

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

手術中術野輔助光源之研究 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型
計畫編號：NSC 95-2218-E-002-050-
執行期間：95年08月01日至96年07月31日
執行單位：國立臺灣大學光電工程學研究所

計畫主持人：黃鼎偉

計畫參與人員：碩士班研究生-兼任助理：馬躍峰、謝佳運

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 96 年 11 月 02 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 ■ 成果報告
□ 期中進度報告

手術中術野輔助光源之研究

Study on the auxiliary light source emitted in the operative field during surgery

計畫類別：■ 個別型計畫 □ 整合型計畫

計畫編號：NSC 95-2218-E-002 -050 -

執行期間：95 年 8 月 1 日至 96 年 7 月 31 日

計畫主持人：黃鼎偉

共同主持人：

計畫參與人員：馬躍峰、謝佳運

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)：■ 精簡報告 □ 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、
列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

□ 涉及專利或其他智慧財產權，□ 一年 □ 二年後可公開查詢

執行單位：國立台灣大學光電工程學研究所

中 華 民 國 96 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

手術中術野輔助光源之研究

Study on the auxiliary light source emitted in the operative field during surgery

計畫編號：NSC 95-2218-E-002 -050 -

執行期限：95 年 8 月 1 日至 96 年 7 月 31 日

主持人：黃鼎偉 國立台灣大學光電工程學研究所

共同主持人：

計畫參與人員：馬躍峰、謝佳運 國立台灣大學光電工程學研究所

一、中英文摘要及關鍵詞

由於先天或後天的病因，有些患者心臟房室膜性中膈缺損或為更複雜的病變，影響心臟行使正常功能，針對這樣的患者，需要施以心臟房室膜性中膈缺損修補手術，以恢復心臟之正常功能。本計畫乃研究可在手術中使用之輔助照明裝置，在實行手術部位(術野)發出照明光，在診斷或治療時，可協助醫師快速確認病灶，在較短的時間完成手術，並減低手術之風險。一般之手術之照明光源皆由外部往術野之方向照射，本研究乃藉由術野內部發出照明光，可迅速協助找出破損之部位，施以修補手術。如有殘留之破損，也可藉由所見之漏光之部位，迅速修補未修補之殘留破損。本計畫採用發光二極體作為此種心臟外科手術所需之局部輔助照明光源，並搭配可撓性塑膠光纖，將照明光引導至所欲診療之患部。此技術不僅可以應用於心臟房室膜性中膈缺損修補手術之診療，協助醫師得以快速判斷病灶部位進行適當之治療與手術，也可廣泛應用於各種需要在術野進行局部照明的手術診療上。

關鍵詞：手術、術野、照明光源、發光二極體、光纖

Abstract

It is known that some patients with heart disease need to do the repair operation owing to the defect in their heart septum or even more complicated lesion. No matter the reason is either congenital or acquired; the repair operation will restore the heart to their normal function. This proposal is to build an auxiliary lighting apparatus whose light is emitted from the location of surgical operation, i.e. the operative field, while examination or treatment is made. Through the help of the auxiliary lighting in the operative field, the doctor can make a quick judgment of the disease, complete the operation within a shorter time, and reduce the crisis in the operation. A high power LED (light emitting diode) adopted as a locally auxiliary lighting source, and use a flexible plastic optical fiber to guide the light to the expected operative field for the open heart operation. In the future this apparatus can furthermore widely apply to other organs or tissues that need an auxiliary lighting source during the operation; the doctor can make a quick examination and decision for the patients.

Keywords: Surgery, Operative field, Light source, Light emitting diode, Optical fiber

二、報告內容

1. 前言

由於先天或後天的病因，有些患者心臟房室膜性中膈缺損(Atrio-Ventricular Membranous Septal Defect, AVSD)或有更複雜的病變，影響心臟行使正常功能，針對這樣的患者，需要施以心臟房室膜性中膈缺損修補手術(AVSD repair operation)，以恢復心臟之正常功能。

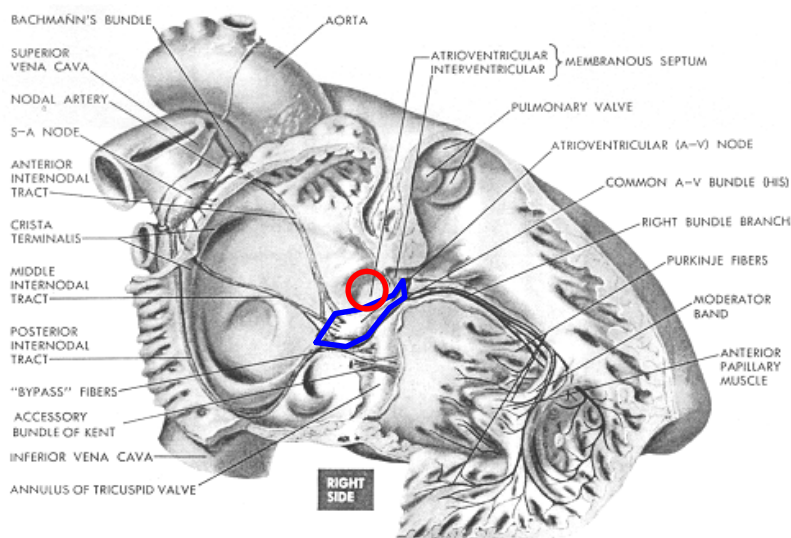


圖 1 心臟中膈處解剖圖(來源: CIBA collection of medical illustration)

圖 1 顯示心臟中膈處的解剖圖，其中藍色線所標示的部份為心臟的傳導部份，為控制心臟脈搏的中樞，而紅色線所標示的部份為房室膜性中膈(Atrio-Ventricular Membranous Septum)的位置，其厚度很薄。小兒先天性房室膜性中膈缺損的病症為在胎兒在從受精卵分化生長過程中，因為此部分的隔膜沒有發育閉合完全，而留下破損孔洞，此病症會導致患者的血液在此破損的孔洞中產生血液分流的現象，因而降低了流出主要動脈血管的血壓與血液流量，因此患有這樣的病症的病患要對全身的器官進行血液的循環代謝時，心臟必須以更高的跳動次數才能提供足夠的血液流量，因而造成很大的負擔，甚至有造成心臟衰竭的可能。因此對於患有房室膜性中膈缺損的病患而言，要儘早進行房室中膈缺損修補手術將中膈的缺損孔洞閉合，以恢復心臟正常的循環。

一般之手術之照明光源皆由外部往實行手術部位(術野, operative field)之方向照射，但對於此類外科手術，由於需要在患部進行更精密的診斷與手術操作，因此，若是能夠在術野處有局部加強照明，將可對手術的進行有很大的幫助。

2. 研究目的

本計畫乃研究可在手術中使用之輔助照明裝置，在術野處發出局部照明光，當醫師進行診斷或治療時，此照明光源可協助醫師快速確認病灶，並且讓醫師在較短的時間內完成手術、確認手術的完成度，同時也可藉此減低手術之風險。例如在實施心臟房室膜性中膈缺損修補手術時，醫師可藉由此照明光源在心臟房室膜性中膈局部照射，除了可以得到較清晰的局部照明效果之外，另外也藉由術野處之透光程度強弱，判斷出心臟瓣膜組織之厚薄程度，來分辨患者心臟位於膜性中膈和肌肉性中膈交界的

傳導組織之位置，以進行所需之精密的手術。再者，如果有殘留之破損，也可藉由所見之漏光之部位，迅速修補未修補之殘留破損，以確認手術之完成度。本計畫採用發光二極體 (Light Emitting Diode, LED) 作為此種心臟外科手術所需之局部輔助照明光源，並搭配可撓性塑膠光纖，將照明光引導至所欲診療之患部，由於塑膠光纖的成本較便宜，因此只要搭配設計在光纖尾端製作可拋棄式的連接器，就可分別對不同的病患使用專屬的導光光纖，以符合衛生與安全的要求。

此外，就工程角度而言，此種由術野處發光的照明光源，是將光線照在人體組織上，將其反射或透射的影像提供醫師的眼睛觀看，因此必須考量其對於手術部位的人體組織所產生的影響，以及對於手術操刀的醫師的視覺所造成的影響，因此包括人體組織對於不同波長光波的吸收與反射、組織吸收光之後所造成的熱效應、不同波長的光線進入醫師的眼睛之後對其進行診療時是否產生視覺的疲勞等因素都必須考慮，因此此研究也針對醫療用的照明光源進行臨床效果的研究。

此技術應用於心臟房室膜性中膈缺損修補手術之診療時，可協助醫師得以快速判斷病灶部位，進行適當之治療與手術，以利醫師在較短的時間完成手術、確認手術的完成度，也藉此減低手術之風險。除此之外，未來此裝置也將可廣泛應用於各種需要在術野進行局部照明的手術診療上，對於各種類型外科手術必定有很大的助益。

3. 文獻探討:

使用 LED 為光源並且搭配可拋棄式塑膠光纖所製作之術野發光之醫療用照明裝置的研究，目前國內外尚無相關的研究報告，但本構想由於架構很簡單，且本研究團隊已利用傳統鹵素燈光源進行先期評估研究，認為可行性相當高，且推測對於手術所產生的實質效果會相當顯著。

本計畫與國立台灣大學醫學院心臟外科邱英世醫師合作，其臨床醫療文獻[1]中指出，進行房室中膈缺損修補手術所需的時間，大約為三個小時(180 分鐘)左右(見圖 2)，其中開胸與導流的前置時間為 50 分鐘，進行修補手術時間為 70-80 分鐘，最後的縫合手術所需時間為 50-60 分鐘，在此手術過程中所有的血液的新陳代謝皆以體外循環機負責，因此這樣的手術是分秒必爭的過程。若能透過在術野處局部照明裝置，協助醫師進行快速的診療與手術流程，將修補手術階段所需的時間縮短，病患的手術風險就可以降低，且可以藉此確保手術的完成度，以利術後的恢復情況。

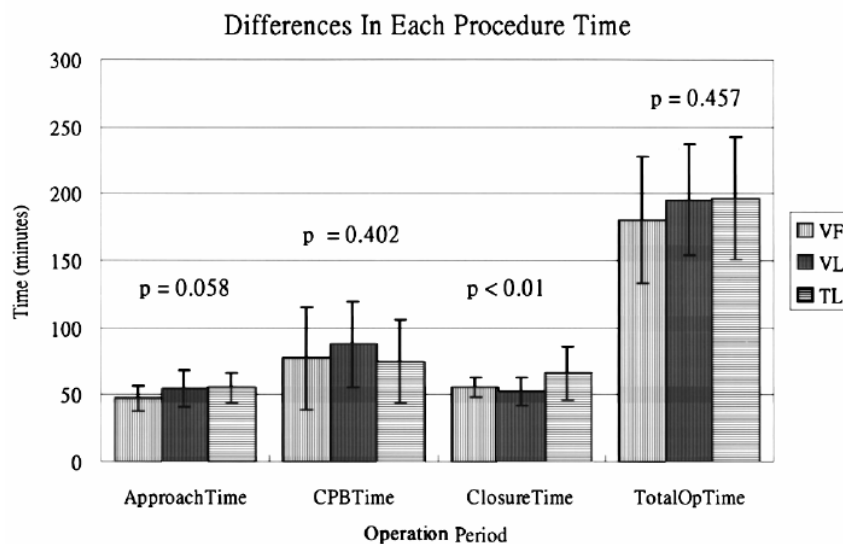


圖 2 Bar plots of approach time, cardiopulmonary bypass time, closure time, and total operation time of the three groups.

4. 研究方法

本計畫使用 LED 為光源並且搭配可拋棄式塑膠光纖來製作術野發光之醫療用照明裝置，並應用於心臟的房室中膈缺損修補手術，所採用之研究方法分為下列步驟：

(1) 光波在心臟組織的穿透與吸收特性的研究：

由於心臟組織包含血管、肌肉性組織、膜性組織等部份構成，不管是由手術檯上的大型照明燈或是在術野所發出的局部照明光源，照明光之中所包含的不同波長成分在人體組織上都會有不同的光反射與吸收現象，其中反射或穿透的部份即提供醫師的眼睛所賴以判斷的影像的來源，而吸收部份的能量往往會成為熱能的形式，在手術過程中會讓組織溫度上升，而這種吸收光所產生熱可能會對組織產生不良的影響。因此在進行臨床研究之前，需先針對心臟組織進行光穿透與吸收特性的量測與分析。本研究以與人類心臟最接近的豬心來進行模擬實驗，實驗架構如圖 3 所示，將白光光源經過光衰减器 (Optical attenuator) 調整不同的功率輸出之後，再經過待測之生物組織之後進入光譜儀進行頻譜分析，藉此可量測生物組織的穿透光譜。接著只要將其中穿透組織部份量測架構改為反射式的量測架構，即可量到生物組織反射光譜。最後，再經過校正亦可得到吸收光譜。同時，改以不同入射光的功率對生物組織進行溫度變化的量測，以了解組織吸收光能之後所產生的熱的大小，並定義出一個最小的門檻數值，作為在術野發光的光纖光源的功率規格限制，以確保手術時不會因吸收光能所產生的熱而對組織造成不良的影響。

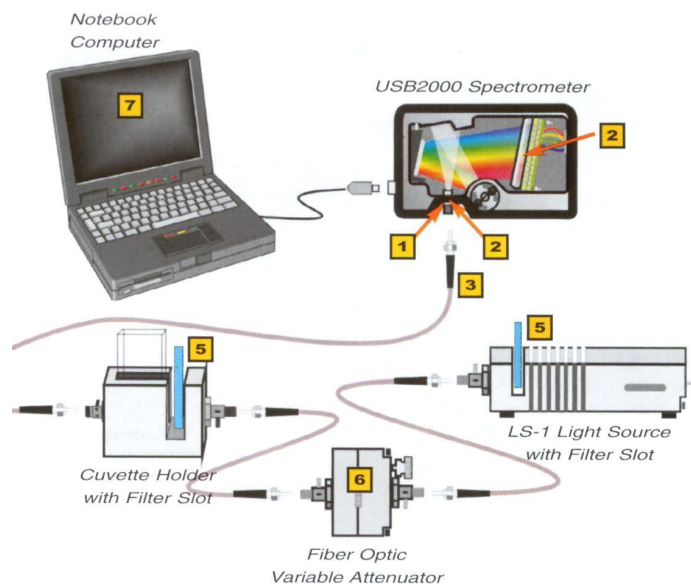


圖 3 生物組織穿透光譜量測架構圖

(2) 在術野發光之光纖照明裝置的製作：

得到生物組織對光波的穿透吸收特性量測完成之後，就可以挑選適當波長的 LED，進行術野發光之 LED 光纖照明裝置的製作。本研究期望以一個對心臟組織具有高穿透率的波長的高亮度 LED 做為光源，搭配耦光透鏡組，將 LED 所發出的光耦合至塑膠光纖，同時加上特殊設計光纖連接器，以利後段塑膠光纖進行消毒且在手術完成時可拋棄使用(如圖 4 所示)。由於光纖直徑很小($\varnothing = 1-2\text{mm}$)，因此可以在手術時，將光纖經由血管的切口伸入心臟之中，在需要照明的部份發出照明光，或可將光纖安裝於吸除管(Suction tube)中，在不增加額外的空間的條件下發揮所需之照明功能。

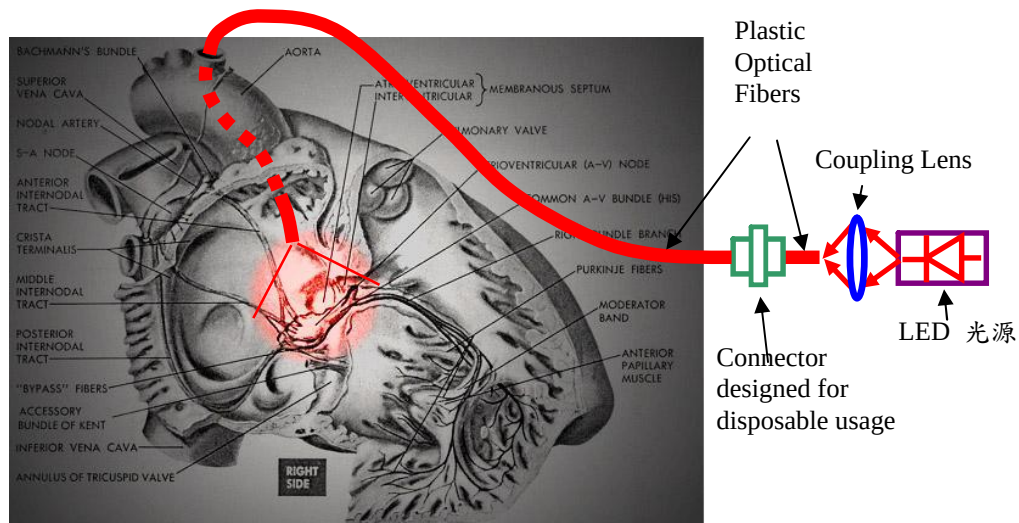


圖 4 高亮度 LED 光源搭配塑膠光纖所製成的術野照明裝置

(3) 手術中此術野照明光對醫師進行手術時，手術時間的改善：

在上述的術野照明裝置製作完成之後，由醫師將此裝置應用於實際的手術上，在臨床手術時評估此照明裝置是否可以原先的手術檯上方手術燈很亮的照明之下幫助醫師診療與手術的進行，並達到使手術時間縮短的效果。

由於本實驗已預先利用一般的鹵素燈源配合塑膠光纖進行了初期的評估，圖 5 顯示利用鹵素燈搭配塑膠光纖所進行之術野照明的所進行之先期評估實驗，由於此評估實驗中所使用的塑膠光纖為 $\varnothing = 1\text{mm}$ ，並無搭配適當的耦合鏡片組，僅以直接尾端耦合(Butt coupling)的方式，將光線直接耦合進光纖，因此光纖尾端發出的光功率僅有數 mW，在手術檯上方手術燈很亮的照明之下，其效果並不顯著。本計畫換成高亮度 LED 光源，並搭配適當的耦合鏡片組，將光纖尾端的照明量提高 5-10 倍，可產生有效的照明效果，因此本計畫的可行性相當高。

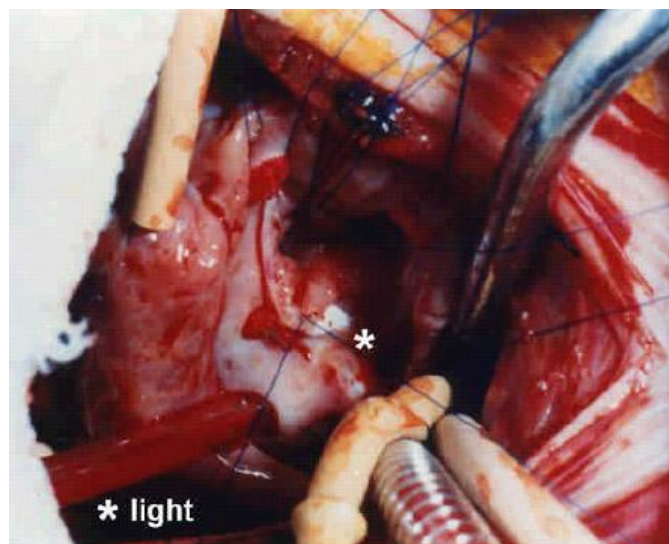


圖 5 利用鹵素燈搭配塑膠光纖進行之術野照明的先期評估

5. 結果與討論

(1) 心臟組織切片的反射、穿透、吸收光譜的量測

以豬心切片代替人類心臟組織，進行量測，找出最適當的波長。依照圖 3 生物組織穿透光譜量測架構圖，將厚度為 $500\pm 20\mu\text{m}$ 之豬心切片置於待測物夾制具中，以 632.8nm 的 HeNe 雷射量測其穿透率，若考慮其光漫射(scattering)與光吸收(absorption)為一均勻整體效應，其穿透率可寫成

$$I = I_0 e^{-\alpha t} \quad (1)$$

其中 I_0 為入射光強度、 I 為穿透光強度、 t 為樣品厚度、 α 為光衰減率，所量測到的結果為 $\alpha = 1.2\pm 0.1 \text{ cm}^{-1}$ ，由於文獻沒有針對豬心的光學特性的量測值，因此我們與最接近的一篇針對豬鼻軟骨切片量測的文獻相比較[2] (其 $\alpha = 0.15\pm 0.02 \text{ cm}^{-1}$)，因此豬心切片的光衰減大約是豬鼻軟骨的八倍。與另外一篇人類皮膚切片量測的文獻相比較[3] (其 $\alpha = 0.4\sim 0.6 \text{ cm}^{-1}$ @ $\lambda = 450\text{-}650\text{nm}$)，大約因此豬心切片的光衰減大約是人類皮膚的 2~3 倍。若定義入射光衰減至 $1/e$ 強度時之厚度為有效光穿透深度(penetration depth)，則豬心切片在 632.8nm 光源之照射下其有效光穿透深度為 $\delta = \alpha^{-1} = 0.84\pm 0.7 \text{ cm}$ 。

本計畫因為使用豬心來模擬人類心臟，來進行心臟組織反射、穿透與吸收的量測實驗，因此在實際臨床上的應用時，可能還是會和真正的人類心臟有所差異，解決的方式是將臨床應用時的實際效果回饋到照明裝置的硬體規格的修正，讓所製作的照明裝置在手術中發揮所需的效果。

(2) 針對心臟手術用之光源規格

依照上述之結果，我們選用的光源為 $630\pm 15 \text{ nm}$ 之紅光 LED，操作於 2.2V 900mA，發光強度為 50 lm。而人類心臟房室膜性中膈厚度為 0.1-0.2mm，其附近的房室肌肉性中膈的厚度約 0.4-3mm，若以上述的豬心切片衰減係數量測結果 $\alpha = 1.2\pm 0.1 \text{ cm}^{-1}$ 作為人類心臟的光衰減係數，則房室膜性中膈的光穿透率為 $98\pm 0.5\%$ ，而房室肌肉性中膈的光穿透率為 70~90%，因此在此紅光 LED 照明下，可有效穿透心臟的中膈組織，並分辨出膜性中膈與肌肉性中膈的差異。

(3) 高亮度 LED 光源經由透鏡組對塑膠光纖的耦光效果的模擬

此部分以光線追跡法 (Ray tracing) 進行模擬，設計出最佳的耦光架構。塑膠光纖材質為 PMMA，直徑 1.5 mm，光源為紅光 LED 其發光波長為 630nm，發光區面積為 $500\mu\text{m}\times 500\mu\text{m}$ ，光發散角為 110 度，根據光學原理計算，在 LED 前 0.4mm 處擺設一直徑為 2mm 之球狀玻璃透鏡，可有效將大部分的光耦合入光纖中。圖 6 顯示利用幾何光學追跡法所模擬出的 LED 光經過球狀透鏡耦合至塑膠光纖的結果，其耦光效率 >85%。

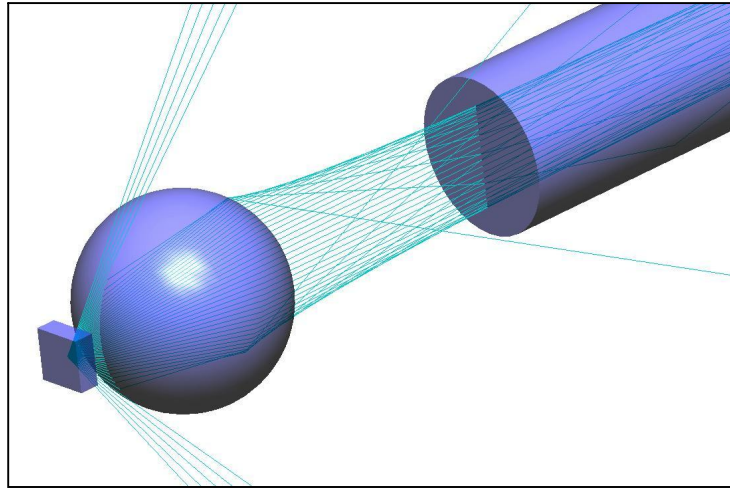


圖 6 利用幾何光學追跡法所模擬出的 LED 光經過球狀透鏡耦合至塑膠光纖的結果

(4) LED 光源搭配塑膠光纖的術野發光照明裝置的製作

實作上，我們搭配機構設計，以鋁合金車削出所需的 LED、透鏡與光纖的夾制具將三者固定，因機械加工與封裝的精度限制，會產生 0.05mm 的人為誤差，因此其效率未達到理論值，但仍可達到 74% 的效率，亦即 37 lm 的光輸出。另外，此架構中也包含光纖連接器的設計與製作，以利末端光纖進行消毒與拋棄式使用。另外在 LED 光源的驅動上也搭配手術環境，設計製作出簡易的電子電路，可產生穩定的連續光輸出與間歇性明暗的光輸出以利臨床上的應用。未來可考慮將之與手術吸除管(suction tube)結合，將光纖藏入手術吸除管中，除了可以減少體積之外，也可考慮搭配例如文獻[4]適當的整合設計，可減少對手術傷口的影響。

(5) 將所開發之術野發光之照明裝置，在心臟手術過程中，進行臨床實驗

此部分目前正交由合作醫師進行測試中。

三、計畫成果自評

本計畫的成果可以幫助了解在實施外科手術時，照明光源對於人體組織的穿透與吸收特性，以利定出較佳的照明波長與功率，來針對整體或局部照明裝置進行最佳化的設計，在手術過程中，讓醫師得到最佳視覺判斷效果，協助醫師快速確認病灶，同時讓醫師在較短的時間完成手術，並藉以確認手術的完成度，而減低病患在手術過程中之風險，對於醫療品質的改善有所貢獻。另外，參與之工作人員所獲得下列訓練：

- (1) 光線追跡法模擬的訓練：對於 LED 光源耦合至塑膠光纖，需針對所需之標的規格，進行光線追跡法的模擬的訓練。有這樣的模擬技術未來可以廣泛應用於各種不同的光學機構設計。
- (2) 生物組織對光波的反射、穿透與吸收光譜的量測技術的訓練：培養參與人員對生物組織樣品光學特性的量測技術。
- (3) 醫療用照明裝置的製作訓練：培養參與人員開發醫療用照明裝置整體系統的

設計與製作能力，包含電子電路、光學設計、耦光機構設計等技術。

參考文獻

- [1] CY, Chiu IS, Wu SJ, Hung CR, “A minimal transverse incision with low median sternotomy for pediatric congenital heart surgery(在小兒先天性心臟手術使用橫向微窗切開及胸骨下半切開術),” *Eur J Cardio-thorac Surg*, **19**, pp. 290-293, 2001
- [2] Madsen, S.J.; Chu, E.A.; Wong, B.J.F., “The optical properties of porcine nasal cartilage,” *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, Volume 5, Issue 4, pp. 1127-1133, 1999.
- [3] Chan, E.K.; Sorg, B.; Protsenko, D.; O'Neil, M.; Motamedi, M.; Welch, A.J., “Effects of compression on soft tissue optical properties,” *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, Volume 2, Issue 4, pp. 943-950, 1996.
- [4] Wright, G.; Sifu Zhang, “A low trauma cardiectomy suction system for use in open-heart surgery,” *Engineering in Medicine and Biology Society, Proceedings of the 20th Annual International Conference of the IEEE*, vol.1, pp. 452-453, 1998