

漏斗胸的術前評估：針對納氏手術(Nuss Procedure)的軟體開發及臨床之應用

鄭裕仁^{1,2,3} 宋文旭⁴ 黃明賢⁵ 楊明泉⁶ 張籐瀝⁷ 謝坤洲¹ 張博智¹ 王剛弘¹

摘要：漏斗胸是胸壁最常見的先天性畸形。漏斗胸的患者在外觀上呈現前胸壁向內凹陷情形，使胸腔空間變小，並且壓迫到心臟及肺臟，而心肺的功能受到影響。漏斗胸的矯治不僅只是外觀的整復，更重要的是心肺功能的增進，在兒童期早期矯治，可以得到最好的效果。漏斗胸的手術方法，傳統治療漏斗胸必須進行大傷口的手術；自1998年Dr. Nuss首先發表他的納氏手術(Nuss procedure)，顯示此種手術的優越性及可接受性。這種手術標榜的是簡單、迅速，手術過程中會將一條不鏽鋼矯正板由腋下植入而置放於胸骨後方，利用此矯正鋼板將內凹之胸骨向外推出來做矯正手術。這種微創的納氏手術要把這內凹的前胸往外恢復到甚程度，並沒有一定的標準，只能靠手術醫師術中的模擬及即興創作。本研究之目的主要針對漏斗胸的病人，透過病患的胸部電腦斷層檢查影像，重建出其有缺陷的胸型外觀，再以自創的數位模型塑型軟體，編修出理想的胸型，取得手術矯正板的外型，作為進行真實手術時的參考。此一方法可在術前模擬出病人接受胸部矯正板矯正後的胸形，在病人未接受開刀前即可和病人及其家屬直接在電腦影像上，討論大家可接受的胸型，增加手術結果的可接受性及減少醫療糾紛。此計畫發展過程中接受96年國科會小產學計畫(NSC96-2622-B-214-001-CC3; EDP J96015)，及義大醫院98年院內計畫(EDAH-P98021)補助開發此一軟體且取得臨床數據。

關鍵詞：漏斗胸，納氏手術，軟體

(台灣醫學 Formosan J Med 2011;15:1-7)

前言

胸部畸形的病人不但有生理上的缺陷，更會造成病人心理上的自卑。胸部畸形最常見的就是漏斗胸的畸形。嚴重的漏斗胸需要接受手術治療，矯治的目的不僅只是外觀的整復，更重要的是心肺功能的增進。現今漏斗胸的手術以微創手術(納氏矯正術、Nuss procedure)較為大家接受，這種手術標榜的是簡單、迅速[1]。手術過程中會將一條不鏽鋼矯正板由腋下植入置放於胸骨後方，利用此矯正鋼板將內凹之胸骨向外推出來做矯正手術。然而要把這內凹的前胸往外恢復到甚麼程度，並沒有一定的標準，只能靠醫師術中的主觀見解。我們針對罹患漏斗胸的病人，透過病患的胸部電腦斷層檢查影

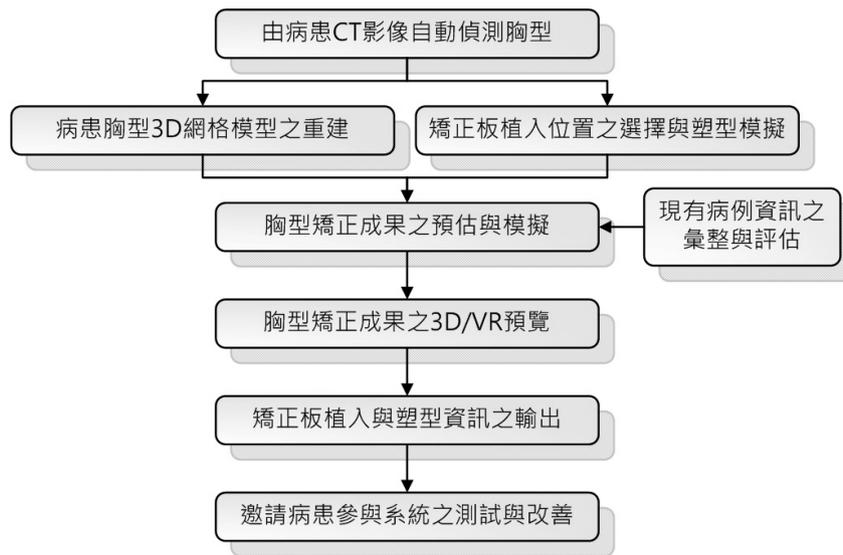
像，重建出其現有缺陷的胸型外觀。再以數位模型編修軟體(胸腔塑型軟體，version 1.0，由國科會小產學提供經費研究)(以下簡稱為塑型軟體)，編修出理想的胸型，以此估計手術時矯正板該有的外型，作為進行真實手術時的參考。此一軟體可在術前模擬出病人接受胸部矯正板矯正後的胸型，在病人未接受開刀前即可和病人及其家屬直接在電腦影像上，討論大家可接受的胸型，增加手術結果的可接受性及減少醫療糾紛。此軟體在接受96年國科會小產學計畫(NSC96-2622-B-214-001-CC3; EDP J96015)補助下完成初步設計，後續在取得義大醫院人體試驗委員會的核准(EMRP-098-025)及義大醫院院內專題研究計畫獎勵(EDAH-P98021)下，將原有程式改進並已有10個納氏手術的病人經由此

¹義大醫院胸腔外科，²義守大學健康管理學系，³高雄醫學大學醫學研究所，⁴陽明醫學大學物理治療暨輔助科技學系，⁵高雄醫學大學附設中和紀念醫院胸腔內科，⁶阮綜合醫院胸腔外科，⁷義守大學生物醫學工程學系

受文日期 2010年5月12日

接受日期 2010年10月26日

通訊作者連絡處：鄭裕仁，義大醫院胸腔外科，高雄縣燕巢鄉角宿村義大路1號。E-mail: yujen.cheng @msa.hinet.net。



圖一：本研究之主要程序規劃

一過程接受評估，其結果如下報告。

材料及方法

本研究是引用軟體設計、電腦繪圖與虛擬實境技術，結合真實病患案例，針對漏斗胸之納氏手術(Nuss procedure)，規劃研發一套可進行完整手術計畫與成果模擬之軟體系統(胸腔塑型軟體，version 1.0)，協助醫師針對漏斗胸病患狀況進行術前手術計畫與成果預估。系統之主要程序規劃如下述(圖一)。

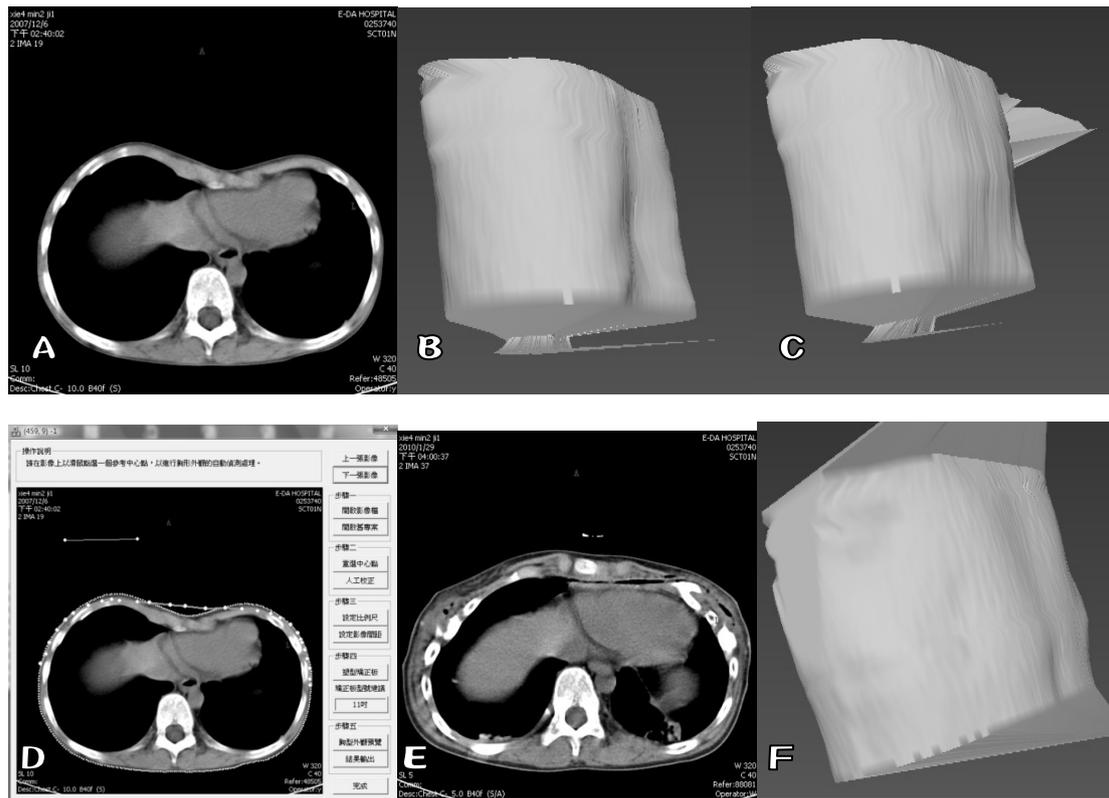
一. 由病患 CT 影像自動偵測胸型

在漏斗胸病患案例中，在取得病患同意之前提下，將 CT 影像資料由 DICOM 格式轉換儲存成 BMP 影像格式。CT 影像資料將以位元資料的方式，讀取成爲一組的二維矩陣。接著由塑型軟體自動由影像尺寸計算出影像中心位置，若在特殊案例中發生自動偵測失誤的情形，則可輔以人工修正的方式，選取影像的中心，作爲後續胸型(矯正前與矯正後)進行三維重建(3D reconstruction)的參考位置。CT 影像的二維位元矩陣，將以取得的影像中心座標爲參考，以極座標(polar coordinate)方式，依順時針或逆時針方向，由影像之邊緣向影像中心的方向，以影像畫素(pixel)的亮度值差異爲判別依

據，進行病患胸型外觀的自動偵測。影像畫素(pixel)的亮度值差異，將以「變化率」爲判別的依據，變化率超過系統設定值(可依不同影像狀況，由使用者進行調整)，即判斷爲病患胸型或骨骼的外觀邊界，這些邊界點將另以矩陣進行儲存，作爲後續胸型外觀 3D 重建使用。如果自動偵測失敗，可改以手動選取方式進行病患胸型或骨骼的外觀邊界的界定。

二. 病患胸型 3D 網格模型之重建

經過第一步驟偵測取得病患胸型或骨骼的外觀邊界點資料後，將可進行有缺陷的胸型的 3D 網格模型之重構處理。3D 模型重建是以各張影像上的胸部外型輪廓邊界，與相鄰影像上的胸型輪廓邊界，以「相對應」的邊界點相連，組成三角形網格所構成。因第一步驟偵測病患胸型或骨骼的外觀邊界點資料時，各張 CT 影像上取得的邊界點座標的數量與相對位置皆可設定爲「相同的數量與對應位置」，故在進行 3D 網格模型的重構時，即可依據兩兩相鄰的影像上所取得的對應邊界點資料，連結重建出胸型外觀或骨骼之 3D 模型。重構所得的 3D 模型將以虛擬實境模型化語言(virtual reality modeling language, VRML)的 ISO 標準格式進行輸出，以利後續的保存與編修應用。



圖二：編號第 6 病人的塑型軟體執行情況，軟體程式計算結果預估病人將使用 11 英寸的矯正板，實際病人手術使用 10 英寸的矯正板。A.病人術前實際電腦斷層圖形；B.軟體描繪的術前 3D 胸型；C.軟體預估的術後 3D 胸型；D.軟體預估的矯正板形狀及長度；E.病人兩年後實際電腦斷層圖形(矯正板已取出)；F.利用 E 的電腦斷層圖形，軟體描繪的 3D 胸型。

三. 矯正板植入位置之選擇與塑型模擬

在納氏手術中，矯正板植入位置之選擇與塑型為手術程序中的關鍵步驟。系統中可載入欲進行手術計畫模擬的病患整組 CT 影像，由醫師進行影像的檢視，選擇欲進行植入矯正板的位置，然後在此張影像上以滑鼠點選欲植入的位置，軟體將以重疊繪圖的方式，在病患 CT 影像上疊合繪出矯正板的示意影像。在選定植入矯正板的影像後，軟體自動計算出完整的矯正板型號以提供醫師直接選取。

四. 現有病例資訊之彙整與評估

義大醫院從 2007 年 8 月 1 日至 2009 年 12 月 31 日共有 41 個漏斗胸病人接受納氏手術。其中有 10 個病人進入本研究，由現有已完成矯正手術的電腦斷層資料，彙整並評估不同的矯正板尺寸、塑型狀況、植入位置，相對於病患的矯正前電腦斷層、胸型畸形程度與範圍、年齡等參數，及塑型軟

體預估的結果(本研究開發的胸腔塑型軟體系統，會以重疊繪圖的方式，在病患 CT 影像上疊合繪出預估的矯正後胸型外觀形狀之示意曲線)，建立資料庫來進行儲存及比較這三種(術前、術後、預估)的結果。

結果

納入研究的 10 個病人，有 4 個女性，6 個男性，其平均年齡是 17 歲(年齡範圍從 6 歲至 44 歲)。所有病人均接受單一納氏矯正板植入手術，平均住院天數為 8 天(住院天數範圍從 6 日至 11 天)。術前的肺功能，FEV1(forced expiratory volume in one second)平均為 89% (範圍從 84%至 94%)，FVC(forced vital capacity)平均為 86% (範圍從 83%至 89%)。由電腦斷層判斷，其術前的胸腔左

表一：病人的基本資料及結果

編號	性別	年齡	住院日數	術前前後徑 mm	術前左右徑 mm	術前 pectus index	軟體預估前後徑 mm	軟體預估左右徑 mm	軟體預估 pectus index	軟體預估 bar 尺寸 inch	術後前後徑 mm	術後左右徑 mm	術後 pectus index	實際 bar 尺寸 inch	滿意度
1	m	6	8	41.9	188.7	4.5	70.2	183.6	2.6	11	75.6	187.4	2.52	10	well
2	m	7	7	34.6	209.7	6.1	63.6	204.0	3.2	11	52.2	198.1	3.8	11	well
3	f	11	8	40.4	205.1	5.1	55.8	199.5	3.6	11	53.4	202.4	3.8	10	well
4	m	21	10	70.2	240.7	3.4	91.5	234.2	2.6	13	99.4	239.9	2.41	13	well
5	f	44	11	50	231.9	4.6	68.3	225.6	3.3	13	73.6	222.8	3	14	well
6	m	9	8	53.8	199.2	3.7	67	193.8	2.9	11	60.7	198.0	3.3	10	well
7	f	16	6	66.3	216.3	3.3	87.8	210.4	2.4	12	82.7	216.0	2.6	12	well
8	m	14	6	55.8	240.3	4.3	79.7	233.8	2.9	13	71.5	236.1	3.3	12	well
9	f	31	7	66.3	230.7	3.5	81	224.4	2.8	13	79.4	225.3	2.8	13	well
10	m	13	10	60.5	209.5	3.5	77.4	203.8	2.6	12	72.8	205.2	2.8	12	well
平均值		17	8	53.98	217.21	4.2	74.23	211.3	2.8	12	72.13	213.1	3.03	12	

右徑長度(transverse thoracic length)平均為 21.72 公分 (左右徑範圍從 18.87 至 24.07 公分)，其術後實際的胸腔左右徑長度平均為 21.31 公分 (左右徑範圍從 18.74 至 23.99 公分)，而軟體預估的胸腔左右徑長度平均為 21.13 公分 (左右徑範圍從 18.36 至 23.38 公分)。由電腦斷層判斷，其術前的胸腔前後徑長度(antero-posterior thoracic length)平均為 5.40 公分 (前後徑範圍從 3.46 至 7.02 公分)，其術後實際的胸腔前後徑長度平均為 7.21 公分 (前後徑範圍從 5.22 至 9.94 公分)，而軟體預估的胸腔前後徑長度平均為 7.42 公分(前後徑範圍從 5.58 至 9.15 公分)。其術前的胸型指數(Haller 指數、Pectus index)平均為 4.2(指數範圍從 3.3 至 6.1)，其術後實際的胸型指數平均為 3.0(指數範圍從 2.4 至 3.8)，而軟體預估的胸型指數平均為 2.8(指數範圍從 2.4 至 3.6)。術前使用軟體預估的矯正板平均長度為 12 英寸，而實際使用的矯正板平均長度亦為 12 英寸。所有的病人術後均滿意其矯正後的胸形。圖二為代號 6 的病人的軟體使用情況，表一為 10 個病人的基本資料及結果。

漏斗胸是胸骨體及其相應兩側第 3~6 肋軟骨向內凹陷，致使前胸壁外觀像漏斗狀的胸廓異常現象，是胸壁最常見的先天性畸型。漏斗胸的患者肋骨及肋軟骨生長過長，將胸骨下端向內頂入，而造成在外觀上呈現胸前壁向內凹陷情形，使胸腔空間變小，並且壓迫到心臟及肺臟，而心肺的功能也會受到影響。漏斗胸的矯治不僅只是外觀的整復，更重要的是心肺功能的增進，在兒童期早期矯治，可以得到最好的效果。

台灣發生率大約每 300 位兒童中便有一位有漏斗胸，而男孩發生的機會比女孩高三到四倍。在外觀上，患者有凹胸、凸腹、垂肩、駝背等情形，同時因為大約有三分之一的患者在青少年期即有運動時呼吸急促及心悸等情形，而不能持久而激烈地運動，這種現象隨著年齡增長而愈明顯。由於肺部的發育可持續到七歲左右，所以越早接受治療，心肺功能受到影響也越小，一般來說，最好能在六歲以上至學齡接受手術矯正。

而漏斗胸病患的矯正手術，可分為需打斷胸骨及肋骨的傳統手術，及近年來的納氏(Nuss)微創手術。一般傳統手術病人的篩選可根據以下數點：

一. 漏斗胸患者可在4到20歲之間，趁肋骨及肋軟骨不會太軟或太硬時，考慮做重建手術。理

討論



想的年紀為6至12歲之間，即青春期發育前。

- 二. 病患需做好完整的體檢及病歷資料，並根據下列標準做有症狀或無症狀的分類：(A).漏斗胸的變形有越來越嚴重的傾向；(B).曾有不能運動、胸部疼痛及呼吸急促的現象；(C).臨床評估胸部有嚴重的心臟移位，及肺部被擠壓變形的情形。
- 三. 無症狀的病患可為他們安排運動課程來矯正其姿勢，並每6個月追蹤其進步情形。有症狀的病患則安排至有症狀組。
- 四. 有症狀的病患可安排做電腦X光斷層掃描(CT scan)、肺部功能及心臟檢查。可檢查出包括胸型指數(Haller指數、Pectus index大於3.2)、膨脹不全、不正常的肺部功能、心臟受到壓迫、僧帽瓣脫出、心雜音及心房與心室傳導延遲。另外可能還有其他異常現象如馬方氏症(Marfan's syndrome)、二氏症候群(Ehlers-Danlos syndrome)或Poland's syndrome。

傳統治療漏斗胸必須進行大傷口的手術，自1948年以來，Ravitch手術及Wada手術成為治療漏斗胸的主要方式[2-5]。此方法是在胸前將內凹變形的肋軟骨完全切除，並將凹入的胸骨抬起墊高，同時保留肋軟骨膜，以便軟骨再生。這是一種需將前胸骨切斷的大手術，病人心理上一般不太能接受此種手術。本研究捨棄上述手術，採用微創手術(納氏矯正術、Nuss procedure)，這種新式的微創手術治療，不必切斷肋骨及胸骨，利用肋骨的可塑性，使用內支撐板將胸骨向外撐起，是在1998年Dr. Nuss於小兒外科醫學雜誌(*Journal of Pediatric Surgery*)首先發表他的10年經驗[1]，最近更發表668個病例經驗，顯示此種手術的優越性及可接受性[6]。這種手術標榜的是簡單、迅速，手術過程中會將一條不鏽鋼矯正板(pectus bar)由腋下植入置放於胸骨後方，利用此矯正鋼板將內凹之胸骨向外推出來做矯正手術。術後病患應每隔一段時間，固定回診去檢查胸部。當胸腔壁看起來強壯到可支撐胸骨時，便可將矯正板移除。通常所植入的矯正板需留在病患體內至少2年以上，最多到3年為止。

術前心肺功能的評估是必要的檢查。我們的病人及文獻報告顯示出，這一類的病人術前都有不同程度的肺功能缺損(11%至20%的缺損)[7,8]。除了

術前心肺功能的評估，若能有計畫的術後每三個月評估其心肺功能(心臟超音波及肺活量計測)，可提供術後病人心肺功能改進程度的比較。文獻上對於納氏手術後肺功能的評估，有報告指出納氏手術雖不會損害其肺功能，但是矯正板取出後的肺功能評估，並沒有發現會增進其肺功能，這是對於一群平均年齡為 14.9 ± 6.01 歲(6.1-32.1歲)所做的研究[9]。但是亦有文獻指出，納氏手術會增進病人的肺功能，尤其在大於11歲的病人群可看到將近17%肺功能的增進[8]。所以對於心肺功能的評估，應有更客觀的檢驗方法，而年齡的大小也是影響結果的因素。

納氏手術矯正板的取出時間一般建議是術後兩年，而其術後的滿意度，依每一個病人的主觀態度是有一定的差異性。一般文獻上的術後滿意程度的評估，大多以四級來評估(excellent, good, fair, poor)。我們則是以三級來評估(well, fair, poor)，well相當於文獻上的excellent及good。文獻上報告，納氏手術後excellent結果的有83.3%，good的有12.3%，fair有1.7%，poor則有1.2%，而有1.5%是手術失敗[10]。我們除了這10位病人納入這個研究外，另有31位病人也在這一時期接受納氏手術，其結果顯示，有25位病人(80.6%)有well的結果，5位(16.1%)是fair的結果，只有一個病人是poor，不到一年就取出矯正板，兩組滿意度結果的比較，其P值為0.017，有統計上的意義。

本研究的塑型軟體，可提供醫師與病患間的對話平台，若病患對軟體預估矯正後胸型外觀形狀不滿意，可再對矯正板的尺寸、植入位置、塑型狀況再進行調整，軟體系統將依新的矯正板資訊，立即更新畫面的顯示結果，提供醫師與病患參考。經由這10位病患的臨床演練，軟體預估的術後左右徑、術後前後徑及胸型指數，均和實際相差不遠，而預估的矯正板尺寸亦和實際使用的矯正板尺寸類似，這些結果顯示此一塑型軟體已略具雛形，可為將來新一代軟體的根基。

本軟體還有一些待改進之處：

1. 3D圖形的輸出尚有一些缺陷須加改進，但是病人已可根據此3D圖形大略描繪出術後的胸型。
2. 使用此軟體預估的矯正板長度無法百分之百

符合實際使用的矯正板長度，軟體本身的參數須調整。

3. 病人有胖有瘦，但影響胸形較重要的是骨頭形狀，而非皮膚的厚度。現在的軟體將皮膚的厚度算在內，是較不合理，下一代的軟體應去掉皮膚厚度，單純只計算骨頭角度即可。
4. 繪出矯正板與病患CT影像的疊合畫面後，如果軟體能提供功能，讓醫師可直接在矯正板示意圖上，以滑鼠點選要彎曲塑型的位置，再按下軟體提供的變形方向按鈕(希望規劃有向上彎曲與向下彎曲兩個不同方向)，矯正板的示意圖即可依選取的變形方向進行外型調整。因矯正板的長度為一固定值，故在變形調整時，希望軟體系統能自動計算出因選取位置的向上(或向下)變形造成的矯正板左右長度縮減，以模擬真實矯正板塑型狀況。

參考文獻

1. Nuss D, Kelly RE Jr, Croitoru DP, et al: A 10-year review of a minimally invasive technique for the correction of pectus excavatum. *J Pediatric Surgery* 1998;33:545-52.
2. Huddleston CB, Huddleston CB: Pectus excavatum. *Semin Thorac Cardiovasc Surg* 2004; 16:225-32.
3. Davis JT, Weinstein S, Davis JT, et al: Repair of the pectus deformity: results of the Ravitch approach in the current era. *Ann Thorac Surg* 2004;78:421-6.
4. Naef AP, Naef AP: The surgical treatment of pectus excavatum: an experience with 90 operations. *Ann Thorac Surg* 1976;21:63-6.
5. Haller JA Jr: History of the operative management of pectus deformities. *Chest Surg Clin N Am* 10:227-35.
6. Nuss D, Nuss D: Recent experiences with minimally invasive pectus excavatum repair "Nuss procedure". *J Thorac Cardiovasc Surg* 2005;53:338-44.
7. Kelly Jr RE, Shamberger RC, Mellins RB, et al: Prospective multicenter study of surgical correction of pectus excavatum: design, perioperative complications, pain, and baseline pulmonary function facilitated by internet-based data collection. *J Am College Surgeons* 2007;205:205-16.
8. Lawson ML, Mellins RB, Tabangin M, et al: Impact of pectus excavatum on pulmonary function before and after repair with the Nuss procedure. *J Pediatr Surg* 2005;40:174-80.
9. Aronson DC, Bosgraaf RP, Merz EM, et al: Lung function after the minimal invasive pectus excavatum repair (Nuss procedure). *World J Surg* 2007; 31:1518-1522. Epub 2007 May 1530.
10. Nuss D, Kelly Jr RE: Minimally invasive surgical correction of chest wall deformities in children (Nuss Procedure). *Advances Pediatrics* 2008;55:395-410.

Pre-Operation Evaluation of Pectus Excavatum: The Development and Clinical Application of Modeling Software for Nuss Procedure

Yu-Jen Cheng^{1,2,3}, Wen-Hsu Sung⁴, Ming-Shyang Huang⁵, Ming-Chan Yang⁶,
Teng-Li Chang⁷, Kun-Chou Hsieh¹, Po-Chih Chang¹, Kang-Hung Wan¹

Abstract: Pectus excavatum is an unbalanced growth in the costochondral regions resulting in depression deformity of the anterior chest wall. The surgical indications of such deformity are the physiologic and the psychological (cosmetic) effects. The minimal invasive Nuss procedure is the operation most adapted in recent years with the advantage of less invasion, short operation time and simple method. This procedure utilized a stainless Pectus bar, which is shaped as needed and put into the thoracic cavity, to push outward the depressed sternum. The main limitation of this procedure is that the operated surgeon makes the shape of the Pectus bar subjectively during the operation. If the chest wall deformity is complex or the experience of the surgeon is limited, it is then difficult for a surgeon to shape the Pectus bar satisfactorily. Therefore, it is our design that we can develop a computer-software to imitate the post-operative chest wall contour based on the pre-operative chest computer tomography of the patient. And we can shape the pectus bar pre-operatively according to the picture that the software figures out. Using this pre-shaped chest contour, we can show it to the patient before operation. Using the imitated picture of the chest contour we can discuss with the patient and the family about the most satisfactory chest wall contour they want and, thus, to avoid many post-operative legal problem. The software has been applied to 10 patients with acceptable results regarding to the estimated transverse chest wall length, antero-posterior chest wall length, the pectus index and the type of pectus bar we need. Nevertheless, there are some defects of the software and we will correct it in the near future.

Key Words: Pectus excavatm, Nuss prodecure, software

(Full text in Chinese: Formosan J Med 2011;15:1-7)

¹Department of Division of Thoracic Surgery, E-Da Hospital/ I-Shou University; ²Department of Health Management, I-Shou University; ³Graduate Institute of Medicine, College of Medicine, Kaohsiung Medical University; ⁴Physical Therapy and Assistive Technology, Yang-Ming University; ⁵Division of Chest Medicine, Kaohsiung Medical University Hospital; ⁶Department of Surgery, Yuan's General Hospital; ⁷Master of Engineering in Biomedical Engineering, I-Shou University, Kaohsiung, Taiwan

Received: May 12, 2010

Accepted: October 26, 2010

Address correspondence to: Yu-Jen Cheng, Division of Thoracic Surgery, Department of Surgery, E-Da Hospital/ I-Shou University, No. 1 E-Da Rd., Yan-Chau Shiang, Kaohsiung, Taiwan. E-mail: yujen.cheng@msa.hinet.net

