



January 2016

Application of Digital Models in Orthodontic and Maxillofacial Surgery – A Literature Review

Yu-Jen Hsu

Department of Orthodontics, National Taiwan University Hospital

Kang-Yee Wang

Department of Orthodontics, National Taiwan University Hospital

Hung-Cheng Chiu

Department of Orthodontics, National Taiwan University Hospital

Emily Yi-Min Liu

Department of Orthodontics, National Taiwan University Hospital

Yun-Yun Wu

Department of Orthodontics, Cathay General Hospital

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



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

Recommended Citation

Hsu, Yu-Jen; Wang, Kang-Yee; Chiu, Hung-Cheng; Liu, Emily Yi-Min; and Wu, Yun-Yun (2016) "Application of Digital Models in Orthodontic and Maxillofacial Surgery – A Literature Review," *Taiwanese Journal of Orthodontics*: Vol. 27: Iss. 3, Article 1.

DOI: 10.30036/TJO.201606_27(3).0001

Available at: <https://www.tjo.org.tw/tjo/vol27/iss3/1>

This Review 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.

Application of Digital Models in Orthodontic and Maxillofacial Surgery – A Literature Review

Abstract

The digital dental models are not subject to physical damage, and require negligible storage space. They can be transferred electronically to specialists easily and can be carried out with virtual setups. A precision 3-dimensional head model can be fabricated by integrating a digital dental model into a maxillofacial 3-D CT image. Using this 3-D image, it is possible to perform dental decompensation, reposition of osteotomized bony structures, and simulate the postoperative results on hard and soft tissue in 3-D on our computer screen. Besides, it also spares the laboratory time with CAD/CAM surgical splint manufactured.

Keywords

digital models, 3-D computer-aided surgical simulation, orthognathic surgery

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/).

數位模型在正顎手術矯正治療上的應用 — 文獻回顧

許佑任 · 王剛毅 · 邱宏正 · 劉怡敏 · 吳蘊蘊*

國立臺灣大學牙醫專業學院
牙醫學系暨臨床牙醫學研究所
臺大醫院牙科部齒顎矯正科
國泰綜合醫院齒顎矯正科*

數位模型有不會磨耗、易保存、方便檔案傳輸和可以後續影像處理等優點，將數位模型合併電腦斷層掃描之顏面頭顱影像，可得到完整的齒列與顏面立體結構，利用軟體進行模擬正顎手術矯正治療，有助於了解手術前牙齒去代償、手術中骨骼移動和手術後齒列與外觀的變化，而利用電腦輸出正顎手術定位板，可節省許多技工室步驟。本篇文獻回顧整理數位模型合併電腦斷層影像，如何應用於正顎手術矯正治療。 (*Taiwanese Journal of Orthodontics*. 27(3): 132-139, 2016)

關鍵字：數位模型、3-D電腦輔助模擬手術、正顎手術

前言

牙科印模技術和石膏模型製作技術源於17世紀初期，隨著材料的進步，提供了更好的精確度、穩定性和便利性等，而至今藻膠類不可逆性水凝膠印模材（Irreversible hydrocolloid alginate）和第二類牙科模型用石膏（Type II dental stone）仍是矯正醫師最常使用製作模型的材料，雖然傳統石膏模型已經使用的數十年，但仍有易磨耗和不易保存等限制，近年來數位化模型的出現，改進了這些缺點，並且在檔案保存、

傳輸和軟體應用更有彈性¹，有助於醫師間與醫病間的溝通，此外，更可藉由軟體預測牙齒移動和牙齒與周圍組織的關係，近幾年，結合數位模型與3-D電腦斷層影像，可作為正顎手術矯正治療之硬組織與軟組織預測，更可以利用數位輸出手術定位板（Surgical splint），以此簡化以往需要多次印模、排牙、模型手術（Model surgery）和製作定位板等工作。本篇文獻回顧整理數位模型在正顎手術矯正治療上的應用，針對數位影像取得與處理、對位合成技術及模擬手術與手術定位板製作等三項做個別論述。

收文日期：104年10月3日 修改日期：105年5月15日 接受日期：105年5月29日

聯絡及抽印本索取地址：台北市仁愛路四段390號2樓 吳蘊蘊

電話：0972-192-482

電子信箱：bluewifeyun@gmail.com

一、數位齒列模型的影像處理

有四種影像處理方式可將齒列數位化²：第一，電腦斷層或雷射掃描石膏齒列模型；第二，顱顏部電腦斷層數位檔重組數位齒列模型；第三，電腦斷層或雷射掃描印模材重組數位齒列模型；第四，口內掃描機直接於口內進行齒列掃描。以電腦斷層、雷射或其他儀器掃描石膏模型，可避免口內金屬補綴物造成的條紋假影（Streak artifact），但仍必需印模及製作石膏模型；截取電腦斷層數位檔（DICOM image）重組成數位立體齒列，最大的缺點是：口內的金屬補綴物和金屬矯正器，會造成條紋假影干擾判讀，且樹脂補綴物所產生的灰階影像，會與軟組織成像相似而難以分辨，故不建議以電腦斷層數位檔重組齒列影像；掃描印模材獲得齒列陰模，再透過軟體轉換為齒列陽模，優點是不需要製作石膏模型；而直接進行口內掃描，則可免去印模及製作石膏模型的步驟。

使用電腦斷層掃描獲得的資料檔為體積檔（Volumetric data），以此重組成立體影像必須仰賴良好的影像解析度和後續影像處理，才可得到最終良好的立體影像，即使是高解析度的影像，不適當的後續處理可能會降低其精準度，Varga等學者³對於影像處理作了進一步的討論，以高解析度微型錐狀射束電腦斷層（解析度為0.082 mm）掃描牙科石膏模型，建立數位模型時需執行的六個影像處理步驟（Image resolution, threshold segmentation, smoothing 2-D CT data, 3-D model generation using the marching cubes algorithm, smoothing generated 3-D models, reducing the number of mesh triangles），結果發現不同的影像處理，隨著影像解析度降低（0.1 ~ 0.8mm），影像誤差會顯著增加，在表面過度平整化處理（Smoothing of generated surface models with extensive settings），解析度0.7 ~ 0.8 mm時，最大誤差值高達1.6 mm；影像處理程序常常隱藏在軟體中被忽略，我們必須了解廠商的軟體設定外，應勿任意降低影像解析度，因為有可能因此增加影像的誤差。

數位模擬矯正牙齒移動

數位模型已廣泛使用在齒顎矯正之診斷、治療計劃、模擬牙齒移動和評估治療後變化等，近年來技術的進步，更可應用在舌側矯正間接矯正黏著技術（Indirect bracket positioning）的設計和定位⁴；而在正顎手術上的應用，傳統正顎手術矯正治療前，會將牙齒石膏模型轉移至咬合器，並分牙和排牙以預測牙齒移動，達到術前牙齒去代償（Dental decompensation），接著以石膏模型模擬術中上下顎骨移動，藉此預測術後咬合與骨骼變化，此步驟需要病人多次印模，且技工室步驟繁瑣耗時，若以數位模型和軟體模擬牙齒與骨骼移動，不只可以進行術後咬合、骨骼及外觀預測，也可以利用3-D列印技術製作手術定位板（Surgical splint），將省去許多技工室的流程。Seoul等學者⁵比較以傳統石膏模型與數位模型排牙的差異，選取10位有輕微齒列擁擠和外觀突出，需要拔除上下顎第一小白齒治療的矯正病患，使用3-D光學雷射掃描全口齒列（Orapix KOD-500），解析度為 $\pm 15 \mu\text{m}$ ；傳統石膏模型部分：將模型轉移至咬合器後，進行分牙及排牙，再以光學雷射掃描和數位分析；數位模型部分，以軟體（3Tex program, Orapix）進行分牙及排牙。結果發現數位模型排牙在上、下顎的牙弓周徑（Perimeter）較石膏模型排牙小（2.2 mm, $p < 0.01$ ；1.3 mm, $p < 0.05$ ），且數位模型呈現較小的Overjet和Overbite（ $p < 0.01$ ）。透過數位排牙，相較於傳統石膏排牙，可以得到較對稱的牙弓形狀和牙齒角度，但數位排牙仍是透過平面電腦螢幕，缺乏立體空間感，另外，數位模型在進行分析或分牙時，可能喪失牙齒鄰接面的資訊，尤其是在擁擠的牙齒，如此進行排牙會導致牙弓周徑變小、牙弓形狀較尖窄（Tapered）等誤差，故矯正醫師在進行數位模型分析和排牙時，應特別注意牙齒鄰接面和咬合面的處理，必要時需在軟體上進行校正。

以傳統石膏模型或數位模型排牙，皆可預測牙齒移動，但兩者皆無法預測牙根走向和牙齒與齒槽骨的關係，Macchi⁶等學者，利用電腦斷層截取頭顱

骨和牙齒結構，但以電腦斷層掃描得到的牙齒影像，會因口內金屬補綴物等影響成像品質，故另外再以雷射掃描石膏模型，得到精確的牙冠及牙齦外形；在電腦斷層影像上，將每顆牙齒的牙根相互分離後，再將其牙冠移除，接著將數位齒列模型各牙齒的牙冠相互分離，將其合成於相對應的電腦斷層之牙根，如此可以獲得精確的頭顱骨、顏面軟組織、牙冠與牙根結構，Macchi⁶以拔除上顎第一小白齒並關閉拔牙空間為例，數位模擬牙齒移動，可以清楚看到牙齒移動後與周遭齒槽骨的關係，若發生齒槽骨穿孔（Bone fenestration），可以即時更改牙齒移動方向；以電腦斷層合併數位齒列模型進行診斷與排牙，可以得到許多傳統石膏模型排牙無法獲得的資訊，例如：上顎前牙後拉，牙根與齒槽骨的關係及牙根扭矩（Torque）的變化；上顎臼牙後移時，與上顎骨後緣的關係；關閉空間或牙弓撐寬時，牙根與齒槽骨的關係；上顎牙齒牙根與上顎竇的關係；萎縮的骨脊與鄰牙牙根的關係；下顎門牙移動與周遭齒槽骨的關係等。

二、數位影像對位合成技術

1897年Babcock等學者⁷使用齒列石膏模型進行正顎手術模擬，至今仍是正顎手術術後咬合的準則；1931年Broadbent等學者⁸開始使用測顱X光片作為正顎手術計劃制定的重要依據，開始重視齒列與顏面骨骼的關係；但重視骨骼與齒列的關係，忽略顏面軟組織的變化，有可能達到良好的功能卻犧牲了美觀，於是1980年後，許多3-D影像技術的進步，想要同時兼顧齒列、骨骼與軟組織三要素，而如何同時獲取此三要素的影像就成了重要的議題。

顏面結構可以分成三個要素：顏面軟組織，包括皮膚、結締組織、脂肪和肌肉；顏面骨骼，包括骨骼和軟骨；以及齒列。此三要素深深影響矯正治療和正顎手術計劃，當病人有顏面部畸形，矯正醫師應該審慎評估其軟組織、其下骨骼結構、以至於齒列位置及他們之間的相互關係，但目前並沒有一種儀器可以“同時”截取到此三要素精準的影像，例如電腦斷層掃描雖然可以同時獲得顏面軟組織、骨骼和齒列結構，但截取到的皮膚表面質地（Texture）並不真實，而牙齒結構可能因補綴物和矯正器等產生影像干擾。

Plooij等學者²回顧文獻認為以3-D照相技術（3-D photograph）截取顏面軟組織，可以得到真實的軟組織質地影像；以錐狀射束電腦斷層截取顏面骨骼結構；以及掃描石膏模型、印模材或口內直接掃描截取齒列影像（如前所述），如此可以分別獲得精確的三要素立體影像，但另一個重要的問題，就是影像合併技術（Image fusion processes）：如何將分別的影像檔案合併成一個可分析和處理的檔案，如此得以同時分析軟、硬組織與齒列結構。

合併“數位齒列模型”與“電腦斷層頭顱骨模型”

已知電腦斷層掃描獲得的齒列影像可能不精準而難以分析，若將數位齒列模型合併到電腦斷層影像中的頭顱結構之齒列部分，將有助於分析齒列與顏面骨骼的關係，並可進一步後續影像處理，例如數位排牙、模擬骨骼移動和輸出手術定位板等。要將“數位齒列模型”影像合併於“電腦斷層”影像，兩者的定位參考相當重要，目前有三種主要的定位方法：Point based registration, surface based registration以及voxel based registration。

2003年Gateno等學者⁹首先使用“Point based registration”方法合併數位齒列模型和電腦斷層影像，在印模牙托（Triple Tray）周圍固定了四個直徑4 mm的鈦合金定位球作為定位基準（Fiducial markers），並在乾燥頭顱骨（Dry skull）上下齒列咬模固定咬合位置時，以電腦斷層掃描頭顱骨並輸出數位檔，印完模後以3-D雷射掃描印模材，獲得上下齒列影像及咬合關係，如此可得包含定位球的頭顱電腦斷層檔和數位齒列模型檔，接著可利用定位球為定位基準，合併“頭顱骨影像”與“齒列影像”獲得“複合式頭顱骨模型（Composite skull model）”，比較實際量測“頭顱骨”與軟體量測“數位頭顱骨”之各參考點距離，包含：Bone-to-bone measurements, tooth to tooth measurement 和 bone to tooth measurements，發現三組量測值在兩模型的差異平均值分別為： 0.5 ± 0.6 mm, 0.1 ± 0.2 mm和 0.2 ± 0.3 mm，此差異在臨床上可被接受，顯示使用Point base registration影像合成技術有很好的精確度，類似的方法在2006年Uechi等學者¹⁰亦使

用Point base registration影像合併技術：在兩位病患以軟體模擬正顎手術前後的咬合關係，結果以均方根誤差（Root mean squared error）顯示定位誤差：在兩位病患皆小於0.4 mm，顯示此法模擬正顎手術之齒列與骨骼移動有很好的準確度，缺點是需另製作不透射線（Radiopaque）定位基準作為合併影像的參考點。

2011年Noh等學者¹¹使用“Surface based registration”定位法，首先以錐狀射束電腦斷層掃描30位病患的頭顱部，及雷射掃描齒列石膏模型，獲得骨骼與齒列影像後，以三種定位方式：齒列之頰側面、舌側面及頰側和舌側面，以“疊代最接近點演算法（Interactive closest point algorithm）”合成頭顱部與齒列影像，結果發現三種定位方式的誤差平均值為0.27~0.33 mm，臨床上是可被接受的，而咬合面和齒間（Interdental）區域產生誤差最大，原因為雷射掃描影像會將軟組織移除，可能造成齒間影像的誤差，而電腦斷層影像，會受到補綴物的干擾，以及對咬時不易截取咬合面影像，皆會造成咬合面影像失真；另外只以齒列舌側面重疊較其他兩者不精確，因為在電腦斷層影像，上顎齒列頰側及下顎齒列頰側和舌側，在咬合上下覆蓋時影像截取不易，會造成咬合面的影像誤差。但總體而言，Surface based registration定位法在臨床上是較簡易且算精確的，但建議掃描數位齒列模型時，要同時截取咬合記錄，如此合成到電腦斷層影像才有正確的咬合關係。

第三種定位法為“Voxel based registration”，2009年Swennen等學者¹²使用特製的印模牙托（Alfa triple tray），在印模同時獲得上下齒列、咬合面和咬合關係，接著需拍攝三組電腦斷層影像：請病人咬合時拍攝第一組影像，此時臉頰和嘴唇放鬆沒有拉扯及變形，第二組請病人咬著特製牙托，拍攝“低劑量”的影像，第三組只拍攝“高劑量”的印模牙托，包含了上下齒列外型；接著以軟體“立體像素定位合成三影像（Triple voxel-based rigid registration）”得到包含精確齒列表面和咬合關係的頭顱骨影像，結果發現以此定位法合成的平均誤差僅為 0.08 ± 0.03 mm，成功的影像合成最大誤差小於0.1 mm都是可以接受的，可知以Voxel-based registration定位法可獲得相當精確

的頭顱骨與齒列影像，但病人需多拍攝一組電腦斷層影像，增加了一次輻射暴露是此法的最大缺點。在頭顱骨立體影像呈現精確的齒列表面和咬合關係相當重要，不同的定位合成技術，只要操作得當都有良好的精準度，但同時要考量到臨床便利性、軟體應用或相容性和是否多餘的輻射暴露等因素，來調整影像擷取和合成的方法。

三、模擬手術與手術數位定位板輸出

治療前藉由模擬牙齒去代償、正顎手術骨骼移動和術後咬合，可以預測手術後病人的外觀、骨骼和咬合變化，傳統在完成牙齒去代償後及正顎手術前，會印模並將病患目前的齒列石膏模型轉移到咬合器上，在咬合器上模擬術中的骨骼移動，藉此可製作術中齒列手術定位板（Surgical splint），但傳統模型手術（Model surgery）：將齒列和頭顱骨的關係轉移到咬合器上，會因為外耳道或鼻梁等定位結構，而造成轉移誤差；模擬骨骼移動時，參考模型上的水平和鉛錘參考線不能代表實際的骨骼結構和手術斷面；另外，在進行模型手術時，實際上術中骨骼移動可能會受到許多干擾，這也是無法呈現在咬合器上。而以3-D數位模擬手術除有助了解實際骨骼移動外，並可觀察“髁狀突”是否位移或旋轉；另外，不對稱的臉型在測顱X光片常難以判讀，3-D數位影像有助於不對稱臉型的診斷和術後外觀預測。

電腦輔助模擬手術（Computer-aided surgical simulation, CASS）可以應用在顱顏面手術、外傷手術和牽引骨生成術（Distraction osteogenesis）等，手術醫師利用3-D模擬術後的結果，可以增加手術的精確度，如前所述良好的CASS系統必須仰賴：精確的頭顱骨及齒列數位影像、良好的影像定位及合併技術和良好的CAD/CAM（computer-aided design/computer-aided manufacturing）技術，以製作精確的手術定位板。臨床的步驟簡略如下：第一，以電腦斷層掃描將顱顏骨模型數位化，同時必須有一可信賴的定位基準（Fiducial markers，如前所述）；接著獲得一精確的齒列數位影像，無論是以雷射掃描或電腦斷層掃描

技術，其需包含上下齒列模型，和一與顱顏骨影像相同的定位基準；最後以影像對位合成技術將三者合併為一數位影像擋。第二，將影像檔調整於Natural Head Position (NHP)，並定位空間平面和特徵點 (Landmarks)，如此才不會因病人頭部姿勢改變而誤判臉部不對稱等情況，並且可以進行線性、角度或體積量測。第三，以軟體模擬手術移動，在數位模型上預想手術切割位置 (Pre-cut)，並且開始移動骨塊 (Bony segments)，經由軟體模擬可預測術後結果並及時修正，以達到最適當的手術計畫。最後一個步驟就是要將電腦模擬的手術計畫，轉移到實際病人身上，這就仰賴精密的CAD/CAM技術輸出數位手術定位板，以助於術中各骨塊的定位。

2013年Hernandez-Alfaro等學者¹³研究電腦影像輸出手術定位板之精確度。以錐狀射束電腦斷層掃描三個乾燥頭顱骨及以雷射掃描其齒列，將兩種影像以Surface-based registration定位法合成為一立體影像 (SimPlant Pro OMS software)，接著進行數位模擬手術：雙側下顎支矢狀劈開術 (Bilateral surgical split osteotomy) 將下顎骨前置，以此位置CAD/CAM (Computer-aided design and computer-aided manufacturing) 電腦輸出術中手術定位板，比較影像與實際佩戴於頭顱骨上在三個向度的差異，發現三個向度 (X, Y, Z軸) 平均誤差為0.09, 1.26和0.18 mm，在垂直向度 (Y軸) 誤差較大 (1.26 mm)；另外Hernandez-Alfaro¹³亦選了六位需要雙顎正顎手術病人，使用同一方法和軟體進行手術模擬及輸出手術定位板，術中佩戴定位板固定後，以口內掃描獲得齒列與周圍組織影像，接著合成於電腦斷層影像與術前模擬影像比較，六位病人在三個向度 (X, Y, Z軸) 平均誤差為0.15, 0.5和0.25 mm，亦在垂直向度誤差稍大 (0.5 mm)。此研究使用電腦模擬手術並輸出手術定位板，無論是在乾燥頭顱骨或是人體試驗，誤差皆小於1.5 mm，在臨床上是可以接受的，另外顯示在垂直向度產生較大的誤差，推測是手術定位板的材料在製作時產生的誤差。

Hernandez-Alfaro在2012年的前瞻性研究 (Prospective study)¹⁴在16位需正顎手術的病人 (15

位雙顎手術，1位單顎手術)，以上述電腦模擬手術之骨骼移動與軟組織變化 (SimPlant Pro OMS software)，並以“傳統模型手術”和“電腦輔助輸出”製作兩副手術定位板，術中分別佩戴兩副定位板，以不動的骨骼結構作為參考點，作三個向度量測，結果16位病人中有15位在“傳統定位板”與“數位輸出定位板”的三個向度上的差異皆小於1 mm，顯示數位輸出定位板有良好精確度。另外，在術後三個月後，拍攝電腦斷層影像比較實際術後的改變，與電腦模擬手術的差異，結果發現“角度量測值”、“齒列”與“軟組織”變化呈現較大的誤差。在執行雙顎手術時，術中垂直向度的定位較困難，容易造成垂直向度和角度量測值的誤差；而數位齒列影像及電腦輸出手術定位板的精確度，都可能造成術中咬合和骨骼定位的誤差；另外，無論使用何種預測方法，軟組織在術後的變異性，包含術後腫脹、術式差異和病患肌肉張力等，都會使術後軟組織的變化難以預測，而術後復發 (Relapse) 造成骨骼變化也是我們應該列入考量的。

Hass等學者¹⁵在2015年對於電腦輔助正顎手術矯正治療做了系統性回顧，顯示以電腦輔助製作手術定位板可將下顎骨與下頷做良好的定位^{16, 17}，亦可達到不錯的手術精確度 (上顎骨垂直位移 < 1.2 mm，下顎骨水平位移 < 1.1 mm，上下顎骨旋轉位移 < 1.8°)，但如前所述，軟體對於軟組織的預測仍有所限制；電腦輔助正顎手術矯正治療比起傳統方式，有類似的手術時間和併發症，但顯示可節省術前的準備時間，及可提供更精確、可預測性的治療計畫。

結論

以“數位齒列模型”與“電腦斷層頭顱骨”影像，作為正顎手術矯正治療前的診斷與評估，包含牙齒去代償、模擬骨骼移動和術後外觀預測等，可使矯正醫師和手術醫師更能掌握治療成效，也助於與病人解釋治療流程與結果。術前的數位模擬手術，可清楚呈現骨骼與髁狀突的位移，手術醫師可作即時的修

正，而電腦輸出手術定位板，更可省去繁瑣的技工室步驟。目前3-D數位模擬矯正與正顎手術仍有許多技術層面需克服，包含數位齒列的精確性、齒列與頭顱骨影像合成技術、手術定位板輸出技術和材料特性的限制等，而軟組織的變化難以預測仍是現今無法克服的，除外任何技術和步驟都需合乎臨床的便利性，在適當的病例使用合理、便利和可預測的方式，才可發揮最大的效益。

參考資料

1. Peluso MJ, Josell SD, Levine SW, Lorei BJ. Digital models: An introduction. *Seminars in Orthodontics*. 2004;10(3):226-238.
2. Plooij JM, Maal TJ, Haers P, Borstlap WA, Kuijpers-Jagtman AM, Berge SJ. Digital three-dimensional image fusion processes for planning and evaluating orthodontics and orthognathic surgery. A systematic review. *International journal of oral and maxillofacial surgery*. Apr 2011;40(4):341-352.
3. Varga E, Jr., Hammer B, Hardy BM, Kamer L. The accuracy of three-dimensional model generation. What makes it accurate to be used for surgical planning? *International journal of oral and maxillofacial surgery*. Sep 2013;42(9):1159-1166.
4. Fillion D. Lingual straightwire treatment with the Orapix system. *J Clin Orthod*. 2011;45:488-497.
5. Im J, Cha JY, Lee KJ, Yu HS, Hwang CJ. Comparison of virtual and manual tooth setups with digital and plaster models in extraction cases. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*. Apr 2014;145(4):434-442.
6. Macchi A, Carrafiello G, Cacciafesta V, Norcini A. Three-dimensional digital modeling and setup. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*. May 2006;129(5):605-610.
7. BABCOCK WW. The surgical treatment of certain deformities of the jaw associated with malocclusion of the teeth. *Journal of the American Medical Association*. 1909;53(11):833-839.
8. Broadbent BH. A new x-ray technique and its application to orthodontia. *The Angle Orthodontist*. 1931;1(2):45-66.
9. Gateno J, Xia J, Teichgraeber JF, Rosen A. A new technique for the creation of a computerized composite skull model. *Journal of oral and maxillofacial surgery: official journal of the American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons*. Feb 2003;61(2):222-227.
10. Uechi J, Okayama M, Shibata T, et al. A novel method for the 3-dimensional simulation of orthognathic surgery by using a multimodal image-fusion technique. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*. Dec 2006;130(6):786-798.
11. Noh H, Nabha W, Cho JH, Hwang HS. Registration accuracy in the integration of laser-scanned dental images into maxillofacial cone-beam computed tomography images. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*. Oct 2011;140(4):585-591.
12. Swennen GR, Mollemans W, De Clercq C, et al. A cone-beam computed tomography triple scan procedure to obtain a three-dimensional augmented virtual skull model appropriate for orthognathic surgery planning. *The Journal of craniofacial surgery*. Mar 2009;20(2):297-307.

13. Hernandez-Alfaro F, Guijarro-Martinez R. New protocol for three-dimensional surgical planning and CAD/CAM splint generation in orthognathic surgery: an in vitro and in vivo study. *International journal of oral and maxillofacial surgery*. Dec 2013;42(12):1547-1556.
14. Aboul-Hosn Centenero S, Hernandez-Alfaro F. 3D planning in orthognathic surgery: CAD/CAM surgical splints and prediction of the soft and hard tissues results - our experience in 16 cases. *Journal of cranio-maxillo-facial surgery: official publication of the European Association for Cranio-Maxillo-Facial Surgery*. Feb 2012;40(2):162-168.
15. O. L. Haas Jr., O. E. Becker, R. B. de Oliveira. Computer-aided planning in orthognathic surgery—systematic review. *Int. J. Oral Maxillofac. Surg.* 2015; 44: 329–342.
16. Hsu SS, Gateno J, Bell RB, Hirsch DL, Markiewicz MR, Teichgraeber JF, et al. Accuracy of a computer-aided surgical simulation protocol for orthognathic surgery: a prospective multicenter study. *J Oral Maxillofac Surg.* 2013;71:128–42.
17. Zinser MJ, Sailer HF, Ritter L, Braumann B, Maegele M, Zöllner JE. A paradigm shift in orthognathic surgery? A comparison of navigation, computer-aided designed/computer-aided manufactured splints, and ‘classic’ intermaxillary splints to surgical transfer of virtual orthognathic planning. *J Oral Maxillofac Surg.* 2013;71. 2151.e1-2151.e21.

APPLICATION OF DIGITAL MODELS IN ORTHODONTIC AND MAXILLOFACIAL SURGERY – A LITERATURE REVIEW

Yu-Jen Hsu, Kang-Yee Wang, Hung-Cheng Chiu, Emily Yi-Min Liu, Yun-Yun Wu*

Department of Dentistry and Graduate Institute of Clinical Dentistry,

School of Dentistry, National Taiwan University,

Department of Orthodontics, National Taiwan University Hospital

*Department of Orthodontics, Cathay General Hospital**

The digital dental models are not subject to physical damage, and require negligible storage space. They can be transferred electronically to specialists easily and can be carried out with virtual setups. A precision 3-dimensional head model can be fabricated by integrating a digital dental model into a maxillofacial 3-D CT image. Using this 3-D image, it is possible to perform dental decompensation, reposition of osteotomized bony structures, and simulate the postoperative results on hard and soft tissue in 3-D on our computer screen. Besides, it also spares the laboratory time with CAD/CAM surgical splint manufactured. (*Taiwanese Journal of Orthodontics. 27(3): 132-139, 2016*)

Key words: digital models, 3-D computer-aided surgical simulation, orthognathic surgery

Received: October 3, 2015 Revised: May 15, 2016 Accepted: May 29, 2016

Reprints and correspondence to: Dr. Yun-Yun Wu, 2F, No. 390, Jen-Ai Rd., Sec. 4, Taipei City 100, Taiwan (R.O.C.)

Tel: 0972-192-482 E-mail: bluewifeyun@gmail.com