

持拍運動對延緩血管老化之生理效益探討

周峻忠¹、趙曉涵²、陳美莉²、林信甫^{2*}

摘要

背景：心血管疾病為造成死亡的主要危險因子之一，對高齡社會造成相當的社會經濟負擔；目前規律運動為降低相關死亡率有效策略，而持拍運動參與是否也具有類似健康效益，目前仍不清楚。**目的：**本文分別針對有氧運動對於血管功能的影響，持拍運動生理特徵、與對促進血管健康可能機制進行探討。**結語：**規律有氧運動參與對於血管功能普遍具有正面效益；持拍運動比賽兼具有氧與無氧的中高強度間歇運動特徵。我們預試的研究發現，長期從事高網球運動量者，動脈功能較佳，初步顯示持拍運動參與對血管功能可能也具有益處。未來可進一步分析不同持拍運動對心血管健康之效益與差異，提供不同運動型態參與的科學證據。

關鍵詞：心血管疾病、血管功能、脈波傳導速率

Racket Sport Participation on Delaying Vascular Aging

Chun-Chung Chou¹, Hsiao-Han Chao², Mei-Li Chen², Hsin-Fu Lin^{2*}

Abstract

Background: Cardiovascular disease is a worldwide leading cause of death, resulting in a tremendous increase of social-economical burden to aged society in the near future; habitual exercise provides an effective strategy in lowering relative mortality as the present literature suggested. However, it is still unclear the benefits and efficacy resulted from racket sport participation on vasculature. **Purpose:** In the present paper, we reviewed relevant topics from the current literature, including exercise and vascular function, physiological characteristics of racket sports and its potential mechanisms on vascular health. **Summary:** We concluded habitual aerobic exercise is favorable for vascular function; racket sports, on average, are of moderate-to-high interval exercises that combine both aerobic and anaerobic components. Take tennis sport for example, our pilot study showed people who highly participate in tennis develop better arterial function, indicating racket sports might be also favorable for vasculature. Future study regarding the effects and the efficacy of different types of racket sport participation on cardiovascular functions is warranted.

Keywords: cardiovascular disease, vascular function, pulse wave velocity

Submitted for publication: 2017.1; Accepted for publication: 2017.4

1 國立臺北科技大學體育室；Physical Education Office, National Taipei University of Technology

2 國立臺灣大學體育室；Department of Athletics, National Taiwan University

* Corresponding author: 林信甫 E-mail: hsinfu@ntu.edu.tw

壹、問題背景

現代科技醫療的進步使得人類平均壽命逐年增加，伴隨人口生育率的下降，人口結構老化成為臺灣與世界上其他國家所面臨的問題。據我國內政部統計，至民國104年底止，65歲以上佔總人口比例12.5%，老化指數為92.2%，維持多年來上升趨勢（內政部統計年報，2016）。老化是生命週期中必須面對的階段，而在老化的過程中，生理上會面臨諸多挑戰，從一些經典的回顧性文獻可知，老化過程所造成的負面影響包含著肌肉量流失（sarcopenia）（Doherty, 2003）、骨密度降低、動脈功能降低（Najjar, Scuteri, & Lakatta, 2005）與代謝適能衰退（Petersen et al., 2003; Ryan, 2000）等。

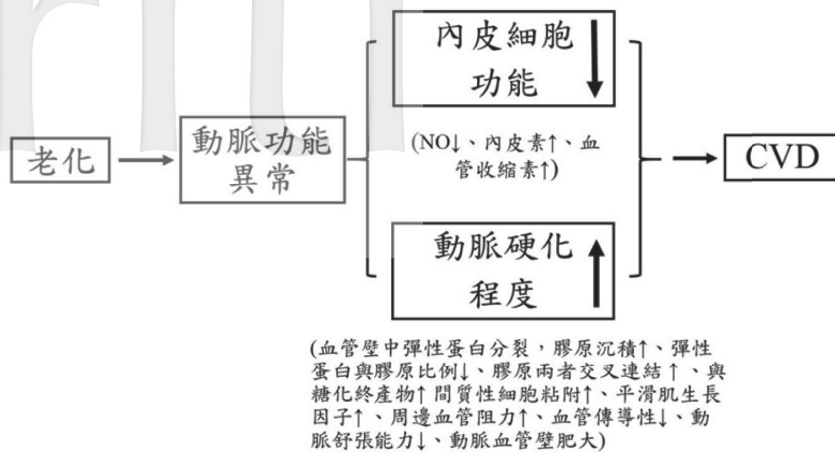
老化為心血管疾病（cardiovascular diseases, CVD）的重要危險因子，人體隨著年齡的增加，血管結構性的改變，造成動脈彈性降低，使得罹患心血管疾病機率也隨之提高（Lakatta & Levy, 2003; Najjar et al., 2005）。調整生活型態能夠預防或減緩老化動脈彈性流失的程度（van Baak, 1998），其中增加身體活動量或規律運動為促進心血管功能的有效方法之一（Tanaka & Safar, 2005），但目前有關規律運動對於血管功能促進效益的文獻，皆僅限於有氧與阻力運動形態，對於擁有廣大運動參與人口的持拍運動（racket sports），長期參與對於血管功能的生理效益，目前文獻有限，有趣的是最新英國的流行病學研究顯示，持拍運動也能有效降低全因（all-cause）與心血管疾病死亡率（Oja et al., 2016），值得進一步探究其機制。本文除了回顧老化血管功能與運動的相關文獻外，也針對持拍運動的生理特徵進行整理，探討此類型運動對於血管功能可能的健康效益與研究方向。

貳、老化與心血管疾病

臺灣地區的統計資料發現，心血管疾病是造成國人死亡的主要因素之一，另外與

CVD相關疾病如心臟病、腦血管疾病、糖尿病以及高血壓等，分別占國內十大死因之第二、三、五以及第八位（衛生福利部統計處，2016），然而動脈異常則往往是造成CVD的主要因素（Lakatta, 2003）。影響動脈硬化的因素則包含：血壓、肥胖、慢性發炎程度與運動程度（Benetos et al., 2002; McEniery, Wallace, Mackenzie, Cockcroft, & Wilkinson, 2004），但年齡（老化）則是影響動脈硬化的最主要因素（Seals, DeSouza, Donato, & Tanaka, 2008），並同時對動脈的功能與結構產生負面的改變（Roy, 1881）。先前研究指出，老化過程會對血管造成功能上與結構上兩者的負面變化，當動脈中內皮功能失調[一氧化氮（nitric oxide, NO）生成下降（血管擴張因子）、內皮素與血管收縮素分泌上升]，則會引起收縮壓與平均動脈壓的上升增加（Davies & Struthers, 2003; Hirata, Kawakami, & O'Rourke, 2006）；此外，動脈壁的成分改變，包含血管壁中彈性蛋白分裂，膠原沉積增加、彈性蛋白與膠原比例的降低、膠原兩者交叉連結（collagen cross linking）與糖化終產物（advanced glycation end products, AGEs）的增加，間質性細胞粘附分子（interstitial cell adhesion molecules）以及平滑肌生長因子增多所造成的肥大，另外包括周邊血管阻力上升、血管傳導性下降、動脈舒張能力降低、動脈血管壁肥大與動脈硬化（Blacher, London, Safar, & Mourad, 1999; Lind & Lithell, 1993; Nosaka, Tanaka, Watanabe, Sato, & Matsuda, 2003），這些因素皆是老化過程因動脈彈性功能降低而造成動脈硬化的主要機制（Lakatta, 2003; Nosaka et al., 2003）（如圖一所示）。

流行病學研究證據顯示，血液脂質代謝指標[例如：總膽固醇（total cholesterol, CHOL）、低密度脂蛋白（low density lipoprotein, LDL）、三酸甘油脂（triglyceride, TG）等]增加與心血管疾病風險提高有顯著關聯性，而高密度脂蛋白（high density lipoprotein, HDL）提升則能降低動脈硬化程度（Norman, Bild, Lewis, Liu,



圖一 老化與心血管疾病的致病機轉

& West, 2003)。此外，研究證據亦顯示老化過程中伴隨低度慢性系統性發炎與氧化壓力提高 (Guarner & Rubio-Ruiz, 2015)，會增加促發炎細胞激素分泌，包括：白介素-6 (interleukin-6)、腫瘤壞死因子- α (tumor necrosis factor- α)、誘發型一氧化氮合成酶等 (induced- nitric oxide synthase, iNOS) (Chung et al., 2009)，並進一步造成動脈硬化並引起高血壓發生 (Guarner & Rubio-Ruiz, 2015; Mahmud & Feely, 2005; Roman et al., 2005; Vlachopoulos et al., 2005)。此外，老化過程也會造成心血管功能保護蛋白含量下降；最新的研究發現老化會降低血清adropin濃度，由於該蛋白質可調控血管內皮細胞一氧化氮合成酶 (endothelial nitric oxide synthase, eNOS) 活性與NO產量並促進血管舒張，故該蛋白濃度降低會使血管更容易發生硬化 (Fujie et al., 2017; Fujie et al., 2015)。從上述的說明可了解：老化會導致動脈硬化，而動脈硬化則是造成CVD三者之間的關係。

參、規律有氧運動的血管生理效益

相較於老化過程對動脈所造成的負面影響，規律的身體活動，特別是有氧運動，已被證實可用來提升血管功能並進而降低CVD

的發生並減低死亡率 (Sui et al., 2007)，相關的機轉包含，運動具有降低運動後血壓之效果 (post exercise hypotension, PEH)，並可促進肢段血流、降低週邊血管阻力、降低高敏感度C反應蛋白 (high sensitivity C reactive protein) 濃度、增進NO的釋放、降低彈性蛋白與膠原交叉連結的形成；另外，降低體內同半胱胺酸濃度 [同半胱胺酸 (homocysteine) 過高是動脈硬化的一個獨立危險因子] (Fujie et al., 2016; Nosarev, Smaglyi, Anfinogenova, Popov, & Kapilevich, 2014; Plaisance & Grandjean, 2006; Whyte & Harold Laughlin, 2010) 也是規律運動所帶來的好處。而從介入性的研究資料指出，透過一段時間有氧性運動參與後 [約13.5週，每週5.3次，每天42分鐘，強度約73%最大心跳率 (maximal heart rate, HRmax)]，動脈順應性顯著提升，而動脈硬化程度則顯著下降 (Tanaka et al., 2000)。單純就規律運動 (regular exercise) 的參與來探討，除了具有提升身體適能的效果之外，並可降低老化過程中CVD的發病率 (Blair et al., 1989; Powell, Thompson, Caspersen, & Kendrick, 1987)，先前研究資料指出，老年族群要獲得規律運動對動脈硬化降低的效益，每週應至少參與2次的運動 (Cameron & Dart, 1994)。另外透過規律運動的參與對CVD所帶來的保護機制則包含對血脂、血糖-胰島素代謝 (Ryan,

2000; Shephard & Balady, 1999) 以及降低血壓與減少動脈功能與結構的負面變化(動脈順應性增加, 或是動脈硬化程度降低)(Tanaka, DeSouza, & Seals, 1998; Tanaka et al., 2000)。另一方面, 先前資料已證實, 胰島素阻抗(insulin resistance, IR)會因老化過程而上升, 但規律運動的參與卻是可以減少老化過程中IR上升的現象(Ryan, 2000), 而研究資料顯示 IR 是動脈硬化的主要決定因子之一(Urbina, Gao, Khoury, Martin, & Dolan, 2012); 運動的介入或參與對IR的影響, 研究證據在一般人、老年族群、肥胖者或是糖尿病患者, 皆具有降低IR的效果(Chang, Liu, Zhao, Li, & Yu, 2008; Kishimoto et al., 2002; Lim et al., 2008), 而且IR會因為停止訓練後則又呈現上升的現象(Fatouros et al., 2005; Ratel et al., 2012)。另外在運動強度的研究方面指出, 以一般健康女性為研究對象, 經過15週的腳踏車運動訓練介入後, 發現高強度運動訓練比低強度運動訓練, 更能有效降低安靜狀態下的胰島素濃度(Trapp, Chisholm, Freund, & Boutcher, 2008)。另外過往的研究中則是發現, 經過6個月的運動訓練, 相同都是約65-80% $\dot{V}O_{2\text{ peak}}$ 的運動強度下, 高運動量(每週約20哩的慢跑)比低運動量(每週約12哩的慢跑)更能顯著提升胰島素敏感性(~85% vs. ~40%)(Houmard et al., 2004)。從相同年齡(age-matched)的研究結果顯示, 65至70歲的老年族群, 有固定運動習慣模式且規律參與者, 比起對照組, 能有較佳的心臟功能與最大攝氧量, 這顯示運動參與可改善老化對心血管的負面影響(Schmidt et al., 2013)。在7萬多名停經後婦女的資料顯示, 身體活動量(不論是走路或是激烈的運動)的增加, 可降低心血管疾病的发生(Manson et al., 2002)。此外, 研究透過加速規記錄老年族群的身體活動量14天, 並取身體活動量中間值將研究對象區分成低身體活動量組與高身體活動量組, 結果發現高身體活動量組的動脈硬化程度顯著較低, 而這說明了有較多身體活動的老年族群, 則是會對動脈硬化程度帶來正面的效果(Gando et al., 2010)。從上述的說明則可以

得知, 透過規律運動的參與, 特別是經過建構的運動(structured exercise), 對老化所導致的心血管負面影響, 具有改善功能。

美國運動醫學會(American College of Sports Medicine, ACSM)在提升心肺適能的聲明中指出, 有氧運動的建議量, 以中等強度[40-59%HRR(heart rate reserve, HRR)]至少每週5天, 大於30分鐘, 達到每週至少150分鐘的運動量; 或是較高強度的有氧運動(> 60%HRR)至少每週3天大於20分鐘, 達到每週至少75分鐘的運動量; 也可透過中等至高強度混合的方式, 以每週的能量消耗大於500-1000 [Metabolic Equivalent of Task (MET) x min]的方式達到提升心肺適能的效果, 但仍建議參與者應多從事高強度的運動來獲得心肺適能的益處(Garber et al., 2011)。此外, 高強度活動參與的多寡, 則是會影響動脈硬化情形(Seals et al., 2008)。在停經後婦女的研究資料則指出, 動脈硬化程度與每日從事中、高運動強度的持續時間皆呈現負相關, 額外透過介入性模式分別進行一段時間的中強度或高強度運動訓練後, 動脈的硬化程度皆呈現顯著下降的現象(Sugawara et al., 2006)。而在一篇長達24年的縱貫性研究觀察373位年輕族群(從13歲至36歲), 結果指出從事較高強度的身體活動可以預防動脈硬化的發生(van de Laar et al., 2010)。另外的研究指出, 透過高強度的有氧運動參與(70%HRR的強度進行腳踏車運動, 每週消耗900 kcal, 共12週), 即便是花費較少的運動時間, 仍可獲得動脈順應性提升的效果(40%HRR + 運動時間較長與70%HRR + 運動時間較短)(Sugawara, Inoue, Hayashi, Yokoi, & Kono, 2004)。此外, 在一篇關於臺灣人口族群的近期研究上發現, 以50歲以上中老年男女研究對象為樣本基礎資料來源, 經篩選出高血壓患者計1753人, 結果顯示較高休閒時間身體活動量(每週休閒時間身體活動6次以上, 且每次身體活動時間在30分鐘以上)能顯著影響中老年高血壓患者之死亡率, 特別是有助於降低死亡風險(郭世傑、賴韻如、吳忠芳,

2015)。從44篇針對動態有氧運動或耐力性運動對血壓影響的隨機對照試驗(randomized controlled trials)研究資料中結論出,每週從事3至5次,每次30至60分鐘的運動,可有效降低血壓,但該篇研究更特別指出,每週進行7次的運動對身體所帶來的健身效益比每週3次運動更加地有效(Fagard, 2001)。此外,每週有較多身體活動量的人,則是會有較佳的動脈硬化情形(Andersson et al., 2015; Fagard, 2001; Gando et al., 2010),動脈硬化程度與每日從事中、高運動強度的持續時間皆呈現負相關(Sugawara et al., 2006)。從上述的說明中可知,運動強度與運動時間(運動量)皆會影響動脈硬化程度,而目前證據顯示,似乎進行高強度或間歇型有氧運動,血管功能所獲得的生理效益較明顯(Ashor, Lara, Siervo, Celis-Morales, & Mathers, 2014; Tordi, Mourot, Colin, & Regnard, 2010),但值得注意的是,目前相關研究證據大多以年輕族群為主,關於老年人的證據目前仍不一致(見第伍點討論)。但無論如何,持續性運動仍可以透過改善其他危險因子促進心血管健康(Suboc et al., 2014)。

肆、持拍運動的生理反應

除一般阻力與有氧運動外,持拍運動具有廣大參與人口與年齡層廣泛的運動型態,主要涵蓋桌球、羽球、網球、壁球等四大項目。然而目前關於持拍運動生理特徵的研究並不全面,這可能與商業化程度、參與人口,以及運動的特殊性有關(Lees, 2003)。以網球運動為例,網球是一項具有相當多球迷與參與者的運動,根據統計網站(statista)的資料顯示,2015年美國參與網球運動的人口數高達約1千8百多萬人,英國參與網球運動的人口數高達74萬多人,另外在網球參與的人口年齡範圍上,除了青少年與成人之外,有相當多的中老年人隨著年齡增長,卻仍可以持續參與網球運動,因此在長青網球俱樂部或網球的比賽中可觀察到相當比例的中老年族群參與其中,一項65歲以上年長者

的運動習性調查中,約3%比例是以網球運動作為規律性的運動選擇,而這方面的比例甚至是高於太極拳與瑜珈運動(Dafna, Carmen, Kamalesh, & Adrian, 2012)。

在持拍運動的生理特徵研究指出,因為運動過程是與隔網對手相互對打,因此運動過程中的生理反應有相當大部分會受到對手水準與層級而影響(Kovacs, 2006; Lees, 2003)。一般來說,網球運動的一場比賽,時間可能由30分鐘至數小時、跑動的距離甚至可達5公里,因此網球這項運動兼具有氧、無氧、爆發性與衝擊性等特殊性之需求(Kovacs, 2007)。研究資料顯示從事網球運動的族群,相對於一般坐式生活型態者,會有較佳的有氧能力、肌肉量、骨質含量等正面身體適能反應(Marks, 2006)。研究證據顯示,在年長的網球運動參與者(≥ 55 歲)上觀察到有較低的總膽固醇,以及較高的高密度脂蛋白(Howley, Gayle, Montoye, Painter, & Fleshood, 1982)。研究顯示,在141位(30-74歲)的網球運動參與者,透過網球運動會有較佳的肺功能(Galanis, Farmakiotis, Kouraki, & Fachadidou, 2006)。而網球運動在強度上則落在3-7METs(單打與雙打),網球運動的強度則是達到中等激烈(moderately vigorous)(Pereira et al., 1997),比賽時的心跳率約介於最高心跳率的63至87%。在一場比賽的總消耗時間約介於17至45分鐘,每分來回的持續秒數上約為2至12秒,而實際來回擊球時間約占總消耗時間的20至39%(會依球員類型與場地而不同)(Bernardi, De Vito, Falvo, Marino, & Montellanico, 1998; Fernández et al., 2009; Kovacs, 2007)。另外,從網球休閒運動者與進階的網球運動者兩者間進行比較,並分別針對這兩個族群網球比賽時的生理指標進行分析(網球比賽時的攝氧量、最大攝氧量百分比、心跳率、最大心跳率百分比與能量消耗),結果指出這兩種族群只要每週從事2至3次的網球運動,即符合ACSM對增進心肺適能與改善身體組成的建議(40-60% $\dot{V}O_{2max}$ 、60-75%最大心跳率、每週5天30分鐘;或是較高強度有氧

運動，每週3天20分鐘）（Fernández et al., 2009）。因此，規律網球運動的參與，就運動特殊性上均能對心肺適能與肌肉適能產生正向益處。

同樣地，羽球也是在國際間受歡迎且不受年齡與經驗限制的運動項目，是球速最快的持拍運動。羽球同樣具有高強度間歇運動的特徵，比賽中主要能量來源約60至70%為有氧系統，30%無氧系統（Phomsoupha & Laffaye, 2015）。在一場比賽的持續時間上，約為17至45分鐘，而每分來回的持續秒數上約為4至11秒，在比賽時的心跳率約為166至172次，實際比賽時間約占27至37%（Phomsoupha & Laffaye, 2015）。一個針對國際賽選手比賽的分析研究顯示，在比賽中每分來回約5.5秒，間隔休息約11.4秒；比賽中攝氧量約維持在73% $\dot{V}O_{2\text{ peak}}$ 、心跳率約為89%HRmax或更高的水準（Faude et al., 2007）。

在職業桌球的公開賽中，賽制以七局四勝制及五局三勝制為主，每局11分，比賽時間從幾十分鐘至一小時多皆有可能（Lees, 2003）。從職業的桌球比賽中分析可以得知，比賽過程中，每一得分來回僅花費數秒鐘時間，其中花費1.5至2.5秒佔了32.6%，而2.5至3.5秒佔了29.6%，每分的持續時間約為1至13秒（平均時間約3.4秒）；另外在分與分之間的休息時間方面，休息時間小於7.49秒佔了56.1%，平均的休息秒數為8.1秒，從比賽中的心跳率方面分析來看，每分鐘最高心跳為183下，而每分平均心跳為163下，從心跳強度上分析，比賽時的平均心跳率約為163下，平均強度約為68至92%HRmax以上（Zagatto, Morel & Gobatto, 2010）。綜合以上三種持拍運動相關文獻，我們針對各項比賽時的運動特徵進行整理（如表一）。

伍、持拍運動與動脈硬化

細看持拍性運動的比賽生理特徵，是較屬於高強度間歇的運動類型（high intensity interval training, HIIT）。單純的HIIT具有較短時間持續高強度與間歇的運動特徵，在運動內容的安排時，運動時間則會隨著運動強度的設定而有所調整，運動強度主要分為次最大強度（submaximal）與超最大強度（supermaximal）兩種類型，再配合主動或被動恢復的間歇恢復運動，重複多次而設計。換句話說，若採用次最大強度間歇的模式時，每次運動的持續時間可能長達數分鐘，若是採用超最大強度間歇的模式時，運動的持續時間則可能僅持續數十秒。然而這些模式皆會產生相當高的生理刺激，運動過程中的心跳率約可達80%HRmax之上，而運動與休息間的比例則不等（運休比大多數落於從2:1至1:3），整體來說，採用HIIT的訓練模式時，整體的運動時間是遠小於有氧運動的時間（吳忠芳、李建平、郭世傑，2006；Burr, Beck, & Durocher, 2017; Laursen & Jenkins, 2002; Talanian, Galloway, Heigenhauser, Bonen, & Spriet, 2007）。此外，進行HIIT運動時若透過Borg自覺量表進行監測時，在0-10等級的自覺感受會 ≥ 6 ，而在5-20等級的自覺感受會 ≥ 15 ，均都是屬於困難（hard）以上（Buchheit & Laursen, 2013）。

關於長期進行HIIT運動訓練，對血管功能可能產生的影響，最近一篇相關文獻回顧與後設研究分析顯示（Ramos, Dalleck, Tjonna, Beetham, & Coombes, 2015），相較於中強度除持續性運動，長期HIIT運動訓練介入能更有效促進血管功能，其中，長時間持續間歇（ ≥ 2 分鐘）改善效果似乎較好；值

表一 不同持拍運動比賽生理反應特徵

項目	平均強度	每盤（局） 持續時間	每分持續 時間	真實比賽 時間比例
網球	63-87%（HRmax）	約30-80分鐘	2-12秒	20至39%
羽球	35-75%（ $\dot{V}O_{2\text{ peak}}$ ）	約17-45分鐘	4-11秒	27至37%
桌球	68-92%（HRmax）	約5分鐘	1-13秒	17至83%

得注意的是，最新針對老年人從事HITT訓練後血管功能的變化研究發現，相較於中等強度持續運動訓練，HITT並無法改善主動脈波傳導速率（頸-股脈波傳導速率，cfPWV）（Kim et al., 2017），但卻能顯著改善心肺適能、心臟心室輸出比率（ejection fraction）與胰島素敏感度（Hwang et al., 2016）。然而，目前關於老年人的研究證據仍然有限，仍需要更研究加以驗證HIIT運動對於的血管功能的改善效果。血管功能的改善與訓練後心肺適能增加、改善傳統心血管危險因子、胰島素敏感度與降低氧化與發炎反應有關（Ramos et al., 2015）。因此，未來研究若要釐清單純持拍運動對於血管功能的生理效應，必須針對這些變項加以測量與控制。

關於持拍運動對於動脈功能可能產生的生理影響，以網球為例，先前的研究資料顯示，網球運動因持拍之因素，慣用手的手臂肌肉量、臂圍與肌力皆與非慣用手有顯著差異，而研究資料更進一步指出，慣用臂的血流量與血管擴張性皆高於非慣用臂（Rowley et al., 2011），因此，持拍運動因持拍的因素下，經長期運動訓練後會對慣用臂的血管功能產生適應（單邊血管適應效果，但因為羽球、桌球都是由慣用手持拍發力，但網球項目有單手反拍和雙手反拍的擊球方式，不同持拍法可能會影響單邊的血管適應效果），使兩臂的血管功能有差異情形，而這種因長期運動所產生的單邊血管適應效果也在6週的單邊腳踏車運動訓練中獲得證實（Miyachi et al., 2001）。另一方面，長期持拍運動訓練相對於HIIT是否產生額外的血管適應效果，目前也仍不清楚。無論如何，最新一項英國對八萬多人的流行病研究，分析六種不同運動參與型態與全因、心血管疾病死亡率的關係，發現長期參與持拍運動，與游泳、有氧運動（不含跑步與腳踏車）一樣，能顯著降低全因與心血管疾病死亡率，且與參與程度成正比（Oja et al., 2016），顯示持拍運動具有心血管功能的促進效益。綜合以上研究結果，推論的可能因素包含：運動肢段的動脈擴張可增進心臟對血液的輸送、運動肢段在

運動過程中產生的剪力（shear stress）可增進內皮細胞NO的釋放（Tinken et al., 2010）、運動肢段會因長期的運動訓練使動脈構造產生正向之變化（artery remodeling）（Tuttle et al., 2001）等因素。

脈波傳導速率（pulse wave velocity, PWV）的檢測已被認定是用於動脈硬化的評估上，良好且方便的指標，其中cfPWV的測量結果是用於評斷中心動脈硬化程度的黃金指標；另一種利用肱動脈和踝動脈間的脈波傳導速率（brachial-ankle PWV, baPWV）的檢測方法，只需利用壓脈帶固定於兩側上臂及腳踝，具有執行便利性，而且檢測後的指標與主動脈波傳導速率也有高度相關，也是常用評估全身動脈硬化程度指標（Sugawara et al., 2005; Tanaka et al., 2009; Yamashina et al., 2002）。當脈波傳導速度越快時，代表著動脈有較高的硬化程度。從橫斷性的研究資料指出，在動脈硬化程度，會隨著年齡的增加而逐漸上升，而脈波傳導速率也會增高（順應性降低）（Tanaka et al., 1998; Vaitkevicius et al., 1993）。規律有氧運動形態（Tanaka et al., 2000）與單次HIIT（Siasos et al., 2016）已被證實能夠有效改善動脈功能，究竟規律參與持拍運動的族群，是否能從長期參與過程中獲得改善動脈功能的益處，是相當重要的議題，但目前在這方面的研究資訊仍不多。

為回答這研究問題，我們初步以橫斷性研究（未發表），了解每週網球運動參與的多寡對動脈硬化程度的影響。我們實驗收集6位長期網球運動參與者（年齡 62 ± 2 歲；球齡： 28 ± 5 年）進行網球運動習慣、身體活動量（身體活動量表），與進行脈波傳導速度的檢測。透過網球運動習慣之紀錄結果，依先前研究將6位參與者分為高運動量組與低運動量組（Gando et al., 2010），並進行兩組之血管功能比較，結果如表二。

我們初步發現，高運動量組在每週打球頻率及每週總打球時間顯著高於低運動量組，同時高運動量組在baPWV及血壓反應皆顯著低於低運動量組，顯示以網球運動為日常規律運動習慣的中老年族群，當擁有較

表二 兩組之基本資料、網球運動量與血管功能之比較

項目	高網球運動量組	低網球運動量組
基本資料		
年齡 (yrs)	61 ± 2	62 ± 1
球齡 (yrs)	30 ± 0	25 ± 4
BMI (kg/m ²)	20.3 ± 0.6	22.5 ± 0.7
參與網球運動參數		
運動頻率 (次/週)	5.8 ± 0.4	4.0 ± 0.5*
運動時間 (小時/週)	13.3 ± 0.6	6.0 ± 0.1*
血壓與血管功能指標		
baPWV (cm/s)	1,139 ± 24	1,532 ± 55*
ABI	1.14 ± 0.06	1.14 ± 0.01
收縮壓 (mmHg)	121 ± 2	129 ± 1*
平均動脈壓 (mmHg)	91 ± 2	102 ± 2*
心跳 (bpm)	60 ± 1	60 ± 2

註：踝肱血壓指數 (ankle brachial pressure index, ABI)。*代表與高運動量組比較後有顯著差異 ($p < .05$)。

高運動量時，相對會有較低的動脈硬化程度。因此長期以網球運動為規律身體活動的中老年人族群，可能因平時網球運動參與程度的多寡，而對血管功能造成不同的影響。值得注意的是，這樣的初步結果，與Kim et al. (2017) 的研究結果不同，主要是baPWV指標包含了周邊（身體肢段）動脈的硬化程度，與cfPWV不同，是否長期從事持拍運動僅能改善周邊動脈功能，為未來值得研究的主題。同時，這樣的初步發現是否能推估至其他持拍運動，目前仍不清楚。未來為確認持拍運動對血管健康的效果，除了更大樣本的資料搜集外，應將不同的中介因子（心肺適能、胰島素敏感度等）、非持拍時的日常身體活動量進行控制，以進一步確認使否有這樣的因果關係。故目前關於持拍運動與血管功能的因果關係，目前僅能由類似的運動型態（如HIIT）推估，有其限制，同時是否持拍運動有額外的生理效益，仍需要後續的實證研究確認。

陸、結語

整合現有文獻資料得知，老化過程會導致動脈硬化，動脈硬化又是造成心血管疾病之主因，而透過規律運動的參與，對老化

所導致的心血管負面影響，具有改善功能。持拍運動的參與年齡層相當廣大，而且是一項十分適合中老年族群作為終身運動的選擇項目，然而過往的研究資料在探討持拍運動對心血管益處上是相當缺乏的。本研究經文獻整理與初步研究結果上發現，長期參與持拍運動，能顯著降低全因與心血管疾病死亡率，且與參與程度成正比，而透過持拍運動過程中，對局部血管的刺激，可能會進而對整體的血管功能有額外刺激效果，然而這方面則仍需未來更多研究資料來證實；另外經初步研究後發現每週有較多網球運動量參與者，會有較佳的血管功能表現。然而，至今針對這方面的研究仍不多見，同時不同項目間是否有差異，也需驗證。故建議未來研究可進一步分析單純不同持拍運動對增進心血管健康之效益與差異，提供不同運動型態參與的科學證據。

參考文獻

- 內政部統計年報 (2016)。人口年齡分配，資料引自<http://sowf.moi.gov.tw/stat/year/y02-01.xls>
- 吳忠芳、李建平、郭世傑 (2006)。網球單打比賽的生理學分析。運動生理暨體能學

- 報, 4, 21-28。
- 郭世傑、賴韻如、吳忠芳 (2015)。不同休閒時間身體活動量之高血壓患者的死亡風險分析。《內科學誌》, 26 (2), 88-98。
- 衛生福利部統計處 (2016年8月5日)。
104年主要死因統計結果分析, 資料引自 http://w3.mohw.gov.tw/CHT/DOS/Statistic.aspx?f_list_no=312&fod_list_no=6201
- Andersson, C., Lyass, A., Larson, M. G., Spartano, N. L., Vita, J. A., Benjamin, E. J., et al. (2015). Physical activity measured by accelerometry and its associations with cardiac structure and vascular function in young and middle-aged adults. *Journal of the American Heart Association*, 4(3), e001528.
- Ashor, A. W., Lara, J., Siervo, M., Celis-Morales, C., & Mathers, J. C. (2014). Effects of exercise modalities on arterial stiffness and wave reflection: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Plos One*, 9(10), e110034.
- Benetos, A., Waeber, B., Izzo, J., Mitchell, G., Resnick, L., Asmar, R., et al. (2002). Influence of age, risk factors, and cardiovascular and renal disease on arterial stiffness: Clinical applications. *American Journal of Hypertension*, 15(12), 1101-1108.
- Bernardi, M., De Vito, G., Falvo, M. E., Marino, S., & Montellanico, F. (1998). Cardiorespiratory adjustments in middle-level tennis player: Are long term cardiovascular adjustments possible. *Science and Racket Sports II*. New York: E & FN Spon.
- Blacher, J., London, G. M., Safar, M. E., & Mourad, J.-J. (1999). Influence of age and end-stage renal disease on the stiffness of carotid wall material in hypertension. *Journal of Hypertension*, 17(2), 237-244.
- Blair, S. N., Kohl, H. W., Paffenbarger, R. S., Clark, D. G., Cooper, K. H., & Gibbons, L. W. (1989). Physical fitness and all-cause

mortality: A prospective study of healthy men and women. *Journal of the American Medical Association*, 262(17), 2395-2401.

- Buchheit, M., & Laursen, P. B. (2013). High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle. Part II: Anaerobic energy, neuromuscular load and practical applications. *Sports Medicine*, 43(10), 927-954.
- Burr, J. F., Beck, J. L., & Durocher, J. J. (2017). The relationship of high-intensity cross-training with arterial stiffness. *Journal of Sport and Health Science*. doi:10.1016/j.jshs.2017.01.009
- Cameron, J. D., & Dart, A. M. (1994). Exercise training increases total systemic arterial compliance in humans. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 266(2), H693-H701.
- Chang, C., Liu, W., Zhao, X., Li, S., & Yu, C. (2008). Effect of supervised exercise intervention on metabolic risk factors and physical fitness in Chinese obese children in early puberty. *Obesity Reviews*, 9(s1), 135-141.
- Chung, H. Y., Cesari, M., Anton, S., Marzetti, E., Giovannini, S., Seo, A. Y., et al. (2009). Molecular inflammation: Underpinnings of aging and age-related diseases. *Ageing Research Reviews*, 8(1), 18-30.
- Dafna, M., Carmen, C., Kamallesh, V., & Adrian, B. (2012). How diverse was the leisure time physical activity of older Australians over the past decade? *Journal of Science and Medicine in Sport*, 15(3), 213-219.
- Davies, J. I., & Struthers, A. D. (2003). Pulse wave analysis and pulse wave velocity: A critical review of their strengths and weaknesses. *Journal of Hypertension*, 21(3), 463-472.
- Doherty, T. J. (2003). Invited review: Aging and sarcopenia. *Journal of Applied Physiology*, 95(4), 1717-1727.

- Fagard, R. H. (2001). Exercise characteristics and the blood pressure response to dynamic physical training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(6 Suppl), S484-S492.
- Fatouros, I., Tournis, S., Leontsini, D., Jamurtas, A., Sxina, M., Thomakos, P., et al. (2005). Leptin and adiponectin responses in overweight inactive elderly following resistance training and detraining are intensity related. *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 90(11), 5970-5977.
- Faude, O., Meyer, T., Rosenberger, F., Fries, M., Huber, G., & Kindermann, W. (2007). Physiological characteristics of badminton match play. *European Journal of Applied Physiology*, 100(4), 479-485.
- Fernández, J. F., Rivas, D. S., Muñoz, C. S., Pluim, B. M., Tiemessen, I., & Villanueva, A. M. (2009). A comparison of the activity profile and physiological demands between advanced and recreational veteran tennis players. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(2), 604-610.
- Fujie, S., Hasegawa, N., Kurihara, T., Sanada, K., Hamaoka, T., & Iemitsu, M. (2017). Association between aerobic exercise training effects of serum adipon level, arterial stiffness, and adiposity in obese elderly adults. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 42(1), 8-14.
- Fujie, S., Hasegawa, N., Sato, K., Fujita, S., Sanada, K., Hamaoka, T., & Iemitsu, M. (2015). Aerobic exercise training-induced changes in serum adipon level are associated with reduced arterial stiffness in middle-aged and older adults. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 309(10), H1642-1647.
- Galanis, N., Farmakiotis, D., Kouraki, K., & Fachadidou, A. (2006). Forced expiratory volume in one second and peak expiratory flow rate values in non-professional male tennis players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 46(1), 128-131.
- Gando, Y., Yamamoto, K., Murakami, H., Ohmori, Y., Kawakami, R., Sanada, K., et al. (2010). Longer time spent in light physical activity is associated with reduced arterial stiffness in older adults. *Hypertension*, 56(3), 540-546.
- Garber, C. E., Blissmer, B., Deschenes, M. R., Franklin, B. A., Lamonte, M. J., Lee, I. M., et al. (2011). American college of sports medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: Guidance for prescribing exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(7), 1334-1359.
- Guarner, V., & Rubio-Ruiz, M. E. (2015). Low-grade systemic inflammation connects aging, metabolic syndrome and cardiovascular disease. *Interdisciplinary Topics in Gerontology*, 40, 99-106.
- Hirata, K., Kawakami, M., & O'Rourke, M. F. (2006). Pulse wave analysis and pulse wave velocity a review of blood pressure interpretation 100 years after Korotkov. *Circulation Journal*, 70(10), 1231-1239.
- Houmard, J. A., Tanner, C. J., Slentz, C. A., Duscha, B. D., McCartney, J. S., & Kraus, W. E. (2004). Effect of the volume and intensity of exercise training on insulin sensitivity. *Journal of Applied Physiology*, 96(1), 101-106.
- Howley, E., Gayle, R., Montoye, H., Painter, P., & Fleshood, L. (1982). HDL cholesterol in senior tennis players. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 4(2), 44-48.
- Hwang, C. L., Yoo, J. K., Kim, H. K., Hwang,

- M. H., Handberg, E. M., Petersen, J. W., et al. (2016). Novel all-extremity high-intensity interval training improves aerobic fitness, cardiac function and insulin resistance in healthy older adults. *Experimental Gerontology*, 82, 112-119.
- Kim, H. K., Hwang, C. L., Yoo, J. K., Hwang, M. H., Handberg, E. M., Petersen, J. W., et al. (2017). All-extremity exercise training improves arterial stiffness in older adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. doi: 10.1249/MSS.0000000000001229
- Kishimoto, H., Taniguchi, A., Fukushima, M., Sakai, M., Tokuyama, K., Oguma, T., et al. (2002). Effect of short-term low-intensity exercise on insulin sensitivity, insulin secretion, and glucose and lipid metabolism in non-obese Japanese type 2 diabetic patients. *Hormone and Metabolic Research*, 34(1), 27-31.
- Kovacs, M. S. (2006). Applied physiology of tennis performance. *British Journal of Sports Medicine*, 40(5), 381-386.
- Kovacs, M. S. (2007). Tennis physiology: Training the competitive athlete. *Sports Medicine*, 37(3), 189-198.
- Lakatta, E. G. (2003). Arterial and cardiac aging: major shareholders in cardiovascular disease enterprises part III: Cellular and molecular clues to heart and arterial aging. *Circulation*, 107(3), 490-497.
- Lakatta, E. G., & Levy, D. (2003). Arterial and cardiac aging: Major shareholders in cardiovascular disease enterprises: Part I: Aging arteries: a "set up" for vascular disease. *Circulation*, 107(1), 139-146.
- Laursen, P. B., & Jenkins, D. G. (2002). The scientific basis for high-intensity interval training: Optimising training programmes and maximising performance in highly trained endurance athletes. *Sports Medicine*, 32(1), 53-73.
- Lees, A. (2003). Science and the major racket sports: A review. *Journal of Sports Sciences*, 21(9), 707-732.
- Lim, S., Choi, S. H., Jeong, I.-K., Kim, J. H., Moon, M. K., Park, K. S., et al. (2008). Insulin-sensitizing effects of exercise on adiponectin and retinol-binding protein-4 concentrations in young and middle-aged women. *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 93(6), 2263-2268.
- Lind, L., & Lithell, H. (1993). Decreased peripheral blood flow in the pathogenesis of the metabolic syndrome comprising hypertension, hyperlipidemia, and hyperinsulinemia. *American Heart Journal*, 125(5), 1494-1497.
- Mahmud, A., & Feely, J. (2005). Arterial stiffness is related to systemic inflammation in essential hypertension. *Hypertension*, 46(5), 1118-1122.
- Manson, J. E., Greenland, P., LaCroix, A. Z., Stefanick, M. L., Mouton, C. P., Oberman, A., et al. (2002). Walking compared with vigorous exercise for the prevention of cardiovascular events in women. *The New England Journal of Medicine*, 347(10), 716-725.
- Marks, B. (2006). Health benefits for veteran (senior) tennis players. *British Journal of Sports Medicine*, 40(5), 469-476.
- McEniery, C. M., Wallace, S., Mackenzie, I. S., Cockcroft, J. R., & Wilkinson, I. B. (2004). C-reactive protein is associated with arterial stiffness in apparently healthy individuals. *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*, 24(5), 969-974.
- Miyachi, M., Tanaka, H., Yamamoto, K., Yoshioka, A., Takahashi, K., & Onodera, S. (2001). Effects of one-legged endurance training on femoral arterial and venous size in healthy humans. *Journal of Applied Physiology*, 90(6), 2439-2444.

- Najjar, S. S., Scuteri, A., & Lakatta, E. G. (2005). Arterial aging is it an immutable cardiovascular risk factor? *Hypertension*, 46(3), 454-462.
- Norman, J. E., Bild, D., Lewis, C. E., Liu, K., & West, D. S. (2003). The impact of weight change on cardiovascular disease risk factors in young black and white adults: The CARDIA study. *International Journal of Obesity and Related Metabolic Disorders*, 27(3), 369-376.
- Nosaka, T., Tanaka, H., Watanabe, I., Sato, M., & Matsuda, M. (2003). Influence of regular exercise on age-related changes in arterial elasticity: Mechanistic insights from wall compositions in rat aorta. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 28(2), 204-212.
- Nosarev, A. V., Smagliy, L. V., Anfinogenova, Y., Popov, S. V., & Kapilevich, L. V. (2014). Exercise and NO production: Relevance and implications in the cardiopulmonary system. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*, 2. doi: 10.3389/fcell.2014.00073
- Oja, P., Kelly, P., Pedisic, Z., Titze, S., Bauman, A., Foster, C., et al. (2016). Associations of specific types of sports and exercise with all-cause and cardiovascular-disease mortality: A cohort study of 80 306 British adults. *British Journal Sports Medicine*, Published Online First: 28 November 2016. doi:10.1136/bjsports-2016-096822
- Pereira, M. A., FitzerGerald, S. J., Gregg, E. W., Joswiak, M. L., Ryan, W. J., Suminski, R. R., et al. (1997). A collection of physical activity questionnaires for health-related research. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29(6 Suppl), S1-205.
- Petersen, K. F., Befroy, D., Dufour, S., Dziura, J., Ariyan, C., Rothman, D. L., et al. (2003). Mitochondrial dysfunction in the elderly: Possible role in insulin resistance. *Science*, 300(5622), 1140-1142.
- Phomsoupha, M., & Laffaye, G. (2015). The science of badminton: Game characteristics, anthropometry, physiology, visual fitness and biomechanics. *Sports Medicine*, 45(4), 473-495.
- Plaisance, E. P., & Grandjean, P. W. (2006). Physical activity and high-sensitivity C-reactive protein. *Sports Medicine*, 36(5), 443-458.
- Powell, K. E., Thompson, P. D., Caspersen, C. J., & Kendrick, J. S. (1987). Physical activity and the incidence of coronary heart disease. *Annual Review of Public Health*, 8(1), 253-287.
- Ramos, J. S., Dalleck, L. C., Tjonna, A. E., Beetham, K. S., & Coombes, J. S. (2015). The impact of high-intensity interval training versus moderate-intensity continuous training on vascular function: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 45(5), 679-692.
- Ratel, S., Gryson, C., Rance, M., Penando, S., Bonhomme, C., Le Ruyet, P., et al. (2012). Detraining-induced alterations in metabolic and fitness markers after a multicomponent exercise-training program in older men. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 37(1), 72-79.
- Roman, M. J., Devereux, R. B., Schwartz, J. E., Lockshin, M. D., Paget, S. A., Davis, A., et al. (2005). Arterial stiffness in chronic inflammatory diseases. *Hypertension*, 46(1), 194-199.
- Rowley, N. J., Dawson, E. A., Birk, G. K., Cable, N. T., George, K., Whyte, G., et al. (2011). Exercise and arterial adaptation in humans: Uncoupling localized and systemic effects. *Journal of Applied Physiology*, 110(5), 1190-1195.
- Roy, C. S. (1881). The elastic properties of the arterial wall. *The Journal of Physiology*, 3(2), 125-159.

- Ryan, A. S. (2000). Insulin resistance with aging. *Sports Medicine*, 30(5), 327-346.
- Schmidt, J. F., Andersen, T. R., Andersen, L. J., Randers, M. B., Hornstrup, T., Hansen, P. R., et al. (2013). Cardiovascular function is better in veteran football players than age-matched untrained elderly healthy men. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 25(1), 61-69.
- Seals, D. R., DeSouza, C. A., Donato, A. J., & Tanaka, H. (2008). Habitual exercise and arterial aging. *Journal of Applied Physiology*, 105(4), 1323-1332.
- Shephard, R. J., & Balady, G. J. (1999). Exercise as cardiovascular therapy. *Circulation*, 99(7), 963-972.
- Siasos, G., Athanasiou, D., Terzis, G., Stasinaki, A., Oikonomou, E., Tsitkanou, S., et al. (2016). Acute effects of different types of aerobic exercise on endothelial function and arterial stiffness. *European Journal of Preventive Cardiology*, 23(14), 1565-1572.
- Suboc, T. B., Strath, S. J., Dharmashankar, K., Coulliard, A., Miller, N., Wang, J., et al. (2014). Relative importance of step count, intensity, and duration on physical activity's impact on vascular structure and function in previously sedentary older adults. *Journal of the American Heart Association*, 3(1), e000702.
- Sugawara, J., Hayashi, K., Yokoi, T., Cortez-Cooper, M., DeVan, A., Anton, M., et al. (2005). Brachial-ankle pulse wave velocity: An index of central arterial stiffness? *Journal of Human Hypertension*, 19(5), 401-406.
- Sugawara, J., Inoue, H., Hayashi, K., Yokoi, T., & Kono, I. (2004). Effect of low-intensity aerobic exercise training on arterial compliance in postmenopausal women. *Hypertension Research*, 27(12), 897-901.
- Sugawara, J., Otsuki, T., Tanabe, T., Hayashi, K., Maeda, S., & Matsuda, M. (2006). Physical activity duration, intensity, and arterial stiffening in postmenopausal women. *American Journal of Hypertension*, 19(10), 1032-1036.
- Sui, X., LaMonte, M. J., Laditka, J. N., Hardin, J. W., Chase, N., Hooker, S. P., et al. (2007). Cardiorespiratory fitness and adiposity as mortality predictors in older adults. *Journal of the American Medical Association*, 298(21), 2507-2516.
- Talanian, J. L., Galloway, S. D., Heigenhauser, G. J., Bonen, A., & Spriet, L. L. (2007). Two weeks of high-intensity aerobic interval training increases the capacity for fat oxidation during exercise in women. *Journal of Applied Physiology*, 102(4), 1439-1447.
- Tanaka, H., DeSouza, C. A., & Seals, D. R. (1998). Absence of age-related increase in central arterial stiffness in physically active women. *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*, 18(1), 127-132.
- Tanaka, H., Dinunno, F. A., Monahan, K. D., Clevenger, C. M., DeSouza, C. A., & Seals, D. R. (2000). Aging, habitual exercise, and dynamic arterial compliance. *Circulation*, 102(11), 1270-1275.
- Tanaka, H., Munakata, M., Kawano, Y., Ohishi, M., Shoji, T., Sugawara, J., Sawayama, T., et al. (2009). Comparison between carotid-femoral and brachial-ankle pulse wave velocity as measures of arterial stiffness. *Journal of Hypertension*, 27(10), 2022-2027.
- Tanaka, H., & Safar, M. E. (2005). Influence of life style modification on arterial stiffness and wave reflections. *American Journal of Hypertension*, 18, 137-144.
- Tinken, T. M., Thijssen, D. H., Hopkins, N., Dawson, E. A., Cable, N. T., & Green, D. J. (2010). Shear stress mediates endothelial adaptations to exercise training in humans. *Hypertension*, 55(2), 312-318.

- Tordi, N., Mourot, L., Colin, E., & Regnard, J. (2010). Intermittent versus constant aerobic exercise: Effects on arterial stiffness. *European Journal of Applied Physiology*, 108(4), 801-809.
- Trapp, E., Chisholm, D., Freund, J., & Boutcher, S. (2008). The effects of high-intensity intermittent exercise training on fat loss and fasting insulin levels of young women. *International Journal of Obesity*, 32(4), 684-691.
- Tuttle, J. L., Nachreiner, R. D., Bhuller, A. S., Condict, K. W., Connors, B. A., Herring, B. P., et al. (2001). Shear level influences resistance artery remodeling: Wall dimensions, cell density, and eNOS expression. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 281(3), H1380-1389.
- Urbina, E. M., Gao, Z., Khoury, P. R., Martin, L. J., & Dolan, L. M. (2012). Insulin resistance and arterial stiffness in healthy adolescents and young adults. *Diabetologia*, 55(3), 625-631.
- Vaitkevicius, P. V., Fleg, J. L., Engel, J. H., O'Connor, F. C., Wright, J. G., Lakatta, L. E., et al. (1993). Effects of age and aerobic capacity on arterial stiffness in healthy adults. *Circulation*, 88(4), 1456-1462.
- Van Baak, M. A. (1998). Exercise and hypertension: Facts and uncertainties. *British Journal of Sports Medicine*, 32, 6-10.
- Van de Laar, R. J., Ferreira, I., van Mechelen, W., Prins, M. H., Twisk, J. W., & Stehouwer, C. D. (2010). Lifetime vigorous but not light-to-moderate habitual physical activity impacts favorably on carotid stiffness in young adults The Amsterdam growth and health longitudinal study. *Hypertension*, 55(1), 33-39.
- Vlachopoulos, C., Dima, I., Aznaouridis, K., Vasiliadou, C., Ioakeimidis, N., Aggeli, C., et al. (2005). Acute systemic inflammation increases arterial stiffness and decreases wave reflections in healthy individuals. *Circulation*, 112(14), 2193-2200.
- Whyte, J., & Harold Laughlin, M. (2010). The effects of acute and chronic exercise on the vasculature. *Acta Physiologica*, 199(4), 441-450.
- Yamashina, A., Tomiyama, H., Takeda, K., Tsuda, H., Arai, T., Hirose, K., et al. (2002). Validity, reproducibility, and clinical significance of noninvasive brachial-ankle pulse wave velocity measurement. *Hypertension Research*, 25(3), 359-364.
- Zagatto, A. M., Morel, E. A., & Gobatto, C. A. (2010). Physiological responses and characteristics of table tennis matches determined in official tournaments. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(4), 942-949.