

以樹脂轉注成型法進行輕量化下之主要關節護具之研製

陳孔斌、賴民

E-mail: 9806258@mail.dyu.edu.tw

摘要

本文研究方向是開發可取代石膏的輕量型下肢主要關節護具，應用最佳化方法與製造方式來進行可調固定式及可調活動式之下肢主要護具輕量化設計與研製，茲以下肢主要關節護具的力學行為分析、衝擊模態分析、最佳化設計、構件形狀與尺寸、製程參數、實體製造及實驗量測等方面進行研究。此護具具質量輕，高透氣性、耐衝擊性高的特質，改良現在護具的重量、悶熱或過敏導致皮膚不舒服、不方便等缺點，讓病人在使用護具時舒適，負擔輕，其中研製的可調活動式及可調固定式膝關節護具，由關節炎及十字韌帶受傷的病患穿戴來進行復建，達到良好恢復效果。本文的最佳化是利用粒子群最佳化演算法來尋找複材護具的最佳製程參數；在製造方法採用手積法及樹脂轉注法利用玻璃纖維及樹脂或採碳纖預浸材製造各種下肢關節護具，並以ANSYS軟體分析護具之靜態應力分析及動態耐衝擊性，同時以實驗來驗證理論分析與最佳設計的正確性。最後進行護具的耐久性分析及病患問卷調查，修正設計成為最舒適的護具以達到(a)固定效果(b)透氣效果(c)調整便利(d)穿戴安全、舒適等特點。

關鍵詞：下肢主要關節、護具、輕量化、舒適、耐衝擊、樹脂轉注

目錄

封面內頁

簽名頁

博碩士論文暨電子檔案上網授權書 iii

中文摘要 iv

ABSTRACT v

致謝 vi

目錄 vii

圖目錄 x

表目錄 xv

第一章 緒論 1

1.1 前言 1

1.2 研究目的 3

1.3 文獻回顧 3

1.4 研究流程 10

1.5 自行設計與開發的概念護具簡介 12

第二章 理論推導 14

2.1 多層殼元素理論 14

2.2 ANSYS暫態動力學理論 17

2.3 模態疊層相加法與直接積分法 19

2.4 直接積分法之顯示法與隱示法 19

2.4.1有限元素模型之建立 22

2.4.2靜態模型之建立 23

2.4.3暫態模型之建立 23

第三章 研究方法 25

3.1 護具材料的選用 25

3.2 護具的設計 29

3.3 護具的結構設計 31

3.4 製程規劃及實作 35

3.4.1手積法簡介 35

3.4.2樹脂轉注成型法(RTM)簡介 36

| | |
|-----------------------------|-----|
| 3.5 複材平板結構與單曲率殼構件的最佳化設計 | 38 |
| 3.5.1 粒子群最佳化演算法簡介 | 40 |
| 3.5.2 粒子群最佳化演算法範例 | 43 |
| 第四章 產品製作與量測實驗 | 49 |
| 4.1 複材平板結構的製作 | 49 |
| 4.1.1 複材平板結構的製作方法及步驟 | 50 |
| 4.1.2 下肢主要關節護具的製作 | 51 |
| 4.2 頂壓實驗 | 61 |
| 4.2.1 複材碳纖維積層板的中間施力之頂壓試驗 | 61 |
| 4.2.2 護膝頂壓試驗 | 63 |
| 4.3 衝擊試驗 | 64 |
| 4.3.1 平板衝擊 | 64 |
| 4.3.2 護具衝擊實驗 | 66 |
| 4.4 踝關節護具與膝部關節護具的製作 | 67 |
| 4.4.1 腳踝關節護具 | 67 |
| 4.4.2 膝關節護具 | 69 |
| 4.4.3 具水準設計與因子組合 | 70 |
| 4.5 膝關節及踝關節護具測試與問卷調查 | 71 |
| 第五章 實驗結果與理論值驗證 | 73 |
| 5.1 膝關節及踝部護具的頂壓實驗結果與理論分析之比較 | 73 |
| 5.2 衝擊模型驗證 | 77 |
| 5.2.1 平板衝擊模型驗證 | 77 |
| 5.2.2 單曲率殼構件衝擊模型驗證 | 79 |
| 5.3 複合材料碳纖維板之衝擊實驗結果與理論分析之比較 | 84 |
| 5.4 最佳化結果 | 89 |
| 5.5 複合材料碳纖與玻纖之衝擊實驗與分析結果 | 92 |
| 5.5.1 最佳化結果 | 99 |
| 5.6 護具問卷個案分析結果 | 104 |
| 5.6.1 受試者 | 104 |
| 5.6.2 測試結果 | 105 |
| 5.7 下肢型護具-優缺點評估及改正 | 115 |
| 5.7.1 病患試穿可調固定式膝型關節護具的優缺點 | 115 |
| 5.7.2 病患試穿可調式膝型關節護具的優缺點 | 115 |
| 5.7.3 病患試穿足踝型關節護具的優缺點 | 116 |
| 5.7.4 護具穿戴結果討論 | 117 |
| 第六章 結論與未來研究方向 | 118 |
| 6.1 結論 | 118 |
| 6.2 未來研究方向 | 120 |
| 參考文獻 | 121 |

圖目錄

| | |
|---------------------------|----|
| 圖1.1 現今病患常用護具產品圖 | 2 |
| 圖1.2 腳踝護具組合圖 | 4 |
| 圖1.3 國外腳踝護具圖 | 5 |
| 圖1.4 骨關節炎護膝示意圖 | 7 |
| 圖1.5 骨關節炎護膝示意圖 | 7 |
| 圖1.6 G- 膝關節支架[20] | 9 |
| 圖1.7 研究流程圖 | 11 |
| 圖1.8 自行設計研發的可調式膝關節護具示意圖 | 13 |
| 圖1.9 自行設計研發的可調固定式踝關節護具示意圖 | 13 |
| 圖2.1 殼元素座標示意圖 | 17 |
| 圖2.2 暫態動力學示意圖 | 18 |

圖2.3 Shell91 元素 22
圖2.4複合材料殼構件有限元素模型示意圖 23
圖2.5複合材料平板暫態衝擊模型 24
圖3.1蜂巢式結構 28
圖3.2惰性泡棉 28
圖3.3奈米銀粉體 28
圖3.4銀離子淨化機制 28
圖3.6下肢護具示意圖 30
圖3.7支架設計組合圖 32
圖3.8可調固定式腳踝支架之前視圖(一) 33
圖3.9可調固定式腳踝支架後視圖(二) 33
圖3.10可調固定式膝蓋支架 33
圖3.11可調活動式支架示意圖 34
圖3.12可調活動式支架組立圖 34
圖3.13手積法示意圖 36
圖3.14 RTM示意圖 37
圖3.15複材平板結構示意圖 38
圖3.16邊界條件為四邊固定 39
圖3.17邊界條件為簡支 39
圖3.18邊界條件為四邊固定與兩邊固定 40
圖3.19邊界條件為四邊SS1與兩邊 40
圖3.20 PSO演算法 41
圖3.21粒子群演算法流程圖 42
圖3.22 $b/a=1$ 4層之收斂曲線 48
圖4.1碳纖維(長纖) 49
圖4.2玻璃纖維(長纖) 49
圖4.3裁切複材且平鋪於模具上 50
圖4.4固定模具 50
圖4.5複材平板烘烤完成後 51
圖4.6 $[0^\circ/90^\circ]$ 纖維方向玻璃纖維布 52
圖4.7樹脂與硬化劑 52
圖4.8石膏模型 52
圖4.9墊上玻璃紙 52
圖4.10蓋上一層玻璃紙 53
圖4.11以滾輪將氣泡擠出 53
圖4.12長尾夾固定 53
圖4.13靜置十分鐘 53
圖4.14小金屬模型圖 54
圖4.15大金屬模型圖 54
圖4.16 (A)玻纖試片及(B)碳纖試片手積法成型後 54
圖4.17模具上脫模蠟示意圖 55
圖4.18接縫處塗上口香糖膠 55
圖4.19將橡膠條密封在弧型模具處 56
圖4.20把裁切好的玻纖布放入模具中 56
圖4.21樹脂注入機與加壓槍 57
圖4.23將拷克閥的一端接上真空幫浦 58
圖4.24將樹脂抽出 58
圖4.25利用接合鎖控制流量 59
圖4.26一百二十度烘烤30分鐘 59
圖4.27將成型後的模型取出放置 60
圖4.28玻纖RTM成型後的成品 60
圖4.29複材平板中心點 61
圖4.30固定複材平板 62

| | |
|--|-----|
| 圖4.31頂針與位移計對齊中心點 | 62 |
| 圖4.32頂壓實驗 | 63 |
| 圖4.33膝關節護具頂壓測試 | 64 |
| 圖4.34利用Rhino軟體掃描 | 64 |
| 圖4.35中心點位置 | 65 |
| 圖4.36衝球與位移計對齊中心點 | 65 |
| 圖4.37結構四邊固定住 | 66 |
| 圖4.38衝球與位移計對齊中心點 | 67 |
| 圖4.39下肢護具模具 | 68 |
| 圖4.40腳踝護具與護具穿戴示意圖 | 69 |
| 圖4.41膝關節護具與護具穿戴示意圖 | 69 |
| 圖4.42護具設計因子圖 | 70 |
| 圖4.43病患試穿可調固定式護具 | 71 |
| 圖4.44病患試穿可調活動式護具 | 72 |
| 圖4.45腳踝護具動態與靜態穿戴示意圖 | 72 |
| 圖5.1邊界條件示意圖 | 74 |
| 圖5.2不同元素切割數的位移 | 74 |
| 圖5.3最大位移圖及邊界條件設定 | 74 |
| 圖5.4邊界條件示意圖 | 76 |
| 圖5.5最大位移圖 | 76 |
| 圖5.6 FORTRAN衝擊模型圖 | 77 |
| 圖5.7弧型殼衝擊模型圖 | 80 |
| 圖5.8弧型殼Mesh示意圖 | 82 |
| 圖5.10弧型殼不同速度下的最大位移趨勢圖 | 83 |
| 圖5.11纖維複合材料平板碳模型 | 85 |
| 圖5.12複合材料護具切割原素收斂圖 | 85 |
| 圖5.13 [90° / 0° / 45° / -45°]s 10cm位移比對smooth衝擊曲線 | 88 |
| 圖5.14 [90° / 0° / 45° / -45°]s 20cm位移比對smooth曲線 | 89 |
| 圖5.15碳纖維與玻纖複合材料護具模型圖 | 93 |
| 圖5.16 [0°/90°/90°/0°] 邊界條件為SS1的RTM與手積法及碳纖20cm位移比對 | 95 |
| 圖5.17衝擊示意圖 | 95 |
| 圖5.18高球衝擊示意圖 | 96 |
| 圖5.19 [90° / 0° / 45° / -45°]s玻纖10cm位移比對smooth衝擊曲線 | 98 |
| 圖5.20 [90° / 0° / 45° / -45°]s碳纖10cm位移比對smooth衝擊曲線 | 98 |
| 圖5.21可調固定式膝關節護具General Linear Model 分析圖 | 105 |
| 圖5.22可調式膝關節護具General Linear Model 分析圖 | 109 |
| 圖5.23踝關節護具General Linear Model 分析圖 | 112 |

表目錄

| | |
|----------------------------------|----|
| 表3.1 TGFW-600利用RTM製程之材料性質 | 26 |
| 表3.2惰性泡棉規格表 | 27 |
| 表3.3碳纖複材平板設計參數表 | 44 |
| 表3.4碳纖維之材料性質表 | 44 |
| 表3.5疊層角度編碼 | 45 |
| 表3.6初始解 | 46 |
| 表3.7第一代粒子 | 46 |
| 表3.8第七代粒子 | 47 |
| 表3.9第二十代收斂的最佳化結果 | 47 |
| 表4.1護具組合設計表 | 70 |
| 表5.1利用元素Soild46分析護具施加載重5N的中間位移結果 | 75 |
| 表5.2利用元素Shell99分析護具施加載重5N的中間位移結果 | 75 |
| 表5.3 ANSYS分析、FORTRAN程式分析與實驗值之比較 | 76 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 表5.4 | Clamp複材平板中心受衝擊之最佳疊層角度與位移值 | 78 |
| 表5.5 | 不同理論分析位移值比對結果 | 79 |
| 表5.6 | 材料常數與參數設定 | 81 |
| 表5.7 | 邊界條件為SS1之單曲率?構件ANSYS建模分析結果 | 84 |
| 表5.8 | 碳纖維與玻璃纖維(手積法)與RTM材料性質 | 86 |
| 表5.9 | 四邊SS1 [0o/90o/0o/90o]s碳纖平板試片衝擊時中心點位移的實驗與理論值比較表 | 86 |
| 表5.10 | 四邊SS1 [90o/0o/45o/-45o]s碳纖平板試片衝擊時中心點位移的實驗與理論值比較表 | 87 |
| 表5.11 | 四邊SS1 [0o/90o/0o]s四邊SS1碳纖平板試片衝擊時中心點位移的實驗與理論值比較表 | 87 |
| 表5.12 | 四邊SS1 [45o/-45o/45o]s碳纖平板 試片衝擊時中心點位移的實驗與理論值比較表 | 88 |
| 表5.13 | 粒子群演算法之設計參數 | 90 |
| 表5.14 | 邊界為SS1的碳纖維平板中間集中載重的最佳化結果表 | 91 |
| 表5.15 | 邊界條件邊界條件為Clamp的碳纖維平板中間集中載重的最佳化結果表 | 92 |
| 表5.16 | 兩邊SS1 [0?/90?/90/?0?]s的手積法玻纖護具試片衝擊理論分析與實驗值之誤差比較表 | 93 |
| 表5.17 | 兩邊SS1 [0?/90?/0?/90?]S的碳纖護具試片誤差比較表 | 94 |
| 表5.18 | RTM與手積法及碳纖試片誤差比較表 | 94 |
| 表5.19 | 兩邊SS1 [90o/0o/45o/-45o]s (手積法)玻纖試片衝擊實驗與理論值比較 | 97 |
| 表5.20 | 兩邊SS1 [90o/0o/45o/-45o]s碳纖試片衝擊實驗與理論值比較 | 97 |
| 表5.21 | 四邊不同邊界條件之碳纖維單曲率殼構件受衝擊的最佳化結果比較表一 | 100 |
| 表5.22 | 不同邊界條件3層組變數之最佳化與任意角度之比較 | 101 |
| 表5.23 | 二邊不同邊界條件之碳纖維單曲率殼構件受衝擊的最佳化結果比較表一 | 102 |
| 表5.24 | 不同邊界條件4層組變數之最佳化結果與任意角度之比較 | 103 |
| 表5.25 | 受試者資料 | 104 |
| 表5.26 | 可調固定式膝關節護具分析結果一 | 106 |
| 表5.27 | 可調固定式膝關節護具分析結果二 | 107 |
| 表5.28 | 可調固定式膝關節護具分析結果三 | 108 |
| 表5.29 | 可調式膝關節護具分析結果一 | 109 |
| 表5.30 | 可調式膝關節護具分析結果一 | 110 |
| 表5.31 | 可調式膝關節護具分析結果二 | 111 |
| 表5.32 | 踝關節護具分析結果一 | 112 |
| 表5.33 | 踝關節護具分析結果二 | 113 |
| 表5.34 | 踝關節護具分析結果三 | 114 |

參考文獻

- 中文參考文獻[1] 吳光啟, “膝肘護具”, 中華民國專利公報, M296066, 2006.8.21.
- [2] 吳光啟, “膝關節輔具之關節結構”, 中華民國專利公報, M252394, 2004.
- [3] 黃昌宏, “可調固定式和旋轉式脛骨元件人工膝關節之應力分析”, 國立陽明大學醫學工程研究所碩士論文, 2001.
- [4] 許鵬飛, “供中風患者步行訓練之膝關節控制器設計”, 中原大學醫學工程研究所碩士論文, 2001.
- [5] 李貴琪, 邢文影, 余廷耀, “應用於運動器材之高光澤耐摩耗奈米塗料之研發”, NSC 90-2216-E-034-033, 中國文化大學紡織工程學系.
- [6] 陳秀佩, “膝支架之生物力學評估”, 國立成功大學醫學工程研究所碩士論文”, 1995.
- [7] 賴?民、林子傑、王正賢、林志忻, “功能性鞋墊的研發與下肢輕量型護具的設計”, 2007.
- [8] 林志忻, “下肢主要關節輕量型護具的最佳化設計”, 私立大葉大學工業工程與科技管理研究所論文, 2008.
- [9] 廖偉智, “複合材料三明治殼構件輕量化設計與製造”, 私立大葉大學工業工程與科技管理研究所論文, 2008.
- [10] 陳紘煒, “複合材料殼構件的力學行為分析與最佳化設計”, 私立大葉大學工業工程與科技管理研究所論文, 2005.
- [11] 李東穎, “奈米碳管加勁複合材料平板式揚聲器之最佳設計”, 私立大葉大學工業工程與科技管理研究所論文, 2006.
- [13] 許雅真, “應用類啟發式演算法於複合材料板之高勁度設計與輕量化設計”, 私立大葉大學工業工程與科技管理研究所論文, 2005.
- [14] 許明發, 郭文雄編著, 複合材料, 高立圖書有限公司, 2004.
- [15] 余淑惠, 陳世明, 余廷耀, “應用於運動器材之高光澤耐摩耗奈米塗料之研發”, 行政院國家科學委員會專題研究計畫, 萬能科技大學化工與材料工程系.
- [16] 卓柏惠, “三明治複合材料葉片振動性能之研究”, 逢甲大學紡織工程研究所碩士論文, 2004.
- [17] 劉晉奇, 褚晴暉編著, 有限元素分析與ANSYS的工程應用, 滄海書局, 2007.英文參考文獻[12] Dorigo M., Maniezzo V., and Colorni A., “Positive Feedback as a Search Strategy”, Technical Report 91-016, Dipartimento di Elettronica, Politecnico di Milano. IT., 1991.
- [18] Shirley, T. S., “Stance-Correcting Knee Brace” U. S. Patent, 2000.

- [19]Cawley, P. W.; Mason, J. T., " Adjustable Hinge Assembly for an Osteoarthritic Knee Brace, " U. S. Patent , 1998[20]Taylor, D. A.; " Multi-Purpose Brace, " U. S. Patent , 1998.
- [21]Katsuragawa, Y.; Fukui, N.; Nakamura, K., " Change of Bone Mineral Density with Valgus Knee Bracing , " International Orthopaedics (SICOT), 1999.
- [22]Risberg, M. A.; Beynnon, B. D.; Peura, G. D.; Uh, B. S., " Proprioception after Anterior Cruciate[23]M?ller, E.; Forsblad, M.; Hansson, L.; Wange, P.; Weidenhielm, L., " Bracing versus Nonbracing in Rehabilitation after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction:A Randomized Prospective Studywith 2-Year Follow-Up, " Knee Surgery Sports Traumatol Arthrosc, 2001.