

脊椎動態穩定系統(Dynesys)對腰椎損傷治療段鄰近節生物力學之影響

胡宣德¹、黃國淵²、陳科銓¹、郭青松³

¹ 國立成功大學 土木系, 台南 70101

² 國立成功大學附設醫院 骨科部, 台南 70101

³ 南榮技術學院 營建系, 鹽水 73746

摘要: 本研究由電腦斷層掃描(CT)取得腰椎切片影像(DICOM檔), 並以醫學影像軟體3DDoctor將多張影像掃描檔堆疊成曲面(STL檔), 再以Patran作有限元素前處理步驟建立實體模型, 最後由ABAQUS問題求解和分析。結果發現脊椎動態穩定系統(Dynesys)會增加治療段的鄰近節之椎間相對轉角, 提升腰椎之活動度, 而且相鄰段之椎間盤應變能增量有減少之趨勢, 因此Dynesys對於提升治療段鄰近節的活動度以及減少應變能增量(減輕椎間盤過度變形而退化)的效果是有用的。

關鍵詞: 動態穩定系統; 腰椎; 有限元素; 後方腰椎間融合手術; 椎弓螺釘; 植骨。

Influence of the Biomechanical Behavior of the Dynamic Stable System (Dynesys) on Adjacent Segments of the Treated Lumbar Spine

HU Hsuan-Teh¹, HUANG Kuo-Yuan², CHEN Ke-Chuan¹, KUO Ching-Sung³

¹ Department of Civil Engineering, National Cheng Kung University, Tainan 70101, Taiwan

² Department of Orthopedics, National Cheng Kung University Hospital, Tainan 70101, Taiwan

³ Department of Construction Engineering, Nan Jeon Institute of Technology, Yanshui 73746, Taiwan

Abstract: This study uses Computed Tomography (CT) to acquire DICOM image files of the lumbar spine, and creates the boundary line of each slice image with 3D-DOCTOR medical software. Through stacking the bony outlines of slice images, the surface model of the lumbar spine with STL format is built and exported to PATRAN for sequential processing. By routine preprocessing steps of the finite element method (FEM) in PATRAN, the model is finally constructed and translated into the executable file in ABAQUS for solving problems and results analysis. The results show that the intersegmental angles become greater and the strain energy in discs is reduced with Dynamic Stable System (Dynesys). The effects of increasing the mobility of the treated segments and reducing the degeneration in discs are obvious when the Dynesys is instrumented in the lumbar spine.

Key words: Dynesys; Lumbar spine; Finite element; PLIF; Pedicle screw; Bone graft

基金项目:

通信作者: 胡宣德, 教授, 研究方向: 板殼力學, 材料組合律, 電腦輔助結構分析, 生物力學。Email: hthu@mail.ncku.edu.tw

1 緒論

脊椎是人體重量的主要支撐，也是軀幹和肢體間力量傳遞的重要角色，研究室團隊在脊椎生物力學已累積數年經驗，並建立一套有限元素分析流程。

據統計約有80%的成年人有過背痛的經驗，其中約10%的人曾就醫(Chen, 2007)，大部分患者經保守治療後就可改善，但少部分因神經壓迫症狀嚴重，需要立即的手術治療。手術方式通常為後方椎間融合(interbody fusion)，並加入後方螺釘固定系統，以維持脊椎的穩定。有相關文獻(Lee, 1988) (王修卓、彭完全, 2007) (孟憲中、孟憲國、申勇、董玉昌，張標, 2006)或臨床資料指出在腰椎手術後有一定比例會出現新的症狀，而其中在放射線檢驗下(X光或斷層掃描)會出現具體變化的約有七成，其具體變化有相鄰段的椎間盤退化導致突出、椎孔狹窄或是脊椎滑脫和椎間高度下降等問題，會有這種加速退化的跡象，可以歸究於手術後使損傷段加勁導致脊椎的生物力學作用情形改變。但也有文獻指出(Lin, Huang, Lee, and Li, 2009)手術後對相鄰段椎間盤退化加快的原因不全在於手術後造成融合段或打骨釘段的加勁效果，而在於手術前因損傷段椎間盤強度的減少而造成相鄰段椎間盤得承受較大力學負擔，表示相鄰段在未手術前已受到影響。由於脊椎在手術後的受力分佈改變，而產生治療段鄰近節的椎間盤加速退化的跡象，因此本文探討脊椎動態穩定系統Dynesys(圖1)與脊椎融合手術PLIF搭配椎弓螺釘固定(圖2)這兩者對相鄰段椎間盤退化的影響。

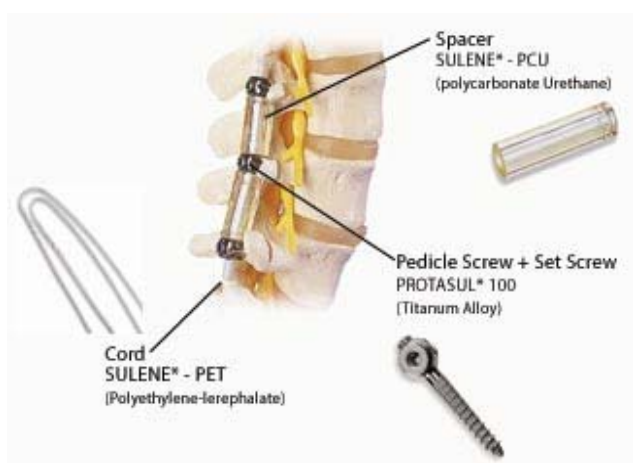


圖 1 脊椎動態穩定系統 Dynesys

(<http://www.zimmer.com/z/ctl/op/global/action/1/id/9165/template/IN>)



圖 2 螺釘固定系統

(<http://www.kanghui-china.com/products/Prodetail.aspx?ID=45>)

2 腰椎手術

目前脊椎融合手術以微創內視鏡手術(Glema et al., 2004)為主，優點是對組織破壞較小，恢復較快。手術方式(Tittel, 1990)有後方腰椎間融合(Posterior Lumbar Interbody Fusion, PLIF)、前方腰椎間融合(Anterior Lumbar Interbody Fusion, ALIF)、以及經椎間孔椎間融合(Transforaminal Lumbar Interbody Fusion, TLIF)這三種。在內視鏡的引導下，將腰椎擴張器穿透過肌肉，形成一手術窗口，醫生藉著這工作窗口依壓迫發生位置來判斷並清除椎板軟組織，並將植骨材料或椎籠置入椎間盤移除後之空隙，再打入椎弓螺釘(Pedicle screw)加強穩定，而本文主要以 PLIF 手術方式為研究對象。

本文研究評估脊椎Dynesys對改善手術後脊椎的活動度與鄰近節的神經壓迫影響。和椎弓螺釘輔助固定脊椎的方式不同，Dynesys較有彈性，由植入椎體的鈦金屬螺釘配合彈性的聚合物支撐槓桿以緩衝身體彎曲、旋轉的力量並減輕椎間盤承受的負荷，不僅維持病人術後脊椎的活動度，另外也改善因手術引起的鄰近節椎間盤加速退化的問題。

3 電腦輔助腰椎有限元素分析

本研究以電腦斷層掃描(CT)腰椎模型而得302張間隔1mm的切片圖像，並使用3DDoctor影像軟體將其堆疊成平滑的腰椎曲面模型，並由前處理軟體

Patran依例行性步驟, 給定相關材料性質, 設定外力
和邊界條件, 而建立脊椎3D有限元素模型, 再以
ABAQUS軟體運算求解和分析結果。

4 結果分析

本研究以治療段的鄰近節的端板轉角、椎間相
對轉角增量、椎間盤應力增量和應變能增量為主要
考量, 觀察這四種治療後的評估參數受前彎、後仰、
側彎和扭轉動作在鄰近節之影響程度。椎間融合或
椎弓螺釘固定或Dynesys固定方式有一節(L4-L5;L4
-5)或兩節(L3-L4-L5; L3-5)的模型。端板轉角中的
上, 下方相鄰段椎骨: 一節模型上、下方相鄰段為
L3、L5; 兩節模型之上、下相鄰段為 L2、L5; 椎間相
對轉角增量和應變能增量的上, 下方相鄰椎間盤: 一
節模型之上、下方相鄰段為 L3-4 椎間盤和 L5-S1 椎
間盤; 兩節模型之上、下方相鄰段為 L2-3 椎間盤和
L5-S1 椎間盤。其中相關代號請參考表 1。

表 1 八組模型代號與定義

Model (代號)	Fixaton type (固定方式)	Bone graft (植骨)
Intact Lumbar (完整模型)	No	No
L4-5, PI	Pedicle screw	No
L3-5, PI	Pedicle screw	No
L4-5, PI (Dynesys)	Dynesys	No
L3-5, PI (Dynesys)	Dynesys	No
L4-5, PLIF + PI	Pedicle screw	Yes
L3-5, PLIF + PI	Pedicle screw	Yes
L4-5, PLIF + PI (Dynesys)	Dynesys	Yes
L3-5, PLIF + PI (Dynesys)	Dynesys	Yes

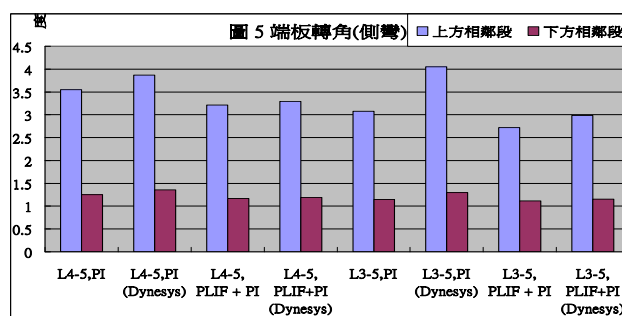
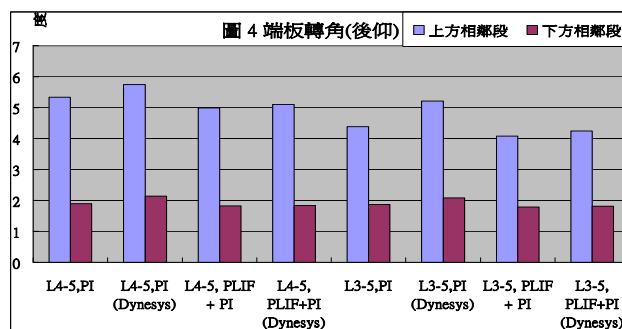
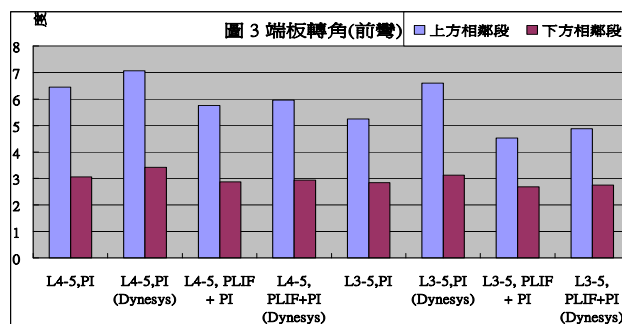
PI : Posterior Instrumentation 後方以螺釘固定
PI (Dynesys) : 後方以 Dynesys 固定

(1) 端板轉角

各組模型在各動作均可看出 Dynesys 對椎弓螺
釘而言, 在相鄰段之端板轉角有增加的趨勢(如圖 3
至圖 6), 可見 Dynesys 確實使相鄰段脊椎的活動度
變大, 改善相鄰段椎間盤的退化。另外【L4-5, PLIF +
PI vs. L4-5, PLIF+PI (Dynesys)】 【L3-5, PLIF+PI vs.
L3-5, PLIF+PI (Dynesys)】兩對照組可發現經過融合

後, Dynesys 相較於椎弓螺釘在相鄰段端板轉角上的
增加並不明顯, 甚至在扭轉動作下, 會有 L4-5, PLIF
+PI (Dynesys) 模型上方相鄰段端板轉角較 L4-5,
PLIF+PI 模型略小的情形, 表示植骨融合的加勁效果
影響甚大。因為加勁效果較大, 使得 Dynesys 對於相
鄰段端板轉角的增加變得較小; 而未植骨融合的情
形下, Dynesys 相較於椎弓螺釘對於增加相鄰段端板
轉角較為明顯, 另外兩節模型的增加效果比一節模
型還要大, 其中又以上方相鄰段更為明顯。

Dynesys 相較於椎弓螺釘對於相鄰段端板轉角
提升效果最明顯的是【L3-5, PI (Dynesys) vs.
L3-5, PI】, 可見 Dynesys 未搭配融合手術且施行兩
節的相鄰段端板轉角提升效果是最大的, 這可以幫
助醫生或病人手術前的評估和考量。若病人僅一節
椎間盤受損, 則可選擇 PLIF 搭配椎弓螺釘之方式, 相
鄰段端板轉角提升效果雖然較 Dynesys 少, 但差距不
像兩節的模型那樣明顯; 而如果病人是兩節椎間盤
受損, 則以選擇 Dynesys 為佳。



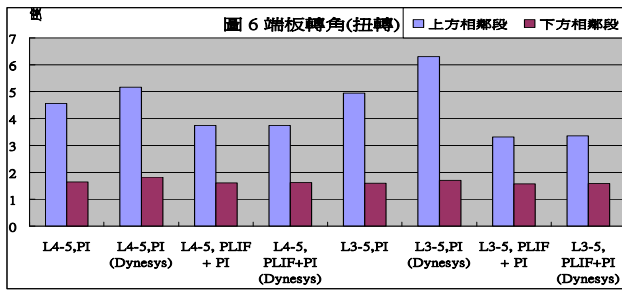


圖 3-圖 6 前彎, 後仰, 側彎和扭轉時端板的轉角

(2) 椎間相對轉角增量(百分比%)

椎間相對轉角指的是椎間盤的轉角量，相對轉角增量(百分比)算法為 $(\theta - \theta_0) / \theta_0 \times 100$ ，其中 θ 為各模型椎間相對轉角， θ_0 為原始模型之椎間相對轉角，負值表示減少。在後仰動作下(圖 8), Dynesys 對上方相鄰段椎間相對轉角增量之增加並不穩定。而在前彎(圖 7)、側彎(圖 9)和扭轉(圖 10)動作下, Dynesys 相較於椎弓螺釘對於相鄰段椎間相對轉角增量之增加效果較好。另外除了後仰動作外, 其餘動作下 Dynesys 應用於兩節之模型對於增加相鄰段椎間相對轉角之效果均比一節模型要好。雖然整體趨勢而言, Dynesys 可增加相鄰段之椎間相對轉角達到改善相鄰段椎間盤退化之情形, 然而在部份動作下並沒有增加, 尤其在後仰動作下, 無論是兩節或一節模型, Dynesys 對於上方相鄰段椎間相對轉角的增加量極少, 因此可能導致病人安裝 Dynesys 後, 若是從事較多的後仰動作如籃球、羽球等運動, 腰椎手術治療段的上方相鄰段椎間盤靈活度仍舊不佳, 因此醫生或病人對 Dynesys 的使用效果並不能期待過高。

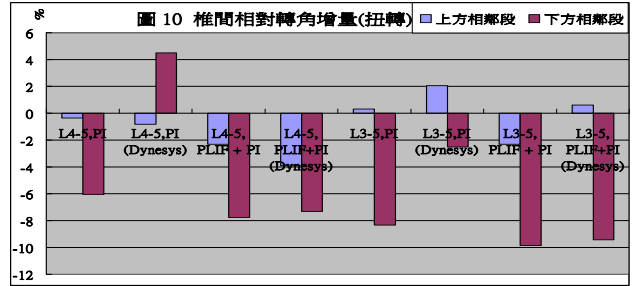
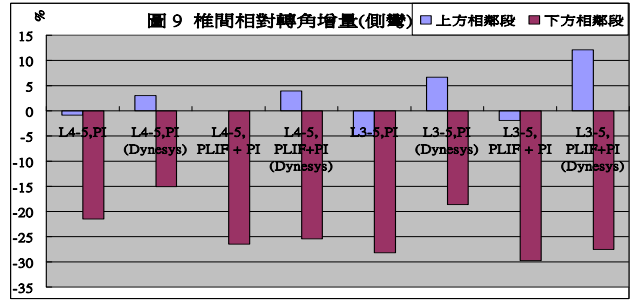
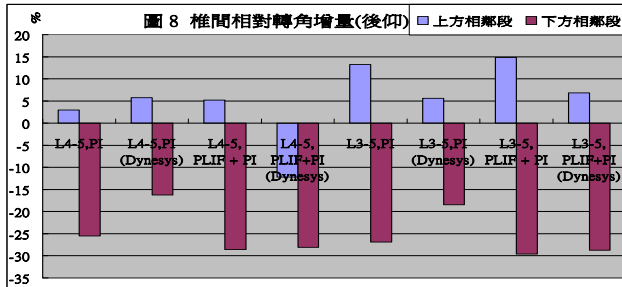
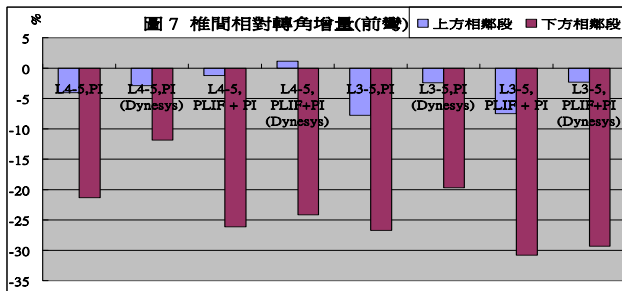
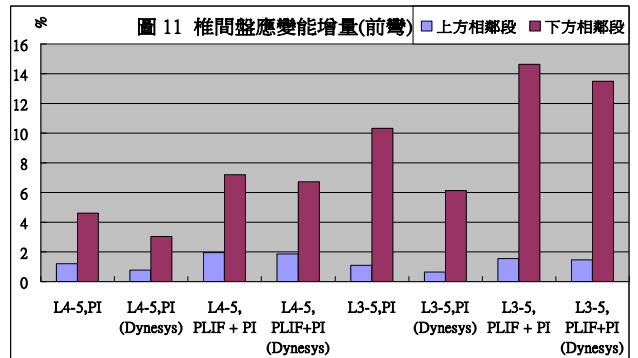


圖 7-圖 10 前彎, 後仰, 側彎和扭轉時椎間相對轉角增量(百分比%)

(3) 椎間盤應變能增量(百分比%)

應變能是材料受外力變形後儲存在變形體內的能量, 若是相鄰段椎間盤儲存過多之應變能將可能導致椎間盤退化加速。各種模型在減少相鄰段應變能百分比增量的效果上, 均可發現 Dynesys 優於椎弓螺釘, 而單純 Dynesys 減輕應變能百分比增量的效果也優於 PLIF 搭配椎弓螺釘之模型, 所以從各模型在各種動作下之相鄰段應變能百分比增量的結果顯示, Dynesys 確實減輕相鄰段椎間盤的應變能。

由結果(如圖 11 至圖 14)可看出 Dynesys 相較於椎弓螺釘而言, 減少較多相鄰段應變能百分比增量, 也就是 Dynesys 在未植骨融合的情況下對於減輕相鄰段退化的效果比起植骨融合的情形來說是明顯的, 且兩節模型的減輕效果大於一節模型, 這和端板轉角所得到的結論類似。



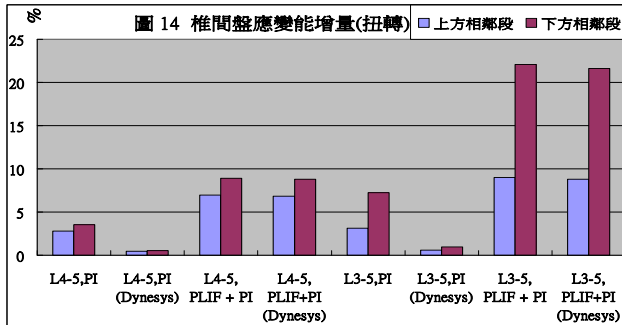
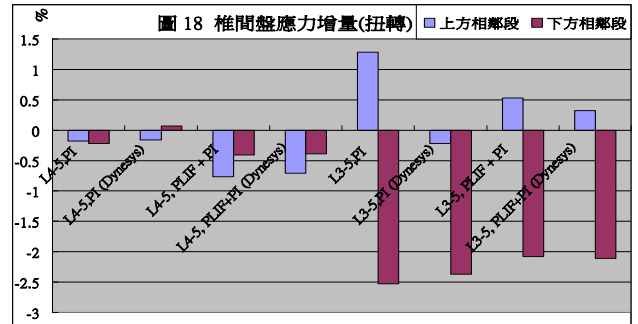
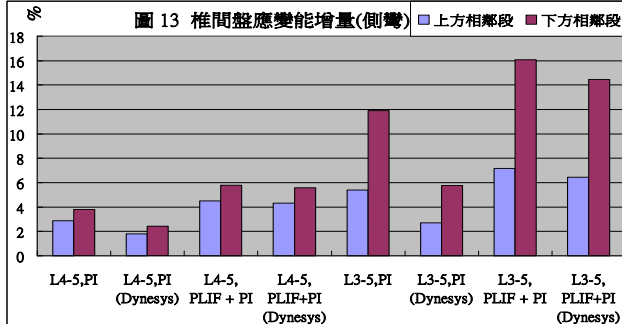
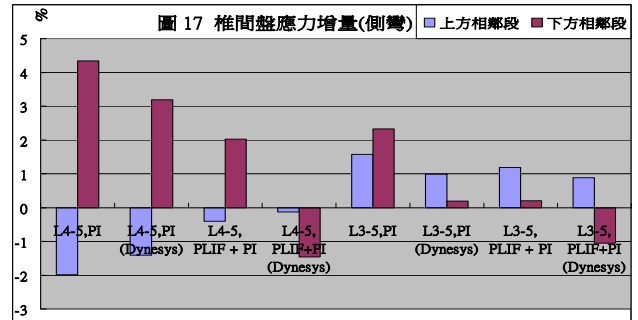
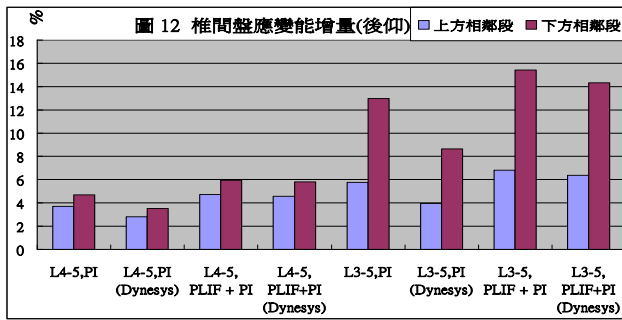
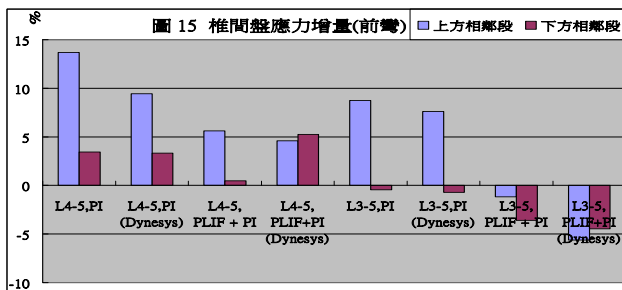


圖 15-圖 18 前彎, 後仰, 側彎和扭轉時椎間盤應力增量(百分比%)

應力增量算法為 $(\sigma - \sigma_0) / \sigma_0 \times 100$, 其中 σ 為各模型的最大 von Mises 應力, σ_0 為原始完整模型的最大 von Mises 應力, 負值表示減少。從應力增量可知各動作下 Dynesys 相較於椎弓螺釘對於減緩相鄰段應力的效果比較混亂(如圖 15 至圖 18)。由圖 16 可看出 Dynesys 對於減輕相鄰段應力的效果在後仰時有其效果; 然而在側彎動作下, 下方相鄰段在一節模型反而增加了應力。總體而言, Dynesys 相較於椎弓螺釘來說對減輕相鄰段應力負擔的成效並不規則, 這表示在安裝 Dynesys 後從事各種不同活動時, 做出各動作都有可能增加相鄰段的應力負擔。

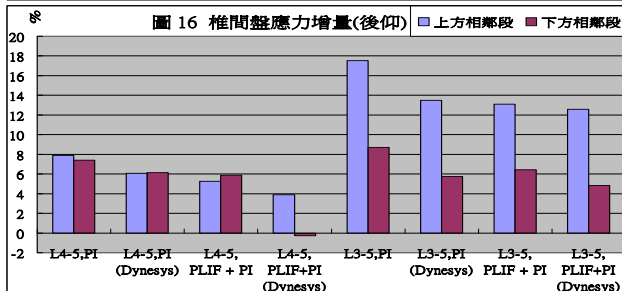
圖 11-圖 14 前彎, 後仰, 側彎和扭轉時椎間盤應變能增量(百分比%)

(4) 椎間盤應力增量(百分比%)



5 結論與未來展望

總體來說, Dynesys 除了減緩相鄰段應力的效能較差之外, 對於減少相鄰段椎間盤的應變能, 增加端版轉角及椎間相對轉角的效果不錯, 故 Dynesys 相較於 PLIF 搭配椎弓螺釘固定來說, 對減緩相鄰段椎間盤退化和提升相鄰段活動度有一定的幫助。



本研究利用 Dynesys 以期獲得改善相鄰段之負擔, 減緩退化。目前使用此種動態穩定系統礙於技術和經濟負擔, 故多數醫生和病人仍舊選擇傳統之 PLIF 手術來對脊椎傷害進行治療, 期盼此力學觀點之分析研究可以提供醫學上的參考。

除了此種動態穩定系統 Dynesys 外,尚有許多類似之改良裝置,如 Wallis Stabilization System,或是人工椎間盤或椎籠,都是可以進行研究分析比較的。

参考文献:

- ABAQUS CAE, Material Property Evaluation, Version 6.9.1, 2009.
- Chen, C.-S., Cheng, C.-K., Liu, C.-L. and Lo, W.-H., "Stress analysis of the disc adjacent to inter-body fusion in lumbar", *Medical Engineering & Physics*, Vol. 23, pp. 483 - 491, 2001.
- Chen, C.-H., "A Finite Element study of the Biomechanical Behavior of the Nonlinear Ligamentous Thoracic and Lumbar Spine", National Cheng Kung University, Department of Civil Engineering, Dissertation of Master Degree, June 2007.
- Cheung, J.T.-M., Zhang, M. and Chow, D.H.-K., "Biomechanical responses of the intervertebral joints to static and vibrational loading: a finite element study", *Clinical Biomechanics*, Vol.18, pp790-799, 2003.
- Cook, R.D., Malkus, D.S., Plesha, M.E. and Witt, R. J., "Concepts and applications of finite element analysis", fourth edition, John Wiley & Sons, New York, 2002.
- Glema, A., Lodygowski, T., Kakol, W., Wierszycki, M. and Ogurkowska, M. B., "Modeling of intervertebral discs in the numerical analysis of spinal segment", *ECCOMAS*, pp. 24-28, 2004.
- Goel, V. K., Park, H. and Kong, W., "Investigation of vibration characteristics of ligamentous lumbar spine using the finite element approach", *Journal of Biomechanical Engineering*, Vol.116, pp.377-383, 1994.
- Huang, K.-Y., Lee, C.-H. and Chen, P.-Q. "Basic Research and Future Treatment of Intervertebral Disc Disorder", *Formosan Journal of Medicine*, Vol. 7, No. 5, 2003.
- Lee, C.-K., "Accelerated degeneration of the segment adjacent to a lumbar fusion", *Spine*, Vol. 13, pp. 375 - 7, 1988.
- Lee, C., Kim, Y.-E., Lee, C.-S., Hong, Y.-M., Jung, J. and Goel, V. K., "Impact response of the intervertebral disc in a finite element model", *Spine*, Vol. 25, pp. 2431-2439, 2000.
- Lin, R.-M., Huang, K.-Y., Lee, Y.-L. and Li, J.-D., "Factors affecting disability and physical function in degenerative lumbar spondylolisthesis of L4-5: evaluation with axially loaded MRI", *European Spine Journal*, Published online: 14 June 2009.
- Pitzen, T., Geisler, F. H., Matthis, D., Müller-Storz, H., Pedersen, K. and Steudel, W.-I., "The influence of cancellous bone density on load sharing in human lumbar spine: a comparison between an intact and a surgically altered motion segment", *European Spine Journal*, Vol. 10, No. 1, pp. 23-29, 2001.
- Shirazi-Adl, S. A., Ahmed, A. M. and Shrivastava, S. C., "A finite element study of a lumbar motion segment subjected to pure sagittal plane moments", *Journal of Biomech.*, Vol.19, pp.331-350, 1986.
- Tittel, K. "Beschreibende und funktionelle Anatomie des Menschen", 8. Ed. Jena, VEB Gustav-Fischer Verlag, 1990.
- Wang, J.-L., Parnianpour, M., Shirazi-Adl, A. and Engin, A. E., "Viscoelastic Finite-Element Analysis of a Lumbar Motion Segment in Combined Compression and Sagittal Flexion: Effect of Loading Rate", *Spine*, Vol. 25, No. 3, pp. 310-318, 2000.
- White III, A.A. and Panjabi, M. M., "Clinical biomechanics of the spine", second edition, J.B. Lippincott Company, Philadelphia, 1990.
- 王修卓、彭完全,『腰椎內固定術後對鄰近節段的影響』,中國醫師進修雜誌,2007年,第30卷,第17期。
- 孟憲中、孟憲國、申勇、董玉昌,張標,『腰椎融合術後鄰近節段退變的臨床觀察』,河北醫藥雜誌,2006年,第28卷,第7期。
- 林柏君,『電腦輔助腰椎之有限元素分析』,國立成功大學土木工程研究所,碩士論文,中華民國九十五年六月。
- 劉哲榮,『後方椎間融合手術後應力重新分配之有限元素分析』,國立成功大學土木工程研究所,碩士論文,中華民國九十八年七月。