

以有限元素分析脊椎改良系統對腰椎鄰近節之生物力學影響

黃國淵, 陳科銓, 胡宣德, 郭青松
國立成功大學

摘要

本研究之有限元素模型的建立先由電腦斷層掃描(CT)取得 DICOM 檔, 接著由醫學影像軟體 3DDoctor 處理堆疊成 STL 檔, 再交由 MSC.Patran 有限前處理軟體建立實體模型, 最後由 ABAQUS 有限元素軟體求解。分析後可以發現脊椎改良系統可以提升相鄰段之端版轉角和椎間相對轉角, 增加腰椎之活動度, 且相鄰段之應變能也有減少之趨勢, 因此脊椎改良系統在相鄰段活動度的提升及應變能的減少效果是存在的。

關鍵字: 脊椎改良系統、腰椎、有限元素、微創後方腰椎間板間融合術、椎弓螺釘、植骨

ABSTRACT

In the construction of the finite element model, this study use Computer Tomography to export the DICOM file, use 3DDoctor medical software to create the boundary of the vertebral CT slice, and output the surface only file called STL file to MSC.PATRAN, setup the pre-processing step of the finite element analyses in MSC.PATRAN, finally export the input file for ABAQUS to solve the model. It indicates that the Dynesys Spinal System on the adjacent segment in lumbar spine would raise the rotational displacement and reduce the strain energy.

Keywords: Dynesys spinal system、Lumbar spine、Finite element method、PLIF、Pedicule screw、Bone graft

一、緒論

脊椎是人體重量的主要支撐, 是軀幹跟肢體間力量傳遞之重要角色, 本研究團隊在此脊椎有限元素分析領域貢獻多年, 建立了一套分析流程。

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), 大部分患者經過保守治療症狀就可改善, 少部分因神經壓迫症狀嚴重者, 則需要手術的治療。手術的方式通常為椎間融合(interbody fusion)手術, 並加入後方的螺釘固定系統, 以維持椎間的穩定度, 但是卻會產生相鄰段椎間盤加速退化的跡象。因此本研究將要討論脊椎改良系統與脊椎融合搭配椎弓螺釘系統, 究竟脊椎改良系統有何實際效益, 並希望能對鄰近節或相鄰段椎間盤退化現象有所改善, 以便於病人和醫生在動手術之前進行效益上的考量。

二、腰椎手術

手術方式方面, 較不嚴重之脊椎疾病

可以用保守療法, 但若背痛及坐骨神經痛等神經壓迫症狀加劇時, 需考慮脊椎手術, 才能治療脊椎神經的壓迫, 使脊椎恢復健康。

目前脊椎融合手術常以微創內視鏡脊椎手術(Glema et al., 2004) (minimally invasive spinal surgery) 為主, 優點是利用一個管狀的擴張器從腰部開個小孔並插入內視鏡管到椎間及神經孔位置, 對組織破壞較小, 恢復較快, 也有足夠空間施行手術。醫生由此建立了一條工作管道, 以進行神經組織減壓、椎間融合及放置椎弓螺釘等步驟。手術方式(Tittel, 1990)有微創後方腰椎間板間融合術(posterior lumbar interbody fusion, 簡稱 PLIF)、微創前方腰椎間板間融合術(anterior lumbar interbody fusion, 簡稱 ALIF)、以及微創經椎間孔腰椎椎體間融合術(transforaminal lumbar interbody fusion, 簡稱 TLIF), 在內視鏡的引導下, 將腰椎擴張器穿過肌肉間的自然平面, 形成一「骨窗口」, 醫生可藉著這條工作管道依壓迫發生位置來判斷並清除椎板纖維組織, 順利的

將植骨材料或是椎籠置入移除椎間盤後之空隙，之後再加入椎弓根螺釘固定(pedicle screw fixed)來加強穩定性。本論文以 PLIF 手術方式為研究對象。

而本論文另一個要研究的手術便是利用安裝脊椎改良系統來改善手術後脊椎之活動度與鄰近關節之壓迫。不同於上述脊椎融合所搭配之椎弓螺釘，脊椎改良系統較有彈性，可以改善上述手術會引起的鄰近關節加速退化等問題。由植入椎體鈦金屬的脊釘配合聚合物成分的槓桿，中和身體彎曲、旋轉的力量減少椎間盤承受的壓力，保持病人術後脊椎的活動性。

三、電腦輔助腰椎有限元素分析

本生物團隊從骨科取得腰椎樣本模型，使用電腦斷層掃描(CT)，取得腰椎 302 張切片圖，每張厚度 1mm，使用 3D-Doctor 醫學影像處理軟體，堆疊脊椎表面模型(STL 檔)，接著將檔案讀入前處理軟體，本研究選擇 MSC-PATRAN 為前處理軟體，前處理步驟包括了建立脊椎有限元素模型實體元素、基本材料性質、加載及邊界條件，最後再輸出 input 檔給 ABAQUS 進行分析及運算。

四、結果分析

本研究將以鄰近節之端版轉角、相鄰段椎間盤之椎間相對轉角增量及相鄰段椎間盤應變能百分比增量來觀察各動作加載下其脊椎改良系統減緩鄰近節承受應變能與提升活動度之情形。

分析過程首先針對脊椎改良系統相對於椎弓螺釘效果來比較，因此比較方式先以【PI, L4-5 v.s PI(Dynesys), L4-5】、【PLIF, L4-5 + PI, L4-5 v.s PLIF, L4-5 + PI(Dynesys), L4-5】、【PI, L3-5 v.s PI(Dynesys), L3-5】、【PLIF, L3-5 + PI, L3-5 v.s PLIF, L3-5 + PI(Dynesys), L3-5】四組來進行對照，藉以看出脊椎改良系統相對於椎弓螺釘減緩鄰近節承受應變能與提升活動度之情形。由於脊椎改良系統號稱能夠不需配合椎間植骨融合一起施行，而 PLIF 手術一般都會搭配椎弓螺釘固定器的使用，故可以再對【PLIF, L4-5 + PI, L4-5 v.s PI(Dynesys), L4-5】、【PLIF, L3-5 + PI, L3-5 v.s PI(Dynesys), L3-5】兩組進行比較，來檢驗單純脊椎改良

系統模型與 PLIF 手術搭配椎弓螺釘模型對鄰近節及相鄰段椎間盤之影響。

椎間盤(intervertebral disk, 簡稱 IVD)方面，融合或椎弓螺釘釘或脊椎改良系統出現在一節(IVD, L4-L5)中稱為一節的模型，出現在兩節(IVD, L3-L4-L5)中稱為兩節的模型。

端版轉角中的 Upper 表示上方相鄰段脊椎骨，Beneath 表示下方相鄰段脊椎骨，一節模型之上方相鄰段為 L3，一節模型下方相鄰段為 L5；兩節模型之上方相鄰段為 L2，兩節模型下方相鄰段為 L5。

椎間相對轉角增量、應變能百分比增量中的 Upper 表示上方相鄰段之椎間盤，Beneath 則為下方相鄰段椎間盤。一節模型之上方相鄰段為 IVD, L3-L4，一節模型下方相鄰段為 IVD, L5-S1；兩節模型之上方相鄰段為 IVD, L2-L3，兩節模型下方相鄰段為 IVD, L5-S1。

觀察【PI, L4-5 v.s PI(Dynesys), L4-5】、【PLIF, L4-5 + PI, L4-5 v.s PLIF, L4-5 + PI(Dynesys), L4-5】、【PI, L3-5 v.s PI(Dynesys), L3-5】、【PLIF, L3-5 + PI, L3-5 v.s PLIF, L3-5 + PI(Dynesys), L3-5】四組對照模型，整體而言，各動作均可看出脊椎改良系統相較於椎弓螺釘而言其相鄰段之端版轉角有提升效果的趨勢，說明脊椎改良系統確實能使相鄰段脊椎的活動度更大，進而改善相鄰段的退化。另外觀察【PLIF, L4-5 + PI, L4-5 v.s PLIF, L4-5 + PI(Dynesys), L4-5】、【PLIF, L3-5 + PI, L3-5 v.s PLIF, L3-5 + PI(Dynesys), L3-5】可發現經過融合後，其脊椎改良系統相較於椎弓螺釘在相鄰段端版轉角上的提升效果並不明顯，甚至在扭轉情形下，會有 L4-5 + PI(Dynesys), L4-5 模型之上方相鄰段端版轉角較 PLIF, L4-5 + PI, L4-5 模型略小的情形發生，表示融合的加勁效果影響甚大，因其加勁效果較大，故使得脊椎改良系統對於相鄰段端版轉角的提升作用相較之下變得較差；而未進行融合的情形下，其脊椎改良系統相較於椎弓螺釘對於相鄰段端版轉角之提升效果則較為明顯。

另外，在脊椎改良系統相較於椎弓螺釘對於相鄰段端版轉角的提升效果上，兩節的模型效果比起一節的模型還要大，其中又以上方相鄰段更為明顯。

由於脊椎改良系統號稱亦可不需搭

配植骨融合施行手術，故再來觀察【PLIF, L4-5 + PI, L4-5 v.s PI(Dynesys), L4-5】、【PLIF, L3-5 + PI, L3-5 v.s PI(Dynesys), L3-5】，藉以觀察單純只有脊椎改良系統的模型相較於植骨融合搭配椎弓螺釘模型對於相鄰段端版轉角的提升效果。比較後發現單純只有脊椎改良系統之模型相較於植骨融合搭配椎弓螺釘模型來說，其相鄰段端板轉角提升效果更為明顯。

比較【PI, L4-5 v.s PI(Dynesys), L4-5】、【PLIF, L4-5 + PI, L4-5 v.s PLIF, L4-5 + PI(Dynesys), L4-5】、【PI, L3-5 v.s PI(Dynesys), L3-5】、【PLIF, L3-5 + PI, L3-5 v.s PLIF, L3-5 + PI(Dynesys), L3-5】四組對照模型，發現脊椎改良系統相較於椎弓螺釘對於相鄰段端版轉角提升效果最明顯的是【PI(Dynesys), L3-5 v.s PI, L3-5】，可見脊椎改良系統在未搭配融合手術並且施行兩節脊椎改良系統的相鄰段端版轉角提升效果是最大的，這可以幫助醫生或病人在動手術前的評估和考量，若是病人僅一節椎間盤受損，則可以選擇 PLIF 搭配椎弓螺釘之手術，相鄰段端版轉角提升效果雖然較脊椎改良系統少，但差距不像兩節的模型那樣明顯；而若是病人是兩節椎間盤受損，可以選擇脊椎改良系統。

椎間相對轉角指的是椎間盤的轉角量，伸展動作下，其脊椎改良系統對於上方相鄰段椎間相對轉角增量之提升效果極不穩定，有時脊椎改良系統比椎弓螺釘效果好，有時又較差；而在前屈、側彎和扭轉動作下，脊椎改良系統相較於椎弓螺釘對於相鄰段椎間相對轉角增量之提升效果較好。另外還可看出一件事，就是除了伸展動作外，其餘動作下其脊椎改良系統應用於兩節之模型對於提升相鄰段椎間相對轉角之效果均比一節模型要好，故此點與前述端版轉角之討論十分吻合，再次獲得驗證。雖然整體趨勢脊椎改良系統仍是可以提升相鄰段之椎間相對轉角以達到改善相鄰段椎間盤退化之情形，然而卻在少數動作下產生效果上的瑕疵，尤其在伸展動作情形下，無論是兩節或一節模型，其脊椎改良系統對於上方相鄰段椎間相對轉角的提升能力非常差，因此可能導致病人安裝了脊椎改良系統後，若是從事較多的伸展動作(例如：籃球、羽球等運動)，其腰椎手術後的上方相鄰段椎間盤

靈活度仍舊很差，因此醫生或是病人在對於脊椎改良系統的使用上，參考本論文所得之相鄰段椎間盤椎間相對轉角增量的研究結果，可以得到一些資訊，以便於在施行上作考量。

應變能是材料受外力作用所儲存的能量，若是相鄰段長期儲存過大之應變能可能導致退化加速。【PI, L4-5 v.s PI(Dynesys), L4-5】、【PLIF, L4-5 + PI, L4-5 v.s PLIF, L4-5 + PI(Dynesys), L4-5】、【PI, L3-5 v.s PI(Dynesys), L3-5】、【PLIF, L3-5 + PI, L3-5 v.s PLIF, L3-5 + PI(Dynesys), L3-5】、【PLIF, L4-5 + PI, L4-5 v.s PI(Dynesys), L4-5】、【PLIF, L3-5 + PI, L3-5 v.s PI(Dynesys), L3-5】各模型對照組合在減少相鄰段應變能百分比增量的效果上，均可發現脊椎改良系統優於椎弓螺釘，而單純脊椎改良系統模型減輕應變能百分比增量的成效也優於 PLIF 搭配椎弓螺釘之模型，故從各動作下各模型之相鄰段應變能百分比的結果來看，脊椎改良系統的確對於減輕相鄰段應變能負擔有著不錯的效果。

觀察【PI, L4-5 v.s PI(Dynesys), L4-5】與【PI, L3-5 v.s PI(Dynesys), L3-5】兩組對照模型比起【PLIF, L4-5 + PI, L4-5 v.s PLIF, L4-5 + PI(Dynesys), L4-5】與【PLIF, L3-5 + PI, L3-5 v.s PLIF, L3-5 + PI(Dynesys), L3-5】兩組對照模型，其脊椎改良系統相較於椎弓螺釘而言減少較多相鄰段應變能百分比增量，也就是說脊椎改良系統在未融合的情況下對於減輕相鄰段退化的效果比起已先融合的情形來說是較明顯的，且兩節模型的效果大於一節模型，這點與端版轉角所得到的結論一樣。

五、結論與未來展望

總結來說，脊椎改良系統除了在減緩相鄰段應力方面的效益上較差之外，對於相鄰段應變能的減少、端版轉角及椎間相對轉角的提升均有不錯的效果，故整體而言脊椎改良系統相較於 PLIF 搭配椎弓螺釘手術來說，對於減緩相鄰段退化和提升相鄰段活動度是有一定成果的。

本研究利用脊椎改良系統以其獲得改善相鄰段之負擔，減緩退化。目前使用此種脊椎改良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，期望此篇以力學觀點之研究可以提供醫學上的參考。

除了此種脊椎改良系統外，尚有許多類似之脊椎改良裝置，如 Wallis Stabilization System，或是人工椎間盤取代，都是可以加以進行研究分析並比較的。

六、參考文獻

- [1] Andrea Strayer, "Lumbar Spine Surgery-A Guide to Preoperative and Postoperative Patient Care", *AANN Reference Series for Clinical Practice*, 4700 W. Lake Avenue, Glenview, IL 60025-1485
- [2] Adams, M. A., Hutton, W. C., "The effect of posture on the role of the apophysial joints in resisting intervertebral compressive forces", *The Journal of Bone and Joint Surgery*, Vol. 62-B, No. 3, pp. 368-362, 1980.
- [3] ABAQUS CAE, Material Property Evaluation, Version 6.9.1, 2009.
- [4] Baroud, G., Nemes, J., Heini, P., and Steffen, T., "Load shift of the intervertebral disc after a vertebroplasty: a finite-element study", *European Spine Journal*, Vol. 12, No. 4, pp. 421-426, 2003.
- [5] Bray, R. S., "Interplate spine fusion device, subsidence control without stress shielding", *Orthopaedic Product News*, September/October 2006, pp. 22-25.
- [6] Chazal, J., Tanguy, A., Bourges, M., Gaurel, G., Escande, G, Guillot, M. and Vanneville, G., "Biomechanical properties of spinal ligaments and a histological study of the supraspinal ligament in traction", *Journal of Biomech.*, Vol.18(3), pp.167-176, 1985.
- [7] 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.
- [8] 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
- [9] 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, pp.790-799, 2003.
- [10] 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.
- [11] Denozière, G., "Numerical modeling of a ligamentous lumbar motion segment", M.S. thesis, Department of Mechanical Engineering, Georgia Institute of Technology, Georgia, U.S.A., 2004.
- [12] Gray Henry, "Grey's Anatomy", New York, 1917
- [13] 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.
- [14] Goto, K., Tajima, N., Chosa, E., Totoribe, K., Kuroki, H. and Arizumi, Y., “Mechanical analysis of the lumbar vertebrae in a three-dimensional finite element method model in which intradiscal pressure in the nucleus pulposus was used to establish the model”, *Journal of Orthopaedic Science*, Vol. 7, No. 2, pp.243-246., 2002.
- [15] 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.
- [16] Gwanseob, Shin, “Viscoelastic responses of the lumbar spine during prolonged stooping”, Ph.D. dissertation, NCSU, USA, 2005.
- [17] Holte, D. C., O'Brien, J. P., Renton, P., “Anterior lumbar fusion using a hybrid interbody graft. A preliminary radiographic report”, *European Spine Journal*, Vol. 3, No. 1, pp. 32-38, 1994.
- [18] 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
- [19] Jack Zigler, “Total Disc Replacement-ProDisc”, Spine-health.com
- [20] Lee, C.-K., “Accelerated degeneration of the segment adjacent to a lumbar fusion”, *Spine*, Vol. 13, pp. 375–7, 1988
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] Mow, V. and Hayes, W. C., “Basic orthopaedic biomechanics”, New York, Raven press Ltd, 1991.
- [24] Manuel, J. G. R., Leidy Y. S. G., “Comparison of hyperelastic material models in the analysis of fabrics”, *International Journal of Clothing Science and Technology*, Vol. 18 No. 5, pp. 314-325, 2006.
- [25] MSC.Patran, Documentation.
- [26] Natarajan, R. N., and Andersson, G.B.J., “Modeling the annular incision in a herniated lumbar intervertebral disc to study its effect on disc stability”, *Computers Structures*, Vol. 64, No. 5-6, pp.1291-1297, 1997.
- [27] Nordin, M., Frankel, V. H., “Basic Biomechanics of the Musculoskeletal System. Lippincott Williams and Wilkins”, Baltimore, 2001

- [28] Ng, H.-W., Teo, E.-C., "Nonlinear Finite-Element Analysis of the Lower Cervical Spine(C4–C6) Under Axial Loading", *Journal of Spinal Disorders*, Vol. 14, No. 3, pp. 201–210, 2001.
- [29] Naira H.C.K., "Computational analysis of the time-dependent biomechanical behavior of the lumbar spine", Ph.D. thesis, Ohio State University, USA, 2004.
- [30] Peter, F. U. Jr., "Bone Graft Substitutes", Spine-health.com.
- [31] Peter F. U. Jr., "Lumbar Spine Surgery", Spine-health.com.
- [32] Pitzten, 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.
- [33] Polikeit, A., Ferguson S. J., Nolte L. P. and Orr T. E., "Factors influencing stresses in the lumbar spine after the insertion of intervertebral cages: finite element analysis", *European Spine Journal*, Vol. 12, No. 4, pp. 413-420, 2003.
- [34] Rohlmann, A., Burra, N.K., Zander, T. and Bergmann, G., "Comparison of the effects of bilateral posterior dynamic and rigid fixation devices on the loads in the lumbar spine", *European Spine Journal*, 2007.
- [35] 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.
- [36] Sharma, M., Langrana, N. A. and Rodriguez, J., "Role of ligaments and facets in lumbar spinal stability", *Spine*, Vol. 20, No. 8, pp. 887-900, 1995.
- [37] Sharma, M., Langrana, N. A. and Rodriguez, J., "Modeling of facet articulation as a nonlinear moving contact problem: sensitivity study on lumbar facet response", *Journal of Biomechanical Engineering*, Vol. 120, pp. 118-125, 1998.
- [38] Sengupta, D. K., Mehdian, SMH, Mulholland, R. C., Webb, J. K. and Ohnmeiss, D. D., "Biomechanical evaluation of immediate stability with rectangular versus cylindrical interbody cages in stabilization of the lumbar spine", *BMC Musculoskeletal Disorders*, 2002
- [39] Sairyo, K., Goel, V. K., Masuda, A., Vishnubhotla, S, Faizan, A, Biyani, A., Ebraheim, N, Yonekura, D, Murakami, R. I. and Terai., T., "Three-dimensional finite element analysis of the pediatric lumbar spine", *European Spine Journal*, Vol. 15, pp.923-929, 2006.
- [40] Spine Fusion Surgery Video, Spine-health.com.

- [41] Tittel, K. "Beschreibende und funktionelle Anatomie des Menschen", 8. Ed. Jena, VEB Gustav-Fischer Verlag, 1990.
- [42] White III, A. A. and Panjabi, M. M., "Clinical biomechanics of the spine", second edition, J.B. Lippincott Company, Philadelphia, 1990
- [43] 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.
- [44] Yamamoto, I., Panjabi, M. M., Crisco, T. and Oxland, T., "Three-Dimensional Movements of the Whole Lumbar Spine and Lumbosacral Joint", *Spine*, Vol. 14, No.11, pp.1256-1260.
- [45] 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。
- [46] 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。
- [47] 林冠璋,『電腦輔助脊椎之有限元素分析』,國立成功大學土木工程研究所,碩士論文,中華民國九十七年六月。
- [48] 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。
- [49] 謝牧鄰,『以CT斷層掃描影像為基礎之脊椎有限元素分析』,國立成功大學土木工程研究所,碩士論文,中華民國九十四年六月。
- [50] 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。
- [51] <http://www.spineinstitute.com/research/dss.html>
- [52] <http://www.zimmerspine.eu/z/ctl/op/global/action/1/id/10121/template/CP/navigation/10014>
- [53] <http://www.zimmerspine.eu/z/ctl/op/global/action/1/id/10215/template/MP/navigation/www.zimmerspine.de>
- [54] <http://www.tcmg.com.tw/doctor/www/spine2/cage/cage.htm>
- [55] <http://www.sekitsu.jp/senmon/02youbu/02plif.html>

七、圖片



圖 1 脊椎改良系統



圖 2 椎弓螺釘

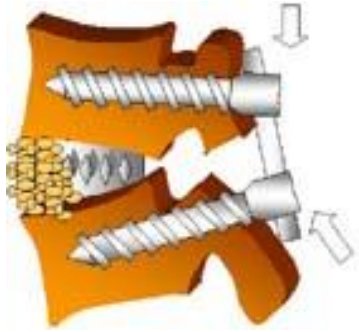


圖 3 PLIF 手術



圖 4 表面模型