



January 2009

Three Dimensional Computed Tomography Utilized in Cephalometry – A Technical Investigation

Chih-Yu Chen

Dental Department of E-Da Hospital

Hsun-Heng Tsai

Department of Biomechatronics Engineering, National Pingtung University of Science and Technology

Kuo-Chang Yeh

Department of Biomechatronics Engineering, National Pingtung University of Science and Technology

Li-Wen Lin

Dental Department of E-Da Hospital

Wei-Te Wu

Department of Biomechatronics Engineering, National Pingtung University of Science and Technology

Follow this and additional works at: <https://www.tjo.org.tw/tjo>



Part of the [Orthodontics and Orthodontology Commons](#)

Recommended Citation

Chen, Chih-Yu; Tsai, Hsun-Heng; Yeh, Kuo-Chang; Lin, Li-Wen; and Wu, Wei-Te (2009) "Three Dimensional Computed Tomography Utilized in Cephalometry – A Technical Investigation," *Taiwanese Journal of Orthodontics*: Vol. 21: Iss. 3, Article 3.

DOI: 10.30036/TJO.200909.0003

Available at: <https://www.tjo.org.tw/tjo/vol21/iss3/3>

This Original Article is brought to you for free and open access by Taiwanese Journal of Orthodontics. It has been accepted for inclusion in Taiwanese Journal of Orthodontics by an authorized editor of Taiwanese Journal of Orthodontics.

Three Dimensional Computed Tomography Utilized in Cephalometry – A Technical Investigation

Abstract

Current cephalometry in dentistry relies on plain lateral films to evaluate craniofacial structure of patients. This concept is based on 2D images which are difficult to apply in complicated craniofacial structures. The purpose of this study is to develop a 3D cephalometric analysis by reconstructing the 3D-CT skull images, which provides landmark identification and Downs analysis in the 3D software. This system also has the feature of multiple view windows, auto cephalometric measurement and counting, and simplified user's interface. A pilot study, using the landmark identification and cephalometric analysis which was processed by ten observers at two different times, was conducted to evaluate the accuracy and reliability of this system. The result supports this approach to be a reliable method in cephalometric analysis and worthy to research in the future.

Keywords

3-dimensional computed tomography cephalometry, radiographic cephalometry, 3-dimensional images reconstruction

Creative Commons License



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-Noncommercial-No Derivative Works 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

三維電腦斷層影像運用於測顱術之技術開發

陳志宇¹ · 蔡循恒² · 葉國璋² · 林俐奴¹ · 吳瑋特²

義大醫院牙科¹

國立屏東科技大學生物機電工程系²

現行牙科X光測顱術多半採用側面平面X光片作為顱顏面形態分析的依據，但此種分析方法受限於影像之來源為二維之平面影像，對於複雜的立體解剖構造的解析有所困難。本研究提出創新之方法，以三維電腦斷層影像為基礎建立立體頭顱影像，並設計親善與簡單的使用者介面，顯示整體的空間概念供使用者明確的辨識及定位測顱特徵點，並依Downs分析法進行測顱術分析。研究中以10位觀測者在二個不時間點，依上述方法進行測顱，評估此方法的準確性和再現性，作為測定系統可行性之初步研究。結果顯示上述方式為一可靠的測顱方法，值得未來再進一步深入研究。(J. Taiwan Assoc. Orthod. 21(3): 20-27, 2009)

關鍵詞：三維電腦斷層測顱術、X光測顱術、三維重建影像

前言

測顱術 (Cephalometry) 是一種量測顱顏面形態各結構之間相對位置關係的技術，X光片測顱術標準化首次由Broadbent在1931年所提出，經由頭顱平面X光片，找出顱顏面結構中具有特定意義的特徵點，藉由特徵點與特徵點之間互相連線，構成線段、交角及比例，來探討顱顏面形態之差異。其後學者陸續發展出不同的定義與分析方法，如Downs、Steiner、Ricketts等測顱方法，針對顱顏形態加以分析並提供臨床醫師治療的診斷依據。不同方法其定義各有不同，但其目的均是蒐集並分析顱顏構造，提供醫師和研究者顱顏構造的資訊。

儘管頭顱為一立體結構，但多數的診斷治療和學術研究採平面的X光測顱影像，因此傳統測顱術侷限於二維分析。平面X光測顱攝影具有價格低廉及對人體的輻射暴露劑量較低的優點，不過其成像是利用輻射線穿透人體組織時，其衰弱程度不同而構築出影像，部分細微的特徵會因鄰近組織的干擾，影響臨床醫師對測顱特徵點的判定，此為測顱誤差產生的主要原因¹。此外成像影像品質優劣、儀器設備與人工辨識經驗亦是產生量測誤差的因素^{1,2}。

收文日期：98年8月14日 修改日期：98年8月24日 接受日期：98年9月4日

聯絡及抽印本索取地址：義大醫院牙科主治醫師 824高雄縣燕巢鄉角宿村義大路1號牙科 陳志宇

電話：07-6150011 轉 2386 傳真：07-6150913

隨著放射線醫學的發展，電腦斷層影像（Computed Tomography, CT）提供醫學界新的視野，有別於X光的平面影像，CT不但提供連續性的高解析度影像外，同時具備組建三維影像的能力，也創造了三維測顱術發展的新領域^{3,4}。Christiasen等人以頭部影體（Phantom model）的研究，發現三維影像的線性量其精確性可達到小於1mm⁵，Mattesen等人的研究顯示CT影像中的量測對比於直接於頭顱構造的量測其誤差不超過1%⁶，證明CT影像的高精確性（Accuracy）⁵⁻⁷。因此本研究嘗試利用三維電腦斷層影像（Three dimensional CT, 3D CT）具備高精確度的特性，重建立體解剖構造的影像，以實境重建來呈現頭顱影像，進行三維測顱術技術開發之研究，以改善平面X光測顱的缺點，並針對此一討其方法探討其精確性及再現性（Reliability）。

材料及方法

三維立體影像的重建

本研究使用的電腦斷層影像為高雄縣義大醫院一位志願受試者之多層電腦斷層（Multislice CT, MSCT）（SOMATOM Sensation16, SIEMENS）影像，格式為DICOM 3.0影像。掃描區域為人體頭頸部，影像切片厚度為1 mm，影像大小為512 X 512像素，全部數量共222張。本研究系統開發採用微軟公司所開發之Windows作業系統為運作平台，影像處理軟體採用MATLAB進行程式設計。

電腦斷層三維立體影像重建利用邊緣偵測方式，分割出電腦斷層影像外骨骼邊緣輪廓。邊緣偵測的目的在於找出影像中屬於邊緣的特徵像素，此法能將影像中不必要的資訊濾除並保留影像的主要資訊。為能偵測出影像主體邊緣，影像主體必須為一封閉且無空洞的影像，因此須對每一張原始之CT影像進行前置處理，包含影像二值化、空洞填補、影像侵蝕與膨脹等。每一張平面CT影像經由前述之處理後即可取得完整之外骨骼輪廓邊緣，依序堆疊後，即可獲得個體的三維立體影像（圖1）。本研究採用等值面法（Isosurface）做為三維立體影像重建方法為，是表面描繪法其中一種。MATLAB軟體在三維影像重建中提

供了等值面描繪的方法，亦能在重建描繪時給予物件顏色、燈光照射及不同角度之鏡頭畫面。

由於測顱分析中有部份的特徵點位於顱底和口內，經前述之表面描繪後無法由頭顱外骨骼部份直接觀測。為了解決此問題，本研究除了重建完整的三維頭部外骨骼，也重建三維立體切面影像以取得位於矢狀切面之測顱特徵點。

測顱方法與步驟

為建立完整三維測顱術分析與方便使用者進行量測，本研究自行撰寫程式，建立一套具備人機介面之三維測顱系統。本系統人機介面具備顯示完整頭部骨骼重建、多視角及切面的功能，使用者藉由此介面，在個人電腦上旋轉影像達到多角度立體影像觀察。程式功能也提供使用者進行區域分割影像觀察，讓使用者能針對重建影像中的特定部位進行分割及觀察。此介面也提供二維CT切面影像顯示，使用者可同時進行3D立體影像與2D影像交互觀察（圖2）。

測顱分析則是以Downs分析法為主。使用者由三維頭部骨骼重建影像中，依序點選三維頭顱影像正向與側向位於頭顱外部表面之測顱特徵點。由於測顱分析中有部份特徵點區域是位於頭顱內部，故透過矢狀切面顯示以取得正確的頭顱內部特徵點座標。為符合Downs測顱分析概念，系統程式會將所取得之三維測顱特徵點座標投影至同一平面，自動進行特徵點連線、顯示與自動計算測顱分析各線段、交角及比例，並依據Downs測顱法分析計算，結果顯示於人機介面（圖3）。

再現性及誤差測試

本實驗藉由分析測顱特徵點位置與測顱數值兩項因素，驗證本研究所設計之三維電腦斷層測顱系統中測顱特徵點再現性，以及此系統是否具備可行性。本實驗從屏科大生物機電工程系碩士班學生中，隨機選出10位不同的測顱觀測者，經由臨床醫師進行一小時的測顱術原理解說與測顱量測訓練後，針對同一電腦斷層三維重建影像，於前後兩次不同時間點與各進行一次三維電腦斷層測顱術量測。再利用敘述統計方式，探討此10位測顱觀測者於與前後兩次不同時間所判定之測顱特徵點位置所產生的再現性，同時探討

此10位測顱觀測者於 與 前後兩次不同時間所量測之測顱數值所呈現的差異性。由於所有測顱特徵點座標經投影至Y、Z軸平面後，前後兩次實驗所量測之特徵點座標平均值差（Mean Error），其計算公式如下，其中、分別為特徵點座標軸之平均值。

$$\text{Mean Error} = \sqrt{(Y_{T2} - Y_{T1})^2 + (Z_{T2} - Z_{T1})^2}$$

結果

表1為10位觀測者所標定的各特徵點，其座標的分佈情形。由Or等九個測顱點由於是由正中平面的單張平面影像量測，故x軸座標皆為相同。結果指出在其餘特徵點的定位上，十位觀測者所標定的特徵點座

標，除了Po在x軸的座標以外，其餘特徵點座標的分佈標準差皆小於1.5，且其中的多數都小於1，顯示以三維影像定位測顱特徵點可獲得良好的一致性。

在T1和T2二個不同時間點，對於同一特徵點的誤差測量，結果無任何特徵點座標位置差距達1mm以上，而特徵點座標位置差距達0.5mm以上者，僅有A-point、B-point、Po等三個測顱特徵點。

表2為10位不同的觀測者，所量測之16個測顱數值平均值差所顯示的結果，除了部份A-B plane angle與SNB angle以外，數值標準差大多小於2°，10位不同的觀測者所量測之測顱值，彼此間差異性在可接受的範圍。

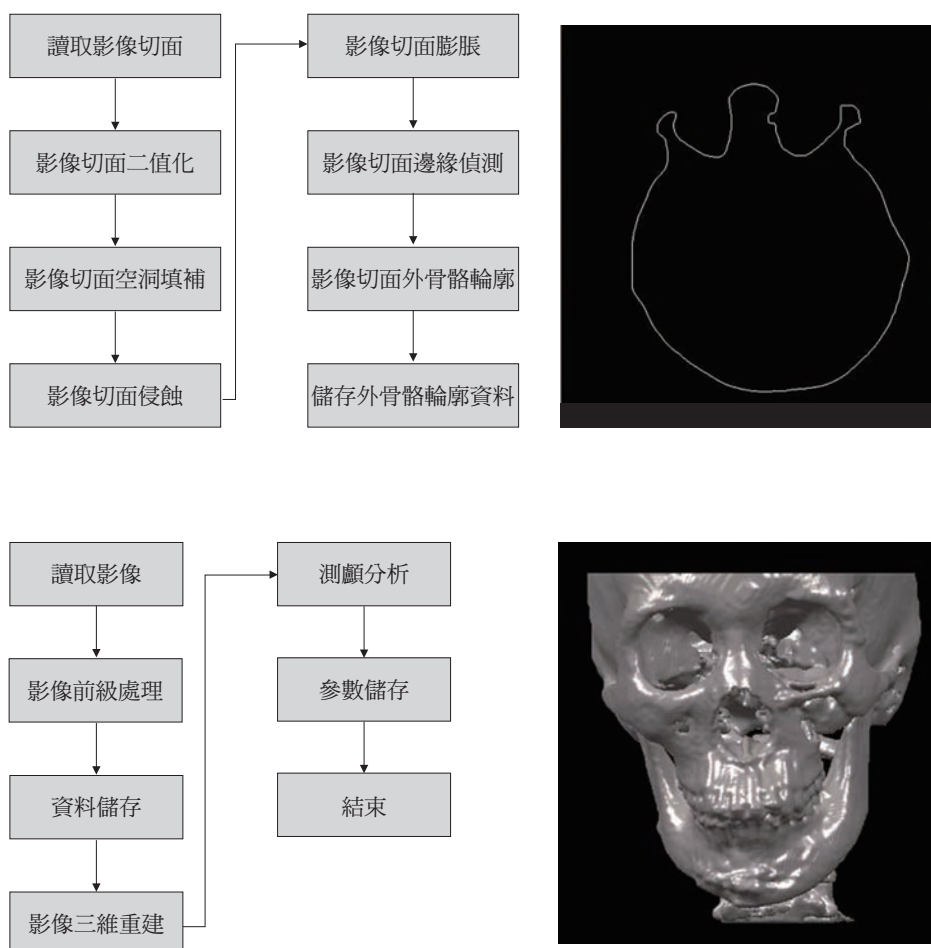


圖1. 電腦斷層影像之前級處理方法（上）
重建頭部骨骼三維影像及進行測顱分析（下）

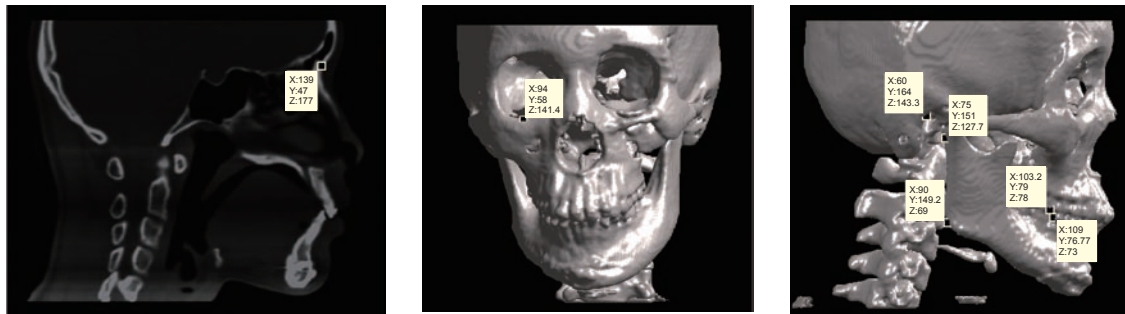


圖2. 以不同角度之視窗，標定測顱特徵點

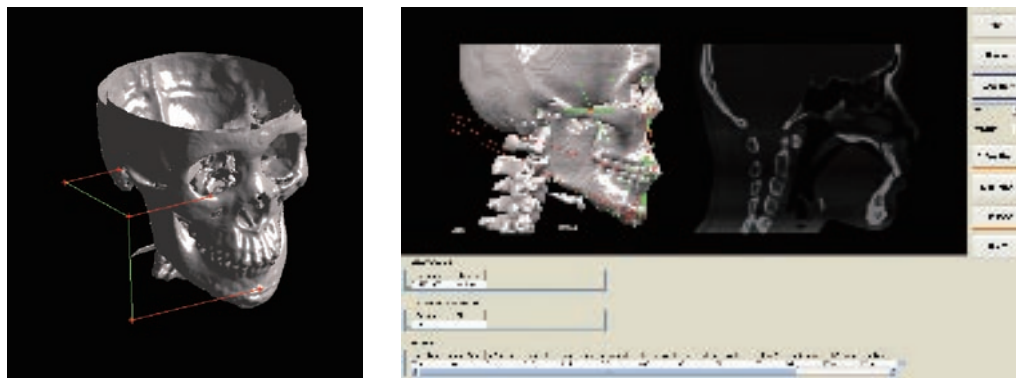


圖3. 測顱特徵點投影至平面後進行測顱分析 (左)
測顱數值分析之視窗介面 (右)

表1. T₁及T₂特徵點座標平均值及標準差

Landmark	x-Axis				y-Axis				z-Axis			
	T1		T2		T1		T2		T1		T2	
	Mean	±S.D	Mean	±S.D	Mean	±S.D	Mean	±S.D	Mean	±S.D	Mean	±S.D
N	107.5	0	107.5	0	34.34	0.4	34.57	0.52	139.5	0.4	139.3	0.33
Or	72.47	0.52	72.62	0.57	45.38	0	45.28	0.22	109.8	0	109.7	0.2
ANS	107.5	0	107.5	0	33.49	0.37	33.33	0.24	80.36	0.24	80.36	0.44
A-point	107.5	0	107.5	0	36.12	0.82	36.58	0.82	76.57	1.46	77.03	0.4
U1-apex	107.5	0	107.5	0	36.35	0.52	36.5	0.61	73.55	0.68	73.47	0.82
U1-tip	107.5	0	107.5	0	31.01	0.24	31.17	0.37	54.22	0.24	53.98	0.33
L1-tip	107.5	0	107.5	0	35.58	0	35.58	0	57.77	0.37	57.62	0.41
L1-apex	107.5	0	107.5	0	44.32	0.37	44.47	0.41	39.98	0.37	39.98	0.37
U6	79.89	0.35	79.85	0.31	61.95	1.43	62.03	0.61	60.69	0.5	60.57	0.55
L6	81.18	0.28	81.66	1.06	64.04	0.8	64.42	2	59.2	0.37	59.26	0.71
B-point	107.5	0	107.5	0	42.46	0.24	42.69	0.33	34.26	1.32	34.8	1.03
Pog	107.5	0	107.5	0	41.53	0.52	41.45	0.54	24.28	0.4	24.59	0.49
Gn	107.5	0	107.5	0	43.39	0.24	43.47	0.49	18.33	0.37	18.02	0.64
Me	107.5	0	107.5	0	49.5	0.36	49.65	0.33	15.16	0.54	15.16	0.4
PNS	107.5	0	107.5	0	81.98	1.03	82.14	0.61	88.86	0.44	88.94	0.36
Go	68.44	0.49	68.55	0.54	113.77	0.62	113.76	0.55	51.64	0.82	51.54	0.87
Art	59.36	1.01	59.24	0.83	117.08	0.44	117	0.48	97.76	0.65	97.55	0.77
Po	59.17	1.16	51.61	1.71	125.2	0.77	125.8	0.95	111.23	0.52	111.13	0.76
Se	107.5	0	107.5	0	94.51	0.33	94.43	0.24	132.8	0.49	132.6	0.75

表2. T₁及T₂測顛指標平均值及標準差

測顛指標數值	T1		T2	
	Mean	±SD	Mean	±SD
Facial angle	87.38	0.51	87.57	0.82
Angle of convexity	4.40	1.79	3.46	1.48
A-B plane angle	2.06	5.02	4.70	1.29
Mandibular plane angle	28.63	0.76	28.57	0.79
Y-axis	65.00	0.44	65.02	0.57
Cant of occlusal plane	17.12	0.57	17.11	0.55
Interincisal angle	138.1	1.36	137.9	1.80
Incisor-Occlusal plane angle	19.64	1.92	20.41	1.51
Incisor-Mandibular plane angle	3.42	0.89	2.81	1.17
Protrusion of U1(mm)	7.40	0.65	7.53	0.79
SNA angle	82.08	1.17	81.74	0.74
SNB angle	79.28	0.60	78.24	2.89
ANB angle	2.80	0.90	2.58	0.80
GoGn to S-N angle	99.43	1.14	98.87	1.61
U1 to SN	86.59	0.88	87.19	1.17
L1 to Mandibular plane	31.64	0.74	31.91	0.92

討論

本研究採用具備DICOM格式電腦斷層影像，此格式是規範數位醫學影像檔案與傳輸格式。此規範的優點為讓醫學數位影像具共通規格，可互相傳輸與交換，更可藉由網路通訊傳輸，縮短醫師調閱醫療影像的時間，降低沖洗X光膠片成本支出，減少儲片空間與大幅提高醫療效率等益處。近年來由於數位化設備大量引進牙科，錐束式電腦斷層（Cone beam CT，CBCT）在牙科的運用日漸普及，特別是在人工植牙在診斷和治療計劃上，新技術的導入改變了臨床醫師的思維和技術。但在齒顎矯正的範疇裏，電腦斷層的運用多半侷促於病理性的研究，如阻生牙定位或顛顎關節症等診斷，對於整體治療的幫助較為有限^{8,9}。本研究為探討三維測顛技術的先驅實驗（Pilot study），嘗試開發新方法並自行撰寫程式，以三維電腦斷層的影像直接進行測顛分析。

許多研究致力於建立三維電腦斷層影像方式的進行測顛分析¹⁰⁻¹⁴，儘管三維影像具備高解析度，但由於測顛術的定義和方法源自於平面X光，目前尚未在三

維影像的領域中訂定明確的定義，因此學者對三維影像測顛的研究，多數都是在三維影像中，單純進行點對點之間的線性測量，而非直接採行臨床所用的測顛方法¹⁰⁻¹⁴。部份CBCT的設備廠商提供軟體將其影像組建後，模擬出類似二維側頭顛影像後，再進行傳統的測顛分析¹⁴。本研究則提出新方式，由MSCT取得影像後組建三維解剖構造，並以多視角視窗直接於三維影像上取得測顛特徵點，再投影至同一平面計算測顛數值。由於許多的醫院放射科均具有MSCT設備，屬相對普遍化之設備，而本研究所提出之三維電腦斷層測顛術可提供一項電腦斷層影像之實際應用，毋須額外增添昂貴儀器設備即可進行研究與開發。

研究中直接由十位不具備醫療背景的學生，在短暫的講解後進行測顛點的標定，結果顯示各特徵點在兩個不同時間點的量測值，不論是組內或組間的結果皆有極高之再現性。常態進行測顛術的分析者，皆為經過長期的教育訓練和具備豐富經驗的臨床醫師或技術人員，方可於平面測顛影像上獲致可靠的結果。由於三維重建後的影像具備可見即可得的特性，各個解剖特徵點可明確的於立體的影像上標出。以眶下點（

Or) 為例，平面影像上須由有經驗的分析者自前顏面部的側面影像中萃取後標出，但在立體的影像中卻可由正面的視角中明確的定位出眼眶的最下緣點，是故三維影像的使用簡化了人員訓練的需求。平面X光測顱由於缺乏立體構造的呈現，因此對根基於辨識解剖構造的測顱術，在學習上相對具有一定程度的困難。實驗中特徵點Po的X軸座標值標準差大於其餘各點，造成此現象發生之原因為重建的三維立體測顱影像具有表面高低，因此會有特徵點位置深、淺等現象；不過本研究將所有特徵點座標投影至Y、Z軸平面作為測顱分析，因此X軸的深淺變化於本測顱結果並不影響。所有測顱特徵點座標經投影至Y、Z軸平面後，前後兩組時間點實驗所量測之特徵點座標平均值差，結果指出並無任何特徵點座標位置差距達1mm以上，而特徵點座標位置差距達0.5mm以上者，僅有A-point、B-point、Po等三個測顱特徵點，相較於平面測顱術的研究，本實驗對特徵點的定位有極佳的再現性。在Downs測顱的結果上，除了A-B plane angle 及ANB以外，兩組時間點的測顱值差距都不大，在臨床上應為可接受的範圍。

許多學者致力於對傳統二維測顱術的精確性和再現性加以分析²，但是對於以三維電腦斷層影像方式建立測顱的結果需要更多的研究來建立可靠的結論⁹。早期的研究認為3D CT相較於傳統平面X光測顱並沒有特別的可靠¹⁰，這樣的推論可能和早期的CT切面厚度較大以致重建後影像的失真有關，近年來由於設備精度和電腦運算能力的大幅提昇，3D CT測顱精確度和再現性有明顯的進步^{7,13}，本研究的結果亦可驗證這個趨勢。

結論

本研究為探討三維測顱技術的先驅實驗，透過讀取MSCT所產生之頭部電腦斷層影像，經影像處理重建為三維立體物件，提供使用者立體解剖構造及多視角觀察，並在立體影像中定位測顱點後進行測顱運算。初步結果本系統於特徵點辨識度相當高，且具備高準確性與再現性，顯示此技術的可行性。未來應擴大研究的範圍，並配合臨床需求進一步探討其應用。

參考文獻

1. Baumrind S, Frantz R. The reliability of head film measurements. 1-Landmark identification. *Am J Orthod* 1971;60:111-127.
2. Trpkova B, Major P, Prasad N, Nebbe B. Cephalometric landmarks identification and reproducibility: A Meta analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1997;113:165-170.
3. Halazonetis DJ. From 2-dimensional cephalograms to 3-dimensional computed tomography scans. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2005;127:627-637.
4. Huang Y, Chen M, Chang JZ, Lai EH, Yao JC, Chen Y. From 2D to 3D - the orthodontic diagnostic value of new generation of computed tomography. *J Taiwan Assoc Orthod* 2008;20:4-15.
5. Christiansen EL, Thompson JR, Kopp S. Intra- and inter-observer variability and accuracy in the determination of linear and angular measurements in computed tomography: An in vitro and in situ study of human mandibles. *Acta Odontologica Scandinavica* 1986;44:221 - 229.
6. Matteson SR, Bechtold W, Phillips C, Staab EV. A method for three-dimensional image reformation for quantitative cephalometric analysis. *J Oral Maxillofac Surg* 1989;47:1053-1061.
7. Olszewski R, Zech F, Cosnard G, Nicolas V, Macq B, Reyhler H. Three-dimensional computed tomography cephalometric craniofacial analysis: experimental validation in vitro. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2007;36:828-833.
8. Turpin DL. British Orthodontic Society revises guidelines for clinical radiography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008;134:597-598.
9. Lou L, Lagravere MO, Compton S, Flores-Mir C. Accuracy of measurements and reliability of landmark identification with computed tomography (CT) techniques in the maxillofacial area: a systemic review. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2007;104:402-411.

10. Kragstov J, Bosch C, Gyldensted C, Sindet-Pedersen S. Comparison of the reliability of craniofacial anatomic landmarks based on cephalometric radiographs and three-dimensional CT scans. *Cleft Palate Craniofac J* 1997;34:111-116.
11. Kragstov J, Sindet-Pedersen S, Gyldensted C, Jensen KL. A comparison of three-dimensional computed tomography scans and stereolithographic models for evaluation of craniofacial anomalies. *J Oral Maxillofac Surg* 1996;54:402-411; discussion 411-402.
12. Silva MA, Wolf U, Heinicke F, Bumann A, Visser H, Hirsch E. Cone-beam computed tomography for routine orthodontic treatment planning: a radiation dose evaluation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008;133:640 e641-645.
13. Periago DR, Scarfe WC, Moshiri M, Scheetz JP, Silveira AM, Farman AG. Linear accuracy and reliability of cone beam CT derived 3-dimensional images constructed using an orthodontic volumetric rendering program. *Angle Orthod* 2008;78:387-395.
14. Kumar V, Ludlow J, Soares Cevidanes LH, Mol A. In vivo comparison of conventional and cone beam CT synthesized cephalograms. *Angle Orthod* 2008;78:873-879.

THREE DIMENSIONAL COMPUTED TOMOGRAPHY UTILIZED IN CEPHALOMETRY – A TECHNICAL INVESTIGATION

Chih-Yu Chen¹, Hsun-Heng Tsai², Kuo-Chang Yeh², Li-Wen Lin¹, Wei-Te Wu²

Dental Department of E-Da Hospital¹

Department of Biomechatronics Engineering, National Pingtung University of Science and Technology²

Current cephalometry in dentistry relies on plain lateral films to evaluate craniofacial structure of patients. This concept is based on 2D images which are difficult to apply in complicated craniofacial structures. The purpose of this study is to develop a 3D cephalometric analysis by reconstructing the 3D-CT skull images, which provides landmark identification and Downs analysis in the 3D software. This system also has the feature of multiple view windows, auto cephalometric measurement and counting, and simplified user's interface. A pilot study, using the landmark identification and cephalometric analysis which was processed by ten observers at two different times, was conducted to evaluate the accuracy and reliability of this system. The result supports this approach to be a reliable method in cephalometric analysis and worthy to research in the future. (**J. Taiwan Assoc. Orthod. 21(3): 20-27, 2009**)

Key words: 3-dimensional computed tomography cephalometry, radiographic cephalometry, 3-dimensional images reconstruction

Received: August 14, 2009 Revised: August 24, 2009 Accepted: September 4, 2009

Reprints and correspondence to: Dr. Chih-Yu Chen, Dental Department of E-Da Hospital

Dental Department, 1 Yi-da Road, Jiau-shu Tsuen, Yan-chau Shiang,
Kaohsiung County, 824, Taiwan, R.O.C.

Tel: 07-6150011 ext. 2386 Fax: 07-6150913