

自動化指節式淋巴引流裝置設計與開發

林育昇

南臺科技大學機械工程系

yushenglin@stust.edu.tw

摘要

乳癌康復階段常伴隨淋巴水腫問題，給患者帶來諸多不便，且需長期進行引流護理。目前，淋巴水腫的主要治療方法為徒手引流，此法雖有效，但治療過程既耗時又費力，加之症狀持續累積速度快，患者回家後還需持續復健。現有的輔助產品多採用間歇性加壓方式，但存在諸多局限，特別是在上肢末端，加壓往往作用於手指骨骼而非淋巴管，導致力量分散，難以有效減輕水腫。因此，本研究目的在於開發一套自動化淋巴引流裝置，專為手指提供漸進式按摩，旨在促進手部水腫減少。該按摩氣囊使用軟質矽膠材料，並採用矽膠 3D 列印技術製造特製氣囊。研究中，透過氣囊張力量測驗觀察進氣壓力對按摩效果的影響，結合嵌入式系統與人機介面，利用 APP 控制進氣壓力。實驗結果表明，進氣壓力與張力成正比，且矽膠氣囊膨脹時能有效對手指側邊施壓，產生顯著推擠感，與市場上現有治療裝置相比有顯著差異。本研究的裝置有望幫助患者在家中自行進行遠程復健，提升治療便利性與效率。

關鍵詞：水腫、淋巴引流、矽膠 3D 列印、遠距復健

Innovative Automated Lymphatic Drainage: Evaluating the Efficacy of Progressive Silicone Airbag Massage

Yu-Sheng Lin

Department of Mechanical Engineering, Southern Taiwan University of Science and Technology

Abstract

Lymphedema, a common complication during breast cancer recovery, requires consistent drainage care and poses significant challenges for long-term rehabilitation. While manual lymphatic drainage is effective, its labor-intensive nature limits its practicality for ongoing home management. Existing intermittent pneumatic compression devices also have limited success, particularly in treating upper limb lymphedema. This study presents a novel automated lymphatic drainage device featuring progressive finger massage enabled by soft silicone airbags fabricated via 3D printing. The device's efficacy was evaluated through measurement of hand edema reduction and analysis of the relationship between inflation pressure and massage effectiveness. An embedded, app-controlled system allows for precise, individualized pressure adjustment. Results show that the device provides significant improvement in edema reduction over conventional methods, attributing benefits to optimally targeted pressure and continuous tension. This innovation represents a substantial advance in home-based rehabilitation, enhancing both patient outcomes and convenience.

Keywords: Lymphedema, Lymphatic Drainage, 3D-printed Silicone, Tele- Rehabilitation

Received: Feb. 29, 2024; first revised: Mar. 31, 2025; accepted: Apr. 2025.

Corresponding author: Y.-S. Lin, Department of Mechanical Engineering, Southern Taiwan University of Science and Technology, Tainan 710301, Taiwan.

壹、前言

在乳癌患者中，估計有 6-30% 的個案會經歷患側手臂的淋巴水腫，此症狀是一項頻繁出現的後遺症。除乳癌外，淋巴水腫亦常見於子宮癌、泌尿系統癌以及結腸癌等病患中。統計顯示，每五名接受乳癌治療的患者中，至少有一人會發展成乳癌相關的淋巴水腫（breast cancer-related lymphedema, BCRL），導致患肢腫脹，進而影響患者的身心舒適度、功能表現及生活品質（quality of life, QoL）[1]。國際間已廣泛認可的安全且有效的淋巴水腫緩解治療方法包括四種非侵入性的物理治療方式：徒手淋巴引流（manual lymph drainage, MLD）、壓力療法（compression therapy）、運動（exercise）及皮膚護理（skin care），這些綜合治療手段能夠減少 18.7-66% 的水腫現象。其中，徒手淋巴引流需由專業治療師執行，適用於各階段的淋巴水腫，並能有效促進組織軟化及預防纖維化 [2]。

徒手淋巴引流主要運用特殊按摩皮膚的手法產生牽引作用，增加組織間隙的壓力，再透過輕微的橫向壓力刺激淋巴導管的收縮，促進淋巴液回流，得到暫時的舒緩；水腫越早干預、及早治療不僅可以減輕症狀、提高生活品質還可以防止疾病進一步惡化，根據文獻中顯示，徒手淋巴引流結合運動、壓力性治療與衛教相比，減少淋巴水腫比率相對較多，故治療過程會藉由治療師協助並且指導個案及照護人員如何徒手淋巴引流，並且建議返家後持續對於慢性淋巴水腫進行復健。儘管如此，Thompson 等人回顧徒手淋巴引流的臨床實證，儘管在減少水腫、改善生活質量及淋巴水腫的康復有幫助，但對於複雜性消腫治療（combined decongestive therapy, CDT）則並不適用，因此較適合乳癌術後水腫管理 [3]。

然而，徒手淋巴引流的缺點為每次療程時間長、重複的動作指令疲乏、並且需要人力協助，如果沒有妥善的安排，可能造成家庭嚴重負擔而衍生生計問題，也可能延誤患者寶貴的恢復期；面對現今高齡化社會、勞力人口下降、醫護人員短缺，甚至於多薪家庭結構等社會問題來說，遠距復健需要仰賴更多科技工具的協助來解決人力吃緊的問題，現今市面上提供消水腫淋巴引流的產品大致上可分為三種：壓力衣、間歇充氣加壓循環機以及改良式多層次淋巴水腫繃繫，依據不同的水腫嚴重程度，視其狀況挑選。

現行市面上用於淋巴水腫常見的醫療器材，根據中華民國衛生福利部食品藥物管理署的醫療器材分類分級查詢資料庫內的指引說明 [4]，包含 J.0003 的醫療壓力衣（medical pressure garment），藉由布料彈性纖維拉伸力，服貼於皮膚表面並施加適度、均勻的壓力，達到壓力治療的效果，患者應全日穿戴，若有淋巴滲漏或嚴重周邊動脈阻塞，則不建議使用。E.5800 的四肢用壓縮套（compressible limb sleeve），又稱為間歇充氣加壓循環機（intermittent pneumatic compression system），是市面上最常販售的機器且廣泛應用於醫院及復健場所，操作原理透過空氣幫浦使塑膠套筒充氣，壓迫中間的肢體以降低微血管血量來減少淋巴的產生 [5-6]；另外透過多腔室由遠至近的充氣可產生蠕動按摩的效果，或是利用繃帶將壓力平均的散佈在患肢周圍，並以末梢較窄而近端較寬的方式包紮，增加肢體末梢壓力，促進淋巴液回流；其餘常用於治療返家後使用的 J.5075 彈性繃帶（elastic bandage）及 J.5780 醫用輔助襪（medical support stocking）。

除了現行市面上的產品，Pawar 等人設計出一種可攜式的淋巴引流機器人（lymphatic drainage robot, LDR），藉由攀爬在上肢的軟性機器，展示從手腕往上臂方向進行連續按摩，此構想可做為徒手淋巴引流的替代方案，針對肢段展示自動化控制對淋巴引流的潛力 [7]。Godoy & Godoy 很早就提出機械淋巴引流的概念，並且設計 RAGodoy® 裝置，此裝置主要以壓縮機制結合運動使用，適合下肢使用 [8]。除了機械應力的治療，Wei 等人提出一種類似布料的穿戴式電刺激裝置，用於淋巴水腫的刺激和管理 [9]；除此之外，Triacca 等人則提出植入式的皮下排水裝置，目的是疏通淋巴結來排除多餘液體，該研究的大鼠動物實驗結果呈現淋巴水腫體積有減少，未來可作為人工淋巴管的手術開發 [10]。

然而，目前市面上的消水腫機具大多以治療手臂水腫為主，並沒有能夠實際解決上肢末梢水腫問題的復健機具，透過專利檢索，可見有可調節氣壓式腕手關節按摩矯形設備 [11]，包括帶有若干魔術貼指板，在指板上設有多層可充氣結構的按摩手套，訴求緩解痙攣與疼痛，改善腕手部血液循環，防治腕手部腫脹、水腫，矯正腕指關節畸形，糾正屈腕與屈指痙攣偏癱姿勢，預防腕手肌肉萎縮，促進腕手功能恢復 [12]；另外也有相關的美國專利是將末梢包覆 [13]、或是將肢段覆蓋而加入控制模組來監測的設計

[14]，儘管如此，目前市面上仍然缺乏有效的末梢消水腫裝置。

貳、研究方法

一、自動化指節式淋巴引流裝置設計

本研究旨在開發一套自動化的淋巴引流裝置，專為乳癌康復期患者設計，以協助治療師和患者在家中自主進行復健，旨在解決照護人力資源短缺的問題。該裝置的目標是模仿治療師進行徒手淋巴引流的效果，同時允許患者根據個人的不適感調整使用，從而達到緩解水腫不適和提高患者舒適度的目的。

在分析治療師執行徒手淋巴引流的過程中，我們注意到治療的核心原則是從手指末梢開始，沿著手指側面向手掌推進，進而從手背、手心、虎口等部位推向橈側和尺側淋巴管區（如圖 1）。相較於市場上現有的治療產品，這些產品多數僅對手指施壓，而且壓力往往集中在骨骼上，分散應有的按摩效果，難以有效消除水腫。因此，提出一種指節式的設計方案，通過漸進式按摩來模擬治療師的手法。

為了更貼近治療師的手法並提升裝置的效能，採用電腦輔助設計（computer aided draw, CAD）和矽膠 3D 列印技術，精心設計一套漸進式氣壓機構。這一機構能夠模擬淋巴引流時的動作，通過類比信號控制，患者可以在自行開發的應用程序上調整氣壓大小，以此來控制按摩氣囊的膨脹張力。這樣的設計不僅讓患者能夠根據自身的感受調整治療強度，還能夠在家中自助完成淋巴引流，有效提升治療的便捷性和患者的生活質量。



圖 1 本研究拍攝自臺灣南部某醫學中心復健部協助治療水腫患者的手法

（一）按摩輔助氣囊設計

本研究內開發一種軟性的按摩輔助氣囊，專門設計用於對手指進行漸進式的按摩，以促進手部水腫的減少。這種按摩氣囊採用軟性矽膠材料製成，並透過矽膠 3D 列印製作。藉由在矽膠上精細的結構設計，這些彈性氣囊在膨脹時能夠自動對手部的水腫區域施加壓力，同時透過電腦控制來優化施力分布，解決傳統按摩方法中力量分散的問題。

在設計過程中，利用電腦輔助繪圖軟件 SolidEdge 繪製精確的設計圖，以圖 2 為例，展示氣囊的具體尺寸和結構。氣囊的設計尺寸為長 70mm、寬 25mm，並根據患者的手部大小進行個性化調整。為了適應

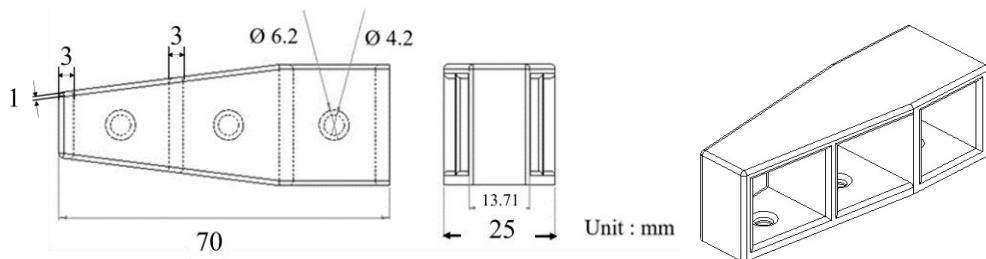


圖 2 輔助氣囊的電腦輔助繪圖

不同手指的結構，氣囊分為三個指節和兩個指節的設計，每個指節設計均配有一個專門的進氣孔。此外，為了實現單側膨脹而避免對稱膨脹的效果，對氣囊的壁厚進行設計：按壓側的壁厚為 1mm，而阻止側的壁厚設為 3mm。這種幾何設計使得材料在受壓時能夠有效地產生單邊變形，實驗證明這一設計能夠有效地對手部水腫進行定向按壓，從而達到更佳的治療效果。

（二）矽膠列印與離型品製作

本研究中氣囊的製作利用矽膠 3D 列印機，其型號為 Sandraw S052，如圖 3 所示，透過兩管矽膠的混合，由噴頭透過 XYZ 移動平台擠出且繪製成截平面圖形，堆疊而成，本研究所使用的列印參數參考過去研究 [15]，列印速度為 60mm/s，填充密度為 15%，流速 100%，並且採用線性的填充圖形。矽膠 3D 列印的技術目前尚未普及，主要原因在於列印過程中材質仍然保持凝膠態，如果設計上過於單薄，仍有倒塌的不確定性，但矽膠列印有著可以簡化幾何、減少模具開發的時間、大量客製化流道設計時的測試成本和時間等，並且矽膠具備有良好的生物相容性、軟性特質等，透過結構上的設計可使彈性氣囊往特定方向膨脹，主動去擠壓手部水腫位置。

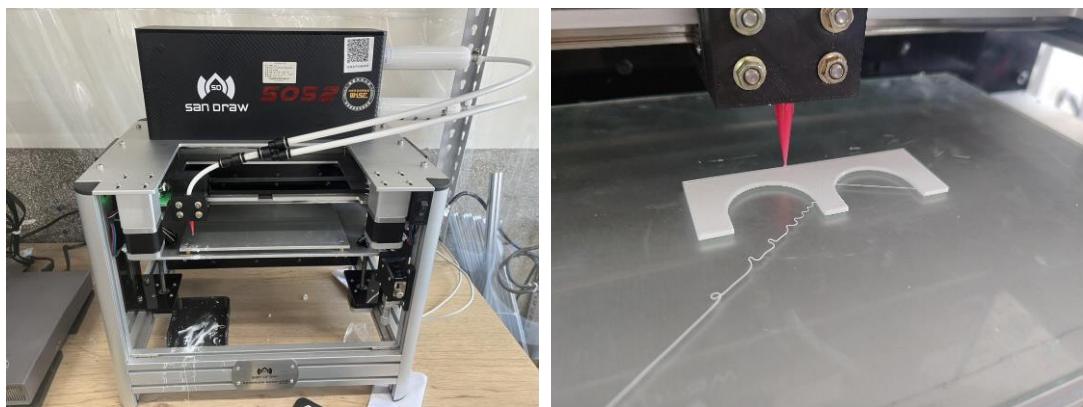


圖 3 矽膠 3D 列印機及噴頭擠出時會依照案例的剖截面圖形進行堆疊

（三）機電氣壓配置

按摩輔助氣囊的設計透過一台 1.5 馬力的氣壓幫浦來進氣，幫浦的氣源出口設有一個壓力閥，而靠近裝置處設有一個一分多的電磁閥，本系統的控制點藉由 Arduino Uno 嵌入式控制板，來控制不同的氣囊，實驗中進氣的壓力共分為 1.5、2、2.5、3、3.5kg/cm² 五種不同級距，連接快速接頭固定至氣囊。

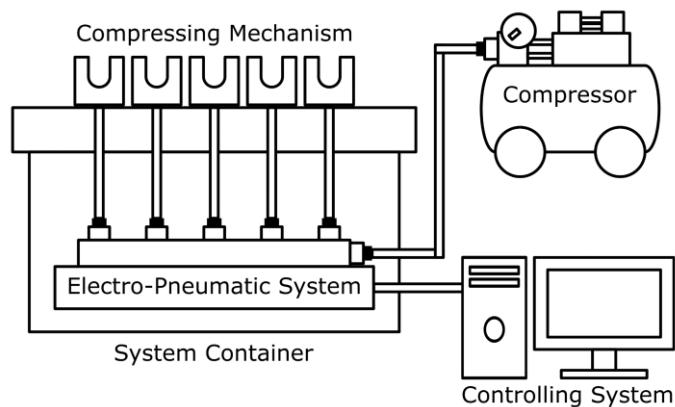


圖 4 系統示意圖，包含氣壓源、按摩氣囊裝置及控制電腦

二、人機介面設計

本系統的人機介面設計基於 Android，如圖 5 所示，使用者可透過平板操作按壓的手指，並且調整氣壓強度，再通過後台與 Arduino 模組進行遠距溝通，從 Arduino 對電磁閥發出指令，由電磁閥控制調節壓縮空氣的輸入與輸出，供給矽膠氣囊機構，控制其膨脹及收縮的頻率；整體提供漸進式 1-2-3 的訊號，中間暫停 2 秒後，持續發出訊號，從外側往內側進行擠壓，避免組織液逆向回流的問題，優化現行整個組織面直接擠壓，造成組織液會朝向手部末梢去流動問題。



圖 5 人機介面示意圖

三、氣囊張力量測驗

本研究中探討氣囊張力量測的實驗，藉由在矽膠表面用簽字筆畫上每格間距為 5mm 的網格，並利用虎鉗夾持固定後，進氣過程中利用手機 iPhone 14，正對著膨脹面拍攝，利用網路軟體 Online pixel ruler，將數位圖片匯入即可將畫素進行尺寸校正，並且分析應變與氣壓參數變化的關係。

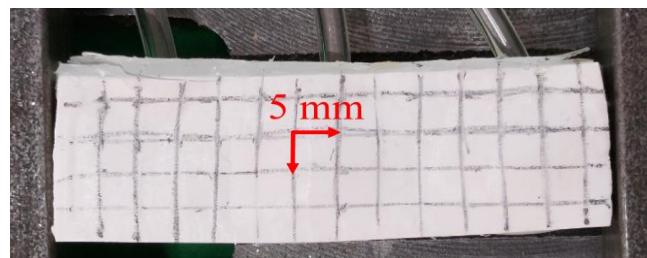


圖 6 應變量測驗設計

參、研究結果與討論

一、指節式淋巴引流裝置實際操作

本研究中設計一套自動化指節式淋巴引流裝置，裝置中包含一款新型的矽膠氣囊，利用矽膠 3D 列印製作而成的雛型品，透過嵌入式系統及氣壓控制，來驗證其按摩的效果；圖 7 呈現的是此套裝置，含

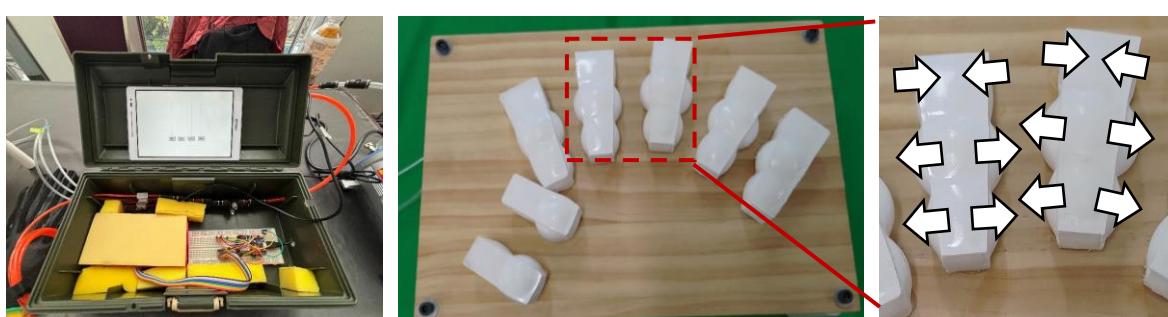


圖 7 自動化指節式淋巴引流裝置照片，包含控制箱及氣囊平台

有一個控制箱及外接氣源幫浦，在一個平面上固定數個矽膠氣囊，藉由排列讓使用者可以將手指放入到氣囊之間，並且保持放置後從介面上選擇按壓的手指、位置，控制的特點在於能夠達成漸進式的按壓，從指尖最後一節往手掌方向推擠過來，接觸面為較多淋巴的手指側。

當實驗開始時，全部的氣囊都保持未充填的一大氣壓，使用者可透過調整進氣壓力來控制膨脹的幅度，並且透過選擇不同的手指來按摩；當按摩開始後，立即會進行漸進式的填充，從圖 7 內可以看見第二及第三指節正在膨脹，而靠近指尖的第一指節已經開始放氣，透過數次來回的按摩，可以模擬治療師針對手指末梢向手腕的淋巴結進行引流的措施。

二、氣囊張力量測驗結果

圖 8 為氣囊隨壓力變化後的表面變形狀況，圖片為俯視圖，可以明顯地看到圖片中用來觀察的方格直線會隨氣囊膨脹則扭曲擴張，以其中一組進氣壓力的變化為例，隨著氣壓變大，氣壓使得圖片中間原始 5mm 的格線長度變長，另外也往周遭去擠壓。

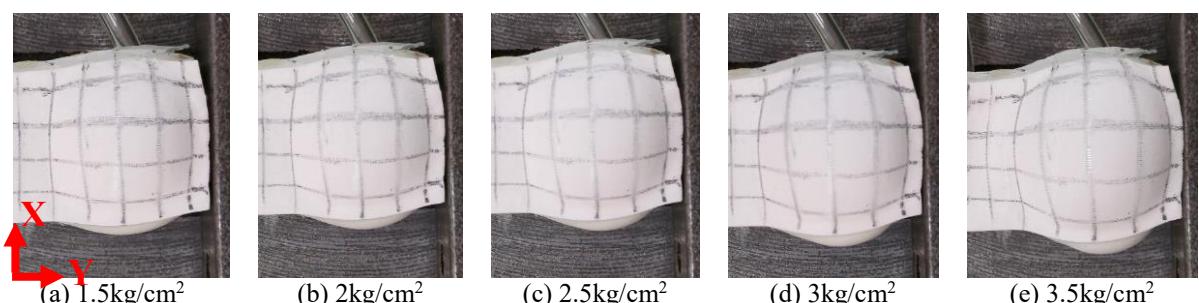


圖 8 氣囊變形觀察實驗設計，以一組實驗為例

表 1 三次氣囊變形觀察實驗的統計表

進氣壓力 (kg/cm ²)	X 方向格線長度 (pixel)					Y 方向格線長度 (pixel)				
	I	II	III	平均	標準差	I	II	III	平均	標準差
0.00	68.01	68.01	68.01	68.01	0.00	68.01	68.01	68.01	68.01	0.00
1.50	90.09	89.01	90.02	89.71	0.49	78.03	79.03	78.03	78.36	0.47
2.00	100.08	100.00	98.01	99.36	0.95	86.02	86.02	85.02	85.69	0.47
2.50	109.04	109.00	107.00	108.35	0.95	91.02	91.01	93.01	91.68	0.94
3.00	119.00	113.00	126.00	119.33	5.31	101.00	95.01	108.00	101.34	5.31
3.50	121.02	135.00	129.00	128.34	5.73	102.02	109.07	108.02	106.37	3.11

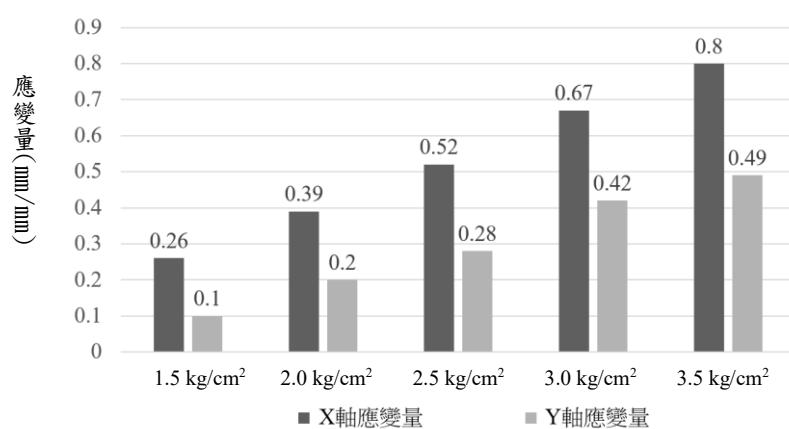


圖 9 應變量測驗設計

透過網路開源軟體 Online pixel ruler 的量測，原始格線的像素寬度為 68.01，簡易的校正可以推估 1 個像素約為 0.07mm，將圖形中央的方格長度透過軟體量測後統計在表 1 中，從三次的實驗結果得出結論，隨著進氣壓力增加，格線長度也明顯地被拉長，在兩個軸向都有相同的趨勢，而標準差則可以看出實驗結果的重複性佳；利用網格長度與像素的校正後，將伸長後的長度減掉原始長度而得到的變形量，除以原始長度，計算出應變，如圖 9 表示，X 方向比 Y 方向的應變較為顯著，藉由應變去推測其所受之張力，利用過去的研究 [15]，可知該款矽膠的列印後機械性質約為 1.23MPa，當施加壓力最大達到 3.5 kg/cm² 時，其氣囊的 Y 方向應變量為 0.49mm/mm，推估其受到的最大張力約為 0.6MPa，而兩側受力的 X 方向應變轉為 0.8 mm/mm，推估其受到的最大張力約為 0.98MPa。

三、討論與建議

在本次研究中，測試結果顯示當矽膠氣囊膨脹時，其能夠有效地對手指側邊進行擠壓，通過漸進式的控制產生顯著的推擠感，這一點與市面上現有的治療裝置有明顯的區別。然而，我們也確認到設計中存在幾項問題。首先是氣囊膨脹時，指節之間會因分隔導致指節處形成類似半球形的結構，不能沿著肌膚表面進行滑動推擠，可能導致組織液在該區域滯留，形成引流不暢的死角；設計能夠使推擠動作更加連續且實現漸進效果的氣囊內部流道，是未來研究需要解決的問題。

其次，本研究固定氣囊的位置，未引入個性化設計，考量到不同使用者手掌的尺寸差異，在特定位置則無法達到預期按摩效果和有效施力的問題；此外，亦需考慮到使用者對治療強度的不同需求，例如，某些情況下使用者可能在按壓數分鐘後便能感受到組織液消退的效果。因此，即便不調整氣囊的具體位置，也需設計一種機制讓使用者能夠自行調整氣囊的膨脹程度，從而改變施加的壓力。我們建議未來的研究工作應該探討治療壓力與水腫腫脹程度之間的相關性，以優化治療方案。

第三，在本研究中，透過觀察矽膠表面的應變變化來估計應力的變化，這一方法借鏡於類似的製程技術量測，如熱塑性吹塑成型 (blow molding)。在高分子材料的彈性範圍內，內部壓力與薄膜的張力之間存在正相關關係，張力與應變亦呈現正相關。因此推斷，利用氣囊的應變變化可以作為推測應力變化的一種方法 [16]。然而，當前的研究方法由於氣囊內部為空腔及表面僅 1mm 厚，實驗繪製時雖然沿著尺規，但仍會有可能產生歪斜，不過，同一批實驗在同一個氣囊上量測，觀察點固定在正中央的 5mm x 5mm 的觀測點，人為誤差對於應變假設為固定，除此之外，表 1 可看得出進氣壓力對於應變產生正向的變化，但對於較高的進氣壓力，其標準差則較明顯，其產生的原因可能因此方法的繪製問題而造成偏差，本研究欲嘗試使用簡易圖像分析法來估算其張力，未來如需要精密量測，則可再採取其他感測元件，為了克服在實時測量膨脹高度和受力後阻抗的表現方面存在限制，未來的研究階段將需要融合感測技術以量化這些性能指標。

目前本研究在實驗設計上仍遭遇到一些困難，包含裝置的微型化及配件過於複雜等問題，對於氣囊的充氣需求，在本次的研究中展示其變形及張力的成果，考量在醫院會有空壓管線可使其快速充氣，因此採用一台空壓設備，但對於居家裝置就顯得體積太大過度設計，未來將會持續進行氣囊微型化的改良，選擇類似血壓機或脈壓帶使用的微型幫浦，足以提供穩定氣源和快速充放氣。除此之外，由於機器自動化引流應用在手部的相關研究仍待持續研究，能進行比較的數據也較少，儘管如此，未來工作也須納入成效量化的方針，將參考量測記錄手指可彎曲角度及日常生活功能品質量表等方式來進行質性和量化的探討。此外，現有的人機介面設計主要限於允許使用者調整進氣壓力和選擇目標手指，缺乏更深層次的交互功能，如治療歷程記錄、水腫改善進度追蹤、以及加強患者與治療師之間的線上溝通等。

在現代醫療照護中，手術後的康復階段對於患者的恢復至關重要。透過與醫院治療師的深入對話，我們了解到治療師渴能夠實時了解患者的復健進展以便進行更精確的評估，但面對不同患者時，治療師需採取個性化的康復措施，而這一過程常常受限於人力資源不足或患者在家中自行操作的困難。智慧化設備和物聯網技術的應用，為解決這些挑戰提供新的方向，後續本團隊延伸開發一套居家復健系統，患者在使用本套自動化裝置的同時，配套的資訊系統將能夠將患者的動作數據上傳至雲端，也透過人工智慧技術將姿態辨識後，藉此量化水腫程度，供醫生或治療師評估，這種即時的互動不僅能提高患者

的復健意願和遵循度，還能更便捷地完成康復療程 [17]。

物聯網技術與輔助性設備的結合，對於需要復健的患者來說，帶來巨大的益處。例如，為中風後手部功能受限的患者提供一套上肢功能康復機器人手套，使他們能夠在家中自主進行復健訓練，對社會有著重要的意義。本研究的設計展示遠程居家復健和自動化的潛力，未來的研究可朝向整合雲端平台的方向發展，以縮短治療師與患者間的距離，優化康復過程。

肆、結論

本研究針對乳癌好發之水腫問題，目前尚未有滿足上肢末梢消水腫裝置的需求，提出一套自動化指節式淋巴引流裝置，藉由設計來改善從手指側邊進行引流的問題，通過矽膠3D列印技術製作的氣囊，結合漸進式氣壓機構和自開發APP介面調整，模擬治療師手法，提升患者自我治療的便利性和效率。研究透過氣囊張力量測試，確認裝置的按摩效果，並針對設計中存在的問題提出改進建議，如氣囊間隔設計和個人化調整需求，展望未來工作將探討壓力與水腫腫脹程度的關聯性，並優化人機互動介面。儘管如此，透過設計準則得到的構想還需要再進一步地去實驗及驗證，但是從問題需求做為出發點，與生醫創新思考的邏輯不謀而合，相信本研究可做為未來醫療器材創新設計時技術開發思考的啟發。

參考文獻

- [1] Board, J., & Harlow, W. (2002). Lymphoedema 1: components and function of the lymphatic system. *Br J Nurs*, 11(5), 304–309. <https://doi.org/10.12968/bjon.2002.11.5.10113>
- [2] Ezzo, J., Manheimer, E., McNeely, M.L., Howell, D.M., Weiss, R., Johansson, K.I., Karadibak, D. (2015). Manual lymphatic drainage for lymphedema following breast cancer treatment. *Cochrane Database Syst Rev*, 2015(5), Cd003475. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD003475.pub2>
- [3] Thompson, B., Gaitatzis, K., Janse de Jonge, X., Blackwell, R., & Koelmeyer, L.A. (2021). Manual lymphatic drainage treatment for lymphedema: A systematic review of the literature. *J Cancer Surviv*, 15(2), 244–258. <https://doi.org/10.1007/s11764-020-00928-1>
- [4] 中華民國衛生福利部食品藥物署醫療器材分類分級資料庫 (Access on March 2, 2025). [https://mdlicense.itali.org.tw/MDDB/\(S\(pnhxkr55zulrjqu2ptd1jm\)\)/Classification/ClassDB.aspx](https://mdlicense.itali.org.tw/MDDB/(S(pnhxkr55zulrjqu2ptd1jm))/Classification/ClassDB.aspx)
- [5] Nelson, E., Hillman, A., & Thomas, K. (2014). Intermittent pneumatic compression for treating venous leg ulcers. *Cochrane Database Syst Rev*, 2014(5), CD001899.
- [6] Zaleska, M.T., & Krzesniak, N.E. (2025) The intermittent pneumatic compression influences edema fluid movement and promotes the compensatory drainage pathways in patients with breast cancer related lymphedema. *Lymphat. Res. Biol.*, 23(3), 160–168. <https://doi.org/10.1089/lrb.2024.0061>
- [7] Pawar, M., Wazir, H.K., & Kapila, V. (2022). A lymphatic drainage robot for lymphedema rehabilitation. 2022 44th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC) (pp. 2598–2601), Glasgow, Scotland, UK. <https://doi.org/10.1109/EMBC48229.2022.9871226>
- [8] Pereira de Godoy, J.M., Guerreiro Godoy, M.F., & Pereira de Godoy, H.J. (2022). Mechanical lymphatic drainage (RAGodoy®): Literature review. *Cureus*, 14(1), e21263. <https://doi.org/10.7759/cureus.21263>
- [9] Wei, Y., Yang, K., Browne, M., Bostan, L., & Worsley, P. (2019). Wearable electrical stimulation to improve lymphatic function. *IEEE Sensors Letters*, 3(2), 1–4. <https://doi.org/10.1109/LSENS.2019.2893478>

- [10] Triacca, V., Pisano, M., Lessert, C., Petit, B., Bouzourene, K., Nahimana, A., Mazzolai, L. (2019). Experimental drainage device to reduce lymphoedema in a rat model. *Eur J Vasc Endovasc Surg*, 57(6), 859–867. <https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2018.04.014>
- [11] 詹傑、詹樂昌、朱樂英、李梅、潘銳煥、許欽玲、陳紅霞 (2020). *Adjustable air pressure type wrist and hand joint massage orthopedic equipment* (China Patent No. CN213311512U). China Patent and Trademark Office.
- [12] Tony Reid (1996). *Method and apparatus for treating edema and other swelling disorders* (U.S. Patent No. US5916183A). U.S. Patent and Trademark Office.
- [13] Chen, S.-C., Huang, S.-T., Lin, M.-C., & Chien, R.-D. (2008). Study on the thermoforming of PC films used for in-mold decoration. *Int. Commun. Heat Mass Transf.*, 35(8), 967–973. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2008.04.008>
- [14] 薛豔敏、張旭陽、李四楠、余隋懷 (2020). *Upper limbs lymphedema monitors and treats oversleeve device* (China Patent No. CN112057311A). China Patent and Trademark Office.
- [15] Clet J.A.G., Lio, N-S., Weng, C-H., Lin, Y-S. (2022). A parametric study for tensile properties of silicone rubber specimen using the bowden-type silicone printer. *Materials*, 15(5), 1729. <https://doi.org/10.3390/ma15051729>
- [16] Luo, Y.-M., Chevalier, L., Monteiro, E., Yan, S., & Menary, G. (2020). Simulation of the injection stretch blow molding process: An anisotropic visco-hyperelastic model for polyethylene terephthalate behavior. *Polym Eng Sci*, 60, 823–831. <https://doi.org/10.1002/pen.25341>
- [17] See, A.R., Beronque, A.M.A., Tenerife, J.J.L., Enrique, C.P., Clet, J.A.G., Cuizon, J.C., & Lin, Y.S. (2024, 9 June 26-29). HandyCare: A digital approach for home-based hand edema treatment. 2024 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC). <https://doi.org/10.1109/ISCC61673.2024.10733643>