

萬能雙手的奧祕

您可曾想過我們的雙手一天幫我們做多少事情？

雖然說雙手萬能，但由於手部關節構造複雜，
我們對於手部功能的了解並不多。

就讓我們以生物力學的觀點，

揭開萬能雙手的奧祕。

董玟伶

蘇芳慶

人們靠著雙手能拓荒開路、
建立家園；靠著雙手能建高樓、
駕飛機至高空、航船至大海。人
無法升空，但用手做梯子，就能
爬高；人無法入地，但用手鑽

洞，就能深入地底。隨著現代科
技的進步，電腦、手機、PDA、
iPod 等幾乎已變成生活的必需
品，而操作這些高科技產品便是
靠靈巧的雙手。或許操作手部太

過於便利，讓我們覺得理所當然，以至於從未仔細思考過手部功能是如何運作的。

人類藉由雙手與世界互動。手就像是神奇的工具，手部豐富的感知功能可以辨認物體，了解物體的表面質料、重量、形狀、大小、方向及溫度，再配合移動與操作功能，可以伸手及物、抓握，接著操作物體。手也可以當作探索環境的工具，讓我們在黑暗中行進或提供盲眼人士最佳的環境導航。手也可以當作溝通的工具，藉由手語可以讓聾啞人士適當地與人溝通。手更可以創造藝術，如美術、雕刻、舞蹈、演奏樂曲等。

許多科學領域都需要進行手部研究，包括：

神經科學—例如人體在失去一隻手指的情況下，如何還能使大腦保持準確的知覺。

醫學及復健—手部損傷疾病是如何影響手部功能，應該如何經過復健盡可能恢復原有的手部功能。

人因工程學—可以幫助人體設計和優化與外界環境的互動，例如設計椅子合理的高度，使手部和手指能方便地使用電腦等。

運動—了解手部功能在運動時所扮演的角色，以增進運動表現，減少運動傷害，例如棒球投手投球時手如何控制球、網球運動員如何控制球拍等。

機器人學—例如機器手臂的研究，使機器手臂能擁更多的功能，以提高其在工業及醫學上

的使用價值。

手的結構複雜而精細，一般討論的手的範圍，包括腕部和手部。腕部是前臂與手的聯接結構，包含8塊腕骨以及與其形成關節的橈骨、尺骨下端和5個掌骨的近端。8塊腕骨分成遠近兩列：近端4塊腕骨分別是舟狀骨、月狀骨、三角骨及豆狀骨。遠端四塊腕骨則有大多角骨、小多角骨、頭狀骨和鉤狀骨，其中頭狀骨位於中央。

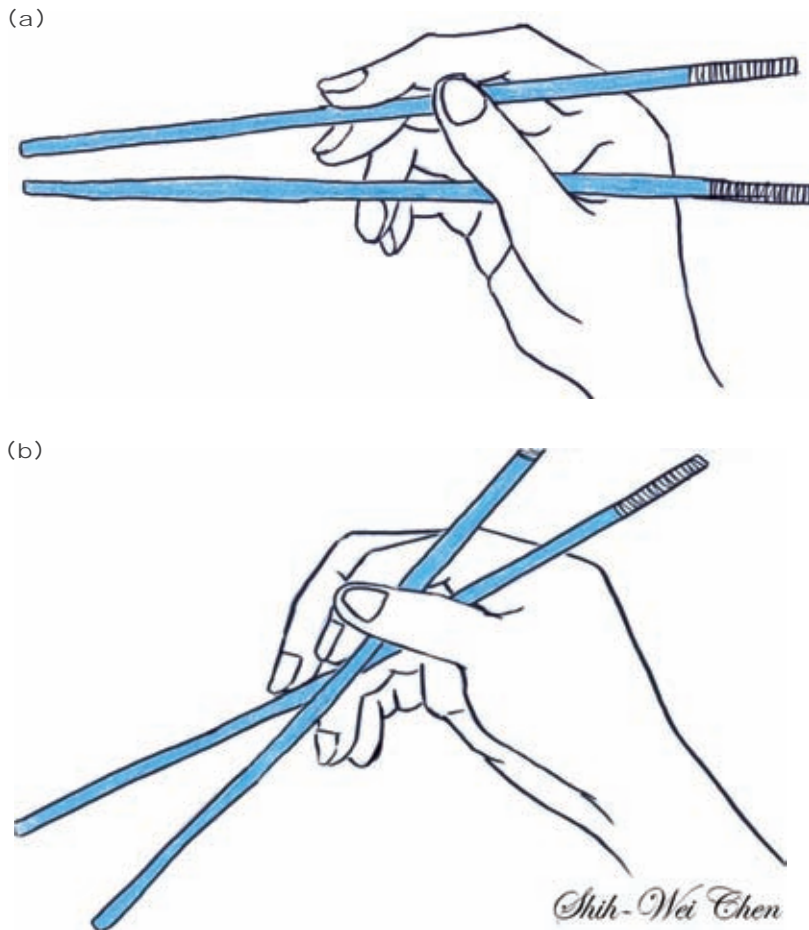
遠端列腕骨的遠側面與掌骨基底構成腕掌關節。其中以拇指

的腕掌關節最為重要，這關節在外展拇長肌的牽引下保持於外展伸直的位置，在內收拇指肌的牽引下，穩定於內收屈曲的位置，二肌相互拮抗能使拇指「虎口」加大。在腕關節穩定的基礎上，屈與伸拇長肌可使拇指關節發揮最有效的功能，是拇指功能的關鍵性關節。

腕關節活動是橈腕關節與腕骨間關節的複合運動。一般腕關節活動約為屈曲80度、伸直70度、橈側偏移20度及尺側偏移30度。



以三度空間動作分析系統可以分析常見的手部日常生活動作：(a) 拿牙籤動作是指尖夾法；(b) 拿吸管動作是指腹夾法；(c) 開鑰匙動作是指側夾法；(d) 拿易開罐動作是柱狀抓握；(e) 拿球動作是球形抓握；(f) 拿鐵鎚動作是強力抓握。



區別類化使用筷子的動作：(a) 平行型；(b) 交叉型。

另外，一般所謂的「腕隧道」，是指一缺乏伸縮性的骨纖維性隧道，由腕骨和腕橫韌帶所構成，這韌帶橫跨於大多角骨和鉤狀骨之間。腕隧道的背側是腕骨，掌側是腕橫韌帶，有屈指深淺肌腱、拇長屈肌腱等9條肌腱和正中神經及其供養動脈經過這隧道。由於其間隙狹窄，若腕隧道內因滑膜水腫、增生等致使壓力增高，正中神經就會受到韌帶壓

迫，產生「腕隧道症候群」。

手部結構則包括掌骨與指骨。掌骨由拇指側依序命名為第一、二、三、四及五掌骨，各掌骨一端和腕骨遠端相接，一端和指骨構成掌指關節。第一掌骨和大多角骨構成拇指腕掌關節，活動度較大，不但可做屈曲、伸直、內收及外展動作，還有對掌動作，可以使手緊握工具。指骨共有14塊，拇指只有兩節指骨，

其餘各指都有3節指骨。指骨與指骨之間構成指關節。此外，手指活動還有很多肌肉參與。

手部除了有從前臂延伸而來的長肌腱外，還有很多短小的手部肌肉，起自腕骨和掌骨處，止於指骨。另有手指韌鞘包裹各指的屈指肌腱，附著於指骨兩側，並且由指纖維鞘所覆蓋。各掌指關節都有關節囊和兩條側副韌帶，當掌指關節伸直時，韌帶鬆弛，手指可做兩側搖擺活動；反之，掌指關節彎曲時則韌帶緊張，手指不能做兩側活動。

指間關節與掌指關節構造近似，也有關節囊和側副韌帶，但指間關節無側向活動。掌指關節活動度由第二指到第五指逐漸增加，第二掌指關節屈曲是90度，第五指可達110度，而過度伸展大約是20至45度。近端指間關節活動範圍也由第二指到第五指逐漸增加，第二指屈曲是105度，第五指是135度。遠端指間關節活動角度，第二指屈曲是80度，第五指是90度。

日常生活中使用雙手的機會很多，無論是運動、操作工具，都要依賴雙手。一旦手部受到外傷或有疾病時，就無法正常地操作，日常生活功能立即受到影響。除了外傷，手部常見的疾病有肌腱炎，例如過度使用雙手，造成手部大拇指靠近腕關節側邊

手部是人類全身肌肉骨骼系統中最精細與複雜的構造，
「雙手萬能」實際上是靠精細與複雜的肌肉骨骼設計才得以達成。

疼痛的「媽媽手」；手指像扣扳機一般，彎曲後無法伸直，需要施力彈開手指的「扳機指」；運動傷害造成的「網球肘」。另外，「腕隧道症候群」也是臨床上常見的，好發於中年婦女或手部工作過多的人。

處理手部外傷或疾病時，由於手部結構複雜，醫療人員必須熟悉手部解剖生理特點，掌握手外傷處理原則和技術，做好手外傷的初期外科處理，再配合手部復健，才能最大限度地保留和恢復手部的功能。因此，以科學化的研究了解手部功能實屬需要。

生物力學的重要性

生物力學是一門應用力學原理來研究人體的科學，結合了工程、解剖學和物理學，包含理論研究到實際應用。自1950年代開始，隨著力學理論及實驗技術的發展，這門科學發展極為迅速，並且廣泛地應用在物理治療、職能治療、物理學、義肢裝具學、運動醫學、骨科及人因工程學上。

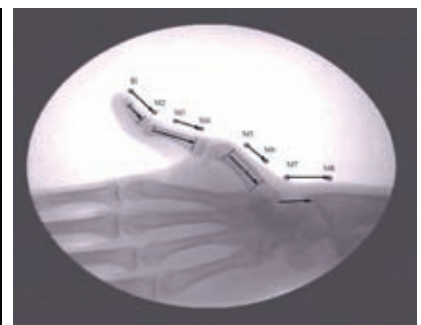
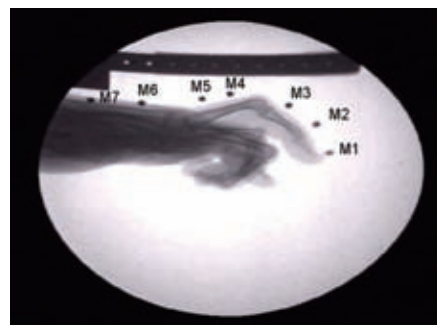
力學的研究可以分為運動學和動力學。運動學可以稱為「運動的科學」，是解決物體在移動或旋轉時，有關位移、速度和加速度的學問，用來描述運動本身。動力學則是說明讓物體產生運動的力，像是重力、摩擦力、水和

空氣的阻力、肌肉收縮力、彈力等。生物力學可以說是日常生活最能被直接觀察到的學問。

手部是人類全身肌肉骨骼系統中最精細與複雜的構造，「雙手萬能」實際上是靠精細與複雜的肌肉骨骼設計才得以達成。生物力學可以提供客觀和標準化的研究方法，探討關於手部的問題，例如運動學可以用來描述手指關節活動角度的大小；動力學則可以探討手部抓握時，肌肉作用力的大小。

量化手部功能

手部功能在日常生活中扮演相當重要的角色，然而一些不幸的事故會導致失去拇指或手指功能，對整個手部功能有很大的影響。運用生物力學，可以用科學化的數據描述手部功能，除了提供對於手部功能的具體了解外，更可以應用於醫學臨床，協助醫師、復健人員及病患了解手部疾病及損傷，或評估骨科手術前後的情況。

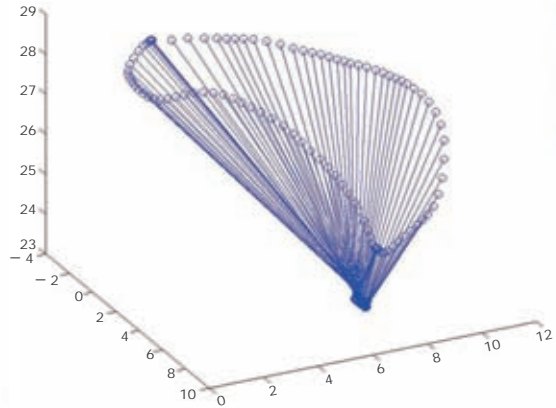


利用動態 X 光透視檢查印證皮膚表面標記可代表拇指各肢段的運動情形

至今已有多數方法應用於評估手部動作，例如使用關節量角器於主動或被動的手部關節角度的量測，或是以線性量測指尖至遠端掌紋的距離，評估手指屈曲的功能。然而，這些方法仍然不足以評估或表現每個手部關節的動作，尤其是在連續動作的情況下。近年來，已被廣泛使用以電腦輔助的動作分析系統，可提供更客觀及標準化的人體動作的運動學量測，尤其步態分析的研究，對於治療神經肌肉和骨科方面的疾病，已有很大的貢獻。這方法也逐漸用於探討上肢及手部運動。

利用動作分析方法分析常見的手部日常生活動作，可以提供量化的資料，讓我們了解平常沒有特別注意的手部動作的特性。例如各手指關節的角度、大拇指的功能、各手指之間的互動、甚至區別類化手部動作的習慣性等，可以提供醫療人員實證性的手部資料，進而應用至病人的治療與復健。

運用生物力學，可以用科學化的數據描述手部功能，除了提供對於手部功能的具體了解外，更可以應用於醫學臨床，協助醫師、復健人員及病患了解手部疾病及損傷，或評估骨科手術前後的情況。



Plot Time Paths
Plot Surface Diagram
Max Surface Area
34.8671
Close

利用動作分析系統及表面標記定義拇指運動的最大工作空間

由於拇指的構造十分複雜，造成臨床上對拇指關節動作量測的困難。加上拇指的動作型態特殊，除了屈曲、伸直，內收、外展，旋轉，還包括對掌動作，使得目前的工具在對拇指及其受傷後的量測有許多困難及不適切性。成功大學醫學工程研究所動作分析實驗室，利用動作分析系統，發展手部運動狀態的量測，特別是大拇指運動的量測，並用於評估拇指在日常生活中的功能。其重要成果如下。

手部表面標記的驗證研究 在運用動作分析方法研究肢體的動作

前，最首要的就是了解使用的表皮感應器（標記），與其皮下骨頭肢段間的關係。因此動作分析實驗室藉由動態 X 光透視檢查及屍體的研究，探討在動態過程中骨頭標記與皮膚標記之間的關係。研究結果顯示，使用動態分析系統及電磁感應儀器記錄拇指動作，可以用表皮感應器或標記取代拇指各肢段的運動情形。

發展拇指動作功能的量測法 基於拇指指尖能在三度空間中動作的概念，發展出量化方法以評估拇指指尖的工作空間，並定義

拇指的動作範圍。研究運用電腦輔助攝影的動態分析系統，量測拇指指尖的工作空間，便可量化表示拇指受損的程度，並計算其與理想平均值之間的關係，進而計算出受損程度的百分比。

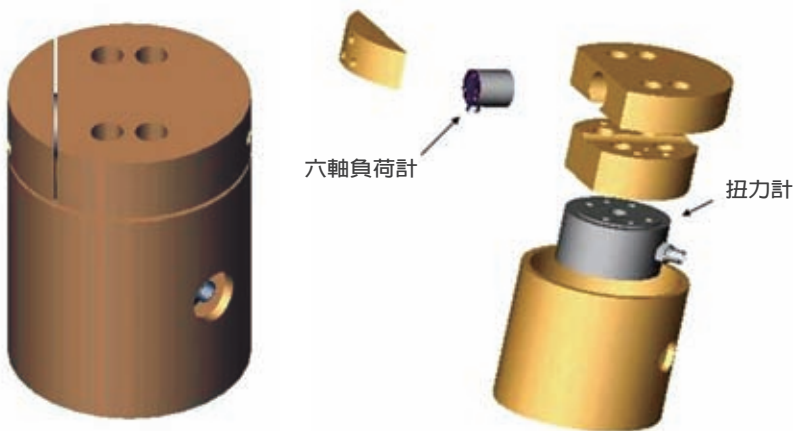
建立拇指基部關節的

運動模型 先前的研究已經展現學者對拇指大菱形掌指關節的動作及生物力學特性研究的努力。然而，目前臨床上仍無一個合適的量測法，可精確評估這個關節活動的功能。雖然先前已發展出量測拇指指尖工作空間的方法，這方法並無法精確地顯示大菱形掌指關節的動作，因此有必要發展出數學模型來量測大菱形掌指關節的最大工作空間。

這一系列研究的貢獻，在於建立量測手指和拇指功能的生物力學模型，涵蓋了手部日常活動的表現，能更有效地評估正常人及手指受傷病人日常活動的功能。這方法克服了傳統臨床上無法精確量化拇指動作的困難，將來可望商品化成為手外科醫療評估器材。

開罐動作大有學問

在日常生活中，開罐動作是很常使用的手部功能性動作。您曾經為了扭轉罐蓋而使出全身力



開罐動作模擬器的示意圖

在日常生活中，開罐動作是很常使用的手部功能性動作。您曾經為了扭轉罐蓋而使出全身力氣嗎？這個動作對正常人或許很輕鬆，但對於手部關節炎及手傷後的病人，卻是一大挑戰。

氣嗎？這個動作對正常人或許很輕鬆，但對於手部關節炎及手傷後的病人，卻是一大挑戰。成功大學醫學工程研究所動作分析實驗室，以生物力學的觀點探討人體手部的開罐動作。

首先設計一個扭轉器模擬扭轉活動，這模擬器包含微小六軸負荷計及扭力計，可以用來量測手部扭轉時，拇指或手指的施力大小和總輸出轉矩。

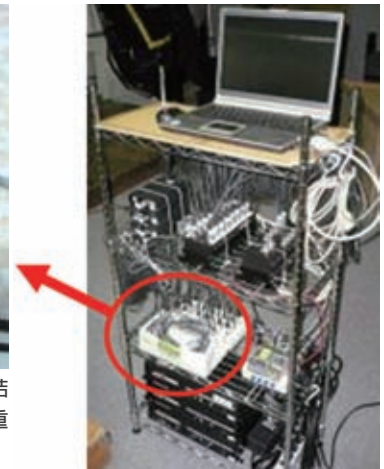
再利用這扭轉模擬器配合三維動作分析系統，收集正常受測者的扭轉開罐動作，建立運動學及動力學的資料庫，探討各手指的施力大小、貢獻百分比和手指各關節的協調特性。此外，還建

立手指開罐動作的力學模型，計算手指關節的受力和力矩，以及預測肌肉韌帶受力的情形，再進一步探討每一單位指尖施力，各手指關節的受力和力矩與肌肉受力大小。

這樣科學化的研究方法，可以完整地量測手部扭轉的運動學和動力學，讓我們更了解開罐動作的特性。研究結果可用以設計合適的罐蓋，或臨床的治療活動、居家設計，以及職場使用的



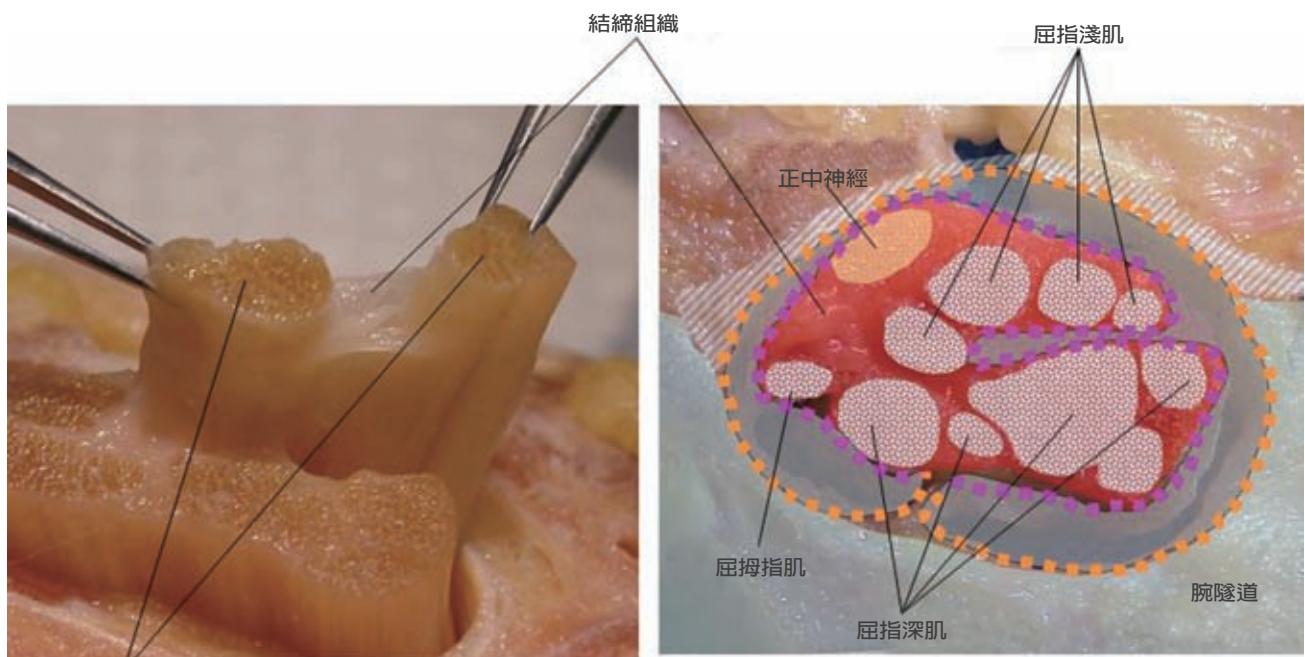
開罐模擬器的內部結構包含3個六軸荷重感測器及1個扭力計



工具，以避免累積性創傷及術後再傷害的發生。

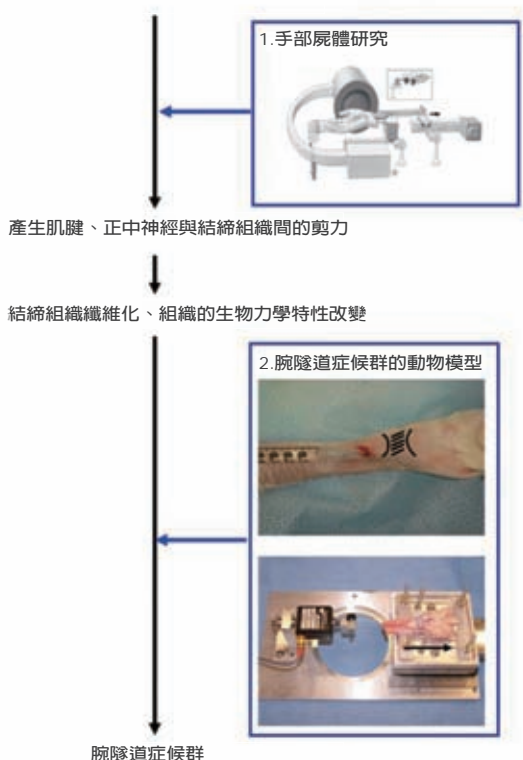
探討手部疾病

腕隧道症候群 腕隧道症候群主要是由於正中神經受到壓迫



腕隧道包含的所有組織

重複性的手部動作，加上腕關節壓迫性的姿勢，以及出力性的手部動作



美國梅約醫學中心骨科生物力學實驗室對於腕隧道症候群的研究假設與實驗設計

而產生的手部疾病。病症初期大拇指、食指、中指及無名指的橈側會有麻木刺痛感，在晚上或睡醒時特別明顯；中期則出現持續性手指疼痛麻木，扣釦子、拿杯子等細微動作開始出現障礙，麻木、疼痛症狀會延伸至手肘或肩膀；後期大拇指基端的肌肉會萎縮及手腕無力，手部感覺喪失。這疾病在臨床上很常見，根據統計大約有百分之五的成人受到這疾病的困擾。

美國著名也是全球最頂尖的私人醫療機構梅約醫學中心，由安介南教授主持的骨科生物力學實驗室，正以生物力學研究方法，針對腕隧道症候群做一系列的探討。

腕隧道內包含正中神經、屈指

深肌、屈指淺肌、屈拇指長肌，以及其他結締組織，這些結締組織連結著所有的肌腱與正中神經。目前研究得知，腕隧道症候群的起因是腕隧道內的壓力增加，可能是因為腕隧道的空間減小，或是其內的組織體積增加。後者是造成腕隧道症候群的主要原因。

研究發現，累積的重複性運動，或不符合人體工學的腕部姿勢，再加上使力性的動作，可能會使這些結締組織的生物力學特性改變而增厚，成為腕隧道症候群的危險因子。基於這假設，利用手部屍體研究，針對不同腕關節動作下，腕隧道內結

締組織的運動特性、滑動時的阻力特性做探討，進一步利用增生

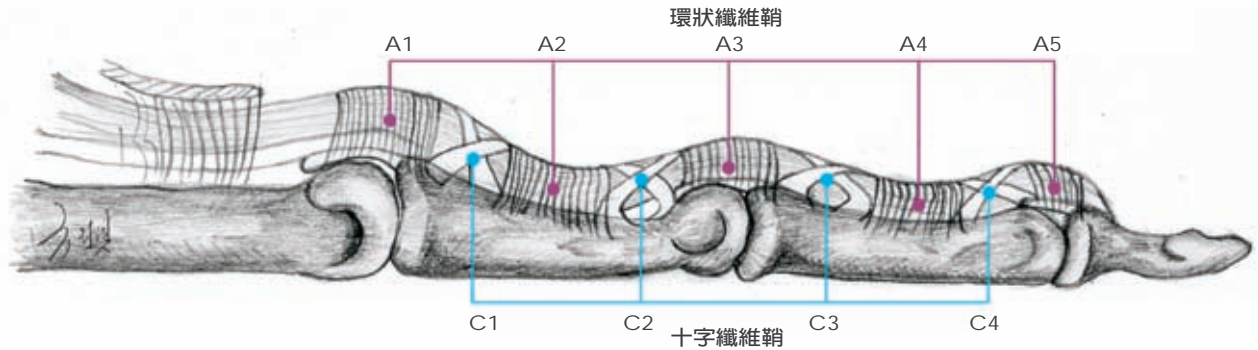
注射療法於動物實驗中，以建構腕隧道症候群的動物模型。

所謂增生注射療法，主要是利用注入可刺激正常細胞和組織增生的生長因子，再次啟動組織修補機制，促進受損退化的組織增生而達到強化的目的，目前使用在治療慢性關節疼痛上。應用這個方法，把高滲透性的葡萄糖注入兔子的腕隧道中，使兔子腕隧道中的結締組織增生產生纖維化，進而增加腕隧道中的壓力壓迫正中神經，建構出兔子的腕隧道症候群模型，以提供更多臨床試驗，希望未來可以提供預防腕隧道症候群的建議。

扳機指 扳機指又名為「手指屈肌腱的狹窄性肌腱鞘炎」，在臨床診斷中日益增多。要了解扳機指的原理及症狀，首先須了解相關的解剖構造。在手指的掌指關節至遠端指間關節之間，共有5個環狀纖維鞘與4個十字纖維



扳機指實驗配置圖



手指的環狀與十字纖維鞘構造示意圖

鞘，這構造的主要功能是約束屈肌肌腱於骨膜上，以防止肌腱彈起或往兩側滑移。扳機指就是由於肌腱發炎或屈曲韌鞘的第一個環狀纖維鞘狹窄所造成的，它會造成患者手指疼痛及近端指關節伸直動作的不平順，這情形稱為「扳機現象」。

扳機指發生的原因，包括急性受傷、因從事工作或運動反覆輕微的創傷、類風濕性關節炎或代謝性的障礙等。扳機指也經常是成因不明，好發於中年的婦女。對於扳機指的病因、機制，目前了解的並不多。

運用生物力學，可以探討扳機指的運動表現與肌腱張力。成功大學醫學工程研究所動作分析實驗室針對扳機指，發展出一套屈指肌腱阻力量測設備，並配合三維動作分析系統擷取手指關節動作。藉由手指尖力量的感測，發展出肌肉力學模型，利用最佳化方法，計算發生扳機指現象時的屈指肌腱及韌鞘間的阻力，和

估計伸指肌腱的張力。並以動作分析探討不同損傷程度的扳機指的運動表現，結果可與臨床觀察相互印證，也為扳機指分級標準或治療方法的創新，提供了有價值的研究資料。

此外，還透過動態分析系統，對扳機指做深入的運動學表現的探討。研究結果顯示，扳機指的嚴重程度與其功能表現有相關性，當扳機指損傷程度愈大時，功能損傷愈大，工作空間愈小，關節角度範圍愈小，而角加速度比例也是一個可以呈現運動品質的變項。這項客觀且科學化的研究，讓臨床工作者更清楚地了解扳機指的傷害機制，以及受傷後的功能限制，可進一步預防疾病的產生。

這個運動學模型也運用於成功大學骨科部周一鳴教授研發的「利用超音波導引的扳機指經皮切開術」的功能性研究中，以評估扳機指病患手術前後的運動學及功能性成效。結果顯示，扳機指

病患術前與術後在動作功能及主觀的功能性表現的評估資料中，呈現具統計意義的差異，也就是患者在設定的動作相關參數上，例如最大工作空間（表示關節活動度）、手指各關節的角加速度比值（用以表示手指動作的平順度）等因子，在術後都有明顯的改善。

這項研究的手部運動學模型，相較於傳統僅用量角器來評估扳機指的運動功能，提供了更客觀且明確的評估因子。期望未來能把這模型運用至其他手部軟或硬組織傷害後，手術或治療成效的印證。

生物力學的研究方法，可以更客觀、更量化地探討手部功能、評估拇指功能、建立拇指大菱形掌指關節的生物力學模型、分析手部開罐動作，以及探討手部疾病問題，提供我們對於萬能雙手更深入的了解。 □

董玟伶 蘇芳慶

成功大學醫學工程研究所動作分析實驗室

深度閱讀資料

Derek Field 原著 (民 92)，解剖學：觸診與表面標記 (賴昆城編譯)，合記圖書出版社，台北。

Norkin, Cynthia C. and D. Joyce White 原著 (民 94)，關節活動度的測量：角度測量學習指引，合記圖書出版社，台北。