analisados estatisticamente os valores dos parâmetros selecionados para o estudo: a largura do istmo; a altura do istmo; a distância AP no trajeto do parafuso; o ângulo medial e o ângulo sagital. A hipótese de

distribuição normal dessas variáveis foi verificada e confirmada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov.

A influência do lado, do sexo e da idade nos valores mensurados foi analisada estatisticamente. A comparação entre as medidas realizadas do lado direito versus as medidas do lado esquerdo foi feita pelo teste "t de Student" para amostras pareadas. A comparação entre as medidas obtidas nos pacientes do sexo masculino versus as medidas obtidas nos pacientes do sexo feminino foi feita por meio do teste "t de Student" para amostras independentes. A análise da correlação entre estas variáveis e a idade foi feita calculando-se o coeficiente de correlação de Pearson (r).

Para avaliar a reprodutibilidade das mensurações realizadas foi selecionado aleatoriamente um subgrupo de exames de quinze pacientes nos quais as medidas foram realizadas uma segunda vez pelo mesmo observador, sem conhecimento dos resultados da primeira mensuração. Para a análise da variação intraobservador foi calculado o coeficiente de correlação intraclass (CCI) conforme Prieto & Casado (1998).

3. Resultados

3.1 Considerações gerais

O grupo era composto por 61 pacientes do sexo masculino (61%) e 39 pacientes do sexo feminino (39%), com idade variando de 14 a 86 anos (média de 66,4 anos).

Os valores individuais das medidas lineares e angulares dos parâmetros estudados encontram-se ilustrados na Tabela 1. Os valores médios, os desvios padrões, os valores máximo e mínimo de cada um dos parâmetros analisados estão ilustrados nas Tabelas 2, 3, 4, 5 e 6.

A tabela 7 apresenta as distâncias entre o sulco da artéria vertebral e a trajetória ideal do parafuso, medidas realizadas no plano parassagital oblíquo das imagens reconstruídas pela tomografia computadorizada helicoidal.

A tabela 8 mostra os valores calculados para o coeficiente de correlação intraclass, utilizado para avaliar a reprodutibilidade das mensurações.

Os valores obtidos para os parâmetros lineares estão individualizados na tabela 9 e os valores dos parâmetros angulares estão individualizados na tabela 10. A tabela 11 mostra a comparação entre os valores mensurados para os sexos masculino e feminino.

De forma geral o coeficiente de correlação de Pearson entre a variável idade e cada uma das variáveis estudadas apresentou valores baixos, sugerindo uma influencia muito pequena da idade nas variáveis medidas no caso da amostra estudada.

Tabela 1- Valores dos parâmetros morfométricos do eixo e do atlas mensurados por meio das imagens de reconstrução multiplanar da tomografia computadorizada helicoidal em cada um dos 100 pacientes do trabalho. Os valores são apresentados em mm para as medidas lineares, e em graus para as medidas angulares

N.	sexo	Id	LID	AID	CIPD	ASD	AMD	LIE	AIE	CIPE	ASE	AME
1	M	73	8,47	9,74	41,44	65,73	2,31	9,15	8,95	41,48	64,26	5,26
2	M	76	7,8	10,59	40,78	53,72	10,91	10,04	9,76	38,95	61,28	11,01
3	M	84	7,1	9,63	35,22	57,3	3,39	8,87	7,48	38,85	48,81	2,88
4	M	76	7,69	8,6	42,57	70,15	-2,43	7,09	9,84	39,98	65,54	14,75
5	M	74	7,28	8,24	44,68	57,83	11,27	7,25	10,55	39,8	59,9	18,08
6	F	69	8,42	8,97	36,21	57,71	13,56	8,97	8,92	38,44	64,41	13,45
7	F	14	8,19	9,59	38,05	51,89	14,5	4,05	3,34	39,04	53,09	11,66
8	F	63	7,37	8,46	36,99	55,9	9,21	8,32	7,56	38,09	58,8	13,46
9	M	78	8,97	9,64	40,59	54,29	7,35	7,91	5,32	44,65	65,5	11,49
10	F	62	10,61	9,23	41,5	61,45	7,06	9,33	8,55	43,41	62,92	12,13
11	M	46	7,09	9,57	40,01	58,35	6,82	6,87	8,25	41,74	63,29	6,24
12	F	77	8,57	5,74	38,76	52,99	2,27	8,83	7,51	38,98	57,41	5,18
13	M	68	8,18	8,83	36,67	53	9,27	8,49	9,02	38,42	48,84	14,1
14	M	66	9,3	9,28	39,53	55,45	9,98	8,11	8,49	39,81	51,43	12,36
15	M	56	8,86	9,16	39,45	62,93	13,77	7,74	9,07	40,05	56,58	14,96
16	M	59	7,37	8,68	39,65	51,5	16,75	8,06	8,34	40,88	52,06	14,05
17	F	65	5,44	7,47	37,94	44,95	14,06	6,19	6,85	39,07	44,09	12,82
18	M	76	8,03	9,03	39,91	58,68	4,13	6,39	5,27	42,87	57,04	6,27
19	F	63	6,95	8,9	38,09	58,39	18,69	6,24	8,02	38,69	63,58	15,72
20	M	64	6,11	6,64	43,14	51,67	6,81	9,2	11,65	42,33	51,2	10,23
21	M	81	7,2	7,61	39,64	63,38	11,23	6,19	5,91	36,52	51,65	10,81
22	F	66	6,61	6,86	35,77	68,77	3,34	5,95	8,11	36,85	51,33	4,55
23	F	49	7,08	8,1	37,44	46,57	9,4	7,91	7,78	39,71	52,21	7,55
24	M	66	7,37	9,42	40,72	58,31	15,49	7,09	6,01	42,24	51,42	8,87
25	M	62	7,48	8,85	39,04	61,95	12,16	8,27	7,31	40,73	53,36	5,32
26	M	68	7,11	8,53	39,68	67,49	8,36	8,65	8,74	39,65	65,11	16,43
27	M	63	9,02	4,48	38,93	61,05	1,08	6,41	7,42	41,27	67,27	3,41
28	M	75	7,73	7,91	41,59	58,45	5	8,78	9,61	40,27	60,07	4,34
29	M	70	8,42	7,47	36,18	63,21	9,38	7,8	7,21	37,78	56,78	7,48
30	M	69	10,02	11,96	46,94	60,14	3,95	8,86	11,3	47,43	62,38	3,62
31	M	86	7,96	8,35	38,59	64,65	4,11	8,13	8,7	40,1	61,87	6,91
32	M	69	7,31	5,32	38,04	54,23	8,23	7,28	6,95	38,77	55,84	16,74
33	M	60	10,52	9,09	41,5	59,14	1,32	9,7	7,31	42,43	57,27	1,81
34	F	83	8,64	8,27	38,38	59,48	6,19	7,48	1,89	39,46	62,62	3,58

continua

continuação

Tabela 1- Valores dos parâmetros morfométricos do eixo e do atlas mensurados por meio das imagens de reconstrução multiplanar da tomografia computadorizada helicoidal em cada um dos 100 pacientes do trabalho. Os valores são apresentados em mm para as medidas lineares, e em graus para as medidas angulares

N.	sexo	Id	LID	AID	CIPD	ASD	AMD	LIE	AIE	CIPE	ASE	AME
35	M	29	7,88	8,34	37,66	54,76	10,57	7,56	6,22	37,29	53,31	8,81
36	F	57	6,33	5,37	33,97	59,5	4,21	6,51	5,11	35,74	51,77	9,59
37	F	46	7,57	6,53	38,39	60,22	2,26	7,89	6,39	38,68	58,95	5,31
38	F	85	9,36	10,07	40,03	64,84	4,57	9,61	7,88	41,48	58,51	5,69
39	F	61	4,7	3,66	26,9	62,47	-2,87	5,44	5,56	43,09	66,88	8,11
40	F	65	6,77	7,61	35,27	60,95	8,6	3,62	3,74	35,51	59,16	17,42
41	M	66	7,31	6,85	36,99	61,97	7,87	7,34	6,15	38,62	57,81	8,85
42	M	58	7,38	7,86	36,96	51,86	5,15	7,43	5,23	38,71	57,81	8,85
43	M	80	7,76	8,22	39,75	59,63	7,07	10,15	8,09	39,01	48,33	2,66
44	F	72	7,21	6,69	37,45	58,93	5,42	8,18	7,36	38,69	56,57	3,8
45	M	62	9,06	9,41	36,5	54,77	6,69	8,02	4,6	37,97	60,67	8,83
46	M	75	6,94	7,28	39,96	71,26	8,76	6,35	8,05	42,42	63,02	7,92
47	F	65	8,22	7,86	39,65	62,39	5,26	7,42	6,41	38,73	60,7	9,31
48	M	52	8,13	7,85	41,95	59,85	7,75	8,63	4,09	42,43	53,65	13,07
49	F	73	6,35	7,06	39,71	63,93	7,05	5,72	6,13	35,04	61,36	6,89
50	M	70	8,67	7,39	39,91	63,96	3,63	10,15	7,2	41,75	60,51	6,54
51	F	76	6,18	5,84	36,17	54,9	6,8	6,35	5,77	35,19	68,13	1,35
52	M	67	8,03	7,73	38,79	56,83	7,69	7,43	8,58	38,29	52,16	9,65
53	F	74	8,5	7,72	39,31	62,14	8,62	7,75	7,48	39,49	54,11	9,79
54	F	33	6,26	4,39	35,46	57,33	13,21	6,91	5,95	35,64	62,56	7,18
55	F	62	9,12	11,45	41,9	57,8	6,43	8,85	8,6	41,79	57,71	4,18
56	M	75	6,94	8,28	40,3	62,61	6,77	7,45	7,2	41,81	54,02	8,78
57	M	65	9,63	8,9	42,74	54,7	7,08	9,08	7,81	40,15	64,96	4,15
58	M	71	7,51	3,32	42,84	50,99	3,67	6,87	8,72	37,45	49,71	8,52
59	F	56	5,98	6,26	31,92	54,83	5	6,25	5,43	35,21	56,13	1,68
60	F	77	7,63	9,88	36,1	59,78	8,23	7,16	7,18	38,84	50,5	10,65
61	M	34	9,07	6,88	37,16	51,16	4,02	8,89	10,35	40,27	59,1	8,11
62	F	76	6,11	5,91	37,22	50,61	8,15	6,38	5,5	38,44	56,14	6,77
63	M	84	6,74	6,88	41,47	50,92	15,42	8,22	6,74	38,76	49,27	4,48
64	M	63	7,31	3,74	33,93	55,93	3,32	7,59	5,13	40,51	55,96	6,45
65	F	79	6,38	7,77	38,65	50,87	2,66	6,82	9,44	38,08	56,08	2,35
66	F	76	8,98	7,77	36,56	56,75	10,66	8,59	7,91	36,96	53,96	5,26
67	M	69	6,6	8,84	42,98	64,26	3,02	8,53	9,2	43,84	55,26	6,75
68	F	79	7,49	7,73	30,28	47,59	5,9	7,94	8,17	34,33	50,62	9,88
69	F	65	5,47	6,24	36,31	57,58	6,92	7,73	7,56	35,07	44,72	2,73
70	F	63	7,35	8,85	40,79	50,92	3,9	7,74	7,42	34,94	60,05	7,42

continua

conclusão

Tabela 1- Valores dos parâmetros morfométricos do eixo e do atlas mensurados por meio das imagens de reconstrução multiplanar da tomografia computadorizada helicoidal em cada um dos 100 pacientes do trabalho. Os valores são apresentados em mm para as medidas lineares, e em graus para as medidas angulares

N.	sexo	Id	LID	AID	CIPD	ASD	AMD	LIE	AIE	CIPE	ASE	AME
71	M	49	7,8	9,1	40,3	50,86	10,89	9,47	6,59	40,19	53,63	4,51
72	M	80	6,07	10,07	41,37	56,79	4,79	7,74	7,62	44,96	61,16	-2,61
73	M	63	7,74	9,12	34,92	46,01	9,14	9,25	9,08	37,4	50,13	7,51
74	F	82	8,8	9,8	36,86	60,19	6,92	9,46	8	37,19	52,31	7,98
75	F	63	8,85	8,75	38,28	60,03	5,74	8,92	7,62	37,77	50,36	10,4
76	M	71	6,07	6,75	35,3	62,56	8,46	7,78	7,09	39,16	58,96	8,9
77	F	38	6,51	5,43	37,05	57,31	6,86	6,47	7,09	35,12	53,22	11,98
78	F	60	7,74	7,35	36,74	52,42	8,08	6,4	8	39,86	52,68	15,07
79	F	73	8,89	7,88	35,48	50,4	6,08	6,29	7,92	40,1	58,22	4,93
80	M	71	10,12	11,27	41,17	51,51	6,42	9,75	10,61	38,68	52,94	7,26
81	F	83	5,05	6,15	37,41	58,67	8,49	3,65	7,14	40,27	57,67	17,94
82	M	71	9,51	9,59	36,16	56,5	8,12	7,65	9,86	37,22	49,58	6,86
83	M	76	9,55	9,56	38,92	64,27	11,15	9,86	10,36	42,42	65,05	8,1
84	M	65	9,89	10,06	39,83	62,38	8,83	9,5	9,92	41,81	59,45	7,01
85	M	58	7,59	7,9	39,23	58,2	12,54	9,57	7,71	37,81	51,94	13,54
86	M	67	8,2	9,7	36,37	63,26	10,89	8,45	8,96	38,68	59,64	10,87
87	F	77	7,62	7,85	35,03	58,23	9,09	8,12	8,1	38,87	54,97	7,95
88	M	74	8,79	9,83	35,58	57,34	5,67	7,77	8,32	36,63	62,59	4,47
89	M	70	6,35	9,91	40,28	57,88	8,48	6,45	9,75	42,35	61,65	7,71
90	F	70	9,42	8,47	44,5	55,27	8,39	8,67	9,53	39,31	55,18	5,79
91	M	70	8,27	9,56	37,17	56,36	12,93	6,56	8,33	36,45	50,77	11,7
92	M	53	7,23	8,22	38,55	59,7	11,55	7,94	7,96	40,95	54,06	6,17
93	F	69	6,51	8,17	37,97	63,76	16,44	7,31	7,34	37,91	57,33	10,03
94	F	59	6,02	9,19	36,14	61,53	2,42	6,56	8,55	35,76	54,22	6,72
95	M	80	8,83	9,33	43,39	59,84	4,06	8,53	8,85	42,35	60,02	7,26
96	M	64	10,17	7,61	41,55	61,01	5,35	7,74	7,55	40,72	61,63	5,67
97	M	79	6,68	10	41,31	59,22	13,36	6,61	11,5	41,87	65,48	13,01
98	M	59	8,3	11,12	38,92	57,72	8,22	8,09	9,2	36,33	51,41	3,03
99	M	52	7,69	9,99	44,14	64,53	6,06	8,98	7,71	43,72	57,48	5,78
100	M	60	7,39	8,34	37,93	64,04	6,27	8,03	9,33	41,22	65,23	4,87

Id=idade, LID=largura do istmo direito, AID=altura do istmo direito, CIPD=comprimento ideal do parafuso lado direito, ASD=ângulo sagital direito, AMD=ângulo medial direito, LIE= largura do istmo esquerdo, AIE=altura do istmo esquerdo, CIPE= comprimento ideal do parafuso lado esquerdo, ASE=ângulo sagital esquerdo, AME=ângulo medial esquerdo.

3.2 Parâmetros avaliados

3.2.1 Largura do istmo da parte interarticular

Os valores da média e desvio padrão observados para a largura do istmo da parte interarticular foram de $7,75\text{mm} \pm 1,27\text{mm}$. Quando se considerou cada lado em separado foram obtidos $7,75\text{mm} \pm 1,23\text{mm}$ para o lado direito e $7,77\text{mm} \pm 1,33\text{mm}$ para o lado esquerdo. A largura do istmo da parte interarticular no sexo masculino mediu $8,11\text{mm} \pm 1,07\text{mm}$ e no sexo feminino mediu $7,21\text{mm} \pm 1,39\text{mm}$.

Os valores da largura do istmo da parte interarticular (média, desvio padrão, valor máximo e valor mínimo) estão ilustrados na tabela 2 e na figura 14.

Não foi observada diferença estatisticamente significativa entre os valores do lado direito e do lado esquerdo ($p=0,85$). No entanto foi observada diferença estatisticamente significativa entre os valores do sexo masculino e os valores do sexo feminino, sendo que o sexo masculino apresentou valores superiores no lado direito e no lado esquerdo ($p=0,004$ do lado direito e $p<0,001$ do lado esquerdo).

Tabela 2. Valores mensurados para a largura do istmo da parte interarticular do áxis em mm, incluindo discriminação do lado estudado e do sexo do paciente.

	Média	Desvio padrão	Máximo	Mínimo
LI	7,75	1,27	10,61	3,62
LID	7,75	1,23	10,61	4,7
LID masc	8,03	1,1	10,52	6,07
LID fem	7,31	1,31	10,61	4,7
LIE	7,77	1,33	10,15	3,62
LIE masc	8,2	1,03	10,15	6,19
LIE fem	7,11	1,47	9,61	3,62

(LI= largura do istmo, LID=largura do istmo direito, LIE= largura do istmo esquerdo).

Figura 14 – Histograma ilustrando os valores da largura do istmo da parte interarticular de C2

3.2.2 Altura do istmo da parte interarticular

Os valores da média e desvio padrão observados para a altura do istmo da parte interarticular foram de $7,94\text{mm} \pm 1,72\text{mm}$. Quando se considerou cada lado em separado foram obtidos $8,23\text{mm} \pm 1,72\text{mm}$ do lado direito e $7,73\text{mm} \pm 1,75\text{mm}$ do lado esquerdo. A altura do istmo da parte interarticular no sexo masculino mediu $8,39\text{mm} \pm 1,69\text{mm}$ e no sexo feminino mediu $7,34\text{mm} \pm 1,64\text{mm}$.

Os valores da altura do istmo da parte interarticular (média, desvio padrão, valor máximo e valor mínimo) estão ilustrados na tabela 3 e na figura 15.

Foi observada diferença estatisticamente significativa entre os valores do lado direito e do lado esquerdo, sendo que o lado direito apresentou valores superiores ($p=0,01$).

Também foi observada diferença estatisticamente significativa quando comparamos os valores do sexo masculino com os do sexo feminino, sendo que as medidas no sexo masculino apresentaram valores significativamente superiores tanto do lado direito quanto do lado esquerdo ($p=0,007$ do lado direito e $p<0,001$ do lado esquerdo).

Tabela 3. Valores mensurados para a altura do istmo da parte interarticular do áxis em mm, incluindo discriminação do lado estudado e do sexo do paciente

	Média	Desvio padrão	Máximo	Mínimo
AI	7,94	1,72	11,96	1,89
AID	8,23	1,72	11,96	3,32
AID masc	8,59	1,66	11,96	3,32
AID fem	7,66	1,7	11,45	3,66
AIE	7,73	1,75	11,65	1,89
AIE masc	8,19	1,71	11,65	4,09
AIE fem	7,02	1,58	9,44	1,89

(AI= altura do istmo, AID=altura do istmo direito, AIE= altura do istmo esquerdo).

Figura 15 – Histograma ilustrando os valores da altura do istmo da parte interarticular de C2

3.2.3 Comprimento ideal do parafuso

Os valores da média e desvio padrão observados para o comprimento ideal do parafuso na técnica de fixação transarticular C1-C2 foram de 39,03mm $\pm$ 2,81mm. Quando se considerou cada lado em separado foram obtidos 38,74mm $\pm$ 3,04mm do lado direito e 39,51mm $\pm$ 2,52mm do lado esquerdo. O comprimento ideal do parafuso na técnica de fixação transarticular C1-C2 mediu 40,14mm $\pm$ 2,44mm no sexo masculino e 37,54mm $\pm$ 2,61mm no sexo feminino.

Os valores obtidos para o comprimento ideal do parafuso (média, desvio padrão, valor máximo e valor mínimo) estão ilustrados na tabela 4 e figura 16.

Foi observada diferença estatisticamente significativa entre os valores dos lados direito e esquerdo, sendo que o lado esquerdo apresentou valores significativamente superiores ($p=0,006$).

Também foi observada diferença estatisticamente significativa entre os valores dos sexos masculino e feminino, sendo que o sexo masculino apresentou valores significativamente superiores tanto do lado direito quanto do lado esquerdo ($p<0,001$ em ambos os lados).

Tabela 4. Valores mensurados para o comprimento ideal do parafuso em mm, incluindo discriminação do lado estudado e do sexo do paciente.

	Média	Desvio padrão	Máximo	Mínimo
CIP	39,03	2,81	47,43	26,9
CIPD	38,74	3,04	46,94	26,9
CIPD masc	38,86	2,63	46,94	33,93
CIPD fem	36,99	2,82	41,9	26,9
CIPE	39,51	2,52	47,43	34,33
CIPE masc	40,42	2,23	47,43	36,33
CIPE fem	38,08	2,29	43,41	34,33

(CIP= comprimento ideal do parafuso, CIPD= comprimento ideal do parafuso lado direito, CIPE= comprimento ideal do parafuso lado esquerdo)

Figura 16 – Histograma ilustrando os valores do comprimento ideal do parafuso na técnica de artrodese transarticular C1-C2.

3.2.3 Ângulo sagital

Os valores observados da média e desvio padrão para o ângulo sagital de inserção do parafuso na técnica de fixação transarticular C1-C2 foram de $57,54^{\circ} \pm 5,28^{\circ}$. Quando se considerou cada lado em separado foram obtidos $58,12^{\circ} \pm 5,25^{\circ}$ do lado direito e $57,05^{\circ} \pm 5,41^{\circ}$ do lado esquerdo. O ângulo sagital de inserção do parafuso na técnica de fixação transarticular C1-C2 no sexo masculino mediu $58,18^{\circ} \pm 5,31^{\circ}$ e no sexo feminino mediu $56,66^{\circ} \pm 5,27^{\circ}$.

Os valores obtidos do ângulo sagital (média, desvio padrão, valor máximo e valor mínimo) estão ilustrados na tabela 5 e na figura 17.

Foi observada diferença estatisticamente significativa entre os valores do ângulo sagital do lado direito e do lado esquerdo, sendo que o lado direito apresentou valores superiores ($p=0,04$).

Não foi observada diferença estatisticamente significativa entre os valores do sexo feminino e do sexo masculino ($p=0,21$ para valores do lado direito e $p=0,13$ para valores do lado esquerdo).

Tabela 5. Valores mensurados para o ângulo sagital no trajeto de inserção do parafuso na técnica de artrodese transarticular C1-C2, em graus, incluindo discriminação do lado estudado e do sexo do paciente

	Média	Desvio padrão	Máximo	Mínimo
AS	57,54	5,28	71,26	44,09
ASD	58,12	5,22	71,26	44,95
ASD masc	58,64	5,14	71,26	46,01
ASD fem	57,3	5,3	68,77	44,95
ASE	57,05	5,41	68,13	44,09
ASE masc	57,71	5,48	68,13	48,33
ASE fem	56,02	5,22	66,88	44,09

(AS= ângulo sagital , ASD= ângulo sagital direito, ASE= ângulo sagital esquerdo).

Figura 17 – Histograma ilustrando os valores do ângulo sagital no trajeto de inserção do parafuso na técnica de artrodese transarticular C1-C2.

3.2.4 Ângulo medial

Os valores observados da média e desvio padrão para o ângulo medial de inserção do parafuso na técnica de fixação transarticular C1-C2 foram de $7,90^{\circ} \pm 4,05^{\circ}$. Quando se considerou cada lado em separado foram obtidos $7,53^{\circ} \pm 3,88^{\circ}$ do lado direito e $8,20^{\circ} \pm 4,15^{\circ}$ do lado esquerdo. O ângulo medial de inserção do parafuso na técnica de fixação transarticular C1-C2 no sexo masculino mediu $7,59^{\circ} \pm 4,00^{\circ}$ e no sexo feminino mediu $8,24^{\circ} \pm 4,18^{\circ}$.

Os valores obtidos do ângulo medial (média, desvio padrão, valor máximo e valor mínimo) estão ilustrados na tabela 6 e na figura 18.

Não foi observada diferença estatisticamente significativa entre os valores do ângulo medial do lado direito e do lado esquerdo ($p=0,11$).

Também não foi observada diferença estatisticamente significativa entre os valores do sexo feminino e do sexo masculino ($p=0,91$ para valores do lado direito e $p=0,12$ para valores do lado esquerdo).

Tabela 6. Valores mensurados para o ângulo meidal no trajeto de inserção do parafuso na técnica de artrodese transarticular C1-C2, em graus, incluindo discriminação do lado estudado e do sexo do paciente

	Média	Desvio padrão	Máximo	Mínimo
AM	7,9	4,05	18,69	-2,87
AMD	7,53	3,88	18,69	-2,87
AMD masc	7,57	3,64	16,75	-2,43
AMD fem	7,48	4,29	18,69	-2,87
AME	8,2	4,15	18,08	-2,61
AME masc	7,69	4,21	18,08	-2,61
AME fem	9	3,98	17,94	2,73

(AM= ângulo medial, AMD= ângulo medial direito, AME= ângulo medial esquerdo).

Figura 18 – Histograma ilustrando os valores do ângulo medial no trajeto de inserção do parafuso na técnica de artrodese transarticular C1-C2.

3.2.5 Distância entre o sulco da artéria vertebral e a trajetória do implante

Na maioria das vértebras estudadas (70%) o sulco da artéria vertebral não foi visualizado nem do lado direito nem do lado esquerdo, nas imagens da tomografia computadorizada helicoidal reconstruídas no plano parassagital oblíquo escolhido. Em 23% das vértebras estudadas o sulco da artéria vertebral foi visualizado em apenas um dos lados da vértebra no plano parassagital oblíquo. Em 7% das vértebras o sulco foi visualizado nos dois lados. Considerando-se que foram estudados 200 conjuntos istmo-massa lateral do eixo, (lados direito e esquerdo), o sulco da artéria vertebral foi identificado em 37 das massas laterais, ou seja em 18,5% das massas laterais estudadas.

A visualização do sulco da artéria vertebral na imagem reconstruída no plano parassagital oblíquo não indica necessariamente a presença de risco para a artéria vertebral durante a colocação de parafusos transarticulares, visto que em muitos destes exemplos a distância entre o trajeto ideal do parafuso e o sulco da artéria proporciona uma margem de segurança para o procedimento. Apenas 7,5% das massas laterais de C2 estudadas mostraram distância entre o trajeto ideal do parafuso e o sulco da artéria menor do que a margem de segurança adotada que foi de 2,5mm.

No grupo de cem pacientes examinados o sulco da artéria vertebral foi identificado em 30 pacientes, sendo 18 deles do sexo masculino e 12 do sexo feminino. Dentro desse subgrupo o sulco foi observado em ambos os lados em apenas sete pacientes. Desses sete pacientes quatro eram do sexo masculino e três do sexo feminino. A tabela 7 mostra as medidas realizadas para cada um dos casos em que o sulco da artéria foi visualizado na imagem reconstruída pela tomografia computadorizada helicoidal no plano parassagital oblíquo.

Tabela 7. Distâncias medidas em mm entre o sulco da artéria vertebral e a reta que corresponde ao trajeto ideal do implante no plano parassagital oblíquo.

N	sexo	lado direito	lado esquerdo
2	M	2,65	NV
4	M	4,33	NV
6	F	4,2	NV
7	F	NV	1,76
8	F	1,37	NV
9	M	NV	2,07
12	F	1,87	1,74
17	F	NV	3,52
18	M	NV	3,66
21	M	4,29	NV
24	M	4,83	NV
27	M	1,24	2
29	M	NV	2,46
32	F	1,41	NV
36	F	2,02	1,17
41	M	3,4	2,88
45	M	1,58	NV
48	M	4,32	1,68
51	F	NV	2,78
54	F	2,08	NV
57	M	3,61	NV
58	M	1,34	NV
62	M	NV	2,54
64	M	NV	2,68
66	F	3,24	NV
81	F	2,36	NV
85	M	1,37	NV
91	F	4,05	2,99
92	M	1,99	2,36
99	M	NV	2,6

N= número do paciente (mesma numeração da tabela 1); NV= sulco não visualizado; F=feminino; M=masculino

3.3 Variação intraobservador

Para avaliar a confiabilidade da reprodutibilidade da mensuração por meio das imagens de tomografia computadorizada foi realizado o estudo da variação intraobservador, realizando-se o cálculo do coeficiente de correlação intraclass (CCI) para cada uma das variáveis. Fleiss & Cohen (1986) demonstram que o coeficiente de correlação intraclass é matematicamente equivalente aos índices kappa e kappa ponderado. A concordância entre a primeira e a segunda medidas realizadas foi considerada excelente

(CCI > 0,75) para seis das dez variáveis que foram mensuradas (largura do istmo direito, largura do istmo esquerdo, altura do istmo direito, comprimento ideal do parafuso lado esquerdo, ângulo sagital direito, e ângulo sagital esquerdo). Para as outras quatro variáveis (altura do istmo esquerdo, comprimento ideal do parafuso lado direito, ângulo medial direito e ângulo medial esquerdo) a concordância foi considerada entre regular e boa. Observar entretanto que os coeficientes de correlação encontrados para as variáveis comprimento ideal do parafuso lado direito, ângulo medial direito e ângulo medial esquerdo foi de 0,739; 0,706 e 0,723 respectivamente, ou seja próximos do limite de 0,75. Nenhum dos coeficientes de correlação intraclases sugeriu uma correlação não satisfatória entre a primeira e a segunda medidas efetuadas. Em geral é considerado que $CCI < 0,4$ representa baixa confiabilidade. Os valores específicos do coeficiente de correlação intraclases para cada variável estão especificados na tabela 8.

Tabela 8. Valores calculados para os coeficientes de correlação intraclases das medidas das dez variáveis estudadas

	LID	LIE	AID	AIE	CIPD	CIPE	ASD	ASE	AMD	AME
CCI	0,976	0,953	0,937	0,566	0,739	0,868	0,861	0,966	0,706	0,723

(LID=largura do istmo direito, AID=altura do istmo direito, CIPD=comprimento ideal do parafuso lado direito, LIE= largura do istmo esquerdo, AIE=altura do istmo esquerdo, CIPE= comprimento ideal do parafuso lado esquerdo, ASD=ângulo sagital direito, AMD=ângulo medial direito, ASE=ângulo sagital esquerdo, AME=ângulo medial esquerdo).

Tabela 9. Parâmetros lineares medidos em mm, incluindo todos os pacientes do sexo masculino e feminino

Parâmetros	n	Média (mm)	desvio padrão	Min. (mm)	Máx. (mm)
LID	100	7,75	1,23	4,7	10,61
AID	100	8,23	1,72	3,32	11,96
CIPD	100	38,74	3,04	26,9	46,94
LIE	100	7,77	1,33	3,62	10,15
AIE	100	7,73	1,75	1,89	9,44
CIPE	100	39,51	2,52	34,33	47,43

(LID=largura do istmo direito, AID=altura do istmo direito, CIPD=comprimento ideal do parafuso lado direito, LIE= largura do istmo esquerdo, AIE=altura do istmo esquerdo, CIPE= comprimento ideal do parafuso lado esquerdo).

Tabela 10. Parâmetros angulares com medidas em graus incluindo todos os pacientes do sexo masculino e feminino.

Ângulos	n	Média	desvio padrão	Min.	Máx.
AMD	100	7,53	3,88	-2,87	18,69
ASD	100	58,12	5,22	44,95	71,26
AME	100	8,2	4,15	-2,61	18,08
ASE	100	57,05	5,41	44,09	68,13

(ASD=ângulo sagital direito, AMD=ângulo medial direito, ASE=ângulo sagital esquerdo, AME=ângulo medial esquerdo).

Tabela 11. Comparação entre os valores observados das variáveis estudadas nos indivíduos dos sexos masculino e feminino..

	Sexo masculino		Sexo feminino		p
	média	desv. pad	média	desv.pad.	
LID	8,03	1,10	7,31	1,31	0,004
AID	8,59	1,66	7,66	1,70	0,007
CIPD	38,86	2,63	36,99	2,82	< 0,001
AMD	7,57	3,64	7,48	4,29	0,91
ASD	58,64	5,14	57,30	5,30	0,21
LIE	8,20	1,03	7,11	1,47	< 0,001
AIE	8,19	1,71	7,02	1,58	< 0,001
CIPE	40,42	2,23	38,08	2,29	< 0,001
AME	7,69	4,21	9,00	3,98	0,12
ASE	57,71	5,48	56,02	5,22	0,13

(LID=largura do istmo direito, AID=altura do istmo direito, CIPD=comprimento ideal do parafuso lado direito, LIE= largura do istmo esquerdo, AIE=altura do istmo esquerdo, CIPE=comprimento ideal do parafuso lado esquerdo, ASD=ângulo sagital direito, AMD=ângulo medial direito, ASE=ângulo sagital esquerdo, AME=ângulo medial esquerdo)

3.4 Proposta de classificação do áxis

De acordo com observações realizadas foi proposta a classificação da segunda vértebra cervical por meio das imagens obtidas nos planos parassagital oblíquo e axial oblíquo (figura 19). Para essa classificação foram analisados o istmo da parte interarticular do áxis e a massa lateral do áxis.

Figura 19 - Desenho ilustrando os dois tipos de complexo istmo-massa lateral do áxis, conforme a classificação proposta.

Em relação à parte interarticular de C2 foram consideradas as mensurações da largura e da altura do istmo. Na massa lateral foi analisada a presença do sulco da artéria vertebral e nos casos em que o sulco estava presente foi considerada a distância do sulco até o trajeto ideal do parafuso na técnica de artrodese transarticular C1-C2.

Em cada uma das vértebras estudadas foram analisados separadamente os lados direito e esquerdo para efeito de classificação. Cada conjunto formado pelo istmo da parte interarticular e pela massa lateral do áxis de um mesmo lado foi denominado de complexo istmo-massa lateral e foi classificado em um dos dois tipos observados (figura 19).

Foram classificados como pertencendo ao tipo 1 os complexos istmo-massa lateral de C2 nos quais não foi identificado risco potencial de lesão da

artéria vertebral na técnica de fixação transarticular (figura 20). Nesses casos a altura e a largura do istmo da parte interarticular do áxis mediram 5mm ou mais e a distância do sulco da artéria vertebral ao trajeto ideal do parafuso mediu mais do que 2,5mm.

Figura 20 - Exemplo de complexo istmo-massa lateral do áxis do tipo I, em imagem de reconstrução obtida por meio da tomografia computadorizada helicoidal no plano parassagital oblíquo.

Casos nos quais a morfometria do áxis indicou algum risco potencial de lesão de estruturas neurovasculares com a técnica de fixação transarticular por meio de parafuso foram classificados como do tipo II, tendo sido subdivididos em IIa, IIb e IIc.

Os casos em que a restrição a técnica de fixação transarticular ocorreu apenas ao nível do istmo da parte interarticular foram classificados como pertencendo ao tipo IIa (figura 21). Os complexos istmo-massa lateral do áxis classificados no tipo IIa mostraram significativo afinamento do istmo da parte interarticular, medindo menos do que 5mm, seja em altura ou em largura.

No tipo IIb foram classificados os casos em que o sulco da artéria vertebral ao nível da massa lateral do áxis colocaria em risco a artéria vertebral

se realizada a técnica de fixação transarticular por meio de parafuso. Nos complexos istmo-massa lateral classificados como do tipo IIb o istmo apresentou espessura (altura e largura) considerada como suficiente para passagem do implante (pelo menos 5mm). Entretanto nesses casos a distância do sulco da artéria ao nível da massa lateral do eixo até o trajeto da colocação do parafuso mediu menos do que 2,5mm (figura 22).

Figura 21 – A: Complexo istmo-massa lateral do eixo do tipo IIa, em imagem de reconstrução obtida por meio da tomografia computadorizada helicoidal no plano parassagital oblíquo do lado esquerdo, nesse caso com afilamento da altura do istmo da parte interarticular (seta). B: Complexo istmo-massa lateral do eixo do tipo IIa (outro paciente), em imagem de reconstrução obtida por meio da tomografia computadorizada helicoidal no plano axial oblíquo, nesse caso com afilamento da largura do istmo da parte interarticular (seta).

Figura 22 – Complexo istmo-massa lateral do eixo do tipo IIb, em imagem de reconstrução obtida por meio da tomografia computadorizada helicoidal no plano parassagital oblíquo. A seta indica o sulco da artéria vertebral na massa lateral.

Finalmente no tipo IIc foram classificados aqueles casos em que foram identificados fatores anatômicos que aumentariam o risco de lesão da artéria

vertebral tanto ao nível do istmo quanto ao nível da massa lateral de C2, segundo os critérios definidos (Figura 23).

Figura 23 – Complexo istmo-massa lateral do eixo do tipo IIc. À esquerda, evidenciando corte tomográfico axial (artéria vertebral redundante). À direita, imagem de reconstrução obtida por meio da tomografia computadorizada helicoidal no plano parassagital oblíquo do lado direito. Setas apontando o sulco da artéria vertebral.

Em nossa casuística três complexos istmo – massa lateral (1,5%) seriam classificados como tipo IIc; doze complexos istmo – massa lateral (6%) como tipo IIb e sete complexos istmo – massa lateral (3,5%) como tipo IIa. Os demais complexos istmo-massa lateral (89%) foram classificados como tipo I. Dessa forma identificamos fator anatômico relacionado ao risco de lesão de estruturas neuro-vasculares em um total de 11% dos complexos istmo – massa lateral estudados.

4. Discussão

A artrodese da articulação atlanto-axial tem sido o método de eleição para o tratamento de diferentes doenças e lesões traumáticas que resultam em instabilidade desse segmento da coluna vertebral. Diferentes técnicas cirúrgicas foram desenvolvidas para essa finalidade, sendo o princípio básico a fixação do atlas ao eixo. Inicialmente a fixação do atlas ao eixo foi realizada utilizando seda trançada, fâscia lata e posteriormente foram utilizados fios metálicos de cerclagem em combinação com diferentes modalidades de enxerto ósseo (Krag, 1997).

A fixação da articulação atlanto-axial por meio de parafusos transarticulares ocorreu como uma evolução da técnica de artrodese permitindo a sua realização mesmo nos casos com alteração da anatomia do arco do atlas (agenesia, hipoplasia fratura ou remoção cirúrgica do arco posterior de C1). A técnica descrita por Magerl e Seemann (1987) utilizando parafusos transarticulares destacou-se dentre as técnicas de artrodese tendo sido largamente utilizada.

Do ponto de vista biomecânico a técnica descrita por Magerl é superior em relação às técnicas que utilizam fios de cerclagem possibilitando a utilização de orteses leves ou até nenhuma imobilização no pós-operatório (Caspar, 1987; Hanson et al., 1991, Grob et al. 1991; Wilke et al., 1992; Naderi et al., 1998).

A realização da técnica transarticular de artrodese C1-C2 não está isenta de riscos, destacando-se entre eles o posicionamento inadequado dos parafusos que pode ocasionar laceração da dura-máter, lesão de estruturas nervosas, como o nervo suboccipital ou o nervo hipoglosso, e também lesão da artéria vertebral.

A técnica de fixação transarticular posterior de C1-C2 utilizando parafusos exige conhecimento da anatomia desse segmento da coluna vertebral e dentre os riscos que a técnica apresenta destaca-se a lesão da artéria vertebral. A artéria vertebral pode ser atingida durante a perfuração pela

broca ou durante a inserção dos implantes devido à proximidade entre o trajeto dos implantes e a localização dessa artéria. A lesão da artéria vertebral eventualmente pode ocasionar infarto isquêmico do tronco cerebral ou do cerebelo e mais raramente pode resultar em óbito (Wright & Lauryssen, 1988).

O potencial de lesão da artéria vertebral durante a realização da fixação transarticular C1-C2 por meio de parafusos motivou a realização desse estudo morfométrico que está diretamente relacionado com essa técnica de artrodese. O nosso trabalho foi centrado na avaliação das vértebras C1 e C2 pelas imagens de reconstrução multiplanar da tomografia computadorizada helicoidal nos planos correspondentes aos planos da inserção dos parafusos.

No relato inicial de Magerl & Seemann (1987) não foram descritas lesões da artéria vertebral, entretanto, a possibilidade de lesão de estruturas neurovasculares durante a realização da técnica de fixação transarticular atlanto-axial por meio de parafusos existe e esse risco pode aumentar se não forem consideradas as variações anatômicas individuais de cada paciente.

A lesão da artéria vertebral tem sido a complicação da técnica de fixação transarticular C1-C2 mais enfatizada na literatura que aborda esse tema (Wright & Lauryssen, 1988; Coric et al., 1996; Madawi et al., 1997b; Dickman & Sonntag, 1998).

Madawi et al. (1997b) apontaram três fatores de risco para a lesão da artéria vertebral: redução incompleta da articulação atlanto-axial antes da passagem do parafuso; cirurgia prévia transoral com remoção do tubérculo anterior do atlas que serve de ponto de referência para inserção do parafuso na fluoroscopia e falha na identificação do trajeto da artéria vertebral na massa lateral ou no pedículo de C2. Madawi et al. (1997b) observaram também uma tendência a lesão da artéria vertebral em casos em que os parafusos foram inseridos em posição muito baixa.

Os cinco casos de lesão da artéria vertebral relatados por Madawi et al. (1997b) durante a artrodese C1-C2 aconteceram em situações onde a redução da instabilidade atlanto-axial não tinha sido corrigida adequadamente antes da

inserção do parafuso e em três desses casos o tubérculo anterior do atlas que serve como parâmetro durante a avaliação intraoperatória por meio do intensificador de imagem tinha sido removido previamente. Havia portanto nesses cinco casos de lesão da artéria vertebral fatores explicando a complicação independentemente de haverem variações do trajeto da artéria.

Wright & Lauryssen (1988) relataram 2,4% de casos de lesão da artéria vertebral, mas as informações apresentadas no trabalho não são suficientes para concluir, se as lesões da artéria vertebral foram secundárias ao posicionamento inadequado dos parafusos ou devido a variação da normalidade na trajetória da artéria vertebral. Dickman & Sonntag, 1998 relatam uma oclusão assintomática de artéria vertebral durante a cirurgia de fixação transarticular C1-C2 documentada pela angiografia. Coric et al. (1996) relatam uma fistula artériovenosa como complicação de lesão da artéria vertebral, que foi diagnosticada pela mielo-tomografia e angiografia após 12 semanas no pós-operatório.

A importância da realização de exames de diagnóstico por imagem pré-operatórios com o objetivo de estudar a anatomia óssea e da artéria vertebral e sua relação com as estruturas ósseas tem sido enfatizada por vários autores (Madawi et al., 1997a; Dickman & Sonntag, 1998; Solanski & Crockard, 1999; Mandel et al., 2000; Howington et al., 2001).

Dull & Toselli (1995) descreveram um método para a avaliação pré-operatória das variações anatômicas do eixo pela tomografia computadorizada com o objetivo de minimizar os riscos da inserção dos parafusos transarticulares. Os autores propuseram a realização do exame pré-operatório de tomografia computadorizada com cortes axiais oblíquos para a identificação do plano de inserção do parafuso. O plano axial oblíquo, que corresponde ao plano de inserção dos parafusos foi obtido por meio da inclinação máxima permitida da estrutura do aparelho de tomografia e por meio da elevação da cabeça do paciente com um apoio fixo. O plano axial oblíquo utilizado para a mensuração dos parâmetros utilizados em nosso trabalho foi obtido por meio de reconstruções multiplanares, sendo semelhante ao plano axial oblíquo

utilizado por Dull & Toselli (1995), porem com vantagem pois possibilita a avaliação das estruturas ósseas no trajeto da inserção do implante sem necessidade de utilizar apoio para a cabeça do paciente que pode ficar confortável na posição em decúbito dorsal horizontal. A avaliação das variações anatômicas por meio do protocolo utilizado no presente trabalho permite que as imagens sejam reconstruídas nos planos axial oblíquo e parassagital oblíquo, independentemente do paciente apresentar escoliose ou de um posicionamento rigoroso do paciente, tornando o método de fácil aplicação prática.

A metodologia utilizada por Mandel et al. (2000) para a mensuração da altura e da largura do istmo foi diferente da empregada em nosso estudo. Mandel et al. (2000) utilizaram vértebras de cadáver realizando medidas com paquímetro digital, enquanto que em nosso trabalho a mensuração foi feita por meio da tomografia computadorizada nos dois planos anatômicos escolhidos. Na série de Mandel et al. (2000) também foram realizadas medidas pela tomografia computadorizada em 6 casos escolhidos e a diferença média entre os valores obtidos das medidas nas vértebras secas e os valores medidos na tomografia foi de $1,1\text{mm} \pm 1,0\text{mm}$ para a altura do istmo e $0,9\text{mm} \pm 0,4\text{mm}$ para a largura do istmo.

Mandel et al. (2000) observaram os valores de $7,4\text{mm} \pm 1,7\text{mm}$ para largura do istmo da parte interarticular direita e $8,0\text{ mm} \pm 1,7\text{mm}$ para a largura do istmo da parte interarticular esquerda. Para a largura do istmo nós observamos os valores de $7,75\text{mm} \pm 1,23\text{mm}$ e $7,77\text{mm} \pm 1,33\text{mm}$ nos lados direito e esquerdo respectivamente. Mandel et al. (2000) observaram para a altura do istmo da parte interarticular os valores médios de $7,6\text{mm} \pm 1,3\text{mm}$ no lado direito e de $7,9\text{mm} \pm 1,4\text{mm}$ no lado esquerdo. Em nossa casuística observamos os valores de $8,23\text{mm} \pm 1,72\text{mm}$ e $7,73\text{mm} \pm 1,75\text{mm}$ para a altura dos istmos das partes interarticulares respectivamente dos lados direito e esquerdo. Desse modo a diferença entre os valores por nós observados e os valores observados por Mandel et al. (2000) não nos parece significativa do ponto de vista prático.

Mandel et al. (2000) identificaram algumas vértebras em que o istmo da parte interarticular apresentou valores iguais ou inferiores a 5mm em altura ou largura, e consideraram esta variação da normalidade um fator de risco de lesão da artéria vertebral quando a técnica de fixação transarticular atlanto-axial é utilizada. Observaram este tipo de ocorrência em 11,7% das vértebras C2 estudadas. Mandel et al. (2000) não estudaram com detalhe a relação entre os elementos ósseos e a artéria ao nível da massa lateral da segunda vértebra cervical.

Em nossa casuística foi identificado o afilamento unilateral do istmo da parte interarticular ($\leq 5\text{mm}$), seja em altura ou largura, em 10 vértebras, correspondendo a 5% do total dos istmos estudados, sendo cinco de cada lado. Em três vértebras ambos os parâmetros, a altura e a largura do istmo, apresentaram valores inferiores a 5mm. Em uma das vértebras estudadas o afilamento ocorreu isoladamente na largura do istmo (figura 21b). Segundo os critérios utilizados foi observada redução isolada da altura do istmo da parte interarticular em seis das vértebras.

O sulco da artéria vertebral na massa lateral do áxis é um dos pontos críticos para a inserção do parafuso. Madawi et al. (1997a) estudaram a massa lateral de C2 realizando a mensuração das alturas externa e interna da massa lateral ao nível do topo do sulco da artéria vertebral e da altura do próprio sulco da artéria. Observaram vértebras em que a artéria vertebral produzia uma erosão suficiente para afilar significativamente a altura interna da massa lateral de C2 ($\leq 2,1\text{mm}$) medida junto ao ápice do sulco da artéria vertebral e consideraram que em 22% dos espécimes examinados a fixação por parafusos C1/C2 colocaria em risco a artéria vertebral. Solanski & Crockard (1999) também observaram afilamento da massa lateral em 22% dos espécimes utilizando os mesmos critérios.

No entanto os resultados desses estudos morfométricos (Madawi et al., 1997a e Solanski & Crockard, 1999) contrastam com a baixa incidência de lesões da artéria vertebral observada em vários estudos clínicos (Grob et al.,

1991; Jeanneret & Magerl, 1992; Marcotte et al., 1993; Stillerman & Wilson, 1993; Haid, 2001).

Esta discrepância de resultados poderia ser explicada pela hipótese de que quando se emprega a técnica de artrodese de Magerl o trajeto do parafuso não passa necessariamente próximo ao topo do sulco da artéria vertebral. O caminho do parafuso na técnica de Magerl passa pelo istmo da parte interarticular e pela massa lateral do eixo, até ultrapassar a articulação facetária C1/C2. A broca é direcionada pela superfície medial e posterior do istmo de C2, ultrapassando a massa lateral de C2 em direção a massa lateral de atlas. Em geral esse trajeto evita a porção mais lateral da massa lateral do eixo. Mesmo em alguns dos casos em que o sulco da artéria vertebral está proeminente, com afilamento significativo da altura interna da massa lateral do eixo da forma mensurada por Madawi et al. (1997a), pode não haver interferência do sulco da artéria com a trajetória do implante.

No trabalho atual o eixo de colocação do parafuso foi a referência utilizada para a realização das medidas incluindo os comprimentos, os ângulos, a distância desse eixo ao sulco da artéria vertebral e a distância entre o ponto de inserção do implante até a cortical anterior do atlas, que está relacionada ao comprimento ideal do parafuso. Foram utilizados os planos parassagital e axial oblíquos, que foram escolhidos de forma a demonstrar o trajeto ideal do parafuso (figuras 9 e 10). Foram considerados como colocando em risco a artéria vertebral na técnica de fixação transarticular somente os casos em que o sulco da artéria vertebral se insinuava medialmente a ponto de aparecer na imagem obtida no plano parassagital oblíquo e interferindo com o trajeto de inserção do implante.

O sulco da artéria vertebral foi observado nas imagens obtidas no plano parassagital oblíquo escolhido em 37 dos 200 conjuntos anatômicos istmo-massa lateral estudados, ou seja, em 18,5% dos complexos istmo-massa lateral do eixo. Consideramos como relacionadas a maior risco de lesão da artéria vertebral as situações nas quais a distância mensurada entre o trajeto ideal do implante e o sulco da artéria era $\leq 2,5\text{mm}$. Isto ocorreu em apenas 15

(7,5%) das massas laterais estudadas, sendo 8 do lado direito e 7 do lado esquerdo (tabela 7). O valor de segurança de 2,5mm para essa distância do sulco da artéria vertebral ao trajeto ideal do parafuso foi escolhido de forma a representar o mesmo nível de segurança preconizado por Mandel et al. (2000) em relação a passagem do parafuso pelo istmo da parte interarticular do eixo na técnica de Magerl. Mandel et al. (2000) aceitaram como limite de segurança a espessura de 5mm para a altura e para a largura do istmo da parte interarticular do eixo, em relação a passagem do parafuso na artrodese transarticular C1-C2. Idealmente o parafuso deve evitar tanto a cortical superior quanto a cortical inferior do istmo da parte interarticular e portanto o limite de segurança escolhido por Mandel et al. (2000) equivalente a distância de 2,5mm do trajeto ideal do parafuso em relação a cada uma dessas corticais ósseas. Portanto no trabalho atual o mesmo nível de segurança foi adotado em relação ao sulco da artéria na massa lateral.

Em nossa série observamos valores médios estatisticamente superiores para os indivíduos do sexo masculino para todos os parâmetros lineares estudados tanto do lado direito quanto do lado esquerdo. Trabalhos a respeito da morfometria do eixo realizados anteriormente apontaram para diferença semelhante entre os sexos masculino e feminino (Xu et al., 1995; Mandel et al., 2000). Esses autores também não dispunham de informações a respeito do peso e da altura dos indivíduos cujos espécimes foram estudados.

Foram identificadas diferenças estatisticamente significativas entre o lado direito e o lado esquerdo para três dos parâmetros estudados, entretanto não conseguimos definir o significado desse achado. Mandel et al. (2000) utilizando metodologia diferente e mensurando vértebras de cadáver também encontrou diferença estatisticamente significativa entre as dimensões (altura e largura) do istmo quando comparou os lados direito e esquerdo, entretanto naquela amostra as dimensões do istmo direito foram menores do que as do istmo esquerdo. No trabalho atual ao contrário a altura do istmo da parte interarticular de C2 foi estatisticamente maior do lado direito. A associação com a maior incidência de dominância da artéria vertebral do lado esquerdo levando

a remodelação óssea do istmo poderia ser uma hipótese para explicar esse achado. Entretanto não encontramos argumentos para explicar porque os valores mensurados do ângulo sagital foram estatisticamente maiores do lado direito, nem para explicar porque os valores mensurados foram estatisticamente maiores para o comprimento ideal do parafuso do lado esquerdo. Mandel et al. (2000) também não apresentaram uma justificativa para a diferença encontrada.

Além da largura e da altura do istmo da parte interarticular, foi realizada a mensuração do comprimento ideal na trajetória do parafuso transarticular C1-C2. A importância do estudo do comprimento ideal do parafuso a ser utilizado reside no fato de que parafusos mais compridos do que o ideal ou mal posicionados podem levar a lesão do nervo hipoglosso como complicação da fixação transarticular C1-C2 (Grob et al., 1991).

Xu et al. (1995) fizeram a mensuração do comprimento da região anatômica que em nosso trabalho denominamos de istmo da parte interarticular, porém utilizando a denominação de pedículo para esta região anatômica. A mensuração realizada por aqueles autores é diferente do comprimento ideal do parafuso obtida no presente trabalho, visto que o parafuso passa pela massa lateral de C2 e depois pela massa lateral de C1, com orientação diferente da orientação do eixo maior do istmo do eixo.

Xu et al. (1998) estudaram a confiabilidade das radiografias laterais na determinação do comprimento ótimo do parafuso transarticular C1-C2 e concluíram que a projeção lateral não é confiável para determinar o comprimento ideal do parafuso.

Nadim et al. (2000) realizaram a mensuração de alguns parâmetros anatômicos por meio da tomografia computadorizada e discutiram as implicações clínicas dos resultados obtidos na técnica de fixação transarticular C1-C2. As mensurações realizadas incluíram a distância vertical entre o ponto médio do córtex ventral da massa lateral e o ponto mais anterior do tubérculo anterior do atlas ($6,5\text{mm} \pm 1\text{mm}$) e o ângulo entre o anel anterior de C1 e o plano frontal ($22^{\circ} \pm 3,1^{\circ}$). As mensurações realizadas por Nadim et al. (2000)

foram motivadas pela necessidade sentida pelos autores em determinar parâmetros métricos relacionando a massa lateral de C1 onde o implante é posicionado e o tubérculo anterior do atlas que serve como ponto de referência durante o intraoperatório na fluoroscopia. Portanto Nadim et al. (2000) estudaram parâmetros que podem ajudar na escolha do comprimento ideal do parafuso, mas não estimaram essa medida de forma direta.

Hanson et al. (1991) realizaram medidas do comprimento do parafuso em cinco vértebras de cadáver e observaram o valor médio de 39 mm. Ebraheim et al. (2000) estudaram o comprimento ideal do parafuso na fixação transarticular C1-C2 utilizando 20 vértebras de cadáver. Foram realizadas perfurações das vértebras com as brocas de acordo com a técnica preconizada para fixação transarticular C1-C2 e posteriormente foram realizadas as mensurações do comprimento total do trajeto do parafuso, o qual foi identificado por meio do sulco produzido nas duas vértebras, desde a cortical dorsal de C2 até a cortical ventral da massa lateral de C1. O comprimento ideal ou ótimo do parafuso foi de $38,1\text{mm} \pm 2,2\text{mm}$, considerando-se os lados direito e esquerdo juntamente. Não foram observadas diferenças significativas entre os sexos e não foram comparados os valores dos lados direito e esquerdo. Ebraheim et al. (2000) também estudaram a localização do nervo hipoglosso, identificando o nervo anteriormente à porção lateral da massa lateral e da articulação facetária C1-C2, cerca de 2mm a 3mm lateral ao ponto médio do aspecto anterior da massa lateral de C1. Ebraheim et al. (2000) concluíram que se a técnica de Magerl for utilizada adequadamente o risco de lesão do nervo hipoglosso pode ser praticamente eliminado.

Em nosso trabalho o valor médio para o comprimento ideal do parafuso foi $39,03\text{mm} \pm 2,81\text{mm}$. Foi observada diferença estatisticamente significativa do comprimento ideal do parafuso quando comparados os valores dos lados direito e esquerdo e os valores dos sexos masculino e feminino. Essas diferenças estatísticas entre os valores médios são menores do que 1,5mm e é possível que não tenham importância clínica. Os valores observados para o

comprimento ideal do parafuso são próximos dos valores observados por Ebraheim et al. (2000) e iguais aos resultados de Hanson et al. (1991).

Foram mensurados os ângulos de inserção do parafuso na técnica de fixação transarticular atlanto-axial tanto no plano parassagital oblíquo quanto no plano axial oblíquo. Obtivemos para o ângulo medial no trajeto do parafuso os valores de $7,9^{\circ} \pm 4,05^{\circ}$ e para o ângulo sagital no trajeto do parafuso $57,54^{\circ} \pm 5,28^{\circ}$.

Não encontramos trabalhos realizando de forma direta a mensuração desses dois ângulos na literatura dedicada a técnica de fixação transarticular C1-C2. Alguns trabalhos relataram mensurações angulares da anatomia do eixo, sem relação específica com a artrodese C1-C2. Madawi et al. (1997b) estudaram a medida do ângulo medial do complexo pedículo-faceta. Xu et al. (1995) estudaram os ângulos sagital e medial do istmo da parte interarticular de C2 em vértebras de cadáver.

Solanski & Crockard (1999) descreveram um método de reconstrução da trajetória do parafuso utilizada na técnica de fixação transarticular atlanto-axial através de técnicas assistidas por computador (CAD – *computer aided design*). Utilizaram vértebras de cadáver e através dessa técnica foram determinados ângulos de segurança para a trajetória do parafuso trans-articular. Os ângulos de segurança através dessa técnica podem ser obtidos através de medidas referentes à altura do sulco da artéria vertebral na massa lateral de C2. A trajetória considerada como segura para o parafuso pode ser reproduzida por meio do intensificador de imagem no intra-operatório pela superposição de fios metálicos com o perfil da coluna cervical. Solanski & Crockard (1999) não mensuraram de maneira direta o ângulo sagital da trajetória do parafuso.

Existem dois pontos relacionados à metodologia utilizada em nosso estudo que merecem consideração. As medidas realizadas não foram normalizadas em relação às dimensões de cada indivíduo. Indivíduos maiores, mais altos ou mais pesados, por exemplo, poderão apresentar valores estatisticamente superiores para os parâmetros estudados. Infelizmente não havia dados disponíveis a respeito de peso ou altura dos pacientes

examinados. Também não encontramos trabalhos a respeito de parâmetros morfométricos da coluna vertebral levando em consideração esta questão. Outra informação a ser considerada é a de que os exames de diagnóstico por imagem utilizados no nosso trabalho foram realizados para estudo de doenças vasculares das carótidas o que ocasionou a concentração da maioria dos pacientes em uma determinada faixa etária. A média de idade dos pacientes foi de 66,4 anos e apenas cinco de um total de cem pacientes possuíam idade inferior a 40 anos na época da realização do exame. Dentro do grupo estudado a idade não apresentou influência estatisticamente demonstrável sobre os parâmetros mensurados. Como a amostra difere da população geral por este motivo não podemos chegar a conclusão de que a idade do paciente não tem influencia sobre os parâmetros mensurados na população geral.

Por outro lado o fato de ter sido possível realizar a avaliação das variações anatômicas do eixo e a mensuração consistente dos parâmetros morfométricos relacionados com a técnica de artrodese partindo de um protocolo desenhado para o estudo das artérias carótidas, pode sugerir a simplicidade e robustez da aplicação da técnica de reconstruções multiplanares (MPR). Na situação real de avaliação do complexo atlanto-axial não haveria necessidade de aquisição volumétrica desde a fúrcula esternal até a sela túrcica, que foi realizada nos pacientes desse trabalho por causa da indicação clínica que era o estudo de doenças arteriais. Assim o protocolo de estudo de C1-C2 poderia privilegiar na situação prática a utilização de cortes mais finos ou de uma sobreposição maior entre os cortes contíguos o que resultaria em melhor definição das imagens de reconstrução multiplanar.

Há pelo menos dois pontos críticos para inserção do parafuso transarticular C1-C2, o istmo da parte interarticular (Mandel et al., 2000) e a massa lateral do eixo (Madawi et al., 1997a). Tendo como base as nossas observações foi possível elaborar uma classificação da morfologia da vértebra C2 a partir da análise das imagens obtidas nos planos parassagital e axial oblíquo da tomografia computadorizada pré-operatória (figura 19). A classificação foi baseada na análise da morfologia do istmo da parte

interarticular de C2, da massa lateral de C2 e do sulco da artéria vertebral na massa lateral de C2, conforme visualização por meio das reconstruções MPR.

Em nossa casuística três complexos istmo – massa lateral (1,5%) seriam classificados como tipo IIc; doze complexos istmo – massa lateral (6%) como tipo IIb e sete complexos istmo – massa lateral (3,5%) como tipo IIa. Nos demais complexos istmo-massa lateral (89%), classificados como tipo I, não identificamos nenhum fator que colocaria em risco a artéria vertebral ou outras estruturas neuro-vasculares com a utilização da técnica de fixação por meio do parafuso transarticular. Portanto algum fator anatômico relacionado ao risco de lesão de estruturas neuro-vasculares foi observado em um total de 11% dos complexos istmo - massa lateral estudados.

Os resultados do presente estudo reforçam a necessidade da avaliação pré-operatória por meio da tomografia computadorizada helicoidal nos casos em que exista a indicação da artrodese C1-C2. Esta avaliação pré-operatória pode contribuir no processo de indicação da técnica de fixação transarticular e na identificação dos riscos da técnica em cada caso individual.

O trabalho mostrou que a avaliação pré-operatória por meio da tomografia computadorizada helicoidal com reconstruções multiplanares nos planos axial e parassagital oblíquos permite a identificação de variações anatômicas relacionadas com a aplicação dessa técnica cirúrgica. O estudo não exige um posicionamento rigoroso do paciente durante a aquisição volumétrica das imagens visto que assimetrias de posicionamento podem ser corrigidas durante as reconstruções.

O trabalho atual apresenta um protocolo de estudo pré-operatório por meio de reconstruções multiplanares da tomografia computadorizada helicoidal nos planos axial oblíquo e parassagital oblíquo escolhidos de forma a visualizar diretamente o trajeto ideal do parafuso e possíveis variações da normalidade dos elementos ósseos envolvidos e da artéria vertebral. O protocolo sugerido a ser utilizado deve incluir estes planos de reconstrução fazendo-se as mensurações dos parâmetros morfométricos abordados pelo trabalho.

É possível encontrar em alguns dos trabalhos anteriormente publicados com interesse na técnica de fixação transarticular a presença de algumas ilustrações de imagens de MPR da tomografia computadorizada helicoidal avaliando a articulação atlanto-axial (Madawi et al., 1997b; Dickman & Sonntag, 1998; Mandel et al., 2000). Madawi et al., 1997b faz breve referência a avaliação por meio de reconstruções (MPR) no plano sagital passando pelo ponto médio das massas laterais de C1 e de C2, equivalente ao nosso plano parassagital. Não há outras menções claras em relação ao protocolo a ser utilizado, visto que o objetivo desses trabalhos não era a descrição de um protocolo pré-operatório.

Em função dos resultados obtidos foi possível propor uma classificação inédita para a morfologia do eixo, segundo a avaliação do istmo e da massa lateral nas imagens de reconstrução multiplanar (MPR), indicando o risco potencial para a realização da artrodese transarticular por meio de parafusos.

5. Conclusões

Foram descritos parâmetros morfométricos do eixo e do atlas relacionados ao emprego da técnica de artrodese transarticular C1-C2 mensurados por meio de imagens de reconstrução multiplanar da tomografia computadorizada helicoidal.

Os parâmetros lineares mensurados apresentaram valores estatisticamente superiores no sexo masculino em relação ao sexo feminino.

Houve boa reprodutibilidade das mensurações realizadas por meio da tomografia computadorizada helicoidal nas imagens de reconstrução multiplanar.

Existe grande variação entre os valores máximos e mínimos dos parâmetros morfométricos estudados, devendo-se ter muita cautela na utilização dos valores das médias na aplicação prática em cirurgias de artrodese C1-C2.

A avaliação do eixo nos planos axial e parasagital oblíquos por meio das reconstruções multiplanares da tomografia computadorizada helicoidal demonstrou 11% de complexos istmo – massa lateral de C2 em que variações da normalidade na morfologia da vértebra podem estar relacionadas ao risco de lesão de estruturas neuro-vasculares na técnica de fixação transarticular C1-C2. Portanto a avaliação pré-operatória por meio da tomografia computadorizada helicoidal é importante para identificar essas variações da normalidade.

Com base nos resultados do trabalho foi apresentado um protocolo de avaliação pré-operatória utilizando as imagens de reconstrução multiplanar nos planos axial oblíquo e parasagital oblíquo.

6. Referências bibliográficas

1. AEBI M.; THALGOTT J.S.; WEBB J.K. Stabilization techniques: upper cervical spine. In: **AO ASIF Principles in spine surgery**, Berlin Heidelberg Springer-Verlag 1998, chapter 5, p.45-48.
2. ANDERSON R.E.; SHEALY C.N. Cervical pedicle erosion and rootlet compression caused by a tortuous vertebral artery. **Radiology**, v.96, p.537-538, 1970.
3. ANDERSON L.D.; D'ÁLONZO R.T. Fractures of the odontoid process of the axis. **J Bone Joint Surg (A)** v.56, n.8, p.1663-1674, 1974.
4. BENZEL E.C. Anatomic consideration of C2 pedicle screw placement. Letter to the editor. **Spine** v.21, n.19, p.2301-2302, 1996.
5. BERGUER R. The vertebrobasilar system; anatomy and surgical exposure. In_HAIMOVICI H. **Vascular Surgery**. 4th edition. Cambridge: Blacwell Science, Inc. 1996. Chapter 25, p.354-357.
6. BERRY J.L.; MORAN J.M.; BERR W.S.; STEFFEE A.D. A morphometric study of human lumbar and selected thoracic vertebrae. **Spine** v.12, n.4, p.362-367, 1987.
7. BLAUTH M.; RICHTER M.; LANGE U. Trans-articular screw fixation of C1-C2 in atlanto-axial instability. Comparison between percutaneous and open procedures. **Orthopade** v.28, n.8, p.651-661, 1999.
8. BOHLMAN H.H. Atlantoaxial dislocations in the arthritic patient: report of 45 cases. **J Bone Joint Surg (B)** v.2, n. , p.197, 1978.
9. BORNE G.M.; BEDOU G.L.; PINDAUDEAU M. Treatment of pedicular fractures of the axis: a clinical study and screw fixation technique. **J. Neurosurgery** v.60, n.1, p.88-93, 1984.
10. BLAND J.H.; BOUSHEY D.R. Anatomy and biomechanics. In: BLAND J.H. **Disorders of the cervical spine: diagnosis and medical management**. London: Saunders, 1987. p.9-63.

11. BROOKS R.A.; Di CHIRO G. Theory of image reconstruction in computed tomography. **Radiology** v.117, n.3, p.561-721, 1975.
12. BROOKS A.L.; JENKINS E.B. Atlanto-axial arthrodesis by the wedge compression method. **J. Bone Joint Surg (A)** v.60, n.3, p.279-284, 1978.
13. CASPAR W. Anterior stabilization with the trapezial osteosynthetic plate technique in cervical spine injuries. In: ____KEHR P. & WEIDNER A., eds. **Cervical Spine**, 1st edition. New York: Springer-Verlag, 1987. p.198-204.
14. CAVALCANTI M.G.; YANG J.; RUPRECHT .A; VANNIER M.W. Validation of spiral computed tomography for dental implants. **Dentomaxillofac Radiol** v.27, n.6, p.329-333, 1998.
15. CAVALCANTI M.G.; YANG J.; RUPRECHT .A; VANNIER M.W. Accurate linear measurements in the anterior maxilla using orthoradially reformatted spiral computed tomography. **Dentomaxillofac Radiol** v.28, n.3, p.137-140, 1999.
16. CINOTTI G.; GUMINA S.; RIPANI M.; POSTACCHINI F. Pedicle instrumentation in the thoracic spine. **Spine**, v.24, n.2, pp.114-119, 1999.
17. CONATY J.P.; MONGAN E.S. Cervical fusion in rheumatoid arthritis. **J. Bone Joint Surg (A)** v.63, n.8 , p.1218-1227, 1981.
18. CORIC D.; BRANCH C.L.; WILSON J.A.; ROBINSON J.C. Arteriovenous fistula as a complication of C1-C2 transarticular screw fixation. Case report and review of the literature. **J. Neurosurg** v.85, n.2, p.340-343, 1996.
19. DEFINO H.L.A.; MAUAD FILHO J. Estudo morfométrico do pedículo das vértebras torácicas e lombares. **Rev. Bras. Ortopedia**, v.34, n.2, p.97-108, 1999.
20. DICKMAN C.A.; SONNTAG V.K.H.; PAPADOPOULOS S.M.; HADLEY M.N. The interspinous method of posterior atlantoaxial arthrodesis. **J Neurosurg** v.74, n.2, p.190-198, 1991.

21. DICKMAN C.A.; SONNTAG V.K.H. Posterior C1-C2 transarticular screw fixation for atlantoaxial arthrodesis. **Neurosurgery**, v.43, n.2, p.275-281, 1998.
22. DOHERTY B.J; HEGGENES M.H. Quantitative anatomy of the second cervical vertebra. **Spine**, v.20, n.5, p.513-517, 1995.
23. DULL S.T. & TOSELLI R.M. Preoperative oblique axial computed tomographic imaging for C1-C2 transarticular screw fixation: technical note. **Neurosurgery**, v.37, n.1, p.150-152, 1995.
24. EBRAHEIM N.A.; ROLLINS J.R.; XU R.; JACKSON W.T. Anatomic consideration of C2 pedicle screw placement. **Spine** V.21, n. 6, pp. 691-695, 1996.
25. EBRAHEIM N.A.; XU R.; AHMAD M.; YEASTING R.A. Projection of the thoracic pedicle and its morphometric analysis. **Spine**, v.22, n.3, pp.233-238, 1997.
26. EBRAHEIM N.A.; XU R.; AHMAD M.; HECK B. The quantitative anatomy of the vertebral artery of the Atlas and its relation to the posterior atlantoaxial approach. **Spine**, v.23, n.3, pp.320-323, 1998.
27. EBRAHEIM N.A.; MISSON J.R.; XU R.; YEASTING R.A. The optimal trans-articular C1-C2 screw length and the location of the hypoglossal nerve. **Surg Neurol** v.53, n.3, p.208-210, 2000.
28. FERLIC D.C.; CLAYTON M.L.; LEIDHOLT J.D.; GAMBLE W.E. Surgical treatment of the symptomatic unstable cervical spine in rheumatoid arthritis. **J. Bone Joint Surg (A)** v.57, n.3 , p. 349-354, 1975.
29. FIELDING J.W; HAWKINS R.J.; RATZAN S.A. Spine fusion in atlanto-axial instability. **J. Bone Joint Surg (A)** v.58, n.3, p.400-407, 1976.
30. FIELDING J.W; HENSINGER R.N.; HAWKINS R.J. Os odontoideum . **J. Bone Joint Surg (A)** v.62, n.3 , p.376-383, 1980.

31. FLEISS J.L.; COHEN J. The equivalence of weighted kappa and the intraclass corelation coefficient as measures of reliability. **Educ Psychol Meas**, v.33, p.613-619, 1986.
32. GLYNN M.K.; SHEEHAN J.M. Fusion of the cervical spine for instability. **Clin Orthop** v.179, n. , p.97-101, 1983.
33. GORDON R.; HERMAN G.T.; JOHNSON S.A. Image reconstruction from projections. **Sci Am** v.233, n.4, p.56-68,1975.
34. GRISWOLD D.M.; ALBRIGHT J.A.; SCHIFFMAN E.; JOHNSON R.; SOUTHWICK W.O. Atlanto-axial fusion for instability. **J. Bone Joint Surg (A)** v.60, n.3 , p.285-292, 1978.
35. GROB D.; MAGERL F. Surgical stabilization of C1 and C2 fractures. **Orthopade** v.16, n.1, p46-54, 1987.
36. GROB D.; JEANNERET B.; AEBI M.; MARKWALDER T. Atlanto-axial fusion with transarticular screw fixation. **J. Bone Joint Surg (Br)** v.73-B, n.6, p.972-976, 1991.
37. GROB D; CRISCO J.J.; PANJABI M.M.; WANG P; DVORAK J Biomechanical evaluation of four different posterior atlantoaxial fixation techniques. **Spine** v.17, n.5, p.480-490, 1991.
38. HAID R.W. C1-C2 transarticular screw fixation: technical aspects. **Neurosurgery** v.49, n.1, p.71-74, 2001.
39. HANSON P.B.; MONTESANO P.X.; SHARLEY N.A.; RAUSCHNING W. Anatomic and biomechanical assesment of transarticular screw fixation for atlantoaxial instability. **Spine** v.16, n.10, p.1141-1145, 1991.
40. HARMS J.; MELCHER R.P. Posterior C1-C2 fusion with polyaxial screw and rod fixation. **Spine** v.26, n.22, p.2467-2471, 2001.
41. HEGGENES M.H.; DOHERTY B.J. The trabecular anatomy of the axis. **Spine**, v.18, n.14, p.1945-1949, 1993.

42. HOUNSFIELD G.N. Computerized transverse axial scanning (tomography).
1. Description of system. **Br J Radiol** v.46, n.552, p.1016-1022, 1973.
43. HOWINGTON J.U.; KRUSE J.J & AWASTHI D. Surgical anatomy of the C2 pedicle. **J Neurosurg** v. 95 (1suppl), p.88-92, 2001.
44. JEANNERET B.; MAGERL F. Primary posterior fusion C1/C2 in odontoid fractures: indications, techniques, and results of transarticular screw fixation. **J Spinal Disord** v.5, n.4, p.464-475, 1992.
45. KALENDER W.A.; SEISSLER W.; VOCK P. Single-breath-hold spiral volumetric CT by continuous patient translation and scanner rotation. **Radiology**, 173, pp.414- , 1989.
46. KALENDER W.A.; SEISSLER W.; KLOTZ E.; VOCK P. Spiral volumetric CT with single-breath-hold technique, continuous transport, and continuous scanner rotation. **Radiology** v.176, n.1, pp.181-183, 1990.
47. KARAICOVIC E.E.; DAUBS M.D.; MADSEN R.W.; GAINES R.W. Morphologic characteristics of human cervical pedicles. **Spine**, v.22, n.5, pp.493-500, 1997.
48. KIM N.; LEE H.; CHUNG I.; KIM H.; KIM S. Morphometric study of the pedicles of thoracic and lumbar vertebrae in koreans. **Spine**, v.19, n.12, pp.1390-1394, 1994.
49. Krag M.H.; WEAVER D.L.; BEYNNON B.D.; HAUGH L.D. Morphometry of the thoracic and lumbar spine related to transpedicular screw placement for surgical spinal fixation. **Spine**, v.13, n.1, pp.27-32, 1988.
50. Krag M.H. Biomechanics of the cervical spine: Internal fixation. In FRYMOYER J.W. **The adult spine: principles and practice**. 2nd edition. Philadelphia: Lippincot-Raven Publishers, 1997, chapter 53, p.1096-1109.
51. LEVINE A.M.; EDWARDS C.C. Treatment of injuries in the C1-C2 complex. **Orthop Clin North Am** v.17, n.1 , p.31-44, 1986.
52. LUBOLDT W.; WEBER R.; SEEMANN M.; DESANTIS M.; REISER M. Influence of helical CT parameters on spatial resolution in CT angiography

- performed with a subsecond scanner. **Invest Radiol** v.34, n.6, p.421-426, 1999.
53. MADAWI A. A.; SOLANKI G.; CASEY A. T.H.; CROKARD H.A. Variation of the groove in the axis vertebra for the vertebral artery – implications for instrumentation. **J Bone and Joint Surg**, v.79-B, n.5, p.820-823, 1997a.
54. MADAWI A. A.; CASEY A. T.H.; SOLANKI G.A.; TUIITE G.; VERES R.; CROKARD H.A. Radiological and anatomical evaluation of the atlantoaxial transarticular screw fixation technique. **J. Neurosurg** v.86, n.6, p.961-968, 1997b.
55. MAGERL F.; SEEMAN P.S. Stable posterior fusion of the atlas and axis by trans-articular screw fixation. **Cervical spine J.** Chap.4 Edited by KEHR P. & WEIDNER A. New York, Springer Verlag, p.322-327, 1987.
56. MANDEL I.M.; KAMBACH B.J.; PETERSILGE C.A.; JOHNSTONE B.; YOO J.U. Morphologic considerations of C2 isthmus dimensions for the placement of transarticular screws. **Spine** v.25, n.12, p.1542-1547, 2000.
57. MARCOTTE P.; DICKMAN C.A.; SONNTAG V.K.H. et al. Posterior atlantoaxial facet screw fixation. **J Neurosurg** v.79, n.2 , p.234-237, 1993.
58. McCORMACK B.M.; BENZEL E.C.; ADAMS M.S.; BALDWIN N.G.; RUPP F.W.; MAHER D.J. Anatomy of the thoracic pedicle. **Neurosurgery**, v.37, n.2, pp.303-308, 1995.
59. McGRAW R.W.; RUSCH R.M. Atlanto-axial arthrodesis. **J Bone Joint Surg** v.55B, n.3, p.482-489, 1973.
60. MITRA S.R.; DATIR S.P.; JADHAV S.O. Morphometric study of the lumbar pedicle in the Indian population as related to pedicular screw fixation. **Spine** v.27, n.5, pp.453-459, 2002.
61. NADERI S.; CRAWFORD N.R.; SONG G.S ; SONNTAG V.K.H. ; DICKMAN C.A. Biomechanical comparison of C1-C2 posterior fixations: cable, graft, and screw combinations. **Spine**, v.23, n.18, p.1946-1956, 1998.

62. NADIM Y.; SABRY F.; XU R.; EBRAHEIM N. Computed tomography in the detemination of transarticular C1-C2 screw length. **Orthopedics** v.23, n.4, p. 373-375, 2000.
63. OLCOTT E.W.; SOMMER F.G.; NAPEL S. Accuracy of detection and measurement of renal calculi: in vitro comparison of three-dimensional spiral CT, radiography, and nephrotomography. **Radiology** v.204, n.1, p.19-25, 1997.
64. PRIETO L.L.R.; CASADO A. Assessment ot the reliability of clinical findings: the intraclass correlation coeficient. **Med Clin (Barc)** v.110, n.4, p.142-145, 1998.
65. RANAWAT C.S.; O'LEARY P.; PELLICCI P.M.; TSAIRIS P.; MARCHISELLO P.; DORR L. Cervical spine fusion in rheumatoid arthritis. . **J. Bone Joint Surg (A)** v.61, n. 7, p.1003-1010, 1979.
66. SAILLANT G. Étude anatomique des pèdicules vertebraux. **Revue de Chirurg Orthop**, v.62, pp.151-160, 1976.
67. SCHAFFLER M.B.; ALSON M.D.; HELLER J.G.; GARFIN S.R. Morphology of the dens: a quantitative study. **Spine** v.17, n.7, p.738-743, 1992.
68. SEERAN E. Physical principles of computed tomography. In: **Computed Tomography. Physical principles, clinical applications, and quality control**. Second edition, Philadelphia, W.B. Saunders Company, 2001, chapter 4, p.59-74.
69. SHIN E.K.; PANJABI M.M.; CHEN N.C.; WANG J. The anatomic variability of human cervical pedicles: considerations for transpedicular screw fixation in the middle and lower cervical spine. **Eur Spine J**, v.9, n.1, pp.61-66, 2000.
70. SMITH K.E.; COMMEAN P.K.; ROBERTSON D.D.; PILGRAM T.; MUELLER M.J. Precision and accuracy of computed tomography foot measurements. **Arch Phys Med Rehabil** v.82; n.7; p.925-929, 2001.

71. SOLANSKI G.A.; CROCKARD H.A. Preoperative determination of the safe superior transarticular screw trajectory through the lateral mass. **Spine**, v.24, n.14, p.1477-1482, 1999.
72. STANESCU S.; EBRAHEIM N.A.; YEASTING R.; BAILEY A.S.; JACKSON W.T. Morphometric evaluation of the cervico-thoracic junction. Practical considerations for posterior fixation of the spine. **Spine**, v.19, n.18, pp.2082-2088, 1994.
73. STILLERMAN C.B.; WILSON J.A. Atlanto-axial stabilization with posterior transarticular screw fixation: technical description and report of 22 cases. **Neurosurgery** v.32, n.6, p.948-955, 1993.
74. TESTUT L. ; LATARJET A. Columna cervical. In **Tratado de anatomia humana**, v.2, Barcelona, Salvat Editores, p.45-63, 1973.
75. XU R.; NADAUD M.C.; EBRAHEIM N.A.; YEASTING R.A. Morphology of the second cervical vertebra and the posterior projection of the C2 pedicle axis. **Spine** v.20, n.3, pp.259-263, 1995.
76. XU R; EBRAHEIM N. A.; MISSON J.R.; YEASTING R.A. The reliability of the lateral radiograph in determination of the optimal transarticular C1-C2 screw length. **Spine** v.23, n.20, p.2190-2194, 1998.
77. VACCARO A.R.; RIZZOLO S.; ALLARDYCE T.J.; RAMSEY M.; SALVO J.; BALDERSTON R.A.; COTLER J.M. Placement of pedicle screws in the thoracic spine. Part I: Morphometric analysis of the thoracic vertebrae. **J. Bone Joint Surg** v.77A, n.8, pp. 1193-1199, 1995.
78. WEIDNER A.; WÄHLER M.; CHIU S.T.; ULLRICH C.G. Modification of C1-C2 trans-articular screw fixation by image-guided surgery. **Spine** v.25, n.20, p.2668-2674, 2000.
79. WILKE H.J.; FISCHER K.; KLUGER A. et al. In vitro investigations of internal fixation systems of the upper cervical spine: stability of posterior atlanto-axial fixation techniques. **Eur Spine J**, v.1, n. , p.191-199, 1992.

80. WRIGHT N.M.; 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. **J. Neurosurg** v.88, n.4, p.634-640, 1998.

Lista das Figuras

Figura 1 – Atlas (vértebra C1): vistas superior e inferior; A: Processo transversos; B: Tubérculo anterior; C: Tubérculo posterior; D: Face articular para o côndilo occipital; E: Face articular para o eixo; F: Forame transversos; G: Sulco da artéria vertebral no arco posterior; H: Tubérculo de inserção do ligamento transversos; I: Face articular para o odontóide..... 2

Figura 2 – Articulação atlanto-axial: vista oblíqua postero-lateral; A: Processo odontóide; B: Articulação atlanto-axial; C: Forame transversos do atlas D: Forame transversos do eixo; E: Processo transversos do Atlas; F: Processo transversos do eixo..... 2

Figura 3 – Eixo (vértebra C2); A: Vista anterior; B: Vista póstero-superior; C: Vista lateral; D: Vista póstero-lateral..... 3

Figura 4 – Eixo (C2): Na imagem superior podemos identificar A: pedículo do eixo e B: istmo da parte interarticular do eixo. Na imagem inferior podemos perceber que em um mesmo paciente um corte tomográfico axial convencional (a esquerda) passando pela vértebra C2 na região do sulco da artéria vertebral (seta) pode ocasionar a sensação de que seria impossível identificar um trajeto seguro para o implante na técnica de artrodese transarticular; enquanto a imagem a direita, uma reconstrução MPR no plano parassagital oblíquo mostra um trajeto seguro para o implante através do istmo da parte interarticular do eixo (seta)..... 5

Figura 5 – Peça anatômica com ressecção dos arcos neurais, com exceção do arco posterior do atlas, demonstrando as artérias vertebrais (setas). 7

Figura 6 – vista inferior do eixo com detalhe do lado esquerdo. A: Forame transversos; B: Faceta articular inferior; C: Istmo da parte interarticular; D: Processo transversos; E: Platô vertebral inferior. 8

Figura 7 – A: Desenho da vista posterior do segmento atlanto-axial mostrando técnica de fixação transarticular C1-C2 por meio de parafusos. B: Radiografia simples em perfil evidenciando parafusos transarticulares C1-C2. Nesse caso específico também há artrodese C2-C3..... 12

Figura 8 – Reconstrução multiplanar (MPR) de tomografia computadorizada no plano coronal mostrando a coluna cervical e as artérias vertebrais. As setas brancas mostram placas calcificadas na parede da artéria vertebral esquerda 20

Figura 9 – A: Reconstrução realizada por meio da tomografia computadorizada helicoidal no plano axial oblíquo que inclui o trajeto ideal do parafuso transarticular C1-C2. Do lado direito temos as medidas da largura do istmo da parte interarticular do eixo; B: Complexo atlanto-axial (vértebras de cadáver) com corte realizado no plano axial oblíquo no trajeto do parafuso transarticular, semelhante ao corte utilizado no estudo por meio da tomografia computadorizada helicoidal incluindo parafuso, para evidenciar proporcionalmente as dimensões do parafuso e do istmo. C: referência ilustrando o plano de corte axial oblíquo (linha pontilhada). 27

Figura 10 – A: Complexo atlanto-axial (vértebras de cadáver) com corte realizado no plano parassagital oblíquo no trajeto do parafuso transarticular, semelhante ao corte utilizado no estudo por meio da tomografia computadorizada helicoidal. B: Complexo atlanto-axial (vértebras de cadáver) com corte realizado no plano parassagital oblíquo no trajeto do parafuso transarticular, com sobreposição de parafuso de 3,5mm de calibre. C: Reconstrução realizada por meio da tomografia computadorizada helicoidal no plano axial oblíquo que inclui o trajeto ideal do parafuso transarticular C1-C2. Na imagem da esquerda estão presentes as mensurações do comprimento ideal do parafuso e da altura do istmo da parte interarticular do eixo. Na imagem do lado direito identificamos o trajeto ideal do parafuso transarticular C1-C2 com a seta preta. D e E: referências ilustrando o plano de corte parassagital oblíquo (linha pontilhada) 28

Figura 11 – A: Reconstrução por meio da tomografia computadorizada no plano axial mostrando o ângulo medial do istmo da parte interarticular do eixo. B: Reconstrução por meio da tomografia computadorizada no plano axial oblíquo mostrando o ângulo medial do trajeto ideal do parafuso transarticular C1-C2, no mesmo paciente. Essa comparação ilustra claramente a diferença entre as duas medidas 29

Figura 12 – a) Reconstrução por meio da tomografia computadorizada no plano parassagital mostrando o ângulo sagital do istmo da parte interarticular do eixo. b) Reconstrução por meio da tomografia computadorizada no plano parassagital oblíquo mostrando o ângulo sagital do trajeto ideal do parafuso transarticular C1-C2, no mesmo paciente. Essa comparação ilustra claramente a diferença entre essas duas medidas..... 30

Figura 13 – A: Imagem de reconstrução obtida por meio da tomografia computadorizada helicoidal no plano parassagital oblíquo da técnica de fixação transarticular C1-C2. Artéria vertebral opacificada pelo contraste endovenoso, ocupando o sulco da artéria vertebral na massa lateral do eixo. B: Mensuração do comprimento ideal do parafuso da técnica de fixação transarticular C1-C2 (linha tracejada) e mensuração da distância do trajeto ideal do parafuso até o sulco da artéria vértebra (linha contínua). 30

Figura 14 – Histograma ilustrando os valores da largura do istmo da parte interarticular de C2..... 37

Figura 15 – Histograma ilustrando os valores da altura do istmo da parte interarticular de C2..... 39

Figura 16 – Histograma ilustrando os valores do comprimento ideal do parafuso na técnica de artrodese transarticular C1-C2..... 41

Figura 17 – Histograma ilustrando os valores do ângulo sagital no trajeto de inserção do parafuso na técnica de artrodese transarticular C1-C2. 43

Figura 18 – Histograma ilustrando os valores do ângulo medial no trajeto de inserção do parafuso na técnica de artrodese transarticular C1-C2. 45

Figura 19 - Desenho ilustrando os dois tipos de complexo istmo-massa lateral do eixo, conforme a classificação proposta..... 51

Figura 20 - Exemplo de complexo istmo-massa lateral do eixo do tipo I, em imagem de reconstrução obtida por meio da tomografia computadorizada helicoidal no plano parassagital oblíquo. 52

Figura 21 – A: Complexo istmo-massa lateral do eixo do tipo IIa, em imagem de reconstrução obtida por meio da tomografia computadorizada helicoidal no plano parassagital oblíquo do lado esquerdo, nesse caso com afilamento da altura do istmo da parte interarticular (seta). B: Complexo istmo-massa lateral do eixo do tipo IIa (outro paciente), em imagem de reconstrução obtida por meio da tomografia computadorizada helicoidal no plano axial oblíquo, nesse caso com afilamento da largura do istmo da parte interarticular (seta)..... 53

Figura 22 – Complexo istmo-massa lateral do eixo do tipo IIb, em imagem de reconstrução obtida por meio da tomografia computadorizada helicoidal no plano parassagital oblíquo. A seta indica o sulco da artéria vertebral na massa lateral..... 53

Figura 23 – Complexo istmo-massa lateral do eixo do tipo IIc. À esquerda, evidenciando corte tomográfico axial (artéria vertebral redundante). À direita, imagem de reconstrução obtida por meio da tomografia computadorizada helicoidal no plano parassagital oblíquo do lado direito. Setas apontando o sulco da artéria vertebral..... 54

Lista de abreviaturas e siglas

AI=altura do istmo

AID=altura do istmo direito

AIE=altura do istmo esquerdo

AM=ângulo medial

AMD=ângulo medial direito

AME=ângulo medial esquerdo

AS=ângulo sagital

ASD=ângulo sagital direito

ASE=ângulo sagital esquerdo

CCI= coeficiente de correlação intraclases

CIP=comprimento ideal do parafuso

CIPD=comprimento ideal do parafuso lado direito

CIPE= comprimento ideal do parafuso lado esquerdo

F= sexo feminino

FOV= *field of view*, campo de visão

Id= idade

KV= kilovolt

LI=largura do istmo

LID=largura do istmo direito

LIE= largura do istmo esquerdo

M= sexo masculino

mm= milímetro

ml= mililitro

mA= miliAmpere

N= número

NV= não visualizado

Summary

Transarticular screw arthrodesis provides rigid atlanto-axial fixation and it has biomechanical advantages when compared to other techniques. Transarticular C1-C2 screw fixation could be performed even with fracture, destruction or absence of the atlas posterior arch. Nevertheless, there is a danger of injury to the vertebral artery or to other neurovascular structures, that could be related to anatomic variations. The objective of this study was to determine atlanto-axial bone morphometric measurements related to screw transarticular arthrodesis technique. One hundred helical computerized tomography (helical CT) scans with volumetric acquisition including the axis and the atlas were studied. The screw insertion axis was the referencial to select the correct oblique axial and oblique parasagittal planes obtained with multi planar reconstruction (MPR) on helical CT. The measured parameters on each side of the vertebrae were C2 interarticularis isthmus height and width, optimal screw length, optimal screw trajectory sagital and axial angles, and distance between the ideal screw trajectory and the vertebral artery groove. C2 interarticularis isthmus height measured $7.75\text{mm} \pm 1.27\text{mm}$, C2 interarticularis isthmus width $7.94\text{mm} \pm 1.72\text{mm}$, optimal screw length $39.03\text{mm} \pm 2.81\text{mm}$, optimal screw trajectory sagital angle $57.54^{\circ} \pm 5.28^{\circ}$, optimal screw trajectory medial angle $7.90^{\circ} \pm 4.05^{\circ}$. Isthmus narrowing in height and/or width under 5mm was seen in 5% of cases. Reconstructed parasagittal images showed unilateral vertebral artery groove in 23% and bilateral vertebral artery groove in 7% of vertebrae. In those cases the distance between the arterial groove and the ideal screw path was measured. This distance measured under 2,5mm in 7,5% of isthmus-lateral mass complexes. Based on the results a classification of C2 isthmus and lateral mass morphology was proposed. C2 isthmus-lateral mass complexes without anatomic variations predisposing to vertebral artery injury were considered Tipe I. The C2 isthmus-lateral mass complexes potentially associated to neurovascular injury were classified as tipe II. In this sample 11,5% of C2 isthmus-lateral mass complexes were tipe II. Pre operative CT scans are important to identify those cases.