

Deslocamentos esqueléticos associados à cirurgia de avanço mandibular: avaliação quantitativa tridimensional

Alexandre Trindade Simões da Motta*, Felipe de Assis Ribeiro Carvalho**,
Lúcia Helena Soares Cevidanes***, Marco Antonio de Oliveira Almeida****

Resumo

Objetivo: avaliar através de imagens tridimensionais os deslocamentos dos ramos, côndilos e mento resultantes da cirurgia de avanço mandibular. **Métodos:** este estudo prospectivo utilizou tomografias computadorizadas de feixe cônico das fases pré-cirúrgica e pós-cirúrgica de 27 indivíduos apresentando Classe II esquelética com padrão normocefálico ou braquicefálico. Uma técnica de superposição automatizada da base do crânio permitiu a avaliação de alterações esqueléticas em regiões anatômicas de interesse, e os deslocamentos foram visualizados e quantificados a partir da técnica dos mapas coloridos de superfícies. A estatística descritiva consistiu de valores médios, mínimo e máximo, e desvios-padrão. Mudanças maiores do que 2mm foram consideradas clinicamente relevantes e classificadas através de categorização dos valores. As tendências direcionais dos movimentos estruturais foram exibidas em valores positivos ou negativos. Coeficientes de correlação de Pearson foram aplicados com nível de significância de 95%, testando se deslocamentos em determinadas regiões foram associados com outras áreas. **Resultados:** o mento apresentou deslocamento anteroinferior médio de $6,81 \pm 3,2$ mm, enquanto a porção inferior dos ramos apresentou movimento lateral com a cirurgia (esquerdo = $2,97 \pm 2,71$ mm; direito = $2,34 \pm 2,35$ mm). Outras regiões anatômicas mostraram deslocamento médio menor que 2mm, mas com evidente variabilidade individual. Correlações estatisticamente significativas foram positivas e moderadas. Os côndilos, bordo posterior e porção superior dos ramos apresentaram correlação bilateral, enquanto as porções superior e inferior dos ramos mostraram correlação ipsilateral. **Conclusão:** o método 3D utilizado permitiu uma precisa visualização e quantificação dos resultados cirúrgicos, destacando-se o movimento anteroinferior do mento e o deslocamento lateral da porção inferior dos ramos mandibulares, mas com considerável variabilidade individual em todas as regiões anatômicas avaliadas.

Palavras-chave: Tomografia Computadorizada de Feixe Cônico. Imagem tridimensional. Cirurgia assistida por computador. Simulação por computador. Ortodontia. Cirurgia bucal.

* Doutor, Mestre e Especialista em Ortodontia (Universidade do Estado do Rio de Janeiro/UERJ). Estágio de Doutorando Bolsa CAPES 382705-4 na University of North Carolina at Chapel Hill (UNC). Professor Adjunto de Ortodontia da Universidade Federal Fluminense (UFF-Niterói).

** Mestre em Ortodontia (UERJ). Especialista em Ortodontia (UERJ) e Radiologia Oral (ABORJ). Doutorando em Ortodontia (UERJ) e *Visiting Scholar* (UNC).

*** PhD em Biologia Oral (UNC). Professora do Departamento de Ortodontia (UNC/Chapel Hill).

**** Pós-doutorado em Ortodontia (UNC). Professor Titular de Ortodontia (UERJ).

INTRODUÇÃO

A osteotomia bilateral sagital do ramo mandibular (BSSO) é frequentemente realizada nos casos de avanço cirúrgico da mandíbula. Apesar de sua popularidade, a instabilidade pós-cirúrgica decorrente de deslocamento do côndilo nos três planos do espaço (sagital, vertical e transversal), desviando-se de sua posição inicial na fossa glenoide, continua uma importante área de estudo¹.

Um deslocamento condilar superior e posterior pode ocorrer com a cirurgia, alteração que tem sido correlacionada à magnitude do avanço mandibular²⁻⁵. A associação entre deslocamento condilar e recidiva do tratamento tem sido descrita^{5,6}, e o controle do segmento proximal foi considerado o aspecto mais importante na estabilidade dessa modalidade cirúrgica⁷.

O uso da tomografia computadorizada de feixe cônico (CBCT) na avaliação dos resultados do tratamento orto-cirúrgico tem o potencial de elucidar interações entre os componentes dentário, esquelético e de tecidos moles que contribuem para a resposta à terapia aplicada⁸. A utilização de ferramentas de superposição tridimensional (3D) permite a identificação e quantificação do deslocamento e remodelação ósseos^{9,10}.

Estudos prévios^{9,11-14} têm utilizado a técnica de superposição de modelos virtuais 3D na avaliação dos resultados e da estabilidade pós-cirúrgicos de pacientes Classe III, mas os casos de Classe II ainda requerem estudos com observações das alterações ocorridas com a cirurgia.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar, de forma tridimensional, os deslocamentos dos côndilos, ramos (superior, inferior e posterior) e mento após a cirurgia de avanço mandibular, testando correlações entre os mesmos.

METODOLOGIA

Para este estudo prospectivo observacional, foram selecionados 27 pacientes (9 homens e 18 mulheres; idade média de 30,04±13,08 anos) submetidos a tratamento orto-cirúrgico

na University of North Carolina at Chapel Hill (UNC). Os pacientes receberam preparo ortodôntico e cirurgia de avanço mandibular através de BSSO, complementada com mentoplastia em nove deles. Exames de CBCT foram realizados antes e após a cirurgia (imediatamente após a remoção do *splint* cirúrgico) com o tomógrafo NewTom 3G (Aperio Services LLC, Sarasota, FL, 34236). Dois pacientes tiveram pelo menos um exame realizado com o tomógrafo NewTom 9000 (Aperio Services LLC, Sarasota, FL), que possui um menor campo de visão; nesses, portanto, o mento não foi incluído na imagem.

Todos os indivíduos apresentavam discrepâncias esqueléticas suficientemente severas para justificar a cirurgia ortognática, e aqueles com mordida aberta foram excluídos, de forma que todos apresentavam Classe II com padrão de crescimento normal ou horizontal. Fissuras labiopalatais ou problemas resultantes de trauma ou condição degenerativa, como a artrite reumatoide, foram fatores excludentes. Foi obtido um consentimento informado de todos os indivíduos que concordaram em ser submetidos aos exames tomográficos em diferentes fases do tratamento, e os protocolos experimentais foram aprovados pelo comitê de ética da instituição.

O protocolo radiológico envolveu uma tomada da cabeça de 36 segundos de duração, com um campo de visão de 230 x 230mm, com o paciente em oclusão cêntrica. As reconstruções tridimensionais foram realizadas a partir de imagens de CBCT com *voxels* de 0,5 x 0,5 x 0,5mm, utilizando-se o *software* gratuito ITK-SNAP¹⁵ (<http://www.itksnap.org/>). Foram obtidos modelos 3D contendo a base do crânio (Fig. 1) e as estruturas anatômicas de interesse clínico a serem avaliadas no estudo: mento; côndilos esquerdo e direito; e porções posterior, superior e inferior dos ramos esquerdo e direito (Fig. 2).

Os modelos pré-cirúrgico e pós-cirúrgico foram superpostos tendo como referência a base do crânio, estrutura não alterada pela cirurgia. Foi

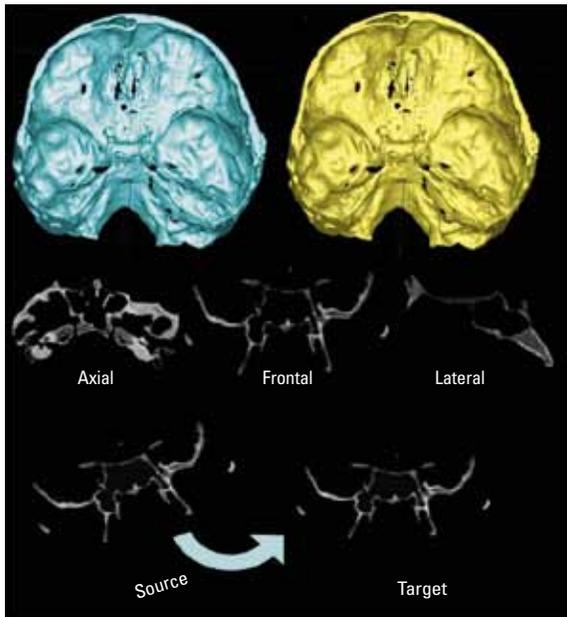


FIGURA 1 - Registro dos modelos virtuais 3D através de método totalmente automático de comparação de *voxels*. A base do crânio pré-cirúrgica foi utilizada como referência (*source*) para a pós-cirúrgica (*target*), reorientadas juntamente com os modelos virtuais da maxila e mandíbula.

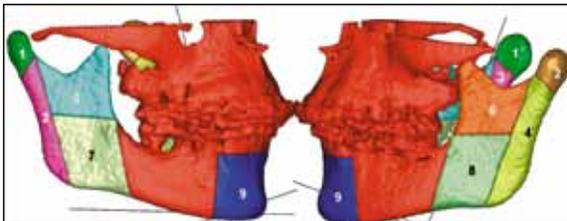


FIGURA 2 - Regiões anatômicas de interesse: (1) cêndilo direito; (2) cêndilo esquerdo; (3) bordo posterior do ramo direito; (4) bordo posterior do ramo esquerdo; (5) ramo superior direito; (6) ramo superior esquerdo; (7) ramo inferior direito; (8) ramo inferior esquerdo e (9) mento.

utilizado um método de registro totalmente automático através do *software* gratuito IMAGINE (desenvolvido pelo National Institute of Health e modificado na UNC, <http://www.ia.unc.edu/dev/download/imagen/index.htm>)⁹, que compara a intensidade da escala de cinzas de cada *voxel* de uma região selecionada, e assim a base do crânio pré-cirúrgica foi utilizada como referência na superposição com os modelos pós-cirúrgicos (Fig. 1).

Após a superposição, os modelos reorientados salvos originalmente no formato GIPL foram convertidos para o formato IV pelo *software* gratuito

VOL2SURF (<http://www.cc.nih.gov/cip/software.html>), o que permitiu a avaliação quantitativa dos maiores deslocamentos esqueléticos através do aplicativo CMF (Maurice Müller Institute, Bern, Suíça)¹⁶.

O método dos mapas coloridos foi proposto¹⁷ para a obtenção de distâncias entre os pontos mais próximos de duas superfícies. O *software* CMF calcula milhares de distâncias (em mm) entre modelos pré-cirúrgicos e pós-cirúrgicos a partir de triângulos que formam as superfícies tridimensionais, em uma comparação entre dois tempos de observação, de forma que os deslocamentos entre as duas estruturas possam ser quantificados. Essas diferenças são exibidas através de um código visual de mapas coloridos. A *isoline*, ou linha de contorno, é uma ferramenta recentemente incorporada ao método e considerada um avanço na técnica, já que permite a obtenção de dados quantitativos do maior deslocamento em milímetros para uma específica região anatômica de interesse (Fig. 3).

As mudanças quantitativas foram visualizadas através dos mapas coloridos, utilizados para indicar deslocamentos para dentro (azul) ou para fora (vermelho) entre as estruturas superpostas. A ausência de deslocamento é indicada pela cor verde. Por exemplo, na cirurgia de avanço mandibular, o deslocamento anterior do mento seria mostrado em vermelho, enquanto em uma cirurgia de recuo mandibular as superfícies do mento apareceriam em azul.

As semitransparências constituem outro método utilizado no estudo para a visualização da localização e direção dos deslocamentos esqueléticos, onde um dos modelos aparece em uma vista opaca, superposto ao outro modelo que é exibido em uma vista parcialmente transparente. Esse método de exibição das mudanças quantitativas em múltiplas superfícies tem sido validado e utilizado desde 2005⁹.

Os valores positivos indicavam um deslocamento anteroinferior do mento, enquanto valores negativos indicavam um movimento posterossuperior.

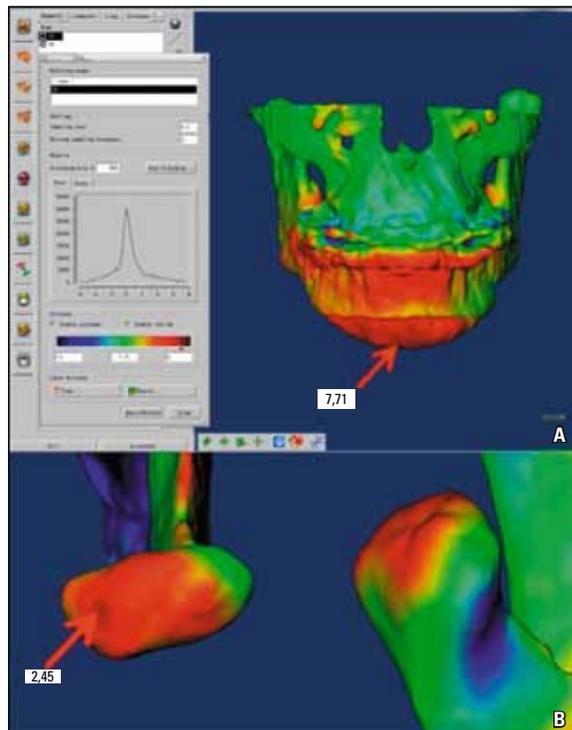


FIGURA 3 - A ferramenta *isoline*, ou linha de contorno, permitiu a identificação do maior deslocamento de regiões anatômicas específicas: **A)** Exemplo de um avanço de 7,71mm do mento entre os tempos pré-cirúrgico e após a remoção do *splint* cirúrgico (resultados cirúrgicos); **B)** Cêndilo direito deslocado 2,45mm no sentido posterossuperior após a cirurgia.

Para os cêndilos, valores positivos representavam um deslocamento posterossuperior e os negativos indicaram movimento anteroinferior. Nos bordos posteriores dos ramos, valores positivos foram associados a deslocamentos posteriores, e valores negativos a movimentos anteriores.

As porções laterais dos ramos mandibulares foram divididas em duas partes, superior e inferior, com o objetivo de identificar os complexos movimentos de torque ou movimento mediolateral dessa região. Dessa forma, valores positivos nos deslocamentos dos ramos indicavam uma direção lateral, e valores negativos mostravam uma direção medial. Quando as regiões superior e inferior do ramo apresentavam deslocamento em direções opostas, isso indicava um movimento de torque.

Para avaliar os resultados cirúrgicos da amostra, os maiores deslocamentos observados entre os

modelos pré-cirúrgico e pós-cirúrgico (remoção do *splint*) foram computados para todas as regiões anatômicas de interesse.

Para verificar a reprodutibilidade da medição dos maiores deslocamentos através das linhas de contorno, dez superposições foram selecionadas aleatoriamente e medidas duas vezes, com um intervalo de duas semanas, e comparadas utilizando-se o coeficiente de correlação intraclassa ($P < 0,001$). A concordância entre as medições foi alta para todas as regiões anatômicas: mento ($r = 0,98$); cêndilos ($r = 0,92$); bordo posterior do ramo ($r = 0,97$); ramo superior ($r = 0,97$) e ramo inferior ($r = 0,95$).

Foi realizada uma estatística descritiva consistindo de valores médios, desvios-padrão e valores mínimo e máximo dos deslocamentos. Alterações maiores que 2mm foram consideradas clinicamente relevantes, portanto foi realizada uma categorização do número de pacientes apresentando deslocamentos maiores que 2mm, entre 2mm e -2mm, e menores que -2mm, além dos valores médios, desvios-padrão e valores mínimo e máximo para cada grupo. A estatística descritiva foi dividida em deslocamentos positivos e negativos de acordo com a tendência direcional de cada região anatômica.

Para testar se os deslocamentos de uma região estariam associados às alterações em outra área — por exemplo, se movimentos condilares e/ou nos ramos estariam associados a mudanças no mento —, utilizou-se o coeficiente de correlação de Pearson em nível de significância de 95%.

RESULTADOS

Analisando-se os deslocamentos médios de todas as regiões, observaram-se mudanças maiores que 2mm no mento e na porção inferior do ramo, o que foi considerado clinicamente relevante. O mento mostrou deslocamento médio de $6,81 \pm 3,2$ mm em direção anteroinferior, e a porção inferior do ramo um movimento lateral de $2,97 \pm 2,71$ mm no lado esquerdo e de $2,34 \pm 2,35$ mm no lado direito (Tab. 1, Fig. 4).

Todas as outras regiões apresentaram deslocamentos médios abaixo de 2mm, mas a variabilidade individual foi evidente, com deslocamentos máximos variando além do limite de 2mm (Tab. 1, Gráf. 1).

Os deslocamentos máximos nos côndilos, por exemplo, variaram entre -3,7mm e +3,2mm. A Figura 5 ilustra o caso de um paciente que apresentou um deslocamento condilar de +3,2mm.

Considerando-se o limite de 2mm de alteração como clinicamente relevante, torna-se possível quantificar o número de regiões anatômicas que se deslocaram de forma significativa. Como esperado, com a cirurgia de avanço o mento ultrapassou os 2mm em todos os casos (n=25). Observando o bordo posterior do ramo (esquerdo e direito, n=54), notou-se que 8 tiveram mudanças menores que -2mm e 6 maiores que 2mm. Nos côndilos (esquerdo e direito, n=54), 2 mostraram deslocamentos menores que -2mm, enquanto 11 ultrapassaram os 2mm (Tab. 2).

A porção superior dos ramos (esquerdo e direito, n=54) foi submetida a deslocamentos menores que -2mm em 3 casos e maiores que 2mm em 15. Depois do mento, a porção inferior dos ramos foi a região com as mudanças mais relevantes, com deslocamentos menores que -2mm em 3 e maiores que 2mm em 35 (esquerdo e direito, n=54) (Tab. 2).

TABELA 1 - Estatística descritiva dos deslocamentos cirúrgicos.

Região	Pré-cirúrgico / Pós-cirúrgico			
	Nº de pacientes	Média (mm)	d.p. (mm)	Min. / Max. (mm)
Mento	25	6,81	3,20	2,5/15,8
Bordo posterior do ramo (esquerdo)	27	0,08	2,32	-3,2/6,1
Bordo posterior do ramo (direito)	27	-0,09	1,84	-2,8/4,1
Côndilo (esquerdo)	27	0,98	1,46	-3,7/3,2
Côndilo (direito)	27	0,81	1,40	-2,4/2,9
Ramo superior (direito)	27	0,62	1,94	-2,9/3,5
Ramo inferior (direito)	27	2,34	2,35	-3,0/5,8
Ramo superior (esquerdo)	27	1,57	1,92	-1,9/5,7
Ramo inferior (esquerdo)	27	2,97	2,71	-2,5/7,0

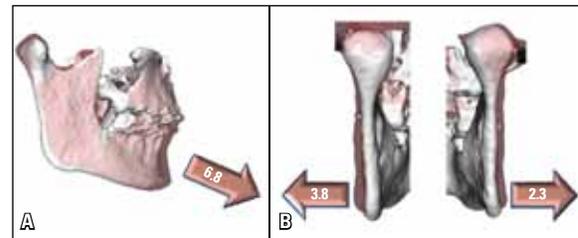


FIGURA 4 - A) Visualização por semitransparências, mostrando um avanço mandibular médio de 6,8mm medido no mento. B) Deslocamento lateral do segmento proximal após cirurgia de avanço da mandíbula. A osteotomia sagital provavelmente agiu como uma cunha e os côndilos como fulcro, o que tornou a região inferior do ramo a de maior deslocamento depois do mento.

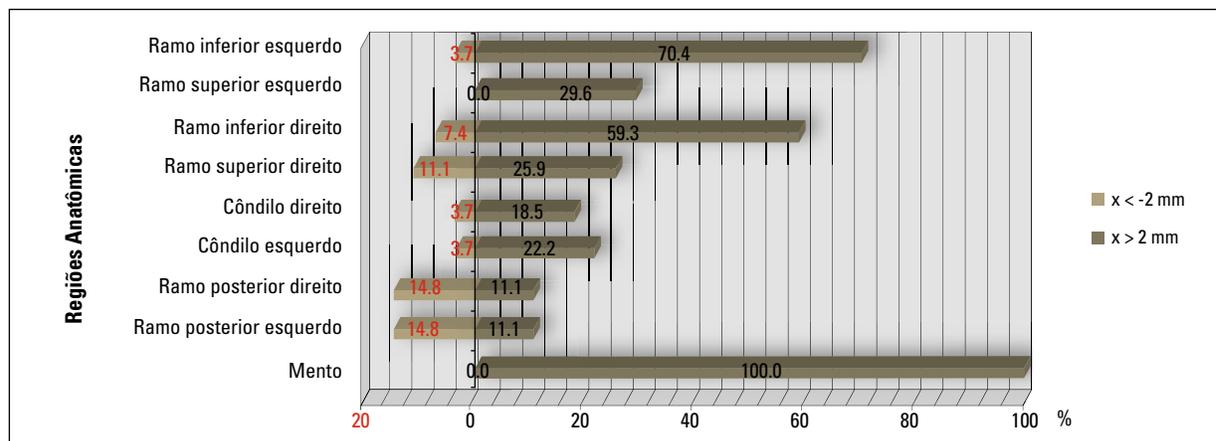


GRÁFICO 1 - Deslocamentos clinicamente relevantes para cada região anatômica. Percentagem de pacientes com mudanças >2mm e <-2mm.

TABELA 2 - Estatística descritiva dos deslocamentos cirúrgicos: número de pacientes apresentando deslocamentos maiores que 2mm, entre 2mm e -2mm, e menores que -2mm, além dos valores médios, desvios-padrão e valores mínimo e máximo para cada grupo.

PRÉ-CIRÚRGICO / PÓS-CIRÚRGICO					
Mento (n=25)					
	N	Média	d.p.	Min.	Máx.
$x < -2$	0	-	-	-	-
$-2 \leq x \leq 2$	0	-	-	-	-
$x > 2$	25	6,81	3,20	2,50	15,80
Bordo posterior do ramo esquerdo (n=27)					
	N	Média	d.p.	Min.	Máx.
$x < -2$	4	-3,00	0,22	-3,20	-2,70
$-2 \leq x \leq 2$	20	-0,05	1,15	-2,00	1,60
$x > 2$	3	5,03	1,29	3,60	6,10
Bordo posterior do ramo direito (n=27)					
	N	Média	d.p.	Min.	Máx.
$x < -2$	4	-2,40	0,32	-2,80	-2,10
$-2 \leq x \leq 2$	20	-0,13	1,27	-2,00	1,40
$x > 2$	3	3,23	1,03	2,10	4,10
Côndilo esquerdo (n=27)					
	N	Média	d.p.	Min.	Máx.
$x < -2$	1	-3,70	-	-3,70	-3,70
$-2 \leq x \leq 2$	20	0,78	1,00	-1,40	1,90
$x > 2$	6	2,45	0,40	2,10	3,20
Côndilo direito (n=27)					
	N	Média	d.p.	Min.	Máx.
$x < -2$	1	-2,40	-	-2,40	-2,40
$-2 \leq x \leq 2$	21	0,56	1,10	-1,80	1,80
$x > 2$	5	2,50	0,26	2,20	2,90
Ramo superior direito (n=27)					
	N	Média	d.p.	Min.	Máx.
$x < -2$	3	-2,57	0,31	-2,90	-2,30
$-2 \leq x \leq 2$	17	0,26	1,35	-1,90	2,00
$x > 2$	7	2,86	0,34	2,60	3,50
Ramo inferior direito (n=27)					
	N	Média	d.p.	Min.	Máx.
$x < -2$	2	-2,65	0,49	-3,00	-2,30
$-2 \leq x \leq 2$	9	0,70	1,38	-1,80	2,00
$x > 2$	16	3,89	1,01	2,60	5,80
Ramo superior esquerdo (n=27)					
	N	Média	d.p.	Min.	Máx.
$x < -2$	0	-	-	-	-
$-2 \leq x \leq 2$	19	0,65	1,40	-1,90	2,00
$x > 2$	8	3,76	0,97	3,00	5,70
Ramo inferior esquerdo (n=27)					
	N	Média	d.p.	Min.	Máx.
$x < -2$	1	-2,50	-	-2,50	-2,50
$-2 \leq x \leq 2$	7	-0,30	1,44	-1,30	1,90
$x > 2$	19	4,46	1,33	2,30	7,00

As correlações entre os deslocamentos observados nas diferentes regiões anatômicas, obtidas a partir do coeficiente de correlação de Pearson, mostraram que todas as correlações estatisticamente significativas foram positivas e moderadas (Tab. 3). O deslocamento anterior do mento foi correlacionado ao movimento lateral da porção superior do ramo direito ($r=0,46$; $p=0,02$).

O movimento posterior do bordo posterior do ramo esquerdo e do direito mostrou correlação ($r=0,69$; $p<0,0001$). O movimento posterior

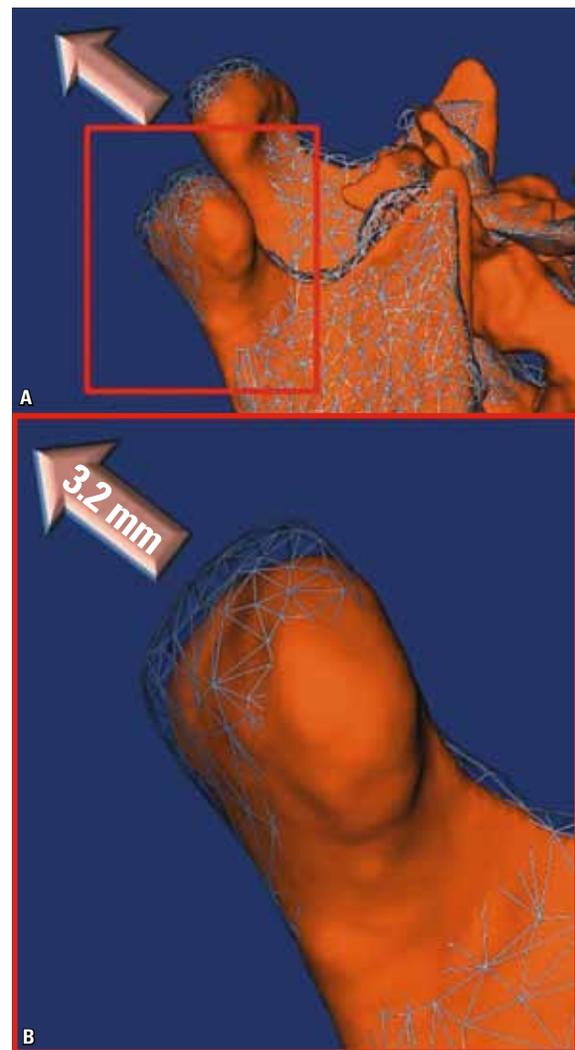


FIGURA 5 - **A)** Transparências em malha mostrando um deslocamento condilar de 3,2mm após a cirurgia. **B)** Vista aproximada do côndilo deslocado.

TABELA 3 - Coeficientes de correlação de Pearson para os deslocamentos cirúrgicos entre todas as regiões anatómicas de interesse. A parte superior direita da tabela mostra os valores de r e a parte inferior esquerda os valores de P. Os valores estatisticamente significativos estão em negrito.

	Mento	Bordo posterior esquerdo	Bordo posterior direito	Côndilo esquerdo	Côndilo direito	Ramo superior direito	Ramo inferior direito	Ramo superior esquerdo	Ramo inferior esquerdo
Mento		-0,26	-0,18	-0,34	-0,28	0,46	0,22	0,08	0,09
Bordo posterior esquerdo	0,21		0,69	-0,06	-0,07	-0,05	0,12	0,42	0,22
Bordo posterior direito	0,40	<,0001		-0,14	0,18	-0,12	0,06	0,12	0,24
Côndilo esquerdo	0,10	0,75	0,49		0,66	-0,33	-0,14	-0,21	-0,31
Côndilo direito	0,17	0,73	0,37	0,00		-0,22	0,04	-0,30	-0,21
Ramo superior direito	0,02	0,79	0,56	0,10	0,28		0,58	0,46	0,09
Ramo inferior direito	0,30	0,56	0,76	0,49	0,86	0,00		0,21	-0,18
Ramo superior esquerdo	0,71	0,03	0,56	0,30	0,14	0,01	0,30		0,66
Ramo inferior esquerdo	0,67	0,27	0,24	0,11	0,28	0,65	0,36	0,00	

do bordo posterior do ramo também apresentou correlação com a porção superior do ramo no mesmo lado ($r=0,42$; $p<0,03$).

Deslocamentos posterossuperiores dos côndilos mostraram correlação entre os lados esquerdo e direito ($r=0,66$; $p=0,0002$), assim como a porção superior dos ramos esquerdo e direito ($r=0,46$; $p=0,0148$).

Em ambos os lados, as porções superior e inferior dos ramos se correlacionaram, mostrando tendência ao movimento lateral (esquerda: $r=0,58$; $p=0,0016$ e direita: $r=0,66$; $p=0,0002$).

DISCUSSÃO

Na cefalometria convencional, a base do crânio é frequentemente utilizada para superposições porque apresenta alterações mínimas após o término do crescimento neural. Em análises 3D, o registro de estruturas pode ser baseado em superfícies ou pontos de referência estáveis. Enquanto a localização de pontos em tecidos duros e moles em 2D é dificultada pela superposição de múltiplas estruturas inerentes às projeções radiográficas, a localização de pontos 3D em complexas estruturas curvas é significativamente mais difícil¹⁹. Não existem definições de pontos de referência operacionalmente aplicáveis

nos três planos do espaço (coronal, sagital e axial). No contexto das mudanças faciais, a superposição não deveria se basear na identificação de pontos ou em técnicas de *best-fit* sobre estruturas que podem ter sido alteradas entre as aquisições de imagem¹⁸.

A maior vantagem do método de superposição utilizado nesse estudo é que o registro entre as estruturas não depende da precisão dos modelos de superfícies 3D. As bases do crânio são utilizadas apenas como uma seleção de estruturas que não se alteram com o crescimento ou tratamento. Na realidade, o procedimento de superposição compara *voxel* por *voxel* das imagens de CBCT em escala de cinzas, contendo apenas as bases do crânio, e calcula os parâmetros de rotação e translação entre imagens de dois tempos de observação.

A superposição regional sobre a base do crânio não define completamente o movimento da mandíbula em relação à maxilla^{9,10,20-23}. Alguns estudos^{20,22,24,25,26} revelaram que o deslocamento relativo entre os componentes esquelético e dentário da mandíbula e da maxila é crítico, pois a informação resultante pode diferir de conclusões formuladas a partir de superposição na base do crânio.

Apesar de um estudo com superposição 3D apresentar informações adicionais quando comparado a métodos cefalométricos tradicionais, a análise da morfologia 3D traz desafios metodológicos. Métodos atuais, incluindo aqueles utilizados nos programas comerciais disponíveis (Geomagic Studio, Geomagic U.S. Corp, Research Triangle Park, NC, 27709; e Vultus, 3dMD, Atlanta, GA, 30339), calculam os pontos mais próximos entre duas superfícies. Entretanto, o ponto mais próximo calculado não é necessariamente o ponto correspondente ou análogo em ambas as superfícies.

Nesse estudo, a quantificação utilizando as linhas de contorno determinou a alteração máxima absoluta na região anatômica, onde valores positivos ou negativos baseados na observação do operador auxiliaram na avaliação das direções de deslocamento. Por exemplo, valores positivos no mento indicavam um deslocamento anteroinferior, mas não foi possível distinguir o quanto anterior e o quanto inferior foi o mesmo. Um método que quantifica os deslocamentos de forma vetorial está sendo desenvolvido na UNC, o que possibilitará analisar a correspondência de forma entre duas estruturas, provavelmente aprimorando a avaliação das tendências direcionais de deslocamento. Outra importante informação é que as diferenças entre superfícies não resultam apenas de deslocamento como o presente método sugere, mas também poderá ocorrer um processo de remodelação óssea.

Um preciso reposicionamento dos côndilos durante a cirurgia tem sido defendido na literatura²⁷ como importante fator na estabilidade dos resultados cirúrgicos e na redução dos efeitos nocivos sobre a articulação temporomandibular. Isso poderia melhorar a função mastigatória pós-operatória, mas a extensão da alteração condilar que seria compatível com uma função pós-cirúrgica normal ainda é desconhecida. No presente estudo, suaves deslocamentos médios condilares ocorreram com a cirurgia (esquerdo $0,98 \pm 1,46$ mm

e direito $0,81 \pm 1,40$ mm), mas alguns pacientes experimentaram importantes deslocamentos, chegando a 3,7mm no sentido anteroinferior e a 3,2mm no sentido posterossuperior.

A utilização de dispositivos para preservar a posição pré-operatória do côndilo mandibular durante a BSSO tem sido proposta, mas foi concluído que não existe base científica que suporte seu uso rotineiro em cirurgia ortognática, o que torna o posicionamento condilar um procedimento crítico a ser considerado²⁸.

Com o crescente uso da fixação rígida, ocorreu uma diminuição na quantidade de recidiva, mas um aumento na força transmitida aos côndilos. O avanço gradual da mandíbula por distração osteogênica lentamente distende o arcabouço de tecidos moles, o que pode reduzir a magnitude de força sobre os côndilos. Foi encontrada diferença na pressão dos fluidos articulares, em um modelo animal, quando comparado o avanço imediato ao gradual: no primeiro, a pressão aumentou e permaneceu elevada por mais de 5 semanas, contrastando com o segundo, onde a pressão aumentou mas retornou aos níveis iniciais no dia seguinte. Concluiu-se que o avanço gradual da mandíbula produziu menor força e causou menor reabsorção condilar do que o extenso avanço mandibular imediato estabilizado por fixação rígida, mas estudos adicionais seriam necessários para comparar diferentes métodos²⁹.

O presente estudo mostrou que, depois do mento, a porção inferior dos ramos foi a região que apresentou os mais relevantes deslocamentos, com alterações menores que -2mm em 3 ramos de um total de 54, e maiores que 2mm em 35 (esquerdo e direito). O deslocamento lateral médio foi de $2,97 \pm 2,71$ mm no lado esquerdo e de $2,34 \pm 2,35$ mm no lado direito. Esses resultados concordam com os de outro trabalho¹ que encontrou um aumento transversal médio na distância intergoniaca de 5,0mm em 44 de 45 pacientes após BSSO fixada por miniplacas.

A soma dos deslocamentos médios da porção inferior dos ramos dos lados esquerdo e direito foi de 5,28mm no presente trabalho, muito próximo ao estudo citado acima¹, apesar das diferenças metodológicas de medição.

Exceto pelo mento e a porção inferior dos ramos, todas as outras regiões avaliadas mostraram deslocamentos médios inferiores a 2mm, mas com valores máximos variando além do limite clínico aceitável. Deslocamentos relevantes dos segmentos proximal e distal da mandíbula e o deslocamento posterior do côndilo induzido cirurgicamente parecem ser importantes fatores de risco para a reabsorção condilar pós-operatória. Apesar desses deslocamentos serem de difícil previsão durante a cirurgia, essa deve ser uma importante preocupação especialmente para os pacientes que apresentam alto risco ou histórico de reabsorção condilar³⁰.

CONCLUSÃO

A superposição de modelos tridimensionais de superfície permitiu a visualização e quantificação dos resultados da cirurgia de avanço mandibular.

Em média, a cirurgia de avanço da mandíbula resultou em deslocamentos clinicamente significativos (maiores que 2mm) no sentido anteroinferior no mento e no sentido lateral na porção inferior dos ramos mandibulares. Por outro lado, foi observada considerável variabilidade individual em todas as estruturas avaliadas, com mudanças variando além do limite clinicamente aceitável.

Alterações bilaterais foram correlacionadas de forma significativa nos côndilos, bordos posteriores e porções superiores dos ramos, e deslocamentos ipsilaterais mostraram correlação entre as porções superior e inferior dos ramos, com tendência ao movimento lateral.

Skeletal displacements following mandibular advancement surgery: 3D quantitative assessment

Abstract

Objective: To evaluate changes in the position and remodeling of the mandibular rami, condyles and chin with mandibular advancement surgery through the superimposition of 3D Cone-Beam Computed Tomography (CBCT) models. **Methods:** This prospective observational study used pre-surgery and post-surgery CBCT scans of 27 subjects presenting skeletal Class II with normal or horizontal growth pattern. An automatic technique of cranial base superimposition was used to assess positional and/or remodeling changes in anatomic regions of interest. Displacements were visually displayed and quantified by 3D color maps. Descriptive statistics consisted of mean values, standard deviations and minimum/maximum displacements. Changes greater than 2 mm were considered clinically relevant, and a categorization was done. Positive and negative displacements showed each region directional tendency. To test if displacements in anatomic regions were associated with each other, Pearson correlation coefficients were used under a 95% significance level. **Results:** The chin moved anterior-inferiorly 6.81 ± 3.2 mm on average and the inferior portion of the rami moved laterally (left: 2.97 ± 2.71 mm; right: 2.34 ± 2.35 mm). Other anatomic regions showed < 2 mm mean displacements, but with evident individual variability. Significant statistical correlations were positive and moderate. The condyles, posterior border and superior portion of the rami showed a bilateral correlation, and the superior and inferior portion of the rami an ipsilateral correlation. **Conclusion:** This 3D method allowed clear visualization and quantification of surgery outcomes, with an anterior-inferior chin displacement and a lateral movement on the inferior portion of the rami, but with considerable individual variability in all the evaluated anatomic regions.

Keywords: Cone-Beam Computed Tomography. Image processing, Computer-assisted. Surgery, computer-assisted. Computer simulation. Orthodontics. Surgery, oral.

REFERÊNCIAS

1. Becktor JP, Rebellato J, Sollenius O, Vedtofte P, Isaksson S. Transverse displacement of the proximal segment after bilateral sagittal osteotomy: a comparison of lag screw fixation versus miniplates with monocortical screw technique. *J Oral Maxillofac Surg.* 2008 Jan;66(1):104-11.
2. Rebellato J, Lindauer SJ, Sheats RD, Isaacson RJ. Condylar positional changes after mandibular advancement surgery with rigid internal fixation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1999 Jul;116(1):93-100.
3. Van Sickels JE, Larsen AJ, Thrash WJ. Relapse after rigid fixation of mandibular advancement. *J Oral Maxillofac Surg.* 1986 Sep;44(9):698-702.
4. Alder ME, Deahl ST, Matteson SR, Van Sickels JE, Tiner BD, Rugh JD. Short-term changes of condylar position after sagittal split osteotomy for mandibular advancement. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 1999 Feb;87(2):159-65.
5. Gassmann CJ, Van Sickels JE, Thrash WJ. Causes, location, and timing of relapse following rigid fixation after mandibular advancement. *J Oral Maxillofac Surg.* 1990 May;48(5):450-4.
6. Van Sickels JE, Larsen AJ, Thrash WJ. A retrospective study of relapse in rigidly fixated sagittal split osteotomies: contributing factors. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1988 May;93(5):413-8.
7. Schendel SA, Epker BN. Results after mandibular advancement surgery: an analysis of 87 cases. *J Oral Surg.* 1980 Apr;38(4):265-82.
8. Bastir M, Rosas A, O'Higgins P. Craniofacial levels and the morphological maturation of the human skull. *J Anat.* 2006 Nov;209(5):637-54.
9. Cevidanes LH, Bailey LJ, Tucker GR Jr, Styner MA, Mol A, Phillips CL, et al. Superimposition of 3D cone-beam CT models of orthognathic surgery patients. *Dentomaxillofac Radiol.* 2005 Nov;34(6):369-75.
10. Cevidanes LH, Franco AA, Gerig G, Proffit WR, Slice DE, Enlow DH, et al. Assessment of mandibular growth and response to orthopedic treatment with 3-dimensional magnetic resonance images. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2005 Jul;128(1):16-26.
11. Cevidanes LH, Bailey LJ, Tucker SF, Styner MA, Mol A, Phillips CL, et al. Three-dimensional cone-beam computed tomography for assessment of mandibular changes after orthognathic surgery. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2007 Jan;131(1):44-50.
12. Cevidanes LH, Oliveira A, Phillips C, Motta AT, Styner M, Tyndall D. Three dimensional short-term mandibular displacements following class III surgery. *J Dent Res.* 2007;(Spec Iss A):1827.
13. Grauer D, Cevidanes LHS, Phillips C, Mol A, Styner M, Proffit W. Assessment of maxillary surgery outcomes one year post-surgery. *J Dent Res.* 2006;(Spec Iss A):0813.
14. Lee B, Cevidanes LHS, Phillips C, Mol A, Styner M, Proffit W. 3D assessment of mandibular changes one year after orthognathic surgery. *J Dent Res.* 2006;(Spec Iss A):1610.
15. Yushkevich PA, Piven J, Hazlett HC, Smith RG, Ho S, Gee JC, et al. User guided 3D active contour segmentation of anatomical structures: significantly improved efficiency and reliability. *Neuroimage.* 2006 Jul 1;31(3):1116-28.
16. Chapuis J, Schramm A, Pappas I, Hallermann W, Schwenzer-Zimmerer K, Langlotz F, et al. A new system for computer-aided preoperative planning and intraoperative navigation during corrective jaw surgery. *IEEE Trans Inf Technol Biomed.* 2007 May;11(3):274-87.
17. Gerig G, Jomier M, Chakos M. Valmet: a new validation tool for assessing and improving 3D object segmentation. *Med Image Comput Comput Assist Interv Int Conf.* 2001;2208:516-28.
18. Bookstein F, Schäfer K, Prossinger H, Seidler H, Fieder M, Stringer C, et al. Comparing frontal cranial profiles in archaic and modern homo by morphometric analysis. *Anat Rec.* 1999 Dec 15;257(6):217-24.
19. Bookstein FL. *Morphometric tools for landmark data.* 1st ed. Cambridge: Cambridge University Press; 1991.
20. Baumrind S, Ben-Bassat Y, Bravo LA, Curry S, Korn EL. Partitioning the components of maxillary tooth displacement by the comparison of data from three cephalometric superimpositions. *Angle Orthod.* 1996;66(2):111-24.
21. Efstratiadis S, Baumrind S, Shofer F, Jacobsson-Hunt U, Laster L, Ghafari J. Evaluation of Class II treatment by cephalometric regional superimpositions versus conventional measurements. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2005 Nov;128(5):607-18.
22. Ghafari J, Baumrind S, Efstratiadis SS. Misinterpreting growth and treatment outcome from serial cephalographs. *Clin Orthod Res.* 1998 Nov;1(2):102-6.
23. Cevidanes LH, Styner MA, Proffit WR. Image analysis and superimposition of 3-dimensional cone-beam computed tomography models. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2006 May;129(5):611-8.
24. Björk A, Skieller V. Normal and abnormal growth of the mandible. A synthesis of longitudinal cephalometric implant studies over a period of 25 years. *Eur J Orthod.* 1983 Feb;5(1):1-46.
25. Halazonetis DJ. Computer-assisted cephalometric analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1994 May;105(5):517-21.
26. Johnston LE Jr. Balancing the books on orthodontic treatment: an integrated analysis of change. *Br J Orthod.* 1996 May;23(2):93-102.
27. Harris MD, Van Sickels JE, Alder M. Factors influencing condylar position after the bilateral sagittal split osteotomy fixed with bicortical screws. *J Oral Maxillofac Surg.* 1999 Jun;57(6):650-4.
28. Costa F, Robiony M, Toro C, Sembronio S, Polini F, Politi M. Condylar positioning devices for orthognathic surgery: a literature review. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2008 Aug;106(2):179-90.
29. Herford AS, Hoffman R, Demirdji S, Boyne PJ, Caruso JM, Leggitt VL, et al. A comparison of synovial fluid pressure after immediate versus gradual mandibular advancement in the miniature pig. *J Oral Maxillofac Surg.* 2005 Jun;63(6):775-85.
30. Hwang SJ, Haers PE, Seifert B, Sailer HF. Surgical risk factors for condylar resorption after orthognathic surgery. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2000 May;89(5):542-52.

Enviado em: janeiro de 2010
Revisado e aceito: julho de 2010

Endereço para correspondência

Alexandre Trindade Motta
Av. das Américas, 3500 – Bloco 7/sala 220
CEP: 22.640-102 – Barra da Tijuca - Rio de Janeiro / RJ
E-mail: alemotta@rjnet.com.br