

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

以超音波評估正常及受傷後十字韌帶之自然頻率

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC92-2314-B-002-140-

執行期間：92年08月01日至93年07月31日

執行單位：國立臺灣大學醫學院復健科

計畫主持人：王亭貴

共同主持人：王至弘，邵耀華，王崇禮

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 9 月 1 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告書

以超音波評估正常及受傷後十字韌帶之自然頻率

**Detecting Natural Frequency of Normal and Injury
posterior Cruciate Ligament by Ultrasonography.**

計畫編號：NSC 92-2314-B-002-140

執行期限：92年8月1日至93年7月31日

主持人：王亭貴 國立台灣大學醫學院附設醫院 復健部

共同主持人：邵耀華¹、王崇禮²、王至弘 國立台灣大學 應用
力學研究所¹、國立台灣大學醫學院附設醫院 骨科部²

一、中文摘要

韌帶發炎是運動傷害常見的問題，髕骨韌帶炎的診斷，除了臨床的評估外，大部分是利用超音波或核磁共振檢查，但這些檢查只提供了形態學上的診斷，而無法瞭解韌帶的物理特性，例如是否鬆弛。本研究的目的在於找出正常髕骨韌帶是否有自然頻率（或共振頻率）的存在，於病變時共振頻率是否改變。

10名健康受試者參與本研究，首先將振動源固定於受試者之脛骨內側，加速規貼於髕骨韌帶上，振動源提供不同頻率之振動，而加速規測量不同頻率下髕骨韌帶之振幅大小，受試者於膝關節伸直，彎曲60度，彎曲90度各測量一次，結果顯示在膝關節伸直時，在 22.5 ± 0.8 Hz 產生髕骨韌帶之共振頻率，膝彎曲60度時在 23.0 ± 0.7 Hz 產生共振頻率，在膝關節彎曲90度時，在 24.0 ± 0.8 Hz 產生共振頻率，利用 paired t test 發現當膝蓋彎曲角度增加（即髕骨韌帶張力增加）時，髕骨韌帶之自然頻率統計上有意義的變高（ $P < 0.05$ ），但比較左右膝之髕骨

韌帶之自然頻率則無統計差異存在。在7名有病變之髕骨韌帶檢查並未發現其共振頻率和正常側不同。

關鍵字：自然頻率、運動醫學、髕骨韌帶、振動

二、英文摘要

Tendinitis is a common problem of athletes. Ultrasonography and Magnetic Resonance Imaging study are taken as the standard method to detect the pathology of tendinitis. However, they only provide the morphology information, and lacking of the physical characteristics. The purpose of this study attempts to define the nature frequency (resonance frequency) of patellar tendon in normal subjects, and detect the change of nature frequency in injured patellar tendon.

Ten healthy normal subjects were included in this study. The vibrator, providing a wide range frequency of vibration, was secured on the medial

tibia of the subjects. One accelerometer was fixed on the patellar tendon to measure the amplitude of vibration of patellar tendon in different frequency of vibration. The tests were performed at three position of knee joint, representing different tension of the patellar tendon. Those are full extension, flexion 60 degree, and flexion 90 degrees of the knee. The result showed that the patellar tendon, when full extended, produced the greatest vibration at 22.5 ± 0.8 Hz, which is the nature frequency. The greatest vibration occurred at 23.0 ± 0.7 Hz when knee flexed 60 degrees, and occurred at 24.0 ± 0.8 Hz when knee flexed 90 degrees. In addition, the nature frequency of patellar tendon increased significantly when the flexion angles of knee increased. Meanwhile, the right and left legs had the same nature frequency of patellar tendon. There were no frequency change in severe patients with patellar pathology.

Key words: Nature frequency, sports medicine, patellar tendon, vibration

三、前言及背景

髌骨韌帶是跳躍型運動易見的運動傷害〔1〕。臨床上所謂跳躍者的膝（Jumper's knee）就是指髌骨韌帶炎〔2-4〕。另外，在前十字韌帶受傷的患者，也常取部分的髌骨韌帶來修補它，而造成髌骨韌帶的構造受損，甚至影響其強度〔5〕。對於髌骨韌帶炎的診斷，過去都依據臨床的評估，雖

然有一定的可靠性，但缺乏客觀的證據。

近年來，超音波機器因為軟體及硬體的進步，高頻率的探頭提高影像的解像力，強大的中心處理能力，使得即時的影像可獲得，使得超音波於診斷骨骼肌肉系統病變越來越重要。超音波檢查於偵測膝部的病變扮演重要的角色，它被利用來診斷軟骨、側韌帶、肌肉、滑液囊及十字韌帶等病變〔6-7〕。超音波非侵入性、沒有放射線、檢查費用較低、可進行動態檢查，這些優點都是其他機器所不及。

利用超音波來診斷髌骨韌帶病變的文獻，到目前為止已有許多〔8-12〕。但是這種影像檢查只能進行型態上或解剖上的診斷，例如：我們可以知道是否髌骨韌帶全部斷裂或只是部分斷裂〔13〕，是否有腫脹及血流改變，但卻沒有辦法瞭解髌骨韌帶之生理特性或者叫材料特性。而且，超音波影像上髌骨韌帶的病變和臨床的相關性則仍有疑慮〔10-12, 14〕。有些患者雖然沒有髌骨韌帶的斷裂但由於反覆牽引髌骨韌帶變的非常鬆弛，因此，雖然影像上沒有斷裂，但在功能上便有缺損，此時不管是超音波或核磁共振都沒有辦法診斷出來〔15〕。

任何物質都有其材質的特性，例如：鋼鐵較硬，橡皮較軟；骨頭較硬、肌腱較軟。一般而言我們最常使用的參數便是材料 E 值（Young's modulus，楊氏係數）而各個物質在 E 值之間的差異性，便可代表各個物質本身的材質的特性，亦可說是機械特性，這也就是說：「當一種物質的 E 值有了變化時，也就代表著此物質材質有了變化」，而在臨床醫學診斷方面，這種變

化的情形，便是很有用的「診斷工具」。

20 世紀後期對於人體方面的研究，不外乎是找出人體各個組織的機械特性，而觀察 E 值的大小便是一個重要的指標。舉凡活體 (In vivo)、體外 (In vitro)、侵入式 (Invasive)、非侵入式 (Non-invasive)、硬組織、軟組織，絕大部分都有很多有貢獻的研究產生。然而在活體方面：非侵入式且非破壞性的軟組織方面研究，幾乎是沒有。

本研究的目的是在於利用震動器振動脛骨，再以加速度規偵測脛骨韌帶的振動，將資料擷入電腦處理分析，求取正常脛骨韌帶之自然頻率，並接續檢查脛骨韌帶炎之脛骨韌帶及部分斷裂之脛骨韌帶之自然頻率並追蹤其變化，以尋求新的非侵入性評估韌帶特性的方法。

四、材料及方法

共 10 名健康之受試參與本研究 (7 名男性，3 名女性)，受試者未有系統性疾病或膝關節受傷病史，理學檢查及常規之超音波影像檢查顯示脛骨韌帶正常。研究主持人向其說明實驗的目的與施行步驟，受試者填具實驗同意書後進行。

受試者採仰臥，膝關節伸直，踝關節處自然位置，將振動源放置於脛骨內源，使得脛骨產生振動，帶動脛骨韌帶振動，將加速規貼於脛骨韌帶，接受由脛骨韌帶產生的振動，而進行資料分析〔圖一〕。受試者接著將膝蓋置於自製的固定架上，將膝關節彎曲 60 度，重覆振動頻率的測量，將

受試者膝蓋彎成 90 度，重覆測量〔圖二〕。

實驗步驟：

1. 使用電源供應器供電給振動馬達，以不同的電壓值輸出，讓振動馬達產生不同的振盪頻率。
2. 先用高頻的振盪，振動脛骨韌帶約 1 分鐘。(preconditioning)
3. 利用加速度計再配合卜力葉轉變公式 (FFT) 來量測振盪馬達之振動頻率 f_{forced} 。
4. 紀錄 FFT 模組下，加速度計之振幅大小，用來決定振動馬達傳入硬組織中的「能量大小」。
5. 利用加速規可測得脛骨韌帶之振動大小。

理論上，當振動頻率 f_{forced} 達到脛骨韌帶「自身」之自然頻率 f_n 時，即為「共振狀態」。此時在加速規測得之訊號源觀察下，其速度變化應是劇烈的。

圖一：受試者振動馬達及加速規所擺放位置



圖二：受試者以木架固定其膝關節角度，測量髕骨韌帶於 0 度，60 度及 90 度之自然頻率



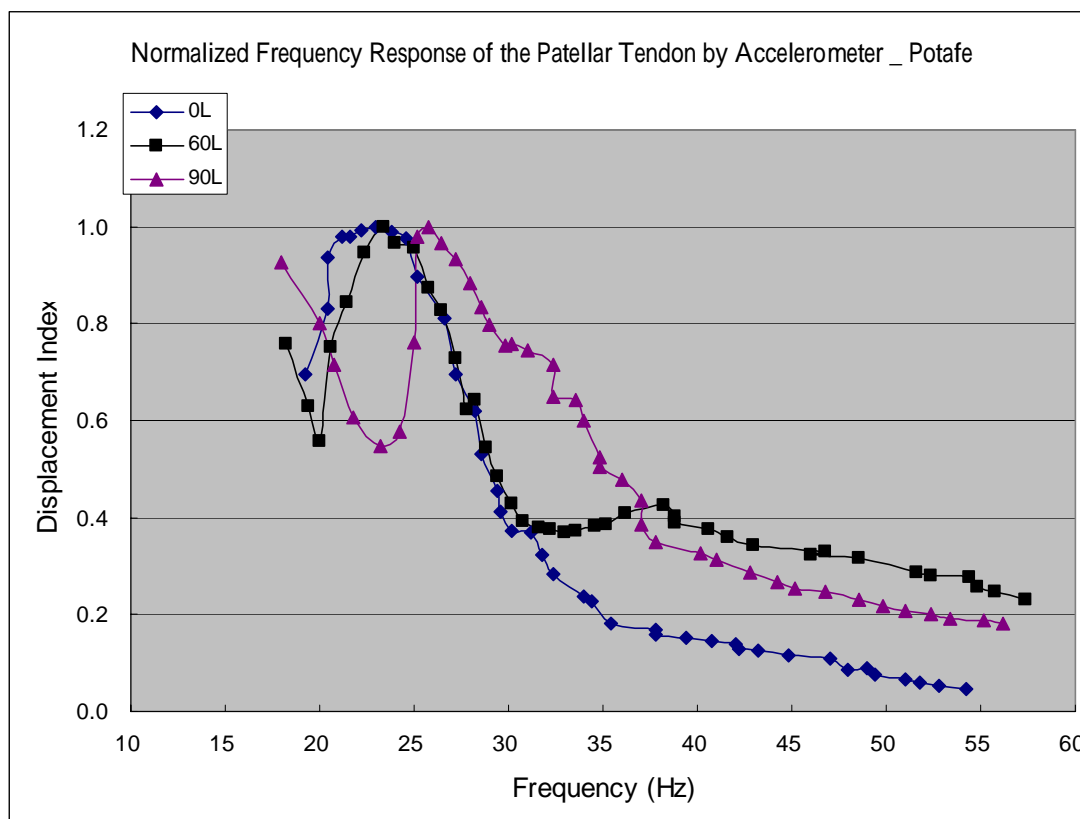
五、結果

圖三表示的一位受試者其髕骨韌帶共振頻率的情形，由圖中我們可以發現當膝關節彎曲的角度增加時，則髕骨韌帶的共振頻率會往高頻轉移。表一則列出 10 位受試者兩腳於不同角度下的共振頻率，於 0 度時其右腳共振頻率平均為 22.5 ± 0.8 Hz，於 60 度時其共振頻率為 23.0 ± 0.7 Hz，於 90 度時其共振頻率為 24.0 ± 0.8 Hz。由 0 度到 90 度時髕骨韌帶之共振頻率有統計差異的增加 ($P < 0.05$)，比較左腳及右腳之共振頻率時，兩腳髕骨韌帶之共振頻率並無差異。

另有 4 名患者臨床上診斷為髕骨韌帶

炎，且超音波檢查發現於疼痛側之髕骨韌帶有明顯腫脹及回音下降現象，比較兩側之共振頻率時，發現左右兩側並無差異（表二），但正常腳於膝彎曲角度增加時，其共振頻率會增高，但受傷的腳則無此現象，特別是由 60° 增至 90° 時。有三名因十字韌帶受傷而取用部分髕骨韌帶修補患者，其髕骨韌帶於超音波檢查上有明顯的變厚（結疤組織），亦接受檢查，但兩腳之共振頻率並無差異（表三）。

圖三：受試者於 0 度，60 度及 90 度所測得之振動情形。(縱軸為振幅大小，橫軸為振動頻率)



表一：正常受試之髕骨韌帶共振頻率

受試	R(Hz)			L(Hz)		
	0°	60°	90°	0°	60°	90°
1#	22.6	23.4	22.6	23.6	24.4	25.2
2#	21.8	23.4	22.6	21.2	22.6	22.2
3#	22	23.4	24.2	21.4	22.6	23.4
4#	21.6	22.2	24	24	22.2	23.2
5#	22.2	22.4	24	22	22.2	23.6
6#	23.2	23	24.6	22.6	23.2	24.2
7#	23	22.8	25.2	23.2	22.2	23.6
8#	21.4	22.2	24.4	22.4	23.4	24.4
9#	23.4	22.8	24.4	21.2	24.2	25.4
10#	23.8	24.4	24.6	23	22.8	24.4
mean	22.5	23	24.06	22.46	22.98	23.96
SD	0.82	0.68	0.84	1.00	0.81	0.96
P 值 of angle	0.03	0.01	0.00	0.12	0.00	0.00
P 值 of R-L	0.46	0.48	0.40			

表二：髕骨韌帶炎患者之共振頻率

	受傷側			正常側		
	0°	60°	90°	0°	60°	90°
1#	22	24.6	24.8	23.4	24.2	25.2
2#	22.8	24	24.6	22.6	23.6	25
3#	22.8	23.2	25.4	21.8	24	24.6
4#	23.8	26.2	26	23.6	23.8	24.6
mean	22.85	24.5	25.2	22.85	23.9	24.85
SD	0.7371	1.2702	0.6325	0.8226	0.2582	0.3000
P 值 of angle	0.0250	0.1377	0.0008	0.0437	0.0057	0.0073
p 值 of R-L	0.5000	0.1951	0.1780			

表三：修補後髕骨韌帶之共振頻率

	受傷側			正常側		
	0°	60°	90°	0°	60°	90°
1#	20.8	20.8	23	20.8	22.8	22.2
2#	20.8	23.2	25.2	22.6	23.2	24.6
3#	23.2	23.8	24.2	22	23.4	24.6
mean	21.60	22.60	24.13	21.80	23.13	23.80
SD	1.39	1.59	1.10	0.92	0.31	1.39
P 值 of angle	0.15	0.06	0.06	0.04	0.20	0.01
P 值 of R-L	0.42	0.30	0.38			

六、討論

由本研究的初步結果可看出共振頻率（自然頻率）確實存在於人體之軟組織，以目前進行的髓骨韌帶而言，其自然頻率約為 22Hz。利用共振頻率的概念來測量身體組織的病變很早便使用於骨頭的病變〔16-17〕，包括骨質密度及骨折後癒後的情形，由於 X 光檢查對於骨折後的癒合，通常必須在骨折癒合的較後期才可偵測出，對於骨折早期是否已有癒合無法得知。Singh〔18〕等人在體外利用動物的骨頭來研究利用自然頻率來偵測骨頭癒合的角色，Singh 利用 microphone 來偵測振動振幅的大小，可得知骨頭癒合程度。Nokes 等人〔18〕在脛骨骨折的兩端接上兩個加速規，於脛骨的近端以機械性振盪器（mechanical oscillator）提供不同的振動，而由骨折的兩端接受振動的頻率，結果 Nokes 發現由同一個振動源發出的振動在兩個加速規測得的頻率並不相同。通常骨折近端所測得的頻率較高，但隨著骨折的癒合，兩組的頻率會愈來愈接近，終至相同，由此可知道骨折癒合的情形。Nokes 測得的脛骨的自然頻率介於 70-140Hz 之間。

自然頻率在骨骼系統除了可以利用偵測骨頭的癒合外，更用於偵測人工關節是否有鬆動的現象〔20-21〕。Li 等人用一個正弦波（sinusoidal wave）的振動源發出波動，在脛骨的遠端用很敏感的加速規偵測波動，利用分析波的強度及頻譜分析（spectral analysis），利用這種方式可早期偵測人工關節的鬆動。同樣的方法也可用於偵測許多骨頭和金屬的界面結合，如

人工假牙是否鬆動等〔22〕。利用自然頻率來偵測骨骼肌肉系統的病變，除了利用傳統的加速規外，也有使用超音波，利用超音波的度卜勒效應來測量骨頭的振動〔23〕，利用超音波可以偵測較深層的骨頭。

有關軟組織的共振頻率研究則非常有限〔24〕。Wakeling 等人利用振動平台及加速度計量測系統，以脈衝（pulse）及連續（continuous）振動方式測量小腿肌肉群的共振頻率，結果發現其共振頻率的範圍約落在 14.5Hz-20.0Hz 之間。由於 Wakeling 所測的為肌肉其本身的張力在受到牽引時會自我調整，故相對而言其張力應比本實驗之髓骨韌帶為小，而依據弦的理論，張力愈強則共振頻率越高，因此本研究之髓骨韌帶之共振頻率為 22-24Hz 比 Wakeling 所測之肌肉共振頻率略高，而且當膝蓋彎曲時，髓骨韌帶也會變的比較緊而造成張力變大，使得共振頻率由伸直之 22.5Hz 變成彎曲 60 度之 23Hz 及彎曲 90 度之 24Hz。

關於髓骨韌帶炎的診斷，過去除了臨床評估外，利用超音波檢查便可看到髓骨韌帶肥厚，血流增加及回音下降等現象〔4-7〕，但是 cook 等人〔11〕發現在沒有症狀的運動員的髓骨韌帶也會發現有不正常的超音波影像，而長期的追蹤並沒有發現這些有不正常超音波影像的患者有較高比例的機會於長期追蹤中受傷，因此，利用影像學來診斷韌帶受傷仍有受限。本研究發現髓骨韌帶炎的患者其受傷側其共振頻率和正常測並無不同，但於彎曲

至 90 度時（髕骨韌帶最緊時，其共振頻率似乎有增加的趨勢，是否因為受傷的組織於牽拉至 90⁰時張力較大，導致共振頻率增加，因為只有 4 名病例，不能下結論，有待進一步的研究，對於曾經被部分取出的髕骨韌帶其共振頻率也和正常側無異，同樣限於只有 3 例，很難下結論。

本研究提供新的概念利用共振頻率來診斷韌帶或肌腱的病變，初步結果顯示身體的軟組織確實有共振頻率存在，但是否有病變的韌帶或肌腱，例如韌帶發炎會使得韌帶腫脹而改變質量，造成材質改變而使得共振頻率改變，藉此偵測早期的變化，有待增加病例之探討。

七、參考文獻

1. Torstensen ET, Bray RC, Wiley JP. Patellar tendinitis: a review of current concepts and treatment. *Clin J sport Med* 1994; 4: 77-82.
2. King JB, Perry DJ, Mourad K, et al. Lesions of the patellar ligament. *J Bone Joint Surg* 1990; 72B: 46-8.
3. Khan KM, Bonar SF, Cook JL, Harcourt PR, Astrom M. Histopathology of common overuse tendon conditions: update and implications for clinical management. *Sports Med* 1999; 6: 393-408.
4. Fritschy D, Gautard RD. Jumper's knee and ultrasonography. *Am J Sports Med* 1988; 16: 637-640.
5. Wiley JP, Bray RC, Wiseman DA, Elliott PD, Ladley KO, Vale LA. Serial ultrasonographic imaging evaluation of the patellar tendon after harvesting its central one third for anterior cruciate ligament reconstruction. *J Ultrasound Med* 1997; 16:251-255.
6. Laine HR, Hajula A, Pelto kallio. Ultrasound in the evaluation of the knee and patellar region. *J Ultrasound Med* 1987; 6: 33-6.
7. Richardson ML, Sel by B, Montana MA, Mack LA. Ultrasonography of the knee. *Radiol Clin North AM* 1988; 26: 63-75.
8. Cook JL, Khan KM, Harcourt PR, et al. Patellar tendon ultrasonography in asymptomatic active athletes reveals hypoechoic regions: a study of 320 tendons. *Clin J Sport Med* 1998; 8:73-77.
9. Myllymaki T, Bondestam S, Suramo I, Cederberg A, Peltokallio P. Ultrasonography of Jumper's knee. *Acta Radiol* 1990; 31: 147-149.
10. Cook JL, Khan KM, Kiss ZS, et al. Patellar tendinopathy in junior basketball players: a controlled clinical and ultrasonographic study of 268 patellar tendons in players aged 14-18 years. *Scand J Med Sci Sports* 2000; 10: 216-20.
11. Cook JL, Khan KM, Kiss ZS, et al. Asymptomatic hypoechoic regions on patellar tendon ultrasound followup of 46 tendons. *Scand J Med Sci Spots* 2001; 11:321-7.
12. Terslev L, Qvistgaard E, Torp-Pedersen S, et al. Ultrasound

- and Power Doppler findings in jumper's knee-preliminary observations. *Eur J Ultrasound* 2001; 13: 183-9.
13. Karlsson J, Kalebo P, Goksor L, Thomee R, Sward L, Partial rupture of the patellar ligament. *Am J Sports Med* 1992; 20:390-395.
 14. Lian O, Holen KJ, Engebrestson L, Bahr R. Relationship between symptoms of Jumper's knee and the ultrasound characteristics of the patellar tendon among high level male volleyball players. *Scan J Med Sci Sports* 1996; 6: 291-296.
 15. Davies SG, Baudouin CJ, King JB, Perry JD. Ultrasound computer tomography and magnetic resonance imaging in patellar tendinitis. *Clin Radiol* 1991; 43: 52-6.
 16. Jurist JM. In vivo determination of the elastic response of bone - ulnar resonant frequency in osteoporotic diabetic and normal subjects. *Phys Med Biol* 1970; 15: 427-434.
 17. Weiss C, Gruber J, Swett R. The application of structure borne sound to the analysis of bone and fracture healing. *J Bone Jt. Surg* 1975; 57A.576.
 18. Singh VR, Yadav S, Adya VP. Role of natural frequency of bone as a guide for detection of bone fracture healing. *J Biomed Eng* 1989; 11:457-461.
 19. Nokes LDM, Mintowt-Czyz WJ, Fairclough JA, Mackie I, Howard C, Williams J. Natural frequency of fracture fragments in the assessment of tibial fracture healing. *J Biomed Eng* 1984; 6: 227-229.
 20. Li PLS, Jones NB, Gregg PJ. Loosening of total hip arthroplasty: diagnosis by vibration analysis. *J bone Joint Surg (Br)* 1995; 77-B: 640-4.
 21. Nokes LDM. The use of low-frequency vibration measurement in orthopaedics. *Proc Instn Mech Engrs* 1998; 213: 271-290.
 22. Huang HM, Pan LC, Lee SY, et al. Assessing the implant/ bone interface by using natural frequency analysis. *Oral Surg Oral Med Oral Patho Oral Radiol Endod* 2002; 90: 285-91.
 23. Flint T, Nokes L, Maheson M, Woodcock JP. Usiing the doppler effect to measure the vibration of human bones: in vitro studies. *Proc Instn Mech Egrs* 1994; 208: 127-129.
 24. Wakeling JM. Muscle activity damps the soft tissue resonance that occurs in response to pulsed and continuous vibration. *J Appl Physiol* 2002; 93: 1093-1103.