

本文章已註冊DOI數位物件識別碼

▶ 運動介入影響動脈彈性與老化性高血壓之探討

The Influence of Exercise on Arterial Elasticity and Aging Hypertension

doi:10.6127/JEPF.2007.06.05

運動生理暨體能學報, (6), 2007

Journal of Exercise Physiology and Fitness, (6), 2007

作者/Author：林信甫(Hsin-Fu Lin);王傑賢(Jye-Shyan Wang)

頁數/Page：51-60

出版日期/Publication Date：2007/08

引用本篇文獻時，請提供DOI資訊，並透過DOI永久網址取得最正確的書目資訊。

To cite this Article, please include the DOI name in your reference data.

請使用本篇文獻DOI永久網址進行連結:

To link to this Article:

<http://dx.doi.org/10.6127/JEPF.2007.06.05>



DOI Enhanced

DOI是數位物件識別碼（Digital Object Identifier, DOI）的簡稱，是這篇文章在網路上的唯一識別碼，用於永久連結及引用該篇文章。

若想得知更多DOI使用資訊，

請參考 <http://doi.airiti.com>

For more information,

Please see: <http://doi.airiti.com>

請往下捲動至下一頁，開始閱讀本篇文獻

PLEASE SCROLL DOWN FOR ARTICLE



運動介入影響動脈彈性與老化性高血壓之探討

林信甫^{*1} 王傑賢²

¹國立臺灣大學 ²國立臺灣師範大學

摘要

動脈隨著老化產生結構與功能性的改變，使得老年人罹患高血壓的危險性提高，進一步併發心血管疾病的比例也隨之上升；臨床上透過動脈波形與傳遞速度分析已成為有效評估動脈彈性特質的黃金指標，較以往測量血壓的方式更能有效評估動脈硬化程度與疾病死亡率。研究顯示運動為有效延緩動脈硬化與保持動脈功能的非藥物性治療方法，其中以有氧運動效果最佳；而儘管目前研究顯示阻力運動並無法增加動脈順應性，但長期而言對於血壓控制仍有降低的效果，故長期有氧訓練結合適當阻力運動為目前老年人或高血壓患者適當的運動方式。另外，長久以來游泳被視為有氧運動的種類之一，近來研究發現長期游泳訓練後血壓會顯著上升，與過去研究結果有所不同，需要進一步研究釐清游泳是否為老年人或高血壓患者有效的運動模式。

關鍵詞：運動、老化、高血壓、動脈硬化、動脈順應性

連絡作者：林信甫

聯絡電話：(02)33665959 EXT 282

投稿日期：96 年 06 月

通訊地址：106 台北市羅斯福路四段一號臺灣大學體育室

E-mail：hsinfu@ntu.edu.tw

接受日期：96 年 08 月

前言

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，人口結構老化成為台灣與世界上其他國家所面臨的問題。據我國內政部統計，至 2006 年底老年人口共計 229 萬人，佔總人口比例 10.0%，老化指數 55.2%，維持多年來逐漸上升趨勢。人口老化問題日益嚴重，同時人體隨著年齡的增加，心臟與動脈血管結構性的改變，甚至伴隨代謝失調的情況下，罹患心血管疾病比率也隨之提高 (Lakatta & Levy, 2003; Najjar, Scuteri, & Lakatta, 2005)，因此造成老化社會醫療成本逐年遞增。流行病學調查研究顯示，許多疾病包括高血壓、心臟冠狀動脈疾病、心室衰竭與中風發生率會隨著年齡的增加顯著上升 (Najjar et al., 2005)，動脈硬化 (arterial stiffness) 形成高血壓已被認為是造成心血管疾病的危險因子 (Seals, Mareau, Gates, & Eskurza, 2006)。而研究如何預防因老化導致高血壓及其心血管併發症，以降低未來老化社會醫療負擔已成為現今研究的熱門課題之一。

老化與動脈結構與功能變化

人體動脈系統主要分為大彈性動脈 (large elastic arteries) 或中心動脈 (central arteries) 與周邊動脈 (muscular peripheral arteries)，中心彈性動脈富含彈性蛋白 (elastin) 與膠原 (collagen)；而周邊動脈富含血管平滑肌細胞 (vessel smooth muscle

cell, VSMC)。動脈管壁由外而內由 adventitia、media、intima 所組成，另外管壁內覆蓋著一層內皮細胞 (endothelial cell)。老化過程中動脈血管壁組成的改變與形成高血壓有關，其中以較具彈性的中心動脈影響最大 (Virmani et al., 1991)，其主要功能負責緩衝左心室收縮所輸出的血流與壓力，進一步將血液以穩定的速度傳導至周邊血管與組織 (McEniery, Wilkinson, & Avolio, 2007; Seals et al., 2006)。研究結果顯示，老年人體內中心彈性動脈血管圓周長度 (circumference) 會較長 (Wang et al., 2007)，同時下行主動脈 (descending aorta) 的 intima 厚度為年輕人的九倍，而 media 同樣也隨年齡的增加而增厚 (Virmani et al., 1991)，主要是由於血管壁中彈性蛋白分裂 (fragmentation)、鈣化 (calcification) 與密度降低、膠原濃度增加，進而產生與增加兩者交叉連結 (cross-linking)，以及 advanced glycation endproduct (AGE) 增加與平滑肌細胞肥大所導致 (Seals et al., 2006)。臨床上測量動脈管壁 intima media thickness (IMT) 為硬化程度的參考指標之一，IMT 隨著老化而增加，且個體間差異程度會隨著年齡的增加而增大 (Najjar et al., 2005; Seals, 2003; Seals et al., 2006)。除此之外，內皮細胞的功能失調也與動脈硬化有關。血管內皮細胞透過產生一氧化氮 (nitric oxide, NO) 與內皮素 (endothelin) 產生血管舒張與收縮，隨著年齡的增加，內皮細胞功能失調，主要是因為人體血管中 NO 產生濃度下降，內皮素分泌濃度上升，造成血管透過內皮細胞擴張 (endothelium-dependent dilation, EDD) 的作

用降低 (Taddei et al., 2001)。因此動脈管壁結構的改變，伴隨血管硬度增加與內皮細胞功能失調，使得血壓升高，包括動脈收縮壓 (systolic blood pressure, SBP)、舒張壓 (diastolic blood pressure, DBP)、平均動脈壓 (mean arterial pressure, MAP) 與脈壓 (pulse pressure, PP) 等，同時降低壓力反射敏感度 (baroreflex sensitivity)、增加動脈阻力 (cardiac impedance) 導致左心室肥大 (left ventricular hypertrophy) 與舒張功能不佳，進一步引發中風、冠狀動脈粥狀化、心臟衰竭與心臟相關疾病 (Seals, 2003)。動脈硬化程度不僅會隨著年齡和高血壓而增加，患有高膽固醇血症、糖尿病、動脈粥狀硬化、冠狀動脈疾病和慢性腎臟疾病的病人的血壓也可能會比同年齡健康者來得高。

動脈彈性特質與血壓變化

對於年輕人而言，SBP 與 DBP 的上升與周邊血管壓力增加有關，而老年人 DBP 的下降則與中心動脈硬化有關 (Franklin et al., 1997)。研究顯示老化過程中，無論是健康者或者是未服用藥物的高血壓病人，SBP 從 30 歲到 84 歲呈現直線上升的趨勢，而 DBP、MAP 於 50 至 60 歲前也會增加，但 60 歲之後 DBP 會降低，故 PP 會呈現顯著上升的情況；DBP 的上升在 40 歲以前是預測心血管疾病發生的最佳指標；在 60 歲後，PP 是預測發生心血管疾病的重要危險因子 (Hirata, Kawakami, & O'Rourke, 2006)。過去研究結果認為，老化過程中，PP 的增加與

中風、心血管疾病與心室衰竭有關 (Mosley, Greenland, Garside, & Lloyd-Jones, 2007)。然而最近一篇長期追蹤研究發現，SBP、DBP、MidBP (SBP 與 DBP 的平均值) 與 MAP 均較 PP 更能夠預測罹患心血管疾病的發生，且觀察 SBP 的變化對於老年人的意義更大 (Hirata et al., 2006)，同時監控 24 小時動態血壓 (ambulatory blood pressure) 較傳統測量方式更能準確瞭解高血壓病人的血壓變化，成為目前監控血壓的黃金指標 (Pickering, Phil, Shimbo, & Hass, 2006)。

除了血壓之外，觀察動脈硬化程度以及動脈順應性 (arterial compliance) 為測量動脈彈性特質兩項重要指標。動脈順應性是代表動脈管徑隨著血壓變化改變的程度，也就是反應動脈在左心室收縮與舒張時，承受每跳心搏輸出 (stroke volume) 血流量擴張與彈回的能力 (Jani & Rajkumar, 2006; O'Rourke & Hashimoto, 2007)，動脈硬化程度增加，順應性便會降低。對於患有高血壓的病人，血管硬化的程度呈現加速的現象 (McEniery et al., 2007)。換言之，高血壓病人的血管與年齡較大且健康者相比，動脈硬化程度較高，呈現提早老化的現象。另一方面，研究指出目前以測量肱動脈血壓的方式，並不能完全反應中心動脈的血壓以及硬化的情形，因為一般測得的肱動脈壓與中心動脈壓有顯著差異 (O'Rourke & Staessen, 2002)。由於相關研究與技術的演變，現今已發展出多項利用非侵體的測量方式，能更精確地評估動脈硬化程度 (Laurent et al., 2006; McEniery et al., 2007)，包括脈波波形分析 (pulse wave analysis) 以及脈波傳遞速

率 (pulse wave velocity, PWV) 等, 其中 PWV 目前被認為是測量硬化程度的黃金標準指標 (Blacher, Asmar, Djane, London, & Safar, 1999), 其原理是利用在動脈系統的固定兩點, 例如頸動脈和股動脈間, 測量其脈波傳遞的時間 (transit time), 再以此兩點間的距離除以時間, 即獲得 PWV。PWV 能評估動脈粥狀化程度 (Asmar, Rudnichi, Blacher, London, & Safar, 2001; Blacher et al., 1999), 同時被研究認為是預測患有高血壓 (Cruickshank et al., 2002)、糖尿病 (London et al., 2001)、腎臟病 (Sutton-Tyrrell et al., 2005) 等病人死亡率的重要指標。對於患有心血管疾病老年人而言, PWV 每增加 5m/s 會提高 34% 的死亡率, 而在 70 歲後, 每增加 1m/s 即增加 19% 的死亡率 (Tanaka & Safar, 2005)。另外, 脈波波形分析所測得之增幅係數 (augmentation index: 動脈波傳遞回流幅度)、脈壓以及利用超音波測得 β 硬化指數 (β -stiffness index), 都是觀察動脈硬化的參考指標 (O'Rourke & Staessen, 2002)。由於動脈硬化以及順應性在高血壓的形成過程中扮演重要角色, 故臨床上如能以簡易的方式測量動脈血管的彈性特質與硬化指標, 對於預防高血壓與心血管併發症應有相當大的幫助。

運動介入的生理效益

過去研究證據顯示, 生活型態的調整能夠預防或是降低動脈硬化的程度 (Lesniak & Dubbert, 2001; Tanaka & Safar, 2005; van

Baak, 1998), 除了藥物控制、減輕體重、減少鹽類攝取、飲食控制與不吸菸外, 增加身體活動對於降低血壓具有顯著的效果 (Blair, Goodyear, Gibbons, & Cooper, 1984)。流行病學研究調查顯示低程度的身體活動或是身體適能較差的人易罹患高血壓, 且與個人體重或肥胖度變化無關 (Vaitkevicious et al., 1993), 這資料顯示透過運動增加身體活動量為預防與治療高血壓的重要方式之一。運動的介入可以緩和老化所帶來的衝擊, 增加動脈順應性與降低血壓, 其主要機制可能為: (一) 運動所造成血壓與心跳上升, 增加作用力於中心動脈, 使其產生擴張與收縮, 就如同骨骼肌伸展一樣, 可以減低彈性蛋白與膠原交叉連結的形成。(二) 周邊動脈因為肌肉收縮產生擴張, 降低周邊血管阻力, 間接使得中心動脈擴張增加。(三) 運動造成體內動脈血流增加, 內皮細胞產生 NO 的濃度上升, 使得血管擴張程度增加, 同時能夠抑制平滑肌細胞的增生以及放鬆血管壁平滑肌。(四) 自主神經驅動降低, 使得休息心跳舒緩 (bradycardia) 增加, 運動中心跳加速 (tachycardia) 減緩等 (Tanaka, Dinunno, & Monahan, 2000)。至目前為止, 透過運動降低血壓的機制, 以及如何藉由適當的運動來減緩動脈硬化進而降低血壓, 是目前運動生理學於此主題的研究重點。

單次運動後低血壓研究

研究顯示單次運動對血壓有降低的效果; 人體在運動過程中血壓會逐漸升高, 在

運動結束後動脈 SBP 與 DBP 會在短時間內降低，且可能維持數十分鐘至數十小時之久，這種單次運動後血壓下降的現象稱為運動後低血壓（post exercise hypotension, PEH）(Kenney & Seals, 1993)。健康人從事單次運動後維持 PEH 的現象較患有高血壓的病人穩定，但血壓降低幅度較少，維持時間也較短。平均而言，健康人運動後 SBP/DBP 約降低 8/9mmHg，潛在高血壓者 14/9mmHg、高血壓患者 10/7mmHg；另一方面，從事有氧運動 (aerobic exercise) 或阻力運動 (resistance exercise) 都會產生 PEH，且大部分的研究認為 PEH 與運動後周邊血管阻力降低有關 (Kenney & Seals, 1993; MacDonald, 2002)。心輸出量與周邊血管阻力為影響動脈血壓兩大決定因素，在運動過程中心輸出量增加伴隨周邊血管阻力降低，在運動終止後，心輸出量快速下降，而周邊血管阻力仍處於較低的狀態，因而產生低血壓的反應 (Halliwill, 2001)。由 PEH 研究可知，高血壓患者若從事規律運動，則有助於運動後產生與維持低血壓狀態，達到控制血壓的目的，因此釐清單次運動後產生 PEH 的機制與長期訓練對 PEH 的影響，能夠瞭解運動如何幫助血壓降低。

長期運動介入與血壓控制的效果

長期有氧運動有助血壓降低與動脈血管彈性的改變，回顧分析 (meta-analysis) 研究指出，長期規律有氧訓練對降低血壓的效果，在高血壓病人最為顯著，依次為潛在高

血壓與一般健康人 (Cornelissen & Fagard, 2005b; Whelton, Chin, Xin, & He, 2002)。同樣地，中老年人若經過短期有氧訓練後，頸動脈順應性（中心動脈）在經過訓練後顯著上升，但體重、肥胖度、休息時 SBP 與 DBP、三酸甘油酯與休息心跳率均無顯著改變，表示有氧訓練能直接回復因老化所減低的動脈順應性 (Bertovic et al., 1999; Miyachi et al., 2003)。由此可知，從事有氧訓練能夠對動脈硬化程度有所改善，然而血壓方面，SBP 與 DBP 降低的程度會因為受試對象的不同有所差異。另一方面，阻力訓練對於減緩老年人肌肉流失以及骨質疏鬆的重要性已被日漸重視，然而，長期從事規律阻力訓練的年輕人與中年人與對照組相比較，動脈硬化程度卻較未從事訓練的人來的高，動脈順應性較低 (Miyachi et al., 2004)；而單次阻力運動 (De Van et al., 2005) 與短期阻力訓練 (Cortez-Cooper et al., 2005)，也會降低頸動脈順應性以及提高頸動脈的 AI 與 PWV 等硬化指標，但也有研究顯示動脈順應性並未改變 (Rakobowchuk et al., 2005)，其原因可能與運動方式與受試者特質有關，漸進式阻力訓練 (Rakobowchuk et al., 2005) 與爆發力型運動員高訓練量、高強度的訓練方式 (Cortez-Cooper et al., 2005) 比較，不會增加動脈硬化程度而降低動脈順應性；同時阻力訓練造成順應性降低的原因，也可能與正腎上腺素分泌增加，造成血管收縮有關 (Braith & Stewart, 2006)。近來研究顯示，中等強度阻力訓練結合有氧訓練其血管順應性並無下降 (Kawano, Tanaka, & Miyachi, 2006)；另外，划船為兼具訓練有氧

耐力與肌力的運動，在划船選手身上發現，與同年齡相比其動脈順應性較高，且 β 硬化指數較低，顯示有氧運動能減緩因阻力訓練所造成動脈順應性下降的缺點 (Cook et al., 2006)。儘管如此，長時間從事阻力運動仍有降低血壓的效果，回顧研究分析結果發現，SBP 與 DBP 於阻力訓練後皆顯著降低的趨勢，且可能對於改善休息 SBP 與 DBP 有幫助，但效果不如有氧運動 (Cornelissen & Fagard, 2005a)。

現有資料顯示單次有氧運動與長期有氧訓練都有降低血壓的效果，包括走路、跑步、游泳、騎腳踏車等 (Cornelissen & Fagard, 2005b; Cox et al., 2006; Lesniak & Dubbert, 2001; Mancina et al., 2007; Pescatello et al., 2004; Whelton et al., 2002)。研究顯示，單次有氧運動能產生 PEH，同時在高血壓病人也能維持較久的時間 (Halliwill, 2001; MacDonald, 2002)，而走路、跑步與腳踏車運動訓練介入，對於健康的人能夠降低其主動脈 PWV、增加動脈順應性 (Hayashi, Sugawara, Komine, Meada, & Yokoi, 2005; Thijssen, de Groot, Smits, & Hopman, 2007) 與降低安靜血壓 (Lesniak & Dubbert, 2001)。儘管如此，經文獻回顧後發現，現有針對游泳運動介入與長短期降低血壓效果的相關研究卻很少，且結果並不一致。例如 Tanaka et al. (1997) 針對中年高血壓患者進行 10 週游泳訓練後發現，訓練組在訓練後坐立 (seated) 與仰臥 (supine) SBP 顯著下降，而 DBP 與 MAP 也呈現下降趨勢；而 Cox et al. (2006) 卻在中年健康女性身上發現，經 6 個月游泳訓練後，坐立與仰臥 SBP

與 DBP 均顯著上升。經比較後發現，兩者結果不同可能與受試者對象以及實驗設計方法有關，Tanaka 以患有高血壓的中年男性為受試對象，而 Cox 的研究大部分為中老年健康女性；先前研究即指出，患有高血壓的病人於運動介入的效果較健康者顯著 (Cornelissen & Fagard, 2005b; Lesniak & Dubbert, 2001)，同時男女參與運動訓練所獲得的效果亦有所不同 (Tanaka & Safar, 2005)。另外，Cox 是以游泳初學者隨機分派進行訓練，但 Tanaka 的研究並非完全隨機分派，其以會游泳的坐式生活者為對象，可以選擇參與控制組或訓練組。Cox 認為未受過訓練的受試者對於參與長期運動所產生焦慮的不同，可能導致結果有所差異 (Cox et al., 2006)，但實驗設計僅有游泳組與走路組，沒有控制組進行比較，無法完全確認游泳訓練會使血壓上升 (Floras, Notarius, & Harvey, 2006)。同時 Tanaka 的實驗設計沒有進行隨機分派，可能會受到受試者個人對運動喜好的影響，而產生差異 (Jennings, 1997)。以上這些因素可能是造成研究結果不一致的原因，不過就現有的研究而言，並沒有完整的證據說明游泳訓練與血壓的關係。

游泳運動是具有節奏性與規律性的全身性運動，包括身體姿勢、水壓、臉部浸入水面與水中環境溫度等因素，與走路、跑步、腳踏車等陸上運動亦有所差異，所引發的生理效果也會有所不同 (Tanaka et al., 1997)。研究顯示，仰臥姿勢的中心血量會較直立姿勢高出 20% (Jennings, 1997)；同時與跑步比較，最大攝氧量會減少約 15%，最

大心搏輸出雖較跑步來得低，但血壓卻較高，可能是與游泳運動時，手部小肌肉運動增加，同時皮膚溫度較低，造成周邊血管收縮導致血管阻力增加有關 (Holmer, Stein, Saltin, Ekblom, & Astand, 1974)。儘管相關研究結果顯示游泳與其他運動產生不同的生理反應，但現今重要的研究學會，如美國心臟學會 (American Heart Association) 以及美國運動醫學會 (American College of Sports Medicine) 對於高血壓病人所提出的運動處方皆認為游泳和其他有氧運動 (跑步、腳踏車運動) 一樣都具有降低血壓的效果，可能主要都是根據 Tanaka et al. (1997) 的研究結果 (Floras et al., 2006)，故瞭解游泳訓練的介入對中老年人血壓變化以及對動脈硬化、順應性的影響是否與其他有氧運動相同，有助於瞭解從事有氧運動訓練對降低血壓的生理效益，對於未來中老年人或高血壓患者所建議的運動處方提供更多研究證據。

結語

運動對人體老化結構與功能退化具有延緩的效果，目前研究顯示有氧運動能夠有效降低因老化導致動脈硬化的程度與增加動脈順應性，而阻力運動的改善效益並不大，故長期有氧訓練結合適當的阻力訓練為目前針對老年人或高血壓患者適當的運動方式。另一方面，游泳運動在血壓控制的生理效益，目前研究並無一致的結果，需要進一步釐清。

引用文獻

- Asmar, R., Rudnichi, A., Blacher, J., London, G. M., & Safar, M. E. (2001). Pulse pressure and aortic pulse wave are markers of cardiovascular risk in hypertensive populations. *American Journal of Hypertension*, 14(2), 91-97.
- Bertovic, D. A., Waddell, T. K., Gatzka, C. D., Cameron, J. D., Dart, A. M., & Kingwell, B. A. (1999). Muscular strength training is associated with low arterial compliance and high pulse pressure. *Hypertension*, 33(1385-1391).
- Blacher, J., Asmar, R., Djane, S., London, G. M., & Safar, M. E. (1999). Aortic pulse wave velocity as a marker of cardiovascular risk in hypertensive patients. *Hypertension*, 33, 1111-1117.
- Blair, S. N., Goodyear, N. N., Gibbons, L. W., & Cooper, K. H. (1984). Physical fitness and incidence of hypertension in healthy normotensive men and women. *The Journal of American Medicine Association*, 252(4), 487-490.
- Braith, R. W., & Stewart, K. J. (2006). Resistance exercise training-its role in the prevention of cardiovascular disease. *Circulation*, 113(113), 2642-2650.
- Cook, J. N., De Van, A. E., Schleifer, J. L., Anton, M. M., Cortez-Cooper, M. Y., & Tanaka, H. (2006). Arterial compliance of rowers: implications for combined aerobic and strength training on arterial elasticity. *American Journal of Physiology: Heart, Circulation Physiology*, 290(4), 596-600.
- Cornelissen, V. A., & Fagard, R. H. (2005a). Effect of resistance training on resting blood pressure: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Journal of Hypertension*, 23, 251-259.
- Cornelissen, V. A., & Fagard, R. H. (2005b). Effects of endurance training on blood pressure, blood pressure-regulating mechanism and cardiovascular risk factor. *Hypertension*, 46, 667-675.
- Cortez-Cooper, M. Y., De Van, A. E., Anton, M. M., Farrar, R. P., Bechwith, K. A., & Todd, J. S., et al. (2005). Effects of high intensity resistance training on arterial stiffness and wave reflection in women. *American Journal of Hypertension*, 18, 930-934.
- Cox, K. L., Brurke, V., Beilin, L. J., Grove, J. R., Blanksby, B. A., & RPuddey, I. B. (2006). Blood pressure rise with swimming versus walking in older women: the Sedentary Women Exercise

- Adherence Trial 2 (SWEAT 2). *Journal of Hypertension*, 24, 307-314.
- Cruickshank, K., Riste, L., Anderson, S. G., Wright, J. S., Dunn, G., & Gosling, R. S. (2002). Aortic pulse-wave velocity and its relationship to mortality in diabetes and glucose intolerance: An integrated index of vascular function? *Circulation*, 106, 2085-2090.
- De Van, A. E., Anton, M. M., Cook, J. N., Neifre, D. B., Cortez-Cooper, M. Y., & Tanaka, H. (2005). Acute effects of resistance exercise on arterial compliance. *Journal of Applied Physiology*, 98, 2287-2291.
- Floras, J. S., Notarius, C. F., & Harvey, P. J. (2006). Exercise training- not a class effect: blood pressure more buoyant after swimming than walking. *Journal of Hypertension*, 24, 269-272.
- Franklin, S. S., Gustin, W., Wong, N. D., Larson, M. L., Weber, M. A., Kannel, W. B., et al. (1997). Hemodynamic patterns of age-related changes in blood pressure The Framingham Heart Study. *Circulation*, 96(1), 308-315.
- Halliwill, J. R. (2001). Mechanisms and clinical implication of post-exercise hypotension in humans. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 29(2), 65-70.
- Hayashi, K., Sugawara, J., Komine, H., Meada, S., & Yokoi, T. (2005). Effects of aerobic exercise training on the stiffness of central and peripheral arteries in middle-aged sedentary men. *Japanese Journal of Physiology*, 55, 235-239.
- 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, 1231-1239.
- Holmer, I., Stein, E. M., Saltin, B., Ekblom, B., & Astand, P. (1974). Hemodynamic and respiratory response compared in swimming and running. *Journal of Applied Physiology*, 37(1), 49-54.
- Jani, B., & Rajkumar, C. (2006). Ageing and vascular ageing. *Postgraduate Medicine Journal*, 82, 357-362.
- Jennings, G. L. R. (1997). Exercise and blood pressure: walk, run or swim? *Journal of Hypertension*, 15, 567-569.
- Kawano, H., Tanaka, H., & Miyachi, M. (2006). Resistance training and arterial compliance: keeping the benefit while minimizing the stiffening. *Journal of Hypertension*, 24(1753-1759).
- Kenney, M., & Seals, D. R. (1993). Postexercise hypotension: key features, mechanisms, and clinical significance. *Hypertension*, 22, 653-664.
- 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, 139-146.
- Laurent, S., Cockcroft, J., Van Bortel, L., Boutouyrie, P., Giannattasio, C., Hayoz, D., et al. (2006). Expert consensus document on arterial stiffness: methodological issues and clinical application. *European Heart Journal*, 27, 2588-2605.
- Lesniak, K. T., & Dubbert, P. M. (2001). Exercise and hypertension. *Current Opinion in Cardiology*, 16, 356-359.
- London, G. M., Blacher, J., Pannier, B., Guerin, A. P., Marchais, S. J., & Safar, M. E. (2001). Arterial wave reflections and survival in end-stage renal failure. *Hypertension*, 38(3), 434-438.
- MacDonald, J. R. (2002). Potential causes, mechanisms, and implications of post exercise hypertension. *Journal of Human Hypertension*, 16, 225-236.
- Mancia, G., De Backer, G., Dominiczak, A., Cigkova, R., Fagard, R. F., Germano, G., et al. (2007). 2007 Guidelines for the management of arterial hypertension: the task force for the management of arterial hypertension of the European Society of Hypertension (ESH) and of the European Society of Cardiology (ESC). *European Heart Journal*, 28, 1462-1536.
- McEniery, C. M., Wilkinson, I. B., & Avolio, A. P. (2007). Age, hypertension and arterial function. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*, 34, 665-671.
- Miyachi, M., Donato, A. J., Yamamoto, K., Takahashi, K., Gates, P. E., Moreau, K. L., et al. (2003). Greater age-related reductions in central arterial compliance in resistance-trained men. *Hypertension*, 41, 130-135.
- Miyachi, M., Kawano, H., Sugawara, J., Takahashi, K., Hayashi, K., Yamazaki, K., et al. (2004). Unfavorable effects of resistance training on central arterial compliance: a randomized intervention study. *Circulation*, 110, 2858-2863.
- Mosley, W. J., Greenland, P., Garside, D. B., & Lloyd-Jones, D. M. (2007). Predictive utility of pulse pressure and other blood pressure measures for cardiovascular outcomes. *Hypertension*, 49,

- 1256-1264.
- Najjar, S. S., Scuteri, A., & Lakatta, E. G. (2005). Arterial aging: is it an immutable cardiovascular risk factor? *Hypertension*, 46, 454-462.
- O'Rourke, M. F., & Hashimoto, J. (2007). Mechanical factor in arterial aging. *Journal of the American College of Cardiology*, 50(1), 1-13.
- O'Rourke, M. F., & Staessen, J. A. (2002). Clinical application of arterial stiffness; definitions and reference value. *American Journal of Hypertension*, 15, 426-444.
- Pescatello, L. S., Franklin, B. A., Fagard, R. F., Farquhar, W. B., Kelley, G. A., & Ray, C. A. (2004). American College of Sports Medicine Position Stand: Exercise and Hypertension. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(3), 533-553.
- Pickering, T. G., Phil, D., Shimbo, D., & Hass, D. (2006). Ambulatory blood-pressure monitoring. *New England Journal of Medicine*, 354, 2368-2374.
- Rakobowchuk, M., McGowan, C. L., de Groot, P. C., Bruinsma, D., Hartman, J. W., Phillips, S. M., et al. (2005). Effect of whole body resistance training on arterial compliance in young men. *Experimental Physiology*, 90, 645-651.
- Seals, D. R. (2003). Habitual exercise and the age-associated decline in large artery compliance. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 31(2), 68-72.
- Seals, D. R., Mareau, K. L., Gates, P. E., & Eskurza, I. (2006). Modulatory influences on ageing of the vasculature in healthy humans. *Experimental Gerontology*, 41, 501-507.
- Sutton-Tyrrell, K., Najjar, S. S., Boudreau, R. M., Venkitachalam, L., Kupelian, V., Simonsick, E. M., et al. (2005). Elevated aortic pulse wave velocity, a marker of arterial stiffness, predicts cardiovascular events in well-functioning older adults. *Circulation*, 111, 3384-3390.
- Taddei, S., Virdis, A., Ghiadoni, L., Salvetti, G., Bernini, G., Magagna, A., et al. (2001). Age-related reduction of NO availability and oxidative stress in humans. *Hypertension*, 38(274-279).
- Tanaka, H., Bassett, D. R., Howley, E. T., Thompson, D. L., Ashraf, M., & Rawson, F. L. (1997). Swimming training lowers the resting blood pressure in individuals with hypertension. *Journal of Hypertension*, 15, 651-657.
- Tanaka, H., Dinunno, F. A., & Monahan, K. D. (2000). Aging, habitual exercise, and dynamic arterial compliance. *Circulation*, 102, 1270-1275.
- Tanaka, H., & Safar, M. E. (2005). Influence of life style modification on arterial stiffness and wave reflections. *American Journal of Hypertension*, 18, 137-144.
- Thijssen, D. H. J., de Groot, P. C. E., Smits, P., & Hopman, M. T. E. (2007). Vascular adaptations to 8-week cycling training in older men. *Acta Physiologica*, 190(3), 221-228.
- Vaitkevicious, 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, 1456-1462.
- van Baak, M. A. (1998). Exercise and hypertension: facts and uncertainties. *British Journal of Sports Medicine*, 32, 6-10.
- Virmani, R., Avolio, A. P., Mergner, W. J., Robinowitz, M., Herderick, E. E., Cornhill, J. F., et al. (1991). Effect of aging on aortic morphology in population with high and low prevalence of hypertension and atherosclerosis. *American Journal of Pathology*, 139(5).
- Wang, M., Zhang, J., Jinag, L. Q., Spinetti, G., Pintus, G., Monticone, R., et al. (2007). Proinflammatory profile within the grossly normal aged human aortic wall. *Hypertension*, 50, 219-227.
- Whelton, S. P., Chin, A., Xin, X., & He, J. (2002). Effect of aerobic exercise on blood pressure: a meta-analysis of randomized, controlled trials. *Annals of Internal Medicine*, 136, 493-503.

The Influence of Exercise on Arterial Elasticity and Aging Hypertension

Lin, Hsin-Fu^{*1} Wang, Jye-Shyan²

¹ National Taiwan University ² National Taiwan Normal University

Abstract

The structurally and functionally deterioration of human artery in aging contributes to higher risk of suffering hypertension or related cardiovascular diseases. Pulse wave analysis and velocity have been clinically proposed as gold standards, which are superior to traditional blood pressure monitoring in assessing arterial elasticity. Previous studies showed exercise, especially aerobic exercise, is an effective non-pharmaceutical modality in decrease arterial stiffness and preserve arterial function. Despite resistance exercise has been found unfavorable to arterial compliance, it is still suggested that resistance exercise is effective on lowering blood pressure from long-term perspective. Aerobic training combined proper resistance exercise so far is most suitable for elder and hypertensive people as far as exercise modality is concerned. In addition, swimming that has been considered as aerobic type of exercise recently was found causing increased blood pressure after training, which was different from pervious findings. Further studies are needed to clarify whether swimming exercise is favorable in lowering blood pressure that can be recommended as an effective mode for elder and hypertensive people.

Key words: exercise, aging, hypertension, arterial stiffness, arterial compliance