

編號：CCMP97-RD-047

太極拳對中老年人脈波頻譜之效應

郭正典、呂萬安
臺北榮民總醫院

摘要

研究目的：

據估計全世界練習太極拳的人超過一億人。太極拳運動不受時間約束，不受空間太大限制，不需設備，不費金錢，且運動傷害很少，適合推廣作為國民的健身運動，尤其適合於中老年人。對於老年人口持續成長、醫療支出不斷增加的國家，太極拳作為社區預防醫學、防止老化與復健等多方應用頗具潛力。但是，有關太極拳健身效果的科學研究仍相當缺乏。本研究希望建立太極拳的科學實證基礎，找出各種動脈脈搏波訊號在時域與頻域上的參數，以探討太極拳運動如何影響脈搏波，及這些參數與心血管系統生理變化的關係。

研究方法：

本研究擷取對照組及太極拳組各三十名受測者的脈搏波及心電圖訊號做分析。測量前先休息十分鐘，做過基本資料紀錄後進行第一次測量。太極拳運動四十分鐘，結束後三十分鐘，進行第二次測量。我們以自行撰寫的分析軟體分析脈搏波的波形，定義並計算脈波諧波的參數。比較太極拳運動前後以及兩組之間心率變異度與脈波諧波參數的差異。

結果與討論：

本次實驗的結論為太極拳運動之後與正常對照組右手食指動脈脈搏波諧波在 nPh1、nPh2、nPh7、nPh8 參數上具有顯著的差異。至於太極拳運動前後脈搏波頻譜變化卻沒有差異。右手動脈脈搏波的頻譜分析的確可看出太極拳組和對照組是有不同，且打過太極拳後，右手動脈脈搏波的頻譜會有變化。此變化的臨床意義尚待進一步研究探索。

關鍵詞：動脈、脈搏波、頻譜分析、太極拳

Number: CCMP97-RD-047

The Effect of Tai Chi Chuan on the Pulse Spectrum in the Elderly

Cheng-Deng Kuo, Wan-An Lu

Department of Research and Education, Taipei Veteran General Hospital

ABSTRACT

Aim:

There were more than one hundred million TCC practitioners in the world. TCC has many features such as no need to have special facility, equipment or instrument, can be practiced almost anytime and anywhere, low cost and low technology and minimal orthopedic complication. TCC is suitable for implementation in the community because of its value as a preventive medicine in the old persons. Only few evidence-based medicine of TCC are available. The purpose of the study was to look for the use of pulse wave analysis in TCC and the correlation between the spectral indices of pulse spectrum and cardiovascular physiology in TCC practitioners.

Method:

This study performed the power spectral analysis of arterial pulse wave and interbeat intervals taken from TCC group and control subjects through plethysmographic and ECG monitor by using the computer programme written with Mathcab software. The first recording was made after ten minutes' rest and basic data recording, then TCC was exercised for forty minutes. The second recording was performed 30 minutes after the TCC practice. The power spectral measures of the arterial pulse wave were compared between TCC practitioners and controls, and between before and after TCC exercise.

Results & Discussion:

Before TCC and 30 min after TCC, the SDRR, CVRR, and nHFP were smaller, while the nVLFP and LHR were larger in the TCC group. Before TCC, the normalized power of the 1st harmonics of right pulse (nPh1) in TCC practitioners was greater, while the nPh4 of TCC practitioners were smaller, than those of the controls. After TCC, the nPh1 and nPh2 were greater, while nPh7 and nPh8 were smaller, than those of the controls. The harmonics of right pulse were indeed different between TCC practitioners and controls both before and 30 min after TCC. TCC could change the pattern of pulse harmonics of TCC practitioners.

Keywords: artery, pulse wave, power spectral analysis, Tai Chi Chuan

壹、前言

太極拳流傳至今已有將近七百年的歷史。太極拳的來源已無確實證據可考，但民間一般相傳它是由中國南宋時期武當山武學鼻祖張三豐（生於1247年）所創立。由於武當山也是中國道教的發源地，因此武當山的武術、武學在歷代中國均佔有相當重要的地位，並且與中國道家的精神與哲學有密不可分的關係（莊朝根，1986）。隨著時間的流傳以及歷代的演變，太極拳衍生出許多不同的流派，譬如陳式太極拳、楊式太極拳、武式太極拳、孫式太極拳、吳式太極拳、簡易太極拳等。其中以陳式太極拳的歷史最久，楊式太極拳的流傳最廣，架式較複雜且運動量較高。

從健康促進的觀點而言，持續而規律的運動，可以延緩老化，並減少慢性病的發生，有「罹病壓縮」(compression of morbidity)效果(Vita, 1998)。上了年紀或患有心臟病的人並不適合競速性或接觸性的運動。適合這些人的運動應具有低衝擊力、非接觸性且運動量穩定的特性。此外，這些運動應可促進心肺功能、肌耐力、柔軟度及平衡性等健康體能要素(American College of Sports Medicine, 1998)。

太極拳是一種中國傳統武術，柔和的動作中配合腹式呼吸，十分符合「均衡性運動」的觀念，在國內頗受中老年人的喜愛。從健康促進的觀點來看，太極拳合乎經濟與方便的原則，適合在社區中推廣(黃美娟等，1993)。根據文獻報告，太極拳可以增進身體的平衡能力(Tse, 1992)、減少跌倒的機會(Wolf SL, 1996)、並且可以降低血壓及血脂肪(Xu, 1988)、以及改善內分泌、和免疫功能(Sun, 1989)。此外，太極拳還可以降低焦慮、緊張、憂鬱和情緒障礙、對心理健康也有幫助(Jin, 1989)。我國已經步入老年化的社會結構，如何增進中老年人健康，提升中老年人的生活品質，降低醫療的支出，節省醫療資源，是衛生署、醫藥界共同努力的目標。

中醫脈診是中醫臨床診斷的一項實踐方法，歷代文獻及理論經驗的資料都非常豐富。但是中醫脈診多屬於主觀與經驗的描述，欠缺較客觀明確的定量、定性的參數標準，使得中醫脈診在現代醫學中難以被廣泛使用，在臨床研究上亦難以探研發展。雖然目前有多種脈搏波型的擷取儀器被研發出來，藉以取代傳統用手指觸摸橈動脈，不同症型患者的脈搏波型也被客觀描繪出來，但是對於脈搏波型的研究、各項波型參數的研發與臨床意義的探討，對於和不同疾病是否具有臨床指標性的定性和定量分析結合，一直仍未有顯著的發展。因此，發展脈搏波客觀化、標準化的波型參數研究對於提升中醫脈診客觀診斷水準是非常重要的。

中醫脈診已有一些現代化的研究。汪叔游於1976年首先開發脈波儀，將脈波圖與電腦相結合，使脈波圖、心電圖同步顯現。汪叔游並將脈波圖

給予一次導函數可看出斜率，記錄寸、關、尺與浮、中、沉建立一套脈波判讀的標準（Wang et al, 1988）。魏凌雲（Wei et al, 1985; Wei et al, 1983）利用頻譜能量比配合脈經中寸、關、尺與臟腑間的關係作為健康參考指標，認為正常人脈波的能量都集中在 10 Hz 以下，這能量 Spectral Energy Ratios (SER) 在低頻能量(10 Hz 以下)的頻譜與較高頻(10 Hz 以上)能量比大於 100 以上時，即處於健康狀態。若比值小於 100 則為氣衰。以 SER (10) 作為健康的指數，或氣的量度，判定健康、氣盛或氣衰。王唯工(Wang WK, 1987)認為脈波是血液壓力波流經各臟腑與心臟共振狀況的綜合表現，其利用傅立葉轉換，分析由壓力轉換器取得脈波，認為不同頻率共振波的強度各與不同臟腑的健康狀態相關連。

頻譜分析法應用於數列分析是在 1960 年代開始(Kay & Marple, 1981)。功率頻譜密度分析(power spectral density analysis)是分析功率在各種不同頻率的分佈情形，其常用的計算方法有快速傅立葉轉換(fast Fourier transform, FFT)和自動迴歸模型估計(autoregressive model estimation)兩種，此兩種方法所得到的結果約略相同。傅立葉轉換是許多科學領域中重要的應用工具之一，尤其在信號處理、影像處理、量子物理等方面。傅立葉轉換是從時域到頻域互相轉化的工具。頻域分析是把隨時間變動的波動（例如心跳）間期轉換成隨頻率變動的訊號，將心跳間期的波動分解成許多不同頻率和振幅的正弦波(sine waves)而得到心跳間期的頻譜。由於任何訊號均可被拆解為頻率、振幅及相位角不等的正弦波組合，而每個正弦波最大的差異在頻率。因此，每一訊號也可表示成隨頻率改變的函數。以頻率領域描述一個訊號時，通常是以振幅的平方(Y)對頻率值(X)作圖，此圖形稱為"功率頻譜" (power spectrum)，其縱軸即為功率密度(power spectral density, PSD)(Cohen 1989)。功率頻譜曲線下面積的總和定義為總功率(total power, TP)，在個別頻率區域內曲線下的面積則為個別頻率區域的功率，例如高頻功率(high frequency power, HFP)和低頻功率(low frequency power, LFP)。通常心跳間期頻譜的頻率在 1 Hz 以下。

本研究擬將頻域分析法應用在動脈脈搏波的分析上，以研究太極拳運動前後動脈脈搏波訊號以及血液流體力學之變化。本研究的目的是找出太極拳的科學實證基礎以及動脈脈搏波的特異性參數。

貳、材料與方法

以台北市太極拳養生學會太極拳會員共六十名為樣本，依運動醫學會標準分實驗組與對照組共二組，對照組三十名（過去未曾打過太極拳），實驗組三十名（太極拳齡一年以上）。測量前先休息十分鐘，作基本資料紀錄（包括姓名、身高、體重、性別、出生年月日、太極拳齡、血壓、過去病史），然後進行第一次測量，包括血壓、心電圖以及右手橈骨動脈脈波的訊號。之後實驗組進行太極拳運動四十分鐘（採用相同的楊氏太極拳，此式太極拳共有 64 式(China Sports)。每次練習包括暖身運動 10 分鐘，練拳 20 分鐘及緩和運動 10 分鐘，打拳時，均由老師示範，並由錄音機撥放預錄的招式名稱，以求動作及時序一致，且室溫維持在 24-25° C），結束後休息三十分鐘，再進行第二次測量。對照組則在第一次測量後休息三十分鐘，再進行第二次測量。測量時受試者一律採取仰臥姿勢。

本研究首先將準備一台能量測右手食指動脈脈搏波的脈波儀 plethysmographic monitor (ML795 PowerLab/16sp, ADInstruments, Sydney, Australia) 對兩組受測者進行脈搏波型訊號的擷取。測量時將請受測者平躺，雙目閉上並盡量放鬆 5 分鐘後，以脈波儀同時記錄受測者右手橈骨動脈的脈搏波 10 分鐘，將所得到的脈搏波訊號傳送至個人電腦。由 Mathcad 軟體撰寫的程式進行快速傅立葉轉換，獲得功率頻譜圖後分析各區間功率參數定量化數值。

其次我們定義所使用的參數如下： $nPh_x = Ph_x \cdot 100/TP$ ，其中 x 是正整數，表第 x 個諧波； Ph_x 表第 x 個 harmonics 的 power， n 表 Normalized，意思是將第 x 個諧波的功率 Ph_x 標準化； TP 是 Total Power 的簡稱，它是頻譜圖裡所有諧波的功率的總合。

最後我們採用生物統計軟體 Sigmastat，以 Student's t-test 雙尾檢定比較實驗組與對照組間之差異，或實驗組與對照組兩手間的差異。我們以 $p < 0.05$ 為統計學上有意義的差異。

參、結果

本次實驗之受試者由台北市太極拳養生學會新會員 30 名（過去未曾打過太極拳）及舊會員 30 名組成（太極拳齡一年以上）。為避免人為干預，我們在所有新舊會員之中採用自由意願參加，故本次實驗共測試六十名自願者，包括 30 名太極拳實驗組及 30 名正常受試者。

表一顯示本次研究的所有受試者的基本資料，太極拳組與對照組都沒有差別。在太極拳實驗組與對照組心率變異度分析比較方面，表二顯示太極拳組未打太極拳時候， SD_{RR} (standard deviation of RR intervals)、 CV_{RR} (coefficient of variation of RR intervals)、TP (total power)、HFP (high-frequency power) 及 nLFP (normalized low-frequency power)、nHFP (normalized high-frequency power) 皆低於對照組，相反的 nVLFP (normalized very low-frequency power)、LHR (low-/high- frequency power ratio) 卻大於對照組；經過 40 分鐘打拳與 30 分鐘休息之後，對照組的 Mn RRI (mean RR intervals)、ULFP (ultra low-frequency power)、nLFP (normalized low-frequency power) 變大而 HR (heart rate) 變小，太極拳組都沒有差別，太極拳組的 SD_{RR} 、 CV_{RR} 、TP、ULFP、VLFP (very low-frequency power)、LFP (low-frequency power)、HFP、nHFP 皆低於對照組。相反的，太極拳組的 nVLFP、LHR 皆大於對照組。在心率變異度 Percentage change 的比較方面，表三顯示未打太極拳之前太極拳組的 Mn RRI、 SD_{RR} 、TP、VLFP 低於對照組，相反的太極拳組的 HR、ULFP、nLFP 大於對照組。

表四和表五比較太極拳實驗組與對照組右手脈搏波頻譜圖中的諧振波。表四顯示太極拳實驗組與對照組右手橈骨動脈脈搏波結果在 pulse harmonic 上，打拳之前後並沒有顯著的相异性，反而是對照組休息 30 分鐘之後， F_1 (frequency of harmonic 1) 至 F_8 (frequency of harmonic 8) 皆上升。表五顯示太極拳組的 nPh_1 (normalized power of harmonic 1) 大於對照組，而太極拳實驗組 nPh_4 (normalized power of harmonic 4) 小於對照組；經過 40 分鐘打拳以及 30 分鐘休息之後，太極拳組打拳之前後皆無差異，對照組前後除了 nPh_2 (normalized power of harmonic 2) 下降之外其餘皆無差別，太極拳的 nPh_1 以及 nPh_2 皆大於對照組，相反的 nPh_7 (normalized power of harmonic 7) 以及 nPh_8 (normalized power of harmonic 8) 皆小於對照組。

肆、討論

太極拳組的 SD_{RR} , CV_{RR} 及 $nHFP$ 皆顯著低於對照組，這是可以理解的。因為 $nHFP$ 代表副交感神經活性，身體愈健康則副交感神經活性愈高，因此推究其原因可能是向來身體比較不健康的人比較想要參加太極拳運動以增進身體的健康，促進身體的體適能，所以本研究之中太極拳組人的副交感神經活性較對照組來得低。

雖然太極拳組與對照組的心率變異度有相當多的差異性，但脈搏波頻譜圖裡的諧波卻大多沒有明顯差別，有差別的只是太極拳組的 nPh_1 較對照組為高，但 nPh_4 較對照組為低，顯示太極拳組人與正常人還是有差別的。太極拳運動前後脈搏波頻譜能量各項比值以及心率變異度各響指標並沒有差別，但是對照組正常人靜坐休息 30 分鐘之後前後脈搏波頻譜能量各項比值以及心率變異度各響指標具有顯著差別。這現象顯示脈搏波頻譜與心率變異度之間可能具有某種關聯，例如 F_1 至 F_8 、 nPh_2 ，至於這些參數的臨床意義為何，則有待更多研究的探討。

對照組正常人靜坐休息 30 分鐘脈搏波頻譜與心率變異度前後有差別。依照常理判斷，太極拳組運動前後之脈搏波頻譜應有所變化，至於何以太極拳運動前後脈搏波頻譜卻沒有差異，但是經過 40 分鐘運動之後、太極拳組人與對照組正常人的 nPh_1 、 nPh_2 、 nPh_7 、 nPh_8 具有統計上的差異，有必要深入探討。

依照王維工(Wang, 1991)的研究，主動脈和附在其上的器官可以產生類似共振迴路的偶合共振 (coupled oscillation)，且器官的物理狀況可以影響共振狀態及血液的分布。脈波頻譜的每一個波都和器官的共振狀態有關。利用老鼠的器官結紮、針刺、草藥來分析脈波頻譜，王維工等人(Wang et al, 1991; Yu et al, 1994; Wang et al, 1997; Hsu et al, 2005)發現肝臟、腎臟、脾臟、肺臟及胃臟分別對應到頻譜中的第一、二、三、四、五諧波。本研究在休息狀態下太極拳組的 nPh_1 較對照組為高，但 nPh_4 較對照組為低，似乎表示休息狀態下有打太極拳者肝臟的共振性質較對照組為強，但肺臟的共振性質較對照組為弱。且運動後休息 30 分鐘之後太極拳組的 nPh_1 、 nPh_2 較對照組為高，但 nPh_7 、 nPh_8 較對照組為低，顯示運動後休息 30 分鐘之後太極拳組的肝臟、腎臟共振性質會升高。至於 nPh_1 、 nPh_2 、 nPh_7 、 nPh_8 變的臨床意義為何，則有待更多研究的探討。

伍、結論與建議

本次實驗的結論為太極拳運動之後與正常對照組右手動脈脈搏波在 nPh_1 、 nPh_2 、 nPh_7 、 nPh_8 參數上具有顯著差異。至於太極拳運動前後脈搏波頻譜變化卻沒有差異。右手動脈脈搏波的頻譜分析的確可看出太極拳組和對照組有不同，且打過太極拳後，右手動脈脈搏波的頻譜會有變化。此變化的臨床意義尚待進一步研究探索。

誌謝

本研究計畫承蒙行政院衛生署中醫藥委員會計畫編號 CCMP97-RD-047 提供經費贊助，使本計畫得以順利完成，特此誌謝。

陸、參考文獻

1. 莊朝根。圖解太極拳入門。世一書局，1986。
2. 黃美娟、賴金津、藍青。太極拳之實際保健效果。復健醫誌，1993；3：928-8。
3. 汪叔游。中醫脈診儀配合心電圖及一次導函數在 16 位元 IBM 之發展。中華民國中醫診斷學脈學研討會。台中。1988 年，頁 91-113。
4. American College of Sports Medicine position stand on exercise and physical activity for older adults. *Med Sci Sports Exerc* 1998; 30: 992-1008.
5. Chen CY, Wang WK, Kao T, Yu BC, Chiang BC. Spectral analysis of radial pulse in patients with acute, uncomplicated myocardial infarction. *Japanese Heart Journal* 1993; 34:131-43.
6. China Sports: Simplified “Taijiquan”. 2nd ed. Beijing: China Publications Center, 1983: 1-5.
7. Cohen PR, The Evaluation and Case-Based Reasoning. TProceedings of the Case-Based Reasoning Workshop 1989, p.168-172.
8. Hsu TL, Chao PT, Hsiu H, Wang WK, Li SP, Wang YY. Organ-specific ligation-induced changes in harmonic components of the pulse spectrum and regional vasoconstrictor selectivity in Wistar rats. *Exp Physiol* 2005, 91(1): 163-170.
9. Jin PT. Changes in heart rate, noradrenaline, cortisol and mood during Tai Chi. *J Psychosom Res* 1989; 33: 197-206.
10. Kay SM, Marple SL Jr. Spectrum Analysis- A modem perspective. *Proceedings of the IEEE* 1981; 69(11):1380-1419.
11. Lee CT, Wei LY. Spectrum analysis of human pulse. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 1983; 30(6):348-52.
12. Lee CT, Wei LY. Spectrum analysis of human pulse. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 1983;30:348-52. *IEEE Engineering in Medicine & Biology Magazine* 1999;18:73-5.
13. Lu WA, Cheng CH, Lin Wang YY, Wang WK. Pulse spectrum analysis of hospital patients with possible liver problems. *American Journal of Chinese Medicine* 1996;24:315-20.
14. Lu WA, Wang YY, Wang WK. Pulse analysis of patients with severe liver problems. Studying pulse spectrums to determine the effects on other organs. *IEEE Engineering in Medicine & Biology Magazine* 1999;18:73-5.

15. Sun XS, Xu YG, Xia YJ. Determination of E-rosette-forming lymphocyte in aged subjects with Tai Ji Quan exercise. *Int J Sports Med* 1989; 10: 217-219.
16. Tse SK, Bailey DM. Tai Chi and postural control in the well elderly. *Am J. Occup Ther* 1992; 46: 295-300.
17. Vita AJ, Terry RB, Hubert HB, et al. Aging, health risks, and cumulative disability. *N Engl J Med* 1998; 338: 1035-1041.
18. Wang WK. The Research for the Modernization of Chinese Medicine. Proc. of Annual Meeting of the Chinese Institute of Engineers, Dec 1987; p.110.
19. Wang YY, Chang SL, Wu YE, Hsu TL, Wang WK. Resonance: The missing phenomenon in hemodynamics. *Circ Res* 1991, 69:246-249.
20. Wang YY, Chang CC, Cheng JC, Hsiu H, Wang WK. Pressure wave propagation in arteries: A model with radial dilatation for simulating the behavior of a real artery. *IEEE Eng Med Biol Mag* 1997, 16(1):51-54.
21. Wei LY, Chow P. Frequency distribution of human pulse spectra. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 1985; 32(3):245-6.
22. Wei LY, Winchester T. Electronic diagnoser of arterial pulse. *Journal of Medical Engineering & Technology* 1985; 9(4):183-6.
23. Wolf SL, Barnhart HX, Kuntner NG, et al. Reducing frailty and falls in older persons: an investigation of Tai Chi and computerized balance training. *J Am Geriatr Soc* 1996; 44: 489-497.
24. Xu SW, Fan ZH. Physiological studies of Tai Ji Quan in China. *China Sports Med* 1988; 28: 70-80.
25. Yu G.L, Wang YL, Wang WK. Resonance in the kidney system of rats. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 1994, 267: H1544-H1548.

柒、圖、表

Table 1. Basic characteristics of the controls and TCC practitioners.

	Control (n = 30)	TCC (n = 30)	P value
Gender (M/F)	11/19	19/11	1.000
Age (years)	49.9 ± 9.4	53.6 ± 10.7	0.198
Height (cm)	163.7 ± 9.3	163.7 ± 10.1	0.790
Weight (kg)	63.9 ± 10.8	63.0 ± 12.2	0.813
BMI	23.7 ± 2.6	23.4 ± 3.0	0.460
<i>Baseline</i>			
SBP (mmHg)	119.3 ± 14.9	119.0 ± 12.7	0.947
DBP (mmHg)	68.7 ± 10.4	72.8 ± 8.9	0.089
MABP (mmHg)	85.6 ± 10.8	88.2 ± 9.1	0.258
PP (mmHg)	50.5 ± 11.6	46.2 ± 10.5	0.139
<i>30 min after TCC</i>			
SBP (mmHg)	119.1 ± 14.4	114.6 ± 12.8	0.363
DBP (mmHg)	72.4 ± 9.9	72.1 ± 7.8	0.802
MABP (mmHg)	88.0 ± 10.7	86.3 ± 8.2	0.657
PP (mmHg)	46.7 ± 9.4	42.5 ± 11.0	0.098

Data presented are Mean±SD. * p<0.05

SBP, systolic blood pressure; DBP, diastolic blood pressure; MABP, mean arterial blood pressure; PP, pulse pressure

Table 2. HRV measures of the controls and TCC practitioners.

Measures	Control (n = 30)	TCC (n = 30)	P value
<i>Baseline</i>			
Mn RRI (ms)	873.8 (756.4 – 977.2)	917.4 (847.0 – 992.3)	0.167
HR (bpm)	68.7 (61.4 – 79.3)	65.4 (60.5 – 70.8)	0.167
SD _{RR} (ms)	53.7 (44.3 – 65.6)	43.8 (29.9 – 54.5)	0.013
CV _{RR} (%)	5.9 (5.2 – 7.7)	4.4 (3.7 – 6.0)	<0.001
TP (ms ²)	1137.0 (692.2 – 1838.0)	749.4 (224.4 – 1344.0)	0.024
ULFP (ms ²)	108.3 (53.760 – 235.6)	114.2 (52.2 – 167.4)	0.610
VLFP (ms ²)	224.8 (109.7 – 401.2)	183.7 (122.5 – 304.7)	0.501
LFP (ms ²)	359.6 (187.1 – 511.8)	248.5 (62.7 – 461.6)	0.066
HFP (ms ²)	494.2 (325.4 – 665.4)	173.7 (56.7 – 582.0)	0.002
nVLFP (nu)	21.0 (15.6 – 25.9)	31.6 (18.6 – 55.9)	0.003
nLFP (nu)	29.1 (26.1 – 32.7)	24.5 (12.7 – 32.3)	0.045
nHFP (nu)	49.8 (39.9 – 56.3)	35.2 (25.8 – 50.6)	0.012
LHR	0.61 (0.49 – 0.89)	1.04 (0.70 – 2.08)	<0.001
<i>30 min after TCC</i>			
Mn RRI (ms)	929.4 (840.2 – 1082.0)*	929.7 (854.8 – 996.4)	0.569
HR (bpm)	64.6 (55.4 – 71.4)*	64.5 (60.2 – 70.2)	0.569
SD _{RR} (ms)	63.7 (53.2 – 71.5)	40.1 (30.3 – 52.7)	<0.001
CV _{RR} (%)	6.8 (5.8 – 7.1)	4.4 (3.3 – 5.8)	<0.001
TP (ms ²)	1707.0 (967.6 – 2001.0)	609.4 (348.6 – 1083.0)	<0.001
ULFP (ms ²)	195.1 (115.8 – 389.5)*	108.0 (74.3 – 217.5)	0.024
VLFP (ms ²)	273.2 (195.9 – 437.8)	185.4 (118.8 – 212.9)	0.006
LFP (ms ²)	483.8 (292.4 – 657.9)	200.2 (98.0 – 367.7)	<0.001
HFP (ms ²)	662.0 (453.7 – 892.6)	178.8 (61.7 – 484.8)	<0.001
nVLFP (nu)	21.3 (16.3 – 26.0)	29.2 (19.9 – 47.3)	0.005
nLFP (nu)	30.0 (27.3 – 35.6)*	33.4 (25.6 – 39.7)	0.348
nHFP (nu)	48.5 (39.6 – 56.1)	31.5 (22.1 – 45.3)	0.001
LHR	0.66 (0.49 – 0.78)	0.95 (0.62 – 2.15)	0.008

Values are numbers of patients or medians (25 percentile~75 percentile).

*P<0.05 vs. Baseline

Mn RRI, mean RR intervals; HR, heart rate; SD_{RR}, standard deviation of RR intervals; CV_{RR}, coefficient of variation of RR intervals; TP, total power; ULFP, ultra low-frequency power; VLFP, very low-frequency power; LFP, low-frequency power; HFP, high-frequency power; nVLFP, normalized very low-frequency power; nLFP, normalized low-frequency power; nHFP, normalized high-frequency power; LHR, low-/high- frequency power ratio

Table 3. Percentage change in HRV measures 30 minutes after TCC.

Measures	Control (n = 30)	TCC (n = 30)	P value
<i>Baseline</i>			
%Mn RRI(%)	8.7 (5.8 – 14.9)	2.2 (-0.5 – 6.3)	<0.001
%HR (%)	- 8.0 (-13.0 – -5.6)	-2.2 (-5.9 – 0.5)	<0.001
%SD _{RR} (%)	14.1 (-1.1 – 27.5)	1.03 (-6.7 – 6.8)	0.014
%CV _{RR} (%)	2.9 (-4.5 – 15.6)	-0.5 (-8.7 – 6.5)	0.206
%TP (%)	25.7 (-4.3 – 80.8)	2.9 (-22.1 – 29.1)	0.010
%ULFP (%)	-72.4 (-88.6 – -42.2)	8.72 (-34.7 – 164.1)	<0.001
%VLFP (%)	30.7 (-5.7 – 97.4)	-17.4 (-35.8 – 32.3)	0.016
%LFP (%)	29.1 (3.4 – 66.4)	4.5 (-28.5 – 65.3)	0.077
%HFP (%)	29.7 (5.7 – 65.6)	16.2 (-18.0 – 70.6)	0.137
%nVLFP (%)	4.9 (-11.5 – 18.6)	1.8 (-24.4 – 26.5)	0.579
%nLFP (%)	-3.0 (-11.3 – 18.7)	34.3 (-3.5 – 195.7)	0.018
%nHFP (%)	0.6 (-10.7 – 11.6)	-8.8 (-38.4 – 25.2)	0.258
%LHR (%)	-4.8 (-18.0 – 36.4)	-4.5 (-35.0 – 26.8)	0.340

Values are numbers of patients or medians (25 percentile~75 percentile).

*P<0.05 vs. baseline

Table 4. Frequency of harmonics of right pulse in both groups of subjects.

Measures	Control (n = 30)	TCC (n = 30)	P value
<i>Baseline</i>			
F ₁ (Hz)	1.14 (0.99 – 1.32)	1.10 (1.01 – 1.21)	0.416
F ₂ (Hz)	2.30 (2.01 – 2.59)	2.19 (2.01 – 2.42)	0.395
F ₃ (Hz)	3.41 (3.12 – 3.82)	3.25 (2.96 – 3.58)	0.290
F ₄ (Hz)	4.58 (4.00 – 5.27)	4.34 (4.04 – 4.88)	0.464
F ₅ (Hz)	5.86 (5.14 – 6.52)	5.53 (5.00 – 6.12)	0.268
F ₆ (Hz)	6.85 (6.15 – 7.82)	6.59 (6.05 – 7.08)	0.258
F ₇ (Hz)	7.88 (7.20 – 9.14)	7.55 (6.98 – 8.56)	0.234
F ₈ (Hz)	8.98 (8.10 – 10.45)	8.55 (8.17 – 9.72)	0.186
<i>30 min after TCC</i>			
F ₁ (Hz)	1.06 (0.90 – 1.18)*	1.06 (0.99 – 1.20)	0.333
F ₂ (Hz)	2.15 (1.79 – 2.39)*	2.15 (1.97 – 2.41)	0.264
F ₃ (Hz)	3.17 (2.69 – 3.57)*	3.22 (3.02 – 3.50)	0.304
F ₄ (Hz)	4.24 (3.62 – 4.72)*	4.36 (3.91 – 4.70)	0.255
F ₅ (Hz)	5.27 (4.51 – 5.88)*	5.43 (5.02 – 5.91)	0.228
F ₆ (Hz)	6.35 (5.54 – 7.06)*	6.45 (5.87 – 7.09)	0.290
F ₇ (Hz)	7.36 (6.36 – 8.37)*	7.51 (7.01 – 8.45)	0.271
F ₈ (Hz)	8.66 (7.27 – 9.48)*	8.74 (7.89 – 9.56)	0.297

Values are numbers of patients or medians (25 percentile~75 percentile).

*P<0.05 vs. Baseline F_x, frequency of harmonic x.

Table 5. Normalized power of harmonics of right pulse in both groups of subjects.

Measures	Control (n = 30)	TCC (n = 30)	P value
<i>Baseline</i>			
nPh ₁	40.6 (30.1 – 69.3)	76.3 (58.4 – 81.9)	<0.001
nPh ₂	9.6 (8.0 – 14.1)	10.3 (7.9 – 12.0)	0.830
nPh ₃	1.9 (1.6 – 3.0)	1.7 (1.1 – 2.3)	0.171
nPh ₄	0.55 (0.34 – 0.96)	0.36 (0.23 – 0.52)	0.013
nPh ₅	0.21 (0.16 – 0.36)	0.25 (0.15 – 0.42)	0.959
nPh ₆	0.06 (0.032 – 0.19)	0.11 (0.05 – 0.14)	0.751
nPh ₇	0.03 (0.01 – 0.08)	0.02 (0.01 – 0.04)	0.355
nPh ₈	0.01 (0.01 – 0.04)	0.01 (0.01 – 0.02)	0.511
<i>30 minutes after TCC</i>			
nPh ₁	38.1 (28.7 – 55.8)	77.7 (63.8 – 83.0)	<0.001
nPh ₂	6.5 (3.8 – 10.8)*	10.5 (7.9 – 11.3)	0.038
nPh ₃	1.8 (0.9 – 2.9)	1.6 (1.2 – 2.8)	0.706
nPh ₄	0.37 (0.23 – 0.84)	0.28 (0.18 – 0.54)	0.223
nPh ₅	0.23 (0.12 – 0.35)	0.21 (0.16 – 0.34)	0.900
nPh ₆	0.12 (0.05 – 0.22)	0.09 (0.47 – 0.19)	0.673
nPh ₇	0.06 (0.02 – 0.09)	0.02 (0.01 – 0.04)	0.029
nPh ₈	0.02 (0.01 – 0.05)	0.01 (0.01 – 0.02)	0.015

Values are numbers of patients or medians (25 percentile~75 percentile).

*P<0.05 vs. Baseline nPh_x, normalized power of harmonic x.