



12-31-2014

Ultrasonography in the Diagnosis of Carpal Tunnel Syndrome and Measurement of Gliding of the Median Nerve

Yi-Wei Chang

Yi-Chieh Lien

Yi-Shiung Horng

Follow this and additional works at: <https://rps.researchcommons.org/journal>



Part of the [Rehabilitation and Therapy Commons](#)

Recommended Citation

Chang, Yi-Wei; Lien, Yi-Chieh; and Horng, Yi-Shiung (2014) "Ultrasonography in the Diagnosis of Carpal Tunnel Syndrome and Measurement of Gliding of the Median Nerve," *Rehabilitation Practice and Science*: Vol. 42: Iss. 4, Article 1.

DOI: [https://doi.org/10.6315/2014.42\(4\)01](https://doi.org/10.6315/2014.42(4)01)

Available at: <https://rps.researchcommons.org/journal/vol42/iss4/1>

This Review Article is brought to you for free and open access by Rehabilitation Practice and Science. It has been accepted for inclusion in Rehabilitation Practice and Science by an authorized editor of Rehabilitation Practice and Science. For more information, please contact twpmrscore@gmail.com.

綜說

超音波檢查於腕隧道症候群之診斷及正中神經滑動之量測

張益維¹ 連一潔¹ 洪怡珣^{1,2}

佛教慈濟醫療財團法人台北慈濟醫院復健科¹ 慈濟大學醫學系²

臨床上超音波於診斷腕隧道症候群之研究，主要之目的為彌補理學檢查及神經傳導檢查之不足，期望因此減少診斷偽陰性之發生。目前在靜態超音波檢查中，正中神經截面積、扁平係數、腫脹係數，以及出口處屈肌支持帶彎曲位移皆曾被提出做為診斷標準，並有學者以彩色杜卜勒超音波測量正中神經血流量之變化。除此之外，近年來亦有學者嘗試以動態超音波測量正中神經及屈指肌腱的滑動位移，包括以杜卜勒超音波或是利用互相關演算法(cross-correlation algorithm)分析正中神經的位移量，希望藉由評估腕隧道內正中神經以及結締組織的沾黏程度，有助於未來發展出更有效的運動治療方式。

目前以超音波診斷腕隧道症候群的大部份研究，皆嘗試訂出一絕對值來做為診斷標準，但此方法可能忽視了不同族群、性別、年齡層、體重等個體差異，未來可以朝向依照不同人種、性別、年齡、體重和身體質量指數訂出各自適合的臨界值，以建全腕隧道症候群之超音波診斷標準。

因此，本篇文章擬回顧近年來應用超音波於腕隧道症候群之診斷及評估等文獻，並針對目前臨床應用可能遭遇之問題進行探討及建議，以期超音波檢查於腕隧道症候群的應用能更加普遍。（台灣復健醫誌 2014；42(4)：179 - 189）

關鍵詞：正中神經(median nerve)，腕隧道症候群(carpal tunnel syndrome)，超音波(ultrasound)，杜卜勒超音波(Doppler ultrasound)

前言

有關於超音波診斷腕隧道症候群的文獻雖然日益增加，但是目前國內臨床上藉由超音波測量正中神經腫脹程度以診斷腕隧道症候群的方式仍不普遍，大部分主要仍是以症狀、理學檢查以及神經傳導檢查做為診斷之依據。然而目前神經傳導檢查仍約有百分之十至三十的偽陰性，^[1-3]如此將造成某些罹患「職業性腕隧道症候群」之勞工，雖然有典型之腕隧道症候群症狀及陽性之理學檢查結果(Tinel sign, Phalen test)，卻可能因為神經傳導檢查正常而無法獲得職業傷病補償。因此若能加強運用超音波於診斷腕隧道症候群，

當可彌補神經電學檢查之不足。

此外，有關神經肌腱滑動的測量，早期研究常以解剖之大體作為研究對象，^[4,5]近年來陸續有研究以動態超音波測量正中神經及肌腱的滑動，並發展出各種測量分析的方法，包括以杜卜勒超音波評估正中神經及肌腱的滑動^[6,7]或是以互相關演算法(cross-correlation algorithm)推算神經的位移。^[8]未來若能藉由超音波評估腕隧道內結締組織的沾黏程度及正中神經的滑動，將有助於發展出更有效的運動治療方式。

有鑑於腕隧道症候群的盛行以及神經傳導檢查有偽陰性等不足，本篇文章擬回顧近年來應用診斷性超音波於腕隧道症候群之診斷評估等文獻，包括二維(B模式)超音波靜態檢查、彩色杜卜勒超音波檢查正中神

投稿日期：103 年 8 月 13 日 修改日期：103 年 10 月 15 日 接受日期：103 年 10 月 30 日

通訊作者：洪怡珣醫師，台北慈濟醫院復健科，新北市新店區建國路 289 號

電話：(02) 66289779 轉 3512 E-mail：d97841001@ntu.edu.tw

doi: 10.6315/2014.42(4)01

經的血流狀況，以及動態超音波評估正中神經於手部活動時的位移等方面，並針對目前臨床診斷可能遭遇之問題進行探討及建議，以期超音波檢查於腕隧道症候群的應用能更加普遍。

一、以靜態超音波檢查正中神經的截面積以及形狀變化

運用超音波診斷腕隧道症候群的方法目前包括測量正中神經的截面積(cross sectional area)、扁平係數(flattening ratio)、腫脹係數(swelling ratio)、以及出口處屈肌支持帶彎曲位移(palmar bowing of the flexor retinaculum)等。^[9-12]

1. 腕隧道解剖構造

腕隧道以腕骨為基部，其上覆有橫腕韌帶(transcarpal ligament)，內含正中神經、屈指深淺肌及屈拇長肌。一般以遠端橈尺關節處為腕隧道入口(inlet)，勾狀骨(hamate)處為出口(outlet)，也就是腕隧道的遠端(distal carpal tunnel)。而豆狀骨(pisiform)處則為腕隧道近端(proximal carpal tunnel)，其位置大致位於體表遠端腕皺褶處(distal wrist crease)。橫腕韌帶上方於腕部尺側可見尺動脈與尺神經伴行。^[9]正中神經由遠端橈尺關節進入腕隧道，其橫截面形狀亦隨之改變，由近似圓形逐漸轉為橢圓形甚至為扁橢圓形。^[13]而在腕隧道症候群患者中，腫大的正中神經形狀似計時的沙漏。在超音波長軸影像下(longitudinal view)，正中神經因受到壓迫而呈現最窄厚度的位置位於豆狀骨處，此處同時也是橫腕韌帶最厚處，而在受壓迫處的近端及遠端分別為遠端橈尺關節處及勾狀骨處之正中神經則厚度較大。^[14]

2. 運用超音波於腕隧道症候群的診斷標準

(1) 正中神經截面積(cross-sectional area)

正中神經因神經外膜(epineurium)外緣邊界較難判斷，故目前量測多以神經外膜內緣為目標。^[9]正中神經截面積量測分為直接量測及間接量測。直接量測以持續追蹤方式描繪神經外膜內緣並由電腦運算得出截面積(圖 1)，而間接量測則為量測正中神經橫截面長軸與短軸(圖 2)，並帶入橢圓形公式來估算正中神經之截面積 $(\text{長軸} \times \text{短軸} \times 3.14) / 4$ 。^[15, 16]間接量測方式其優點為方便、快速，但與實際測量值仍有差距，且普遍會低估實際面積大小。^[17]Yesildag 等人的研究顯示出，若以截面積大於 10.5mm^2 (平方毫米) 為標準，直接量測及間接量測的敏感度/準確度分別為 89.9%/94.7% 及 86.5%/93.4%。^[12]腕隧道症候群診斷率亦不同，據

Koyuncuoglu 等人的研究顯示，同樣以截面積大於 10.5mm^2 為標準，直接量測及間接量測診斷率分別為 30.51% 及 27.12%，故仍建議以直接量測為佳。^[11]

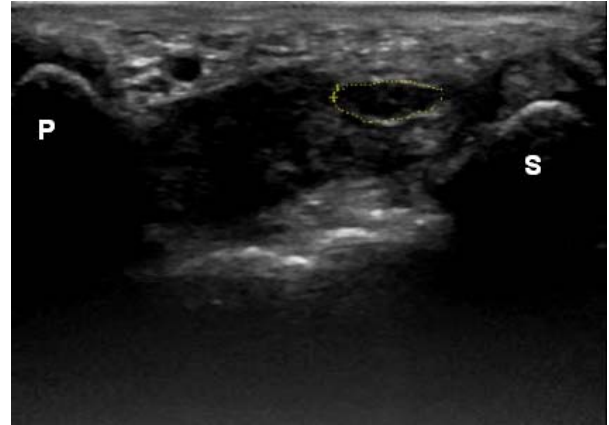


圖 1 腕隧道豆狀骨部位之正中神經截面圖 (虛線:正中神經, P:豆狀骨, S:舟狀骨)



圖 2 腕隧道豆狀骨部位之正中神經長短軸 (1:長軸, 2:短軸, P:豆狀骨, S:舟狀骨)

正中神經截面積可反應出神經是否有腫大的情形，診斷標準從 9mm^2 到 14mm^2 皆有人提出，^[18, 19]一般量測的位置有三處(圖 3-1): 包括腕隧道入口(遠端橈尺關節, 圖 3-2)、腕隧道近端(豆狀骨與舟狀骨, 圖 3-3)及出口(勾狀骨與大多角骨, 圖 3-4)，不同的位置有不同的診斷標準，一般以量測豆狀骨與舟狀骨處(腕隧道最窄處)的準確性最高也最為廣泛使用。^[13]據 Wiesler 等人研究顯示，若以正中神經截面積於豆狀骨處大於 11mm^2 為診斷標準，其敏感度及特異性可達 91% 與 84%。^[20]

而臨床上另有一部份受測者，沒有手部麻痛症狀但神經傳導檢查卻仍呈現異常，根據國內之研究，此類患者於超音波下之正中神經截面積與正中神經傳導檢查正常的受測者相比仍呈現顯著的增大。因此受試者即便沒有臨床症狀，但是如果超音波下之正中神經呈現腫大，就仍然建議做進一步追蹤。^[21]

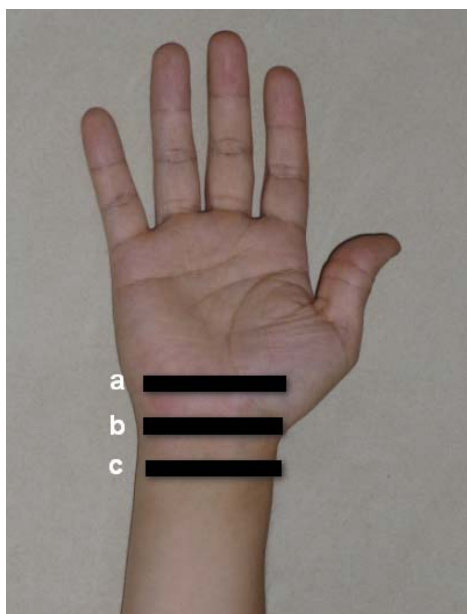


圖 3-1 腕隧道症候群超音波檢查探頭擺放示意圖

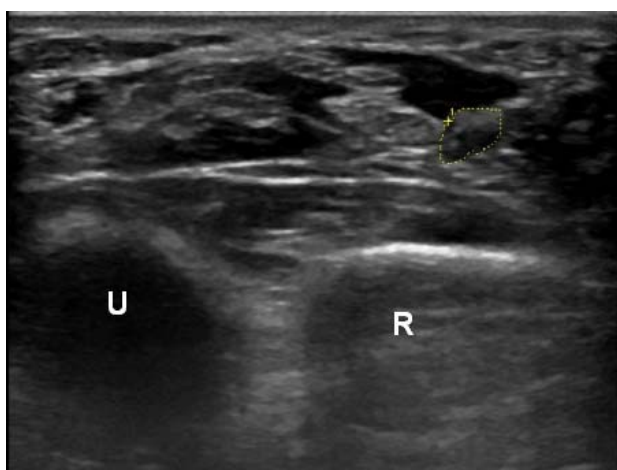


圖 3-2 遠端橈尺關節處(圖 3-1 之 c)之超音波影像 (U: 尺骨, R: 橈骨, 虛線: 正中神經)



圖 3-3 豆狀骨與舟狀骨處(圖 3-1 之 b)之超音波影像 (P: 豆狀骨, S: 舟狀骨, 虛線: 正中神經)

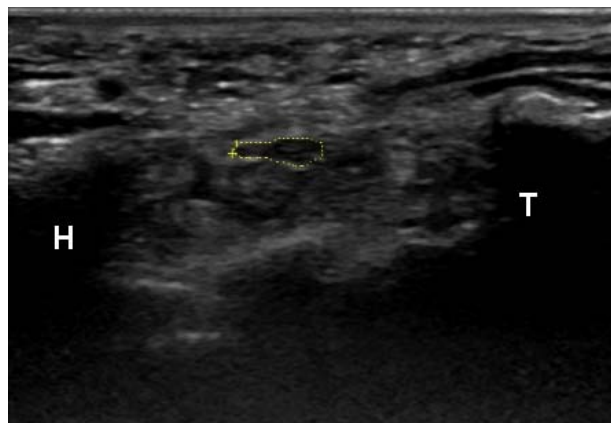


圖 3-4 勾狀骨與大多角骨處(圖 3-1 之 a)之超音波影像 (H: 勾狀骨, T: 大多角骨, 虛線: 正中神經)

(2) 扁平係數(flattening ratio)

扁平係數是正中神經於超音波橫截面下長軸除以短軸的比值(長軸/短軸)(圖 2)，用來評估正中神經受到壓迫形變的程度，Duncan 等人的研究顯示其變異性較大且相似比(Likelihood ratio)也很低(1.53)，^[17] Buchberger 等人建議量測勾狀骨處可獲較高的診斷率。^[10] Mallouhi 等人的研究針對 151 位腕隧道症候群患者，以扁平係數大於 3 為診斷標準，其敏感度及特異性可達 65% 及 68%。^[22] 但是，有 3 篇研究顯示扁平係數與診斷腕隧道症候群在統計學上無顯著的相關性^[23-25]，故此方式之準確性仍需進一步研究。

(3) 腫脹係數(swelling ratio)

腫脹係數為正中神經於豆狀骨處截面積(圖 3-3)除以遠端橈尺關節處截面積(圖 3-2)的比值，代表正中神經於腕隧道最窄處相對於入口處的腫脹程度。Altinok 等人研究顯示腫脹係數大於或等於 1.3 於診斷腕隧道症候群的敏感度及特異性分別為 72.5% 及 92.5%，^[26] 而 Keberle 等人同時以扁平係數大於或等於 3.4 及腫脹係數大於或等於 1.3 作為診斷標準，敏感度可高達 100%。^[27]

(4) 出口處屈肌支持帶彎曲位移(palmar bowing of the flexor retinaculum, 亦稱 retinacular bowing)

出口處屈肌支持帶彎曲位移，測量方式先從大多角骨(trapezium)至勾狀骨劃一直線，再量測橫腕韌帶最頂端至此一直線的最長距離(圖 4)。Keles 等人研究建議以出口處屈肌支持帶彎曲位移大於 3.7 mm(毫米)作為診斷標準，其敏感度及特異性最高(分別為 71.4% 和 55.0%)。^[25]

(5) 腕部前臂比(wrist-forearm ratio)

據 Cartwright 等人的研究指出，同一受測者之正中神經之截面積於上肢不同處不會有太大的變化，腕

部前臂比應該接近 1，若有局部神經受到壓迫而腫脹，則比值可能會大於 1。^[28]Hobson-Webb 等人提出以遠端腕皺褶處(distal wrist crease)正中神經截面積與前臂距腕部遠端皺褶處 12 公分處的正中神經截面積(圖 5)相除，所得之比例(腕部前臂比)來判斷是否有腕隧道症候群，若比值大於或等於 1.4 對診斷腕隧道症候群有 100%的敏感度。^[29]此方法和腫脹係數的概念類似，考慮到不同受測者之體型、性別等差異，因而不以正中神經截面積的絕對值作為單一診斷標準，而使用相對比值。Roll 等人的研究團隊同樣以類似的想法，將遠端腕皺褶處(distal wrist crease)正中神經截面積與前臂距遠端腕皺褶處 6 公分處正中神經截面積相比，得出若以比值 1.7 為診斷標準，則敏感度及特異性可達 80.4% 及 81.2%。^[23]

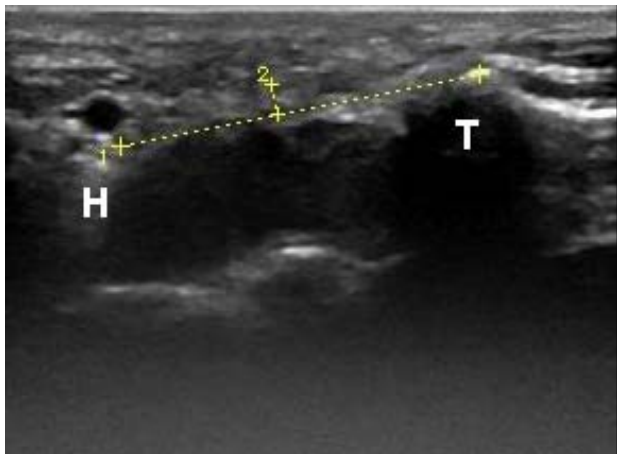


圖 4 腕隧道勾狀骨部位之屈肌支持帶彎曲位移，由勾狀骨取一直線至大多角骨(1)，再由屈肌支持帶頂點垂直取另一直線(2)即可得 (H:勾狀骨，T:大多角骨)

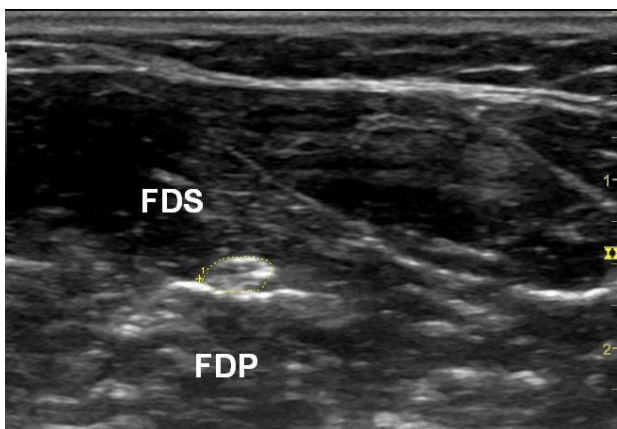


圖 5 前臂距腕部遠端皺褶處 12 公分處的正中神經截面圖(虛線:正中神經，FDS:屈指淺肌，FDP:屈指深肌)

(6)正中神經形變(median nerve deformation)

除了上述診斷準則之外，正中神經的形狀亦能提供臨床參考，van Doesburg 等人提出以截面積在動作前後的大小變化當作測量形變的指標(deformation index)，其研究顯示當手指由伸直到彎曲動作時，腕隧道症候群病人和健康人的正中神經截面積皆會因屈指肌腱擠壓而變小，但是病人之正中神經變形指數(deformation index)的變化較正常人大。^[30]因此正中神經的形狀變化未來也可以加入腕隧道症候群之診斷。

上述的諸多診斷方式仍未有一致之共識，因此有許多研究是以不同的測量方式來互相比較，冀望得出最準確的量測方式。針對此類研究，有國內學者統整自 1990 至 2010 年國際期刊上所曾經發表的 28 篇超音波診斷腕隧道症候群研究進行統合分析(meta-analysis)，結論指出以豆狀骨處正中神經截面積大於或等於 9 mm^2 為標準，可得最佳之診斷率(敏感度及特異性分別可達 87.3% 及 83.3%)。^[31]而針對國內健康人與腕隧道症候群病人的研究，也顯示以豆狀骨處正中神經截面積大於或等於 9.875 mm^2 為診斷標準，最能預測腕隧道症候群的發生。^[32]

3.超音波於特殊族群診斷

(1)雙叉正中神經(bifid median nerve)

雙叉正中神經為正中神經的一個變異，因為二個分叉之正中神經截面積總合較一般的正中神經為大，故有學者認為此種變異可能使正中神經於腕隧道內更容易受到壓迫。^[33, 34]Bayrak et al 等人以超音波檢查發現，腕隧道症候群病人中 19%有雙叉正中神經，健康人則只有 9%，似乎暗示著此種現象的存在。^[33]然而，Granata 等人的研究卻顯示，雙叉正中神經的盛行率在一般健康族群中也相當高，18.5% 腕隧道症候群的人伴隨有雙叉正中神經，相對於沒有腕隧道症候群症狀的人為 15.4%，兩者沒有達到顯著差異。^[35]此外，Walker FO 等人的研究顯示，13.3%的拉丁裔勞工有雙叉正中神經，且其盛行率和年紀、性別、工作型態或腕隧道症候群皆無明顯相關性。^[36]同樣的，2014 年 Kasius 等人的研究中，亦顯示一般健康人與腕隧道症候群患者之雙叉正中神經盛行率沒有統計上的顯著差異。^[37]因此，目前研究傾向不支持雙叉正中神經是導致腕隧道症候群症狀的危險因子之一。

(2)糖尿病患者之腕隧道症候群

糖尿病本身即為腕隧道症候群之致病因子，因此腕隧道症候群患者中有相當比例同時患有糖尿病。而據國內學者的研究顯示，若以超音波診斷腕隧道症候群，糖尿病與非糖尿病的腕隧道症候群患者同樣具

有相當之敏感度及特異性。^[38]另一個國內研究，則參考神經傳導檢查所使用的吋量方式(inching test)，以超音波來測量正中神經在整個腕隧道上不同點的截面積大小。比較的族群包含正常人、一般腕隧道症候群患者、有糖尿病的腕隧道症候群患者以及合併有糖尿病多發性神經病變的腕隧道症候群患者。此研究同樣看到超音波可有效的區別一般人及腕隧道症候群患者之正中神經截面積，不論其是因為何種原因所導致。此研究同時觀察到合併有糖尿病多發性神經病變的腕隧道症候群患者，其正中神經截面積於遠端腕皺褶處(即腕隧道近端處)較無糖尿病多發性神經病變的腕隧道症候群患者為小，其原因可能是糖尿病所引起的多發性神經病變會使得神經復原(regeneration)的能力受損所致。^[39]

4. 超音波檢查時其它影響因子

在使用超音波測量腕隧道及正中神經時，探頭所擺放的角度與受測者的手部姿勢有可能會影響檢查結果。Korstanje 等人以受測者的腕隧道截面積為基準，修正因探頭所擺放角度或受測者手指彎曲伸直所可能產生的測量誤差。其實驗結果顯示探頭擺放角度會影響診斷正確率，若以手握拳姿勢可達最高正確率。^[40]而國內先前的研究比較手握拳及手放鬆的姿勢下正中神經的差異，顯示手握拳時屈肌支持帶的向上彎曲位移會增加，因此若同時以超音波測量放鬆姿勢下的正中神經截面積以及握拳時的屈肌支持帶彎曲位移，可增加超音波的診斷正確性。^[41]因此未來有關腕隧道症候群的診斷用超音波相關研究，建議可朝向調整探頭角度及手部握拳方式進行，以減少研究誤差及提升診斷準確性。

二、以彩色杜卜勒超音波測量正中神經的血流量

除了上述傳統的灰階超音波檢查外，近年來亦有學者以彩色杜卜勒超音波檢查正中神經的血流狀況，因為灰階超音波僅能呈現解剖上的變化，而彩色杜卜勒超音波可呈現正中神經功能上的改變。正中神經藉由神經外膜(epineurium)與內膜(endoneurium)的微血管供應其血流，正常狀況下正中神經的彩色杜卜勒超音波影像呈現零訊號，但在腕隧道症候群病人會因為血流增加而呈現高訊號現象，如同於磁共振影檢查之T2影像會呈現高訊號一般。^[42]Mallouhi 等人比較灰階超音波以及彩色杜卜勒超音波用於診斷腕隧道症候群患者的診斷能力，結果顯示在所有診斷標準裏，彩色杜卜勒超音波呈現的神經內血流增加(intraneural

hypervascularization)診斷正確率最高(95%)。^[22]

Akcar 等人進一步以杜卜勒超音波能量圖(Power Doppler)測量正中神經，結果顯示腕隧道症候群病人之正中神經平均血管數為 1.2，而健康人則為 0。^[7]此外，Ng 等人發現，拇指外展短肌持續用力收縮一分鐘後，正中神經的血流量有顯著增加，而且病人之增加幅度較健康人多。^[43]

三、以動態超音波檢查正中神經的滑動

腕隧道症候群病人的正中神經除了會腫脹變形之外，亦可能因為滑液膜下結締組織的纖維化(subsynovial connective tissue fibrosis)，而使得正中神經及屈指肌腱的滑動下降。^[44]早期的研究以大體解剖，評估腕隧道內正中神經以及肌腱的滑動，^[4, 5]近年來陸續有學者發展出各種方法，運用動態超音波觀察到腕隧道內的正中神經隨著手指活動會有縱向和橫向的位移，以及截面積和形狀上的變化，以下分別介紹：

1. 以杜卜勒超音波測量正中神經的縱向位移

2000 年 Hough 等學者首先提出以杜卜勒超音波測量正中神經和屈指肌腱的位移，^[6]將杜卜勒超音波的游標放在正中神經上，當手指活動時即可同時記錄神經隨著時間變化的滑動速度(圖 6)。因此若將此杜卜勒超音波圖像中的波形及其所經歷時間積分，即可求得波形下面積，其意義代表在記錄時間內正中神經的滑動位移量。根據 Hough 等人的研究結果此方法的信度相當高，組內相關係數為 0.92。^[45]同樣的，若將杜卜勒超音波的游標放在屈指肌腱上，則可測得屈指淺肌的滑動位移量(圖 7)，並且進一步計算正中神經與屈指淺肌的相對位移比率，用此比率的方法可以提高測量的敏感度，並且較不會因為不同受測者間結構上的個別差異而造成誤差。

利用此方法，Hough 等人分別在肘關節彎曲 90 度及完全伸直情況下，測量手指由握拳至完全伸直的過程中，正中神經以及屈指淺肌肌腱的縱向位移。其研究顯示，正中神經和屈指肌腱的平均相對位移比率於健康人(0.07 至 0.32)較腕隧道症候群病人(0.06 至 0.23)大，此現象於肘關節完全伸直時更為明顯，可能與手肘伸直時神經處於被牽引拉長的狀態有關。^[46]

2. 以二維(B 模式)超音波測量正中神經的縱向位移

Dilley 等人於 2001 年提出以二維(B 模式)超音波，測量正中神經的縱向位移，其方法是當受測者之手指重複做彎曲伸直動作時，將正中神經動態影像錄影存檔，事後再以互相關演算法(cross-correlation

algorithm) 分析正中神經的位移。^[8]利用互相關演算法，可計算正中神經內的某一小區塊其水平或是垂直移動了多少圖像元素 (pixel)，並進一步推算出正中神經滑動的位移距離。相對地，若應用在屈指肌腱上，也可以求得肌腱滑動的位移。

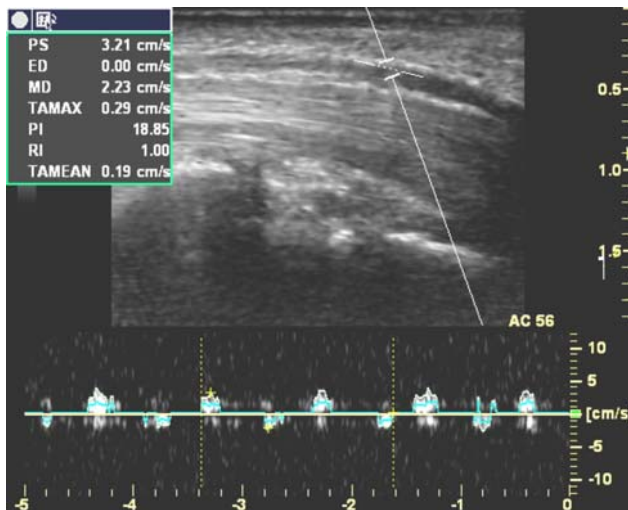


圖 6 以杜卜勒超音波測量食指重覆彎曲伸直動作時，腕隧道內正中神經的位移。游標所在處為正中神經，杜卜勒波形紀錄正中神經於食指彎曲及伸直時的滑動速度，波形下面積代表在記錄時間內正中神經的滑動位移量。(縱軸單位為公分/秒，橫軸單位為秒。縮寫 PS: peak systolic flow velocity, 顛峰收縮期流速; ED: end diastolic flow velocity, 終端舒張期流速; PI: pulsatility index, 搏動指數; RI: resistive index, 阻力指數)

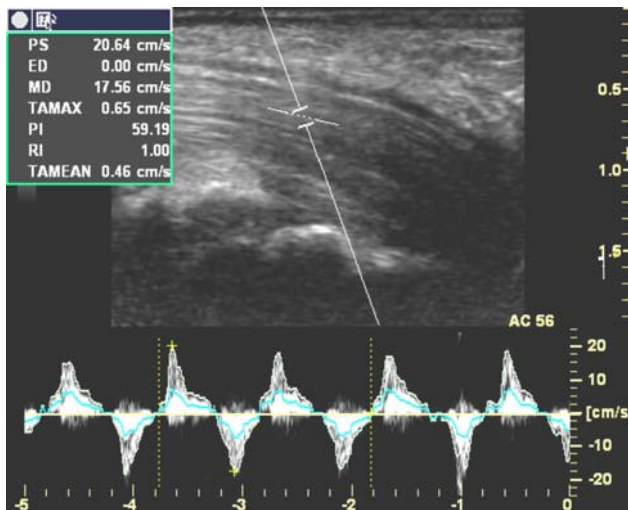


圖 7 以杜卜勒超音波測量食指重覆彎曲伸直動作時，腕隧道內屈指淺肌肌腱的位移。游標所在處為屈指淺肌肌腱，杜卜勒波形紀錄屈指淺肌肌腱於食指彎曲及伸直時的滑動速度，波形下面積代表在記錄時間內肌腱的滑動位移量。(縱軸單位為公分/秒，橫軸單位為秒。縮寫 PS: peak systolic flow velocity, 顛峰收縮期流速; ED: end diastolic flow velocity, 終端舒張期流速; PI: pulsatility index, 搏動指數; RI: resistive index, 阻力指數)

Erel 等人以此方法分析受試者之掌指關節 (metacarpophalangeal joint) 活動時，前臂處之正中神經位移，其研究顯示腕隧道症候群病人之前臂正中神經縱向位移和健康人相比沒有明顯差別。^[47]Echigo 等人則比較健康人於手肘彎曲、伸直或是內旋、外旋等不同姿勢下，手指運動時正中神經的位移，其研究顯示當手腕被動伸展時，正中神經向遠端的縱向位移為 1.9 至 3mm；當前臂外旋時，正中神經向遠端的滑動較內旋時佳，而當手指做主動彎曲握拳時，正中神經會向近端滑動(0.8 至 1.3mm)，其進一步比較抓握(grasp)及勾握(hook)兩種姿勢發現，抓握能產生較多向近端的縱向滑動(1.3mm)，而勾握時僅有 0.8mm 的滑動。^[48]

Korstanje 等人比較同一位病人的兩隻手，做握拳動作時神經與肌腱的滑動，發現較嚴重的手的正中神經、屈指淺肌肌腱的滑動比較小；但屈指深肌肌腱滑動則較大。^[49]van Doesburg 等人進一步以此方法，測量腕隧道內屈指肌腱以及滑液膜下結締組織之相對滑動，並且提出兩個新的指標(maximum velocity ratio 以及 shear index)，用來比較腕隧道症候群病人與健康人的肌腱滑動。^[50]

比較上述二種測量方法，杜卜勒超音波對於神經和肌腱的位移需分開測量，因此受試者在做第二次動作時，可能會與第一次有些許速度或動作上的不完全一致，因而可能因為二次動作間的些微差異而造成誤差。而互相關演算法之作法則是先將受試者的動作過程錄製存檔後，再以電腦軟體同時分析神經和肌腱的位移，因此不會發生上述之誤差。此外杜卜勒超音波僅能測量縱向的位移，而以互相關演算法的分析方法則可同時量測縱向及橫向的位移，但當神經或肌腱的橫向位移超過超音波探頭的寬度(beam width)時，二種方法皆會無法持續追蹤到神經或肌腱的影像，此為目前以超音波測量神經或肌腱位移的侷限，因此研究測量時手部動作須選擇神經與肌腱不會有過度位移的動作。

3. 以二維(B 模式)超音波測量正中神經的橫向位移

橫向位移方面，不同學者所使用的測量方法各有不同。Nakamichi 和 Tachibana 以超音波測量正中神經與尺動脈的距離，作為評估健康人手指活動時正中神經的橫向位移指標，其選擇以尺動脈為測量原點的理由是因為尺動脈的超音波影像清晰易辨別，而且位置於手指活動時較少有位移。此研究顯示正中神經於手指彎曲時的橫向位移平均為 2.1mm，且其位移大小與用力程度有關，當手指被動彎曲時的位移最小。^[51]

Erel 等人將豆狀骨(pisiform bone)處超音波橫切面

下，正中神經的最上下左右四個點作為座標，測量動作前後正中神經的橫向位移。其結果顯示，當掌指關節由 90 度彎曲被動地伸直至 0 度時，手臂的屈指肌腱會往掌側移動，而正中神經則往橈側偏移，健康人的平均位移為 1.55mm 較腕隧道症候群病人平均位移為 0.89mm 大，但其差異未達統計上顯著意義。^[47]

Yoshii 等人以健康人為實驗對象，用超音波測量屈指淺肌和正中神經之間的距離，其研究顯示中指彎曲時，屈指淺肌和正中神經的距離於水平方向變小，但垂直方向變大。^[52]2010 年 van Doesburg 等人研究結果亦顯示，當食指彎曲時，肌腱向掌側滑動，而正中神經則向橈側滑動；但是當拇指彎曲時，肌腱向掌側滑動，正中神經則向尺側滑動，所以當拇指及食指彎曲時，正中神經偏離肌腱並被壓迫於屈腕支持帶及肌腱之間。^[53]

2012 年 van Doesburg 等人以正中神經的中心為座標原點，比較健康人與腕隧道症候群病人於手指活動時正中神經的橫向位移，結果顯示腕隧道症候群病人的正中神經和第三指屈指淺肌的總位移量較健康人大。而拇指與食指活動時，病人之正中神經與下方肌腱的距離亦較健康人大。^[54]此外，van Doesburg 等人在超音波檢查過程中，發現大部分病人的正中神經會平滑的移動，然而少數病人的正中神經會有突然快速的移動到一個新的位置(snapping phenomenon)，此現象可能因為滑液膜下結締組織(subsynovial connective tissue)纖維化晚期時，肌腱和原本相連的滑液膜(synovial membrane)分離，而使得肌腱的滑動較其外層的滑液膜快速所造成。^[55, 56]

四、超音波檢查於腕隧道症候群診斷之限制

相較於傳統電學生理檢查，腕隧道症候群超音波檢查雖有低成本、設備取得容易、檢查過程不會產生不適感以及病患可接受度高等優點。^[13, 57]但仍有以下臨床使用上的限制，首先超音波檢查非常依賴操作者經驗及技巧(operator dependent)，Ozcakar 等人發現初學者在量測細小的目標物時會較量測大的目標物時產生更大的誤差，容易低估量測值，也因此學習如何精確使用超音波檢查需要更多的訓練時間。^[58]據 D'Agostino 等人的研究，建議在訓練使用超音波於軟組織檢查時至少要經過七十人次的訓練，才能使正確率由四成提升至八成以上。^[59]其次，即使在受過訓練人員之間仍會有測試者間信度(inter-rater reliability)不一致的問題，其不一致的程度又與量測部位及量測方式有關，如此會使得臨床上的診斷可靠性不易受到信賴。^[60]改進以上所述之限制端賴於未來建立標準超音

波檢查部位及方式，以及加強超音波檢查人員技巧之訓練。

結 論

目前大部份以超音波診斷腕隧道症候群的研究皆嘗試訂出一臨界值來做為診斷標準，但此方法忽視了不同族群、性別、年齡層等可能產生神經大小的變異。譬如正中神經截面積會與年齡、體重及身體質量指數(body mass index)呈現顯著正相關。^[28, 38]而 Hobson-Webb 等人研究顯示正中神經的截面積似乎與人種有關^[18]，其研究顯示歐洲人(義大利)的正中神經的截面積較北美洲人(美國)小，但其研究中兩個族群所用的測量方式不完全相同，是否因此而得到不同的結果，仍待進一步研究。目前除了試圖以個體本身作為內部控制因子去矯正外，未來可以朝向依照不同人種、年齡、體重和身體質量指數訂出各自適合的臨界值，以建立腕隧道症候群之超音波診斷標準，彌補神經傳導速度檢查之不足。

致 謝

本研究的完成，得力於台北慈濟醫院院內計畫(TCRD-TPE-101-38) 以及 國 科 會(NSC102-2314-B-303-001-)的支持，在此一併致謝。

參考文獻

1. Jablecki CK, Andary MT, Floeter MK, et al. Practice parameter: Electrodiagnostic studies in carpal tunnel syndrome. Report of the American Association of Electrodiagnostic Medicine, American Academy of Neurology, and the American Academy of Physical Medicine and Rehabilitation. *Neurology* 2002;58: 1589-92.
2. Lew HL, Date ES, Pan SS, et al. Sensitivity, specificity, and variability of nerve conduction velocity measurements in carpal tunnel syndrome. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 2005;86:12-6.
3. Witt JC, Hentz JG, Stevens JC. Carpal tunnel syndrome with normal nerve conduction studies. *Muscle & Nerve* 2004;29:515-22.
4. Cobb T, An K-N, Cooney W, et al. Lumbrical muscle incursion into the carpal tunnel during finger flexion. *Journal of Hand Surgery (British and European*

- Volume) 1994;19:434-8.
5. Szabo RM, Bay BK, Sharkey NA, et al. Median nerve displacement through the carpal canal. *The Journal of Hand Surgery* 1994;19:901-6.
6. Hough AD, Moore AP, Jones MP. Measuring longitudinal nerve motion using ultrasonography. *Man Ther* 2000;5:173-80.
7. Akcar N, Ozkan S, Mehmetoglu O, et al. Value of power Doppler and gray-scale US in the diagnosis of carpal tunnel syndrome: contribution of cross-sectional area just before the tunnel inlet as compared with the cross-sectional area at the tunnel. *Korean J Radiol* 2010;11:632-9.
8. Dilley A, Greening J, Lynn B, et al. The use of cross-correlation analysis between high-frequency ultrasound images to measure longitudinal median nerve movement. *Ultrasound Med Biol* 2001;27:1211-8.
9. Roll SC, Case-Smith J, Evans KD. Diagnostic accuracy of ultrasonography vs. electromyography in carpal tunnel syndrome: a systematic review of literature. *Ultrasound in Medicine & Biology* 2011;37:1539-53.
10. Buchberger W, Judmaier W, Birbamer G, et al. Carpal tunnel syndrome: diagnosis with high-resolution sonography. *American Journal of Roentgenology* 1992;159:793-8.
11. Koyuncuoglu HR, Kutluhan S, Yesildag A, et al. The value of ultrasonographic measurement in carpal tunnel syndrome in patients with negative electrodiagnostic tests. *European Journal of Radiology* 2005;56:365-9.
12. Yesildag A, Kutluhan S, Sengul N, et al. The role of ultrasonographic measurements of the median nerve in the diagnosis of carpal tunnel syndrome. *Clinical Radiology* 2004;59:910-5.
13. Beekman R, Visser LH. Sonography in the diagnosis of carpal tunnel syndrome: a critical review of the literature. *Muscle & Nerve* 2003;27:26-33.
14. Nakamichi K-I, Tachibana S. Enlarged median nerve in idiopathic carpal tunnel syndrome. *Muscle & Nerve* 2000;23:1713-8.
15. Buchberger W, Schön G, Strasser K, et al. High-resolution ultrasonography of the carpal tunnel. *Journal of Ultrasound in Medicine* 1991;10:531-7.
16. Swen WA, Jacobs JW, Bussemaker FE, et al. Carpal tunnel sonography by the rheumatologist versus nerve conduction study by the neurologist. *The Journal of Rheumatology* 2001;28:62-9.
17. Duncan I, Sullivan P, Lomas F. Sonography in the diagnosis of carpal tunnel syndrome. *American Journal of Roentgenology* 1999;173:681-4.
18. Hobson-Webb LD, Padua L. Median nerve ultrasonography in carpal tunnel syndrome: findings from two laboratories. *Muscle & Nerve* 2009;40:94-7.
19. Pastare D, Therimadasamy AK, Lee E, et al. Sonography versus nerve conduction studies in patients referred with a clinical diagnosis of carpal tunnel syndrome. *Journal of Clinical Ultrasound* 2009;37:389-93.
20. Wiesler ER, Chloros GD, Cartwright MS, et al. The use of diagnostic ultrasound in carpal tunnel syndrome. *The Journal of Hand Surgery* 2006;31:726-32.
21. Su P-H, Chen W-S, Wang T-G, et al. Correlation between subclinical median neuropathy and the cross-sectional area of the median nerve at the wrist. *Ultrasound in Medicine & Biology* 2013;39:975-80.
22. Mallouhi A, Pulzl P, Trieb T, et al. Predictors of carpal tunnel syndrome: accuracy of gray-scale and color Doppler sonography. *Am J Roentgenol* 2006;186:1240-5.
23. Roll SC, Evans KD, Li X, et al. Screening for carpal tunnel syndrome using sonography. *Journal of Ultrasound in Medicine* 2011;30:1657-67.
24. Sarria L, Cabada T, Cozcolluela R, et al. Carpal tunnel syndrome: usefulness of sonography. *European Radiology* 2000;10:1920-5.
25. Keles I, Karagulle Kendi AT, Aydin G, et al. Diagnostic precision of ultrasonography in patients with carpal tunnel syndrome. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation* 2005;84:443-50.
26. Altinok T, Baysal O, Karakas HM, et al. Ultrasonographic assessment of mild and moderate idiopathic carpal tunnel syndrome. *Clinical Radiology* 2004;59:916-25.
27. Keberle M, Jenett M, Kenn W, et al. Technical advances in ultrasound and MR imaging of carpal tunnel syndrome. *European Radiology* 2000;10:1043-50.
28. Cartwright MS, Shin HW, Passmore LV, et al.

- Ultrasonographic reference values for assessing the normal median nerve in adults. *Journal of Neuroimaging* 2009;19:47-51.
29. Hobson-Webb LD, Massey JM, Juel VC, et al. The ultrasonographic wrist-to-forearm median nerve area ratio in carpal tunnel syndrome. *Clinical Neurophysiology* 2008;119: 1353-7.
30. van Doesburg MHM, Henderson J, Yoshii Y, et al. Median nerve deformation in differential finger motions: Ultrasonographic comparison of carpal tunnel syndrome patients and healthy controls. *Journal of Orthopaedic Research* 2012;30:643-8.
31. Tai T-W, Wu C-Y, Su F-C, et al. Ultrasonography for diagnosing carpal tunnel syndrome: A meta-analysis of diagnostic test accuracy. *Ultrasound in Medicine & Biology* 2012;38:1121-8.
32. Wang LY, Leong CP, Huang YC, et al. Best diagnostic criterion in high-resolution ultrasonography for carpal tunnel syndrome. *Chang Gung Medical Journal* 2008; 31:469-76.
33. Bayrak IK, Bayrak AO, Kale M, et al. Bifid median nerve in patients with carpal tunnel syndrome. *Journal of Ultrasound in Medicine* 2008;27:1129-36.
34. Orsi R, De Tullio V. Bifid median nerve as a cause of carpal tunnel syndrome. Report of one case. *Italian Journal of Orthopaedics and Traumatology* 1991;17: 419-21.
35. Granata G, Caliandro P, Pazzaglia C, et al. Prevalence of bifid median nerve at wrist assessed through ultrasound. *Neurological Sciences* 2011;32:615-8.
36. Walker FO, Cartwright MS, Blocker JN, et al. Prevalence of bifid median nerves and persistent median arteries and their association with carpal tunnel syndrome in a sample of latino poultry processors and other manual workers. *Muscle & Nerve* 2013;48:539-44.
37. Kasius KM, Claes F, Meulstee J, et al. Bifid median nerve in carpal tunnel syndrome: Do we need to know? *Muscle & Nerve* 2014;50:835-43.
38. Tsai NW, Lee LH, Huang CR, et al. The diagnostic value of ultrasonography in carpal tunnel syndrome: a comparison between diabetic and non-diabetic patients. *BMC Neurology* 2013;13:65.
39. Chen S-F, Huang C-R, Tsai N-W, et al. Ultrasonographic assessment of carpal tunnel syndrome of mild and moderate severity in diabetic patients by using an 8-point measurement of median nerve cross-sectional areas. *BMC Medical Imaging* 2012;12:15.
40. Korstanje JW, Van Balen R, Scheltens-De Boer M, et al. Assessment of transverse ultrasonographic parameters to optimize carpal tunnel syndrome diagnosis in a case-control study. *Muscle & Nerve* 2013;48:532-8.
41. Horng Y-S, Chang H-C, Lin K-E, et al. Accuracy of ultrasonography and magnetic resonance imaging in diagnosing carpal tunnel syndrome using rest and grasp positions of the hands. *The Journal of Hand Surgery* 2012;37:1591-8.
42. Sugimoto H, Miyaji N, Ohsawa T. Carpal tunnel syndrome: evaluation of median nerve circulation with dynamic contrast-enhanced MR imaging. *Radiology* 1994;190:459-66.
43. Ng ES, Ng KW, Wilder Smith EP. Provocation tests in doppler ultrasonography for carpal tunnel syndrome. *Muscle & Nerve* 2013;47:116-7.
44. Yoshii Y, Zhao C, Zhao KD, et al. The effect of wrist position on the relative motion of tendon, nerve, and subsynovial connective tissue within the carpal tunnel in a human cadaver model. *J Orthop Res* 2008;26: 1153-8.
45. Hough AD, Moore AP, Jones MP. Peripheral nerve motion measurement with spectral Doppler sonography: a reliability study. *J Hand Surg Br* 2000;25:585-9.
46. Hough AD, Moore AP, Jones MP. Reduced longitudinal excursion of the median nerve in carpal tunnel syndrome. *Arch Phys Med Rehabil* 2007;88: 569-76.
47. Erel E, Dilley A, Greening J, et al. Longitudinal sliding of the median nerve in patients with carpal tunnel syndrome. *J Hand Surg Br* 2003;28:439-43.
48. Echigo A, Aoki M, Ishiai S, et al. The excursion of the median nerve during nerve gliding exercise: an observation with high-resolution ultrasonography. *Journal of Hand Therapy* 2008;21:221-8.
49. Korstanje JWH, Boer MSD, Blok JH, et al. Ultrasonographic assessment of longitudinal median nerve and hand flexor tendon dynamics in carpal tunnel syndrome. *Muscle & Nerve* 2012;45:721-9.

50. van Doesburg MH, Yoshii Y, Henderson J, et al. Speckle-tracking sonographic assessment of longitudinal motion of the flexor tendon and subsynovial tissue in carpal tunnel syndrome. *J Ultrasound Med* 2012;31:1091-8.
51. Nakamichi K, Tachibana S. Transverse sliding of the median nerve beneath the flexor retinaculum. *J Hand Surg Br* 1992;17:213-6.
52. Yoshii Y, Villarraga HR, Henderson J, et al. Ultrasound assessment of the displacement and deformation of the median nerve in the human carpal tunnel with active finger motion. *J Bone Joint Surg Am* 2009;91:2922-30.
53. van Doesburg MH, Yoshii Y, Villarraga HR, et al. Median nerve deformation and displacement in the carpal tunnel during index finger and thumb motion. *J Orthop Res* 2010;28:1387-90.
54. van Doesburg MH, Henderson J, Mink van der Molen AB, et al. Transverse plane tendon and median nerve motion in the carpal tunnel: ultrasound comparison of carpal tunnel syndrome patients and healthy volunteers. *PLoS One* 2012;7:e37081.
55. Ettema AM, An KN, Zhao C, et al. Flexor tendon and synovial gliding during simultaneous and single digit flexion in idiopathic carpal tunnel syndrome. *J Biomech* 2008;41:292-8.
56. van Doesburg MH, Henderson J, Yoshii Y, et al. Median nerve deformation in differential finger motions: ultrasonographic comparison of carpal tunnel syndrome patients and healthy controls. *J Orthop Res* 2012;30:643-8.
57. McDonagh C, Alexander M, Kane D. The role of ultrasound in the diagnosis and management of carpal tunnel syndrome: a new paradigm. *Rheumatology* 2015;54:9-19.
58. Ozcakar L, Palamar D, Carl AB, et al. Precision of novice sonographers concerning median nerve and Achilles tendon measurements. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation* 2011;90:913-6.
59. D'Agostino MA, Maillefert JF, Said-Nahal R, et al. Detection of small joint synovitis by ultrasonography: the learning curve of rheumatologists. *Annals of the Rheumatic Diseases* 2004;63:1284-7.
60. Impink BG, Gagnon D, Collinger JL, et al. Repeatability of ultrasonographic median nerve measures. *Muscle & Nerve* 2010;41:767-73.

Ultrasonography in the Diagnosis of Carpal Tunnel Syndrome and Measurement of Gliding of the Median Nerve

Yi-Wei Chang,¹ Yi-Chieh Lien,¹ Yi-Shiung Horng^{1,2}

¹Department of Physical Medicine and Rehabilitation, Taipei Tzu chi Hospital, Buddhist Tzuchi Medical Foundation, Taipei, Taiwan;

² Department of Medicine, Tzuchi University, Hualien, Taiwan.

The main purpose of the diagnostic ultrasound examination for carpal tunnel syndrome (CTS) is to compensate for the inadequacies of physical examinations and nerve conduction studies and thereby reduce the false negative rate of CTS diagnosis. The cross-sectional area of the median nerve, swelling ratio, flattening ratio, and palmar bowing of the flexor retinaculum have been reported as the diagnostic criteria for CTS in ultrasonographic examinations. In addition, Doppler ultrasound has been applied to measure the blood flow of the median nerve, and dynamic ultrasound combined with a cross-correlation algorithm has been developed to measure the gliding of the median nerve and flexor digitorum tendons inside the carpal tunnel. Assessing the adhesion between the median nerve and the connective tissue inside the carpal tunnel by using ultrasound may contribute to the development of a therapeutic exercise program for patients with CTS in the future.

Most studies have attempted to establish a single diagnostic standard for all patients with CTS. However, using this standard might lead to underestimation of the variation in nerve size among patients with differences in ethnic group, sex, age, body weight, and height. Therefore, future studies should be devoted to establishing a series of diagnostic standards that account for these variations to improve the ultrasound diagnosis of CTS.

In summary, this study was conducted to review the ultrasonographic criteria used in diagnosing CTS and the innovative approaches used to evaluate the gliding of the median nerve and flexor tendons inside the carpal tunnel. In addition, this study demonstrated the difficulties of clinically applying methods involving ultrasound in diagnosing CTS, and this paper proposes suggestions for managing these difficulties. (Tw J Phys Med Rehabil 2014; 42(4): 179 - 189)

Key Words: median nerve, carpal tunnel syndrome, ultrasound, Doppler ultrasound