

Modelo tridimensional do esqueleto craniofacial: precisão de uma ferramenta para o planejamento cirúrgico

Tridimensional model of craniofacial skeleton: an accurate tool for preoperative planning

ANA BEATRIZ ALMEIDA¹, CASSIO E. RAPOSO-DO-AMARAL², DANIEL M. FERREIRA³, LUIS HOTTA⁴, CESAR A. RAPOSO-DO-AMARAL⁵,
JORGE VICENTE LOPES DA SILVA⁶, AILTON SANTA BARBARA⁷, MARCELO C. GUIDI⁸, CELSO L. BUZZO⁹

RESUMO

Introdução: Os modelos tridimensionais do esqueleto craniofacial são confeccionados a partir dos resultados de tomografia computadorizada gravados em linguagem DICOM. Os modelos são utilizados no planejamento cirúrgico e no exercício acadêmico dos profissionais em formação. Os modelos precisam ser fidedignos às estruturas anatômicas, bem como apresentar baixo custo. O objetivo do nosso trabalho foi verificar a precisão dos modelos tridimensionais do esqueleto craniofacial confeccionados pelo Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer (CTI). **Método:** Foram aferidas seis medidas lineares das órbitas de 14 modelos tridimensionais confeccionados a partir dos resultados de tomografia computadorizada de pacientes com diagnóstico de deformidade craniofacial congênita. As medidas antropométricas realizadas nos modelos foram comparadas às mesmas medidas obtidas pela tomografia computadorizada. **Resultados:** Não houve diferença estatisticamente significativa na comparação de todas as medidas lineares realizadas no modelo tridimensional e as obtidas a partir dos resultados da tomografia computadorizada ($p > 0,05$). **Conclusão:** Os modelos tridimensionais do esqueleto craniofacial fabricados pelo CTI são fidedignos e apresentam baixo custo aos Centros Especializados.

Descritores: Processamento de imagem assistida por computador. Tomografia computadorizada por raios X. Crânio/radiografia. Face/radiografia.

SUMMARY

Introduction: The tridimensional skull models have been made based on the computerized tomography imaging. The skull models are used in the preoperative planning as well as in the teaching process of residents. Additionally, it must be affordable and accurate to allow widespread use by the centers in Brazil. The main purpose of this study was to assess the accuracy of the 3D skull models. **Methods:** Six linear measurements were done in 14 3D skull models and compared to those similar measurements obtained from the computerized tomography imaging. **Results:** We did not observe statistically significant differences among the measurements taken at the 3D model as well as to those obtained at the CAT scans ($p > 0.05$). **Conclusion:** The 3D skull models made by The Institute of Technology Renato Archer are accurate and affordable to be widely used by The Craniofacial Centers in Brazil.

Descriptors: Image processing, computer-assisted. Tomography, X-ray computed. Skull/radiography. Face/radiography.

1. Doutora em biologia, responsável pelo Setor de Pesquisas da SOBRAPAR. 2. Cirurgião Plástico e Vice-presidente da SOBRAPAR. 3. Professor Assistente Doutor do Departamento de Radiologia da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). 4. Professor da Faculdade de Matemática e Estatística da UNICAMP. 5. Médico residente em Cirurgia Plástica da SOBRAPAR. 6. Engenheiro Elétrico. Doutor em Engenharia Química. 7. Engenheiro Eletrônico. Doutor em Engenharia Mecânica. 8. Cirurgião Plástico e Diretor Clínico da SOBRAPAR. Professor Assistente Doutor da UNICAMP. 9. Cirurgião Plástico. Chefe da Cirurgia Plástica da SOBRAPAR.

Correspondência: Cassio Eduardo Raposo do Amaral
Rua Alameda das Palmeiras, 25 - Bairro Gramado - Campinas, SP, Brasil - CEP 13094-776.
E-mail: cassioraposo@hotmail.com; cassioeduardo@sobrapar.com.br

INTRODUÇÃO

A tecnologia SLS (*Selective Laser Sintering*) proporciona a confecção de modelos tridimensionais a partir dos resultados de tomografia computadorizada. Os materiais disponíveis para a tecnologia SLS são: poliamida, poliamida com carga de microesferas de vidro, elastômero, poliestireno, cerâmica, metais e ligas¹⁻³.

Os modelos tridimensionais do esqueleto craniofacial permitem ao cirurgião plástico a possibilidade de planejar a cirurgia, antecipar os possíveis desafios cirúrgicos, bem como ensinar os princípios da cirurgia craniofacial aos profissionais em formação. Portanto, o modelo tridimensional do esqueleto craniofacial deve ser confiável, ou seja, as dimensões do modelo devem corresponder às dimensões reais do esqueleto craniofacial do paciente. Como o modelo tridimensional é realizado a partir de uma tomografia computadorizada, existe a possibilidade de erro durante sua confecção. A falta de precisão e fidedignidade durante a confecção do modelo pode levar a erros durante o planejamento cirúrgico, afetando o resultado final da cirurgia¹⁻⁵.

Nosso grupo tem utilizado os modelos tridimensionais para as cirurgias craniofaciais de avanço fronto-facial em monobloco nos pacientes com diagnóstico de disostose craniofacial e também para as cirurgias de bipartição facial nos pacientes com diagnóstico de displasia craniofrontonasal ou displasia frontonasal que cursam simultaneamente com hiperteleorbitismo como deformidade facial principal. Os modelos tridimensionais são confeccionados pelo Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer (CTI) com auxílio do *software Invesalius* e doados ao Hospital SOBRAPAR.

O objetivo do nosso trabalho foi verificar a precisão e a fidedignidade dos modelos tridimensionais confeccionados a partir de exame de tomografia computadorizada com reconstrução de imagem.

MÉTODO

Foram selecionados 14 modelos tridimensionais confeccionados a partir de seus respectivos exames de imagem (tomografia computadorizada). Os pacientes correspondentes aos modelos tridimensionais apresentavam os seguintes diagnósticos: Síndrome de Crouzon (n=5), Síndrome de Apert (n=4), Displasia Frontonasal (n=2) e Displasia Craniofrontonasal (n=3).

As seguintes medidas lineares foram aferidas no modelo tridimensional e na respectiva tomografia computadorizada: diâmetro vertical da órbita (correspondente à maior distância entre o assoalho e o teto da órbita), diâmetro transversal da órbita (correspondente à maior distância entre a parede medial e lateral da órbita), distância interorbitária interna (correspondente à maior distância interdacron), e distância interorbitária externa (correspondente à maior distância entre as paredes laterais de ambas as órbitas). Os valores obtidos por meio das diferentes medidas foram subsequentemente comparados.

As medidas no modelo tridimensional foram realizadas por 3 diferentes observadores com a utilização do mesmo paquímetro. Foi calculada a média aritmética das distâncias

aferidas no modelo tridimensional. As medidas da tomografia computadorizada foram realizadas no aparelho de tomógrafo (Toshiba Power 6000; Toshiba America Medical System) por radiologista com certificação pela Sociedade Brasileira de Radiologia e Associação Médica Brasileira.

A média aritmética das medidas lineares antropométricas obtidas no modelo foi subtraída das mesmas medidas lineares obtidas pelo radiologista e utilizadas na aplicação do método estatístico para a obtenção do valor de p e para obtenção do coeficiente de correlação entre as medidas.

Análise Estatística

As medidas lineares foram comparadas utilizando um método estatístico Paired T-Test. As medidas lineares das órbitas foram analisadas de forma independente, sendo que para cada medida obtivemos um valor de p e um valor do coeficiente de correlação (CC) entre as medidas obtidas por meio dos métodos antropométricos e radiológicos. Consideramos como premissa que os valores obtidos pela tomografia computadorizada correspondem com precisão às medidas anatômicas reais de cada paciente⁶.

RESULTADOS

Os resultados obtidos estão demonstrados nas Tabelas 1 a 6. Não houve diferença estatisticamente significante na comparação de todas as medidas realizadas no modelo tridimensional e pela tomografia computadorizada ($p > 0,05$). Os coeficientes de correlação entre as medidas obtidas pelos 2 diferentes métodos foram mensurados conforme as seguintes distâncias: diâmetro vertical da órbita direita (CC=0,95), diâmetro transversal da órbita direita (CC=0,81), diâmetro vertical da órbita esquerda (CC=0,79), diâmetro transversal da órbita esquerda (C=0,89), distância interorbital externa (CC=0,95) e distância interorbital interna (CC=0,7). Portanto, as medidas obtidas por meio dos dois diferentes métodos (antropométricos e radiológicos) apresentaram alto índice de correlação.

As Figuras 1 a 4 ilustram alguns dos pacientes estudados.

DISCUSSÃO

A tomografia computadorizada oferece grande precisão na coleta de informações sobre as estruturas anatômicas do esqueleto craniofacial^{7,8}. Atualmente, o radiologista dispõe de tecnologia necessária para reunir as informações de cada plano axial, transformando-as em imagens volumétricas em duas dimensões. Com base no volume obtido pelo computador é possível obter modelos em 3 dimensões que mimetizam o esqueleto craniofacial. Estes modelos são particularmente úteis no planejamento das osteotomias.

Durante o avanço fronto-facial em monobloco, Le Fort III subcraniano e bipartição craniofacial, não raramente há dificuldade de realizar a manobra do “*downfracture*” para total disjunção craniofacial. A dificuldade na realização desta manobra (*downfracture*) ocorre geralmente devido à persistência de ponte óssea na região pterigomaxilar e pilares posteriores da maxila. Eventualmente observamos fratura óssea acidental na região zigomática, principalmente nos

Tabela 1 - Medidas do diâmetro transversal da órbita direita, correspondente à maior distância entre a parede medial e lateral da órbita direita aferidas no protótipo e na tomografia computadorizada (TC).

Pacientes	Protótipo	TC	(Protótipo-TC)
D.A	35,5	37,881	-2,381
V.C	31,2	32,966	-1,766
W.F	28,9	33,271	-4,371
A.M	39,85	40,762	-0,912
G.H	36,75	44,04	-7,29
G.T	40	40,309	-0,309
A.V	29,2	32,963	-3,763
J.N	32,15	30,359	1,791
A.H	38,95	38,255	0,695
D.L	36,85	37,895	-1,045
K.B	35,85	36,097	-0,247
T.G	37	37,864	-0,864
L.M	40,1	40,824	-0,724
J.V.	33,275	36,083	-2,808

Tabela 2 - Medidas do diâmetro vertical da órbita direita, correspondente à maior distância entre o teto e o assoalho da órbita direita aferidas no protótipo e na tomografia computadorizada (TC).

Protótipo	TC	(Protótipo-TC)
32,8	33,491	-0,691
26,7	28,299	-1,599
28,3	29,99	-1,69
37,7	35,391	2,309
36	36,25	0,25
36,2	35,661	0,539
33	32,585	0,415
31,05	31,342	-0,292
29	28,271	0,729
31,2	32,127	-0,927
33,55	34,322	-0,772
33,9	34,274	-0,374
35,12	35,914	-0,794
38,35	38,877	-0,527

Tabela 3 - Medidas do diâmetro transversal da órbita esquerda, correspondente à maior distância entre a parede medial e lateral da órbita esquerda aferidas no protótipo e na tomografia computadorizada (TC).

Protótipo	TC	(Protótipo-TC)
33,9	39,836	-5,936
29,65	33,447	-3,797
31	34,202	-3,202
40,85	41,469	-0,619
42,9	47,956	-5,056
38,15	38,759	-0,609
31	34,145	-3,145
31,05	31,074	-0,024
35,5	36,343	-0,843
37,7	37,994	-0,294
34,6	35,475	-0,875
37,6	38,774	-1,174
41,15	41,206	-0,056
34	35,047	-1,047

Tabela 4 - Medidas do diâmetro vertical da órbita esquerda, correspondente à maior distância entre o teto e o assoalho da órbita esquerda aferidas no protótipo e na tomografia computadorizada (TC).

Protótipo	TC	(Protótipo-TC)
32,25	32,772	-0,522
27,55	28,913	-1,363
29,05	32,953	-3,903
35,8	38,512	-2,712
37,45	37,02	0,43
35,45	35,499	-0,049
35,25	33,797	1,453
30,62	30,67	-0,05
30,65	29,358	1,292
32	29,2	2,8
34,65	36,432	-1,782
34,6	38,276	-3,676
33,75	34,416	-0,666
40,1	37,64	2,46

Tabela 5 - Medidas da maior distância óssea interorbital interna, correspondente à maior distância interdacron aferidas no protótipo e na tomografia computadorizada (TC).

Protótipo	TC	(Protótipo-TC)
31	23,641	7,359
21	21,718	-0,718
33,5	33,812	-0,312
27,3	26,607	0,693
25,7	17,624	8,076
23,15	21,427	1,723
35,32	27,824	7,496
31,82	30,431	1,389
23	20,351	2,649
26,15	25,037	1,113
27,4	27,132	0,268
28,45	25,015	3,435
25,5	25,928	-0,428
20,6	18,082	2,518

Tabela 6 - Medidas da maior distância óssea interorbital externa, correspondente à maior distância entre as paredes laterais de ambas as órbitas aferidas no protótipo e na tomografia computadorizada (TC).

Protótipo	TC	(Protótipo-TC)
96,55	97,084	-0,534
83,5	85,331	-1,831
88,2	90,037	-1,837
102,85	108,838	-5,988
102,4	107,783	-5,383
96,95	96,781	0,169
91,75	92,773	-1,023
92,4	94,727	-2,327
91	90,007	0,993
97,35	98,37	-1,02
94,85	93,759	1,091
100,65	99,319	1,331
97,45	98,552	-1,102
85,75	86,92	-1,17

Figura 1 – A: Paciente com o diagnóstico de Síndrome de Apert em preparação pré-operatória para o avanço fronto-facial em monobloco com distração osteogênica associada à bipartição craniofacial. Técnica cirúrgica denominada “Roman Arch Key Stone Technique” desenvolvida e ensinada aos profissionais da SOBRAPAR pelos Drs. Henry K. Kawamoto e James P. Bradley da Universidade da Califórnia em Los Angeles (UCLA)ª. **B:** Modelo tridimensional do esqueleto craniofacial.

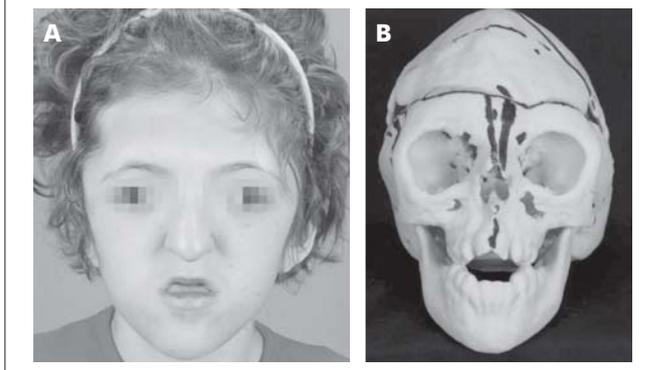
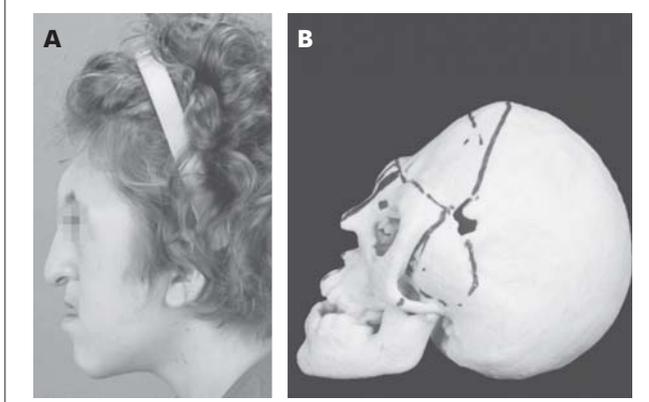


Figura 2 - Mesmo paciente com vista de perfil antes da cirurgia (A) e seu respectivo modelo tridimensional (B).



pacientes com Síndrome de Apert. Nos pacientes com diagnóstico de craniofaciossinostose, a espessura óssea posterior é sempre significativa. Especial atenção a estes detalhes cirúrgicos garante bons resultados pós-operatórios. O modelo em 3 dimensões pode antecipar estas dificuldades técnicas, possibilitando adequada evolução intra-operatória e conseqüente diminuição do tempo de cirurgia. Adicionalmente, é um instrumento didático na formação dos residentes.

No entanto, há dois pré-requisitos importantes para a utilização destes modelos:

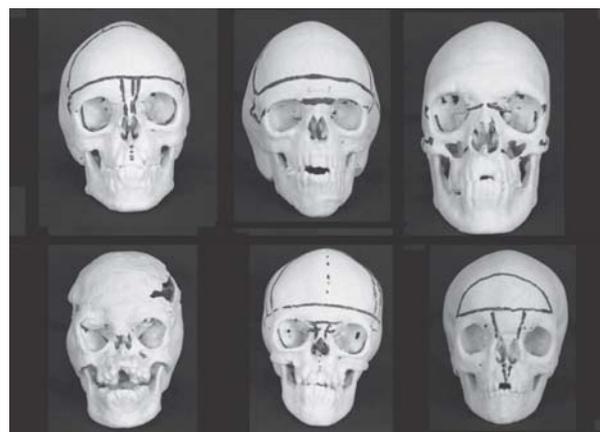
- fidedignidade e precisão às estruturas anatómicas de cada paciente;
- baixo custo aos Centros especializados.

Comprovamos através de medidas lineares que o modelo tridimensional do esqueleto craniofacial confeccionado pelo CTI é bastante fidedigno à tomografia computadorizada, método já validado na literatura internacional para aferição de medidas anatómicas⁸.

Figura 3 - Resultado do avanço fronto-facial em monobloco associado à bipartição craniofacial utilizando os aparelhos internos de Kawamoto fabricados pela KLS-Martin. A precisão do modelo tridimensional do esqueleto craniofacial foi uma ferramenta importante no planejamento cirúrgico desta paciente e na obtenção de um resultado pós-operatório satisfatório. É possível observar a diminuição da distância interorbital interna e externa após o procedimento cirúrgico.



Figura 4 - Modelos tridimensionais do esqueleto craniofacial. É possível observar que os 3 pacientes cujos modelos são apresentados acima possuem o diagnóstico de Síndrome de Crouzon. Os pacientes cujos modelos estão abaixo possuem o diagnóstico de Síndrome de Apert (os 2 primeiros, da esquerda para direita) e Displasia frontonasal (terceiro modelo da esquerda para direita, abaixo). Todos os pacientes já foram operados em nosso Hospital.



A baixa espessura da parede medial da órbita pode levar a pequenos erros durante a obtenção das medidas radiológicas. Eventualmente, estes pequenos erros podem gerar falhas na confecção da parede medial das órbitas no modelo tridimensional. No entanto, não foram observadas diferenças significativas na comparação entre as medidas do modelo e da tomografia computadorizada, uma vez que a tomografia computadorizada foi realizada com cortes de 1 mm.

Os modelos tridimensionais do esqueleto craniofacial chegam a custar R\$ 4000 nos países da América do Norte. Certamente este alto custo inviabilizaria a sua ampla utilização nos centros nacionais. No entanto, o modelo tridimensional descrito neste estudo é gentilmente doado aos Centros especializados pelo Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer (CTI).

Concluímos que os modelos tridimensionais utilizados neste estudo são fidedignos às estruturas anatômicas aferidas na tomografia computadorizada e são úteis no planejamento das cirurgias craniofaciais. Seu baixo custo viabiliza sua ampla utilização. Entretanto, novas medidas da região da maxila e mandíbula com diferentes parâmetros deverão ser realizadas para comprovar e assegurar a precisão e a fidedignidade de todo modelo tridimensional.

CONFLITO DE INTERESSE

Não há nenhum interesse financeiro por parte dos autores nos modelos tridimensionais descritos. Os modelos

estão disponíveis aos interessados no Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer (CTI), em Campinas, SP.

REFERÊNCIAS

1. Aung SC, Tan BK, Foo CL, Lee ST. Selective laser sintering: application of a rapid prototyping method in craniomaxillofacial reconstructive surgery. *Ann Acad Med Singapore*. 1999;28(5):739-43.
2. Bartels KA, Bovik AC, Crawford RC, Diller KR, Aggarwal SJ. Selective laser sintering for the creation of solid models from 3D microscopic images. *Biomed Sci Instrum*. 1993;29:243-50.
3. Suzuki M, Hagiwara A, Kawaguchi S, Ono H. Application of a rapid-prototyped temporal bone model for surgical planning. *Acta Otolaryngol*. 2005;125(1):29-32.
4. da Rosa EL, Oleskovicz CF, Aragão BN. Rapid prototyping in maxillofacial surgery and traumatology: case report. *Braz Dent J*. 2004;15(3):243-7.
5. Suzuki M, Ogawa Y, Kawano A, Hagiwara A, Yamaguchi H, Ono H. Rapid prototyping of temporal bone for surgical training and medical education. *Acta Otolaryngol*. 2004;124(4):400-2.
6. Hoffmann J, Westendorff C, Leitner C, Bartz D, Reinert S. Validation of 3D-laser surface registration for image-guided cranio-maxillofacial surgery. *J Craniomaxillofac Surg*. 2005;33(1):13-8.
7. Hildebolt CF, Vannier MW, Knapp RH. Validation study of skull three-dimensional computerized tomography measurements. *Am J Phys Anthropol*. 1990;82(3):283-94.
8. Marcus JR, Domeshek LF, Das R, Marshall S, Nightingale R, Stokes TH, et al. Objective three-dimensional analysis of cranial morphology. *Eplasty* 2008;8:e20.
9. Bradley JP, Levitt A, Nguyen J, Raposo CE, Jarray R, Katchikian HV, et al. Roman arch, keystone fixation for facial bipartition with monobloc distraction. *Plast Reconstr Surg*. 2008;122(5):1514-23.