

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

## 長短腿對脊柱變形之生物力學效應及關係性研究(二)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC94-2614-E-040-001-

執行期間：94年08月01日至95年07月31日

執行單位：中山醫學大學物理治療學系

計畫主持人：陳建宏

共同主持人：鄔詩賢，洪瑞斌，呂克修

計畫參與人員：林孝哲

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 95 年 10 月 31 日

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

## 長短腿對脊柱變形之生物力學效應及關係性研究(二)

### Study on the Biomechanical Effect and Relationship between Leg Length Discrepancy and Spinal Deformity

計畫編號：NSC94-2213-E-040-001-

執行期限：94年8月1日至95年7月31日

主持人：陳建宏 中山醫學大學物理治療學系  
共同主持人：洪瑞斌 國立勤益技術學院機械工程系  
共同主持人：鄔詩賢 國立中興大學機械工程研究所  
共同主持人：呂克修 中山醫學大學醫學系  
參與人員：林孝哲 國立中興大學機械工程研究所

#### 一、中文摘要

本研究係以多孔媒體有限元素法分析一骨盆傾斜 5° 角的長短腿個體，其腰椎屬正常曲線或伴隨有脊椎側彎時的最大 von Mises 應力特徵。

在側彎方面，共考慮四種側彎程度，以 10° 為間距，分別具有 10° 至 40° 等四種 Cobb 角。在每個側彎模式下，各椎體同時具有不等量的順時針或逆時針軸向旋轉。

研究顯示，長短腿的骨盆傾斜會增加腰椎單側最大應力約 20%。Cobb 角越大(達 40° 時)，應力越集中於受壓處，數值可高達正常脊椎的三倍。在小側彎角時(<20°)，骨節小幅度(4°)偏轉回正常脊椎中線時，具有些微緩解應力之作用。

**關鍵詞：**脊椎側彎、長短腿、有限元素法

#### Abstract

This work used the poroelastic finite element method to analyze the maximum von Mises stresses of normal or scoliotic lumbar spine in a leg length discrepancy (LLD) subject with a 5° of pelvic tilt. Four scoliotic levels were considered and their Cobb angles varied from 10° to 40° by an interval of 10°. In scoliotic models, each spinal segment axially rotated clockwise or counterclockwise by an unequal angle.

Results reveal that pelvic tilt may increase the maximum von Mises stress of lumbar spine about 20%. When the Cobb angle is large (reaches to 40°), the maximum von Mises stress concentrates at the compression site and can reach 3 times of that of the normal spinal curve. When the Cobb angle is small (<20°), a small rotation angle (4°) of spinal vertebrae towards to the plumb line of normal curve may reduce the maximum stress.

**Keywords :** Scoliosis, Leg Length Discrepancy, Finite Element Method

#### 二、緣由與目的

下肢不等長(長短腿-Leg length inequality, LLI; Leg length discrepancy, LLD; Leg length disparity, LLD)被認為是相當常見而且惱人的問題[1,2]。腿長差異(Leg length difference)超過 20mm 的比例則約為千分之一[3]。

由於下肢的主要功能為平衡及行走，長短不齊時就有跛行現象[4]，且因長期踮腳尖及骨盆傾斜的關係，而有脊椎側彎(Scoliosis)[5,6]之後遺症。這種因為兩下肢不等長造成骨盆傾斜，而使人體上半身為了達到左右平衡而產生的功能性脊柱曲線變形[1]稱為代償性脊椎側彎。一般正常情況下，由後方觀察一個個體的脊柱時，該脊柱應該是直線地由頸部至骨盆中央；但是在長短腿個體所觀察到的脊柱型態卻是在下背-腰椎部分偏離脊柱中線而凸向短腿側，再轉回中央線。從站立姿勢來觀察骨盆與脊椎之移位現象時，雖然由 Hoikka[7]所做的研究指出，長短腿與脊椎側彎的關係性不高( $r=0.338$ )，但也有學者[6,8]認為長短腿腿長差異與脊椎側彎二者間是具有相關性的。

2004 年，Villemure 等人[9]以生物力學概念，利用有限元素法模擬青少年原發性脊椎側彎(idiopathic scoliosis)的發生病因；此研究對每個脊椎骨節以 26 個桿狀(beam)元素來模擬，並認為原發性脊椎側彎的首要原因是椎體在冠狀面上的不穩定而誘發。換句話說，脊椎的不穩定性可能是造成脊椎側彎的原因之一。本研究因此探討後天長短腿個體，是否在腰椎的受力上有什么不對稱的特徵，以作為未來進一步研究長短腿造成脊椎變形的進展過程。

#### 三、材料與方法

##### 1. 長短腿狀態

本研究假設因兩腿不等長而造成骨盆具有 5 度角之傾斜。此狀況可視為個體兩髖關節中心間距為 30 公分，腿長差異約為 2.5 公分之時。假設

右腿為短腿側，故模擬的腰椎側彎有限元素模式皆向右傾斜。

## 2. L1-L5 正常腰椎有限元素模式

圖一為作者發表過的腰椎模式[10]，共有 3888 個六面體元素以及 6306 個節點。材料性質詳見作者等人之論著[11]。

## 3. 脊椎側彎伴隨的骨節旋轉程度之評估

藉由多位病患之 X 光照片，經測量 L1 至 L5 之 Cobb 角，並以作者於 2006 年所發表的椎體軸向旋轉測量方法[12]分析各骨節的軸向旋轉角，顯示脊椎側彎之病人經常伴隨不同程度(0~20 度)之骨節軸向旋轉。

## 4. 腰椎分析模式

(1) 正常人腰椎模式。骨盆無傾斜，腰椎五節均左右對稱於鉛垂線。

(2) 腰椎受長短腿初始影響，腰椎曲線仍為正常型態，但整體腰椎傾斜 5 度角；即 L5 下表面與水平面夾 5 度角。

(3) 腰椎具有不同程度之側彎。側彎角度為 10 至 40 度，間距為 10 度。各骨節旋轉現象，如圖二所示，順時鐘(+)與逆時鐘(-)分別有 0 至 12 度之旋轉，間距為 4 度。由於本研究以向右側彎的腰椎為處理對象，各骨節已處於正常脊椎中垂線的右邊，故骨節的正向旋轉代表椎體朝外側偏轉；而骨節的負向旋轉，則代表骨節朝正常脊椎中垂線偏轉。以一預先寫好之程式，分別調整正常腰椎之每個骨節該有的傾斜程度和旋轉角而得到新的脊椎側彎模式。整體仍具有 5 度的傾斜。

## 5. 負載條件

本計畫所採行的負荷條件係以單位面壓力鉛直施加於第一腰椎上方，以模擬上半身體重在靜態下之情形。其僅探討應力的轉移和分佈，故各模式應力大小可供比較；但並非為個體內的絕對應力。

## 6. 邊界條件

在固體材質之邊界條件上，則是以 L5 骨節下方之底部予以固定，即在 X、Y、Z 三個方向上皆不可運動，其餘各節點則皆具有 X、Y、Z 三個方向自由度。在液體材質邊界條件上，由於椎骨及椎後弓所含的液體很少且非脊椎的活動部分，故其液體自由度皆設為固定。至於富含液體且為脊椎主要的活動部位，設為可動。其它在脊椎底部所有的液體皆設為不可滲透。

## 四、結果與討論

圖三顯示正常脊椎曲線(無側彎之情形，且每一骨節亦無軸向旋轉)，脊椎承受人體重量時，左右平均分攤應力，每一骨節受力較為平均，最大 von Mises 應力並不高(僅有 54.2)。但是當因兩腿不等長，而有一 5 度角的骨盆傾斜時，則因受力的不對稱，使一側的最大應力上升，約使最大應

力增加 20%。

當一嚴重的脊椎側彎發生時(側彎 40°，伴隨椎體旋轉-12°)，內部最大 von Mises 應力大幅提高至 187(如圖四)，約為正常值的三倍，且集中於受擠壓邊(右側)。脊椎內之液體最大壓力亦集中於局部位置(圖五)。

圖六至圖九為脊椎側彎 10 度至 40 度時，不同椎體旋轉角度與方向對最大應力的影響。比較此四圖顯示，脊椎側彎之角度愈大，最大 von Mises 應力也愈大。將各側彎模式中旋轉角為 0 度之最大應力取出比較時，可更清楚看出此一現象(圖十)。此現象由生物力學原理很容易理解。

另外，觀察圖六至圖九中，負向旋轉角之變化。雖然脊椎發生側彎時，最大應力較正常脊椎為大，但若椎體有負向旋轉時，亦即椎體朝正常脊椎中線小幅度偏轉(4 度)時，最大應力反而有下降趨勢。圖六中，側彎角度僅有 10°，沒有軸向旋轉的最大應力值為 73.6，但是若有負角度的椎體旋轉，隨著旋轉負角度增加時，最大應力反而較小，大約為 72.9。

圖七顯示腰椎側彎 20°時亦有類似現象。若有負角度的椎體旋轉，應力值皆變小，但相較於圖六，減少之幅度較小。

隨著側彎之角度加大，椎體旋轉角度之影響有所不同。當脊椎側彎達到 30°時(圖八)，此時最大應力 105.1，大約為正常值之 2 倍，若有輕微之旋轉負角度時(-4°)，應力稍降至 104，但是隨著負旋轉角度之增加，應力反而快速提高。旋轉角度超過-8°以上時，應力大幅增加，當旋轉角度等於-12°，應力提升至 128。

當脊椎側彎達到 40°時，如圖九，此時最大應力 157，已是正常值之 3 倍。若有小的負角度旋轉(-4°)，應力仍可降至 138，此時椎體的負角旋轉是有利於減低應力。但是隨著負向旋轉角之增加，應力快速提高，當旋轉角度等於-12°，應力提升至 187。

本計畫另一重要發現為，當脊椎側彎時應力增加，若旋轉之角度為正方向，也就是椎體向外側偏轉時，將快速提高應力值，並不有利於該結構。圖六至圖九均顯示此種現象。

圖十一為綜合性圖示。從脊椎左右對稱的結構來看，我們可以推知，脊椎分別為左側或右側側彎時，有利的椎體旋轉方向應朝向脊椎中線。

## 五、結論

長短腿的骨盆傾斜會明顯增加腰椎單側最大應力。脊椎側彎所造成的脊柱變形愈大，應力集中造成 von Mises stress 值愈高，甚至在側彎 40°時，應力為正常值之三倍，可知側彎對人體結構之生物力學性能是非常不利之因素。在側彎初期角度不大時(低於 20°)，若脊椎骨節具有小角度朝

向正常脊椎中線偏轉現象時，可降低應力值。而在各種側彎下，骨節朝向外側偏轉，均是不利的。

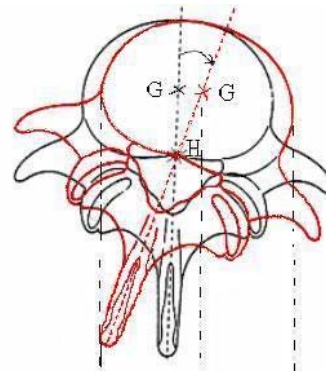
本研究具有可繼續探討長短腿造成的骨盆傾斜是否有啟動脊椎側彎之生物力學機制之價值。

### 六、致謝

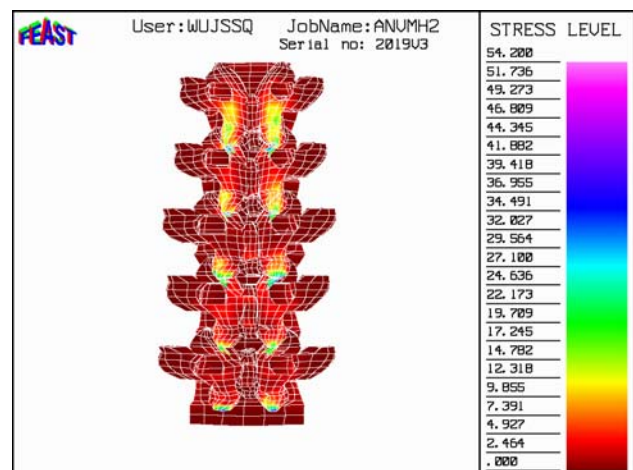
本計畫承蒙國科會經費補助，計畫編號 NSC94-2213-E-040-001-，特此致謝。

### 七、參考文獻

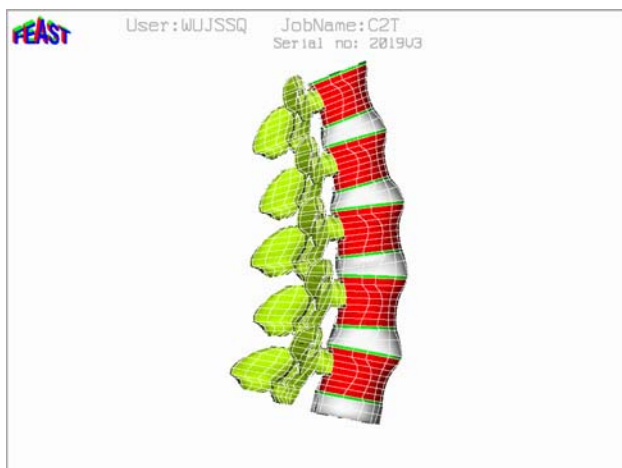
- [1] Friberg O (1983) *Spine*, 8:643-651.
- [2] Fait M, Janovec M (1970) *Scripta Medica*, 43:207-215.
- [3] Guichet JM, Spivak JM, Trouilloud P, and Grammont PM (1991) *Clin Orthop Relat Res*, 272:235-241.
- [4] Liu XC, Fabry G, Molenaers G, Lammens J, Moens P (1998) *J Pediatr Orthop*, 18:187-189.
- [5] Clarke GR (1972) *Rheum Phys Med*, 11:385-390.
- [6] Papiroannou T, Stokes I, Kenwright J (1982) *J Bone Joint Surg Am*, 64(1):559-562.
- [7] Hoikka V, Ylikoski M, Tallroth K (1989) *Arch Orthop Trauma Surg*, 108:173-175.
- [8] Jasty M, Webster W, Harris W (1996) *Clin Orthop*, 333:165-171.
- [9] Villemure I, Aubin CE, Dansereau J, Labelle H (2004) *Eur Spine J*, 13:83-90.
- [10] Wu JSS, Chang WH, and Chen JH (1996) *Chinese J Med Biol Eng*, 16:343-365.
- [11] Wu JSS, Huang JC, and Lee CM (1986) *Chinese J Med Biol Eng*, 6(1):55-66.
- [12] Chi WM, Cheng CW, Yeh WC, Chuang SC, Chang TS, Chen JH (2006) *Comput Meth Prog Bio*, 81:8-17.



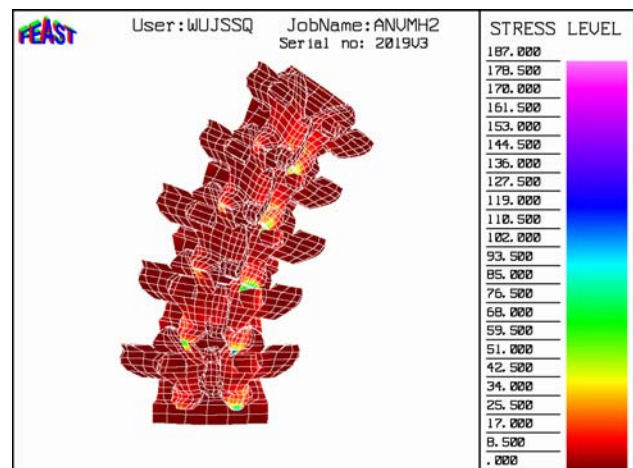
圖二 脊椎椎體旋轉角度示意圖。由脊椎上視圖觀之，黑色為未軸向旋轉之骨節，紅色為順時針方向旋轉(定為正向)之骨節。其中，H 為骨節旋轉中心，椎體中心 G 之移動軌跡顯示骨節的軸向旋轉程度。由於本研究以向右側彎的脊椎為處理對象，各骨節已處於正常脊椎中垂線的右邊，故骨節的正角度旋轉代表椎體朝外側偏轉；而骨節的負角度旋轉，則代表骨節朝正常脊椎中垂線偏轉。



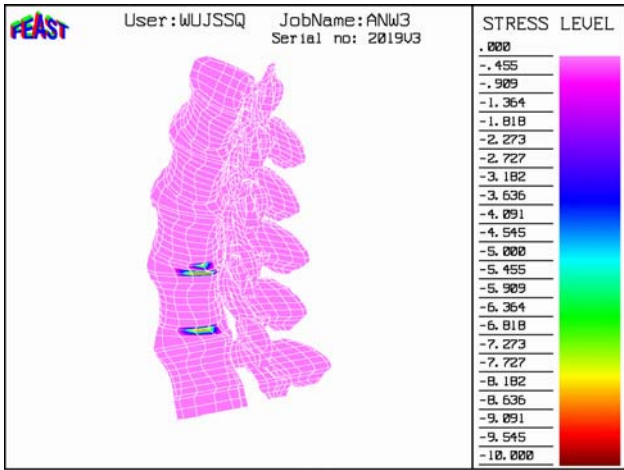
圖三 正常腰椎 L1-L5 骨節之之應力分佈左右對稱且分佈較為均勻



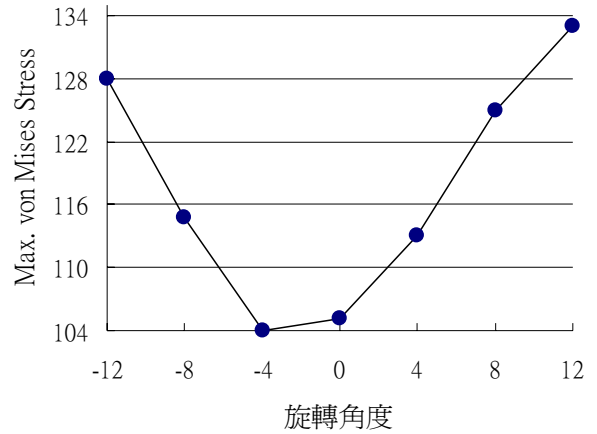
圖一 腰椎 L1-L5 骨節之三維有限元素模型



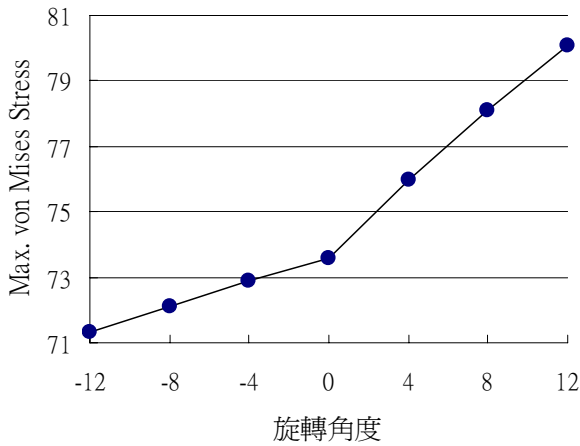
圖四 脊椎側彎 40°伴隨旋轉-12°時，應力大幅提高，且集中單邊。



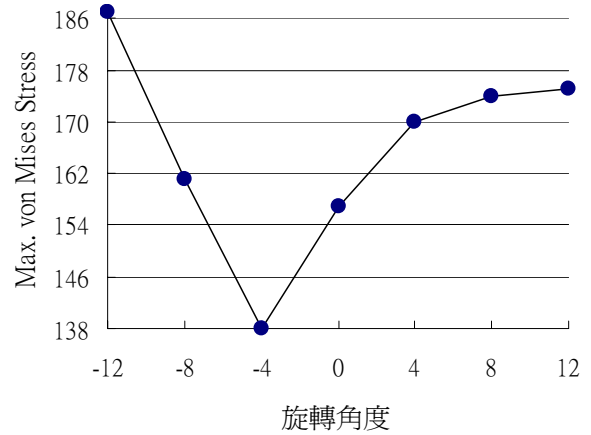
圖五 脊椎側彎 40° 伴隨旋轉 -12° 時，椎間盤液體壓力亦集中於受壓側。



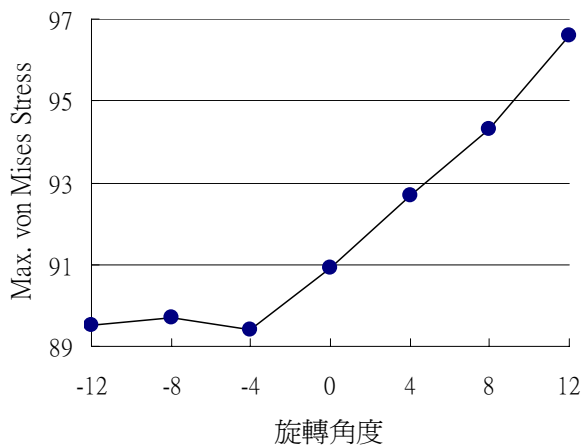
圖八 脊椎側彎 30°，最大應力與旋轉角和旋轉方向之關係。



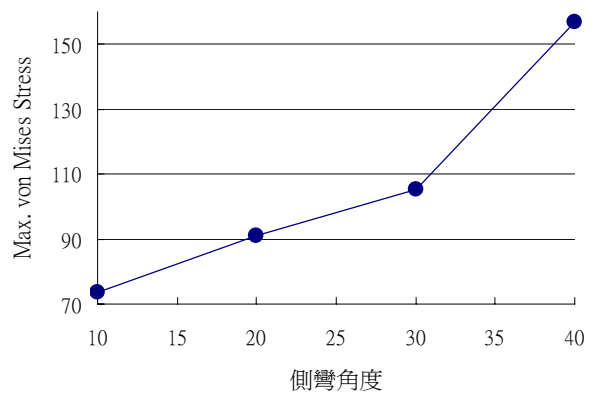
圖六 脊椎側彎 10°，最大應力與旋轉角和旋轉方向之關係。



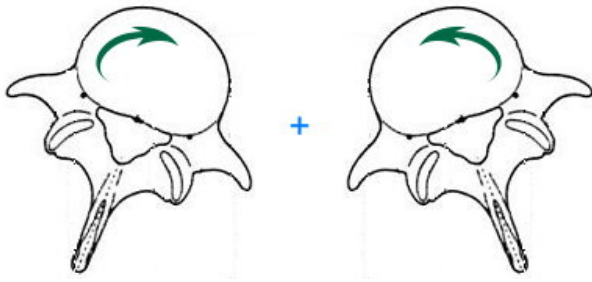
圖九 脊椎側彎 40°，最大應力與旋轉角和旋轉方向之關係。



圖七 脊椎側彎 20°，最大應力與旋轉角和旋轉方向之關係。



圖十 腰椎側彎角度愈大時，最大應力愈大（椎體旋轉角均為 0 度時）。



圖十一 脊椎側彎時，有利的椎體軸向旋轉。其中符號“+”代表正常脊椎之中垂線，當脊椎向右側彎而使骨節落在正常中垂線右邊時，如圖中右邊骨節，有利的椎體旋轉(綠色箭頭)係朝向中垂線之小角度(約 4 度)偏轉。反之，脊椎向左側彎時，如左邊骨節，亦同。