

第貳章 相關文獻探討

本章就心肺適能的定義、測量方法與運動訓練對心肺適能的影響分為五節來加以探討：一、心肺適能定義與測量方法之比較。二、青少年心肺適能的發展與成年期心肺適能之相關性。三、集中式與分段式運動對心肺適能的影響。四、心肺適能運動處方探討。五、本章總結。

第一節 心肺適能定義與測量方法之比較

一、心肺適能的定義

健康體適能是由心肺耐力、肌力與肌耐力、身體組成與柔軟度四個不同的要素所組合而成的。陳朝煌（1992）指出，心肺耐力是現代人最重要的適能，促進心肺耐力對於慢性病的防治、壓力紓解、活力增進和心理健康等都有相當的助益，是解決現代生活缺陷的良方。許多學者與組織都曾經對心肺耐力做定義。體委會（1999）在「健康體能報告書」中為心肺耐力做了以下定義：身體在活動時，能持續地吸收與利用氧氣的能力，涉及的範圍包括了心臟、肺臟、血管和血液等，是健康體能中最重要的一項，是全身性運動持久能力的指標。AAHPERD在1984年對心肺耐力（cardiovascular endurance）做了以下的定義：心肺耐力又稱心肺適能，指大肌肉群在某一特定運動強度持續一段時

間的能力。Corbin (2001) 對心肺適能的定義為：心臟、血液、血管及呼吸系統供應氧氣到肌肉以維持動力的能力。Power和Dodd (1996) 認為心肺耐力是指在運動期間，心臟將含氧血輸送到工作中的肌肉群之能力。也有學者指出人體在某一特定運動強度下持續活動的能力，亦指肌肉、神經、循環及呼吸等系統長期活動的能力（陳定雄、曾媚美、謝志君，2000）。綜合以上學者的論點，心肺耐力是指在全身性的運動之下，呼吸與循環系統供應氧氣與養分到肌肉並且能持續運動的能力。因此心肺適能可以說是個人的心臟、肺臟、血管、與組織細胞有氧能力的指標。心肺適能較佳時，可以使運動時間持續較久且不易疲倦，使平日工作時間可以維持更久、更有效率。

二、心肺適能測量方法之比較

心肺適能評估最準確、最可靠的指標為最大攝氧量及運動持續時間(ACSM, 1995)。最大攝氧量是指人在海平面上，從事激烈運動下，組織細胞所能消耗或利用之氧的最高值（林正常，1997）。最大攝氧量為生理學研究中，應用最廣、使用最為頻繁的有氧運動能力或心肺功能最重要的指標（鄭安城、林正常，1993）。但是測量最大攝氧量必須在研究室中依靠昂貴的儀器測量，而且直接測量最大攝氧量需進行一激烈的衰竭性運動，測量時間長，無法進行大樣本的測量，於是便有許多學者提出了簡單替代的方式來評估心肺耐力，例如心跳率。

林正常(2002)提到，心跳率簡單來講，是心臟每分鐘跳動的次數。心臟搏動的機制雖然相當複雜，但站在體育從業人員實用的立場，它可說是最為簡單易得，而且使用範圍相當廣泛的一項指標。測量心肺適能最直接最好的方法便是藉由最大攝氧量 ($\dot{V}O_{2max}$) 來呈現，但是要直接測量最大攝氧量會有相當的限制與不便；如儀器的設置與操作，非經過訓練之專業人員，否則可能會有使用上的問題。而心跳率則是最好替代預估最大攝氧量的方法之一。美國運動醫學會出版運動測試與指引(2000)一書中也提到，在針對體適能測試中，所採用漸增式負荷運動最簡易的生理評估指標便是心跳率。

目前國內外常見的心肺耐力測量法有以下三類：一、最大跑步測試(maximal run test)例如：十二分鐘跑及1600公尺跑。二、步行測試(walk test)例如：受測者盡可能的快速走完1600公尺(Kline, 1987)。三、三分鐘登階測驗(step test)或哈佛登階測驗(Harvard step test)。這三類測量方法各有優缺點，分述如下：

最大跑步測試的優點：(一)與最大攝氧量有較高的相關性，理論上在心肺耐力的測量上有較高的信度。(二)在動作方面，因為跑與走都是人的天賦本能，任何人在動作上都不必再學習。(三)測驗時只需要幾個碼錶與測驗人員，在操場上就能夠同時測驗大量的人員。(四)節省測驗的時間與花費。最大跑步測試的缺點：(一)對於受測者的生

理反應難以監測，因為繞著操場跑無法對施測者隨時觀察。(二)難以掌控受測者的參與動機，受測者不一定會盡力去完成測試，所以信度較低。最大跑步測試所需的條件為受測者要在最大攝氧量達90~95%的運動強度下，持續的跑完全程，但是受測者的運動強度無法控制且不易達成所需條件，所以僅要求其盡最大努力跑完全程即可 (Powers & Howley, 2001)。(三)需要一個可測量的場地，大部分是使用操場，所以會受到天候的影響。

步行測試其優缺點大致與最大跑步測試相同，但是步行測驗範圍較廣，可以用於老年人、無法跑步、無法進行劇烈運動的人。其測量方法為測量心跳率，與最大跑步測驗測量時間的方式不同。

三分鐘登階測驗的優點：(一)Camaione (1993) 指出這一項是對任何人都很容易進行的測驗，因為登階的動作與日常生活中上下階梯相同，不需要經過訓練就可以施測。(二)測驗所需器材不多，只要階梯、碼錶、節拍器就可以進行。(三)測驗場地不大，而且室內室外皆可進行測試。(四)測驗時一對一施測，容易觀察與控制施測者的情況。(五)不需要任何昂貴的儀器或開銷。

三分鐘登階測驗的缺點：登階需藉助節拍器進行，且階梯高度與節奏對老年人、孕婦以及心肺適能較差者是一大負擔。

鄭安城與林正常 (1993) 研究發現登階測驗後，每一階段的恢復

心跳數（0分5秒-0分20秒、1分-1分15秒、2分-2分15秒、3分-3分15秒的心跳數）與原地跑步機所測之最大攝氧量均達顯著相關，而且以1分-1分15秒的恢復心跳數之相關性最高（ $r=.80$ ），體能指數也達顯著相關（ $r=.69$ ）。因此，可以用登階測驗來預估最大攝氧量，作為評估心肺耐力的方法。本研究即採用心跳率來取代最大攝氧量，並以登階訓練當作運動介入的方法，將研究的實驗組成分段登階訓練運動組與集中登階訓練運動組。

第二節 青少年心肺適能的發展與成年期心肺適能之相關性

之前在文獻中提到探討心肺功能時，最常用的指標包括攝氧量、心跳率、換氣量等，而其中最具代表性的就是最大攝氧量。而最大攝氧量會隨著個體之成長而增加。一般來說，男生在6至18歲，女生在6至14歲之間，最大攝氧量會隨年齡增加而逐漸上升。因此在觀察青少年從事運動訓練後，在探討其心肺適能的成效時，必須要深入探究最大攝氧量的增加究竟是由於生長或是運動訓練所造成，因為最大攝氧量絕對值(L/min)會隨著生長而逐漸增加，所以必須排除生長與體型等因素，才能正確評斷出運動訓練的實際效果。

Keul(1982)則指出將絕對攝氧量直接除以單位體重是最簡單的方式，同時也能比較不同體型者之最大攝氧量差異，因此之後的研究

大多都以單位體重的最大攝氧量來作為心肺適能比較的依據。

Han and Robbert(1985)以307位12-18歲的青少年男女為實驗對象，探討其生理發展趨勢。其中在心肺適能的部分，以跑步機測驗方式分別探討非最大運動攝氧量與最大攝氧量跟生長的關係。結果發現在漸增負荷測驗中，不論男性或女性，在相同的強度下，年齡愈大有愈高的攝氧量。這是因為男女性的體重在這時期分別增加了30%、15%，因此推論隨著體型增大，肌肉量的增加，攝氧量自然也就增加，但在每分鐘心跳率方面，反而隨著年齡增加而逐漸減少。最大攝氧量方面，以絕對值(L/min)表示的話，男性的最大攝氧量隨著年齡而增加，女性則在13歲之後持平。但是由於此時男女性體重皆逐漸增加，因此，如果以單位體重(ml/kg/min)表示，則男性保持穩定狀態，女性則有下降趨勢。造成這種現象的原因，主要是由於男女性在增加體重的過程中，男生會增加較多的肌肉，而女性會因為荷爾蒙的關係造成身體脂肪比例增加，相較之下，較多的肌肉自然會增加較多的攝氧量，也因此造成男女生最大攝氧量改變上的差異。

理論上來說，最大攝氧量雖然會隨著年齡增加而增加，不過實際上，這幾十年來卻發現青少年整體之最大攝氧量有不增反降的趨勢。Shephard(1992)則認為身體活動量的減少與最大攝氧量降低有關，甚至提出身體活動不足的青少年，其最大攝氧量可能從12歲開始就開

始衰退並減少。

Han等(1985)指出包括換氣量、換氣當量以及心跳率都會隨成長而有所改變，而且最大心跳率或安靜心跳率也都會隨年紀增加而逐漸降低。

對於青少年時期與成年其心肺適能的相關性，有研究指出青少年的身體活動，所產生的健康效果將延續到成人，而且青少年時期的運動習慣將影響成年期時之運動行為(Sallis, Simons-Morton & Stone, 1992)。也有學者Barnekow, Hedberg, Janlert and Jansson(2001)，以220位男性與205位女性研究青少年時期與成年期的身體活動之相關，結果發現這些青少年的身體活動方式將影響18年後的運動行為，尤其以休閒時間的身體活動影響最大。這顯示出如果能在青少年時期培養良好的運動習慣，將可延續到成人以達到健康促進的目的。

Dennison, Straus, Mellits and Charney(1988)探討453名青少年體適能與成年人缺乏身體活動現象之相關。在體適能表現方面以600碼跑與仰臥起坐來評估，結果發現青少年時期體適能測驗成績較佳者，成年之後身體活動比較活躍。從研究結果得知，青少年心肺適能的優劣將對成年之後的身體活動量造成相當幅度的影響。

現階段的國中學生，在學校真正能讓身體活動的課程就是體育課；由各國體育課實施時數來比較，美國有許多中小學每天均安排體

育課，法國中學平均每週安排 250 分鐘，中國大陸中學平均每週安排 150 分鐘，日本中學平均每週安排 100 分鐘（詹彩琴，2003）；就體育課上課時數而言，我國國內學生的運動時間相較其他國家明顯不足。這也就是國內兒童、青少年心肺適能逐年下降的主要因素之一。

因此，在國中階段，更應該積極宣導及培養學生養成規律的運動習慣，以維持適當的心肺適能，因為這個階段的心肺適能將有助於成年期的健康促進。

第三節 集中式與分段式運動對心肺適能的影響

運動對心肺適能的促進效果，對一般人來說，增加幅度介於 5%-30% 不等，但若是長期臥床休息者，配合適當的運動訓練則可能增加 100% 之多 (ACSM, 1988)。Wilmore and Costill (1994) 指出長期耐力訓練之所以造成心肺適能的增進，主要是由於生理上的變化，包括運動時最大攝氧量增加、每跳輸出量增加、動靜脈含氧差增加並能承受較高的乳酸濃度等，同時安靜心跳率降低、每跳心輸出量增加等。以下就集中式運動與分段式運動對心肺適能的影響加以探討。

一、集中式運動對心肺適能的影響

Savage, Petratis, and Thomson (1986) 針對平均年齡 9.6 歲的兒童進行為期 12 週、每週 5 天、每天 2.4~4.8 公里的跑走運動，

將實驗組分成運動強度為 68% HRmax、85% HRmax 及控制組。研究結果發現，控制組的 $\dot{V}O_{2\max}$ 無增加，68% HRmax 組的 $\dot{V}O_{2\max}$ 有增加，但未達顯著差異；85% HRmax 組的 $\dot{V}O_{2\max}$ 有增加，且達顯著差異。

Duncan, Gordon, and Scott (1991)以59 位女性分別從事每週5次、每次以不同速度完成4.8 公里的走路訓練(速度分別為每小時8公里、6.4 公里、4.8 公里)。結果發現這些運動訓練在24 週後均顯著改善最大攝氧量，進步的幅度則是以每小時8 公里組最大，每小時4.8 公里組最小。這顯示心肺適能的增進效果與運動時的強度有關。

Rowland and Boyajian (1995)針對 37 位 10.9~ 12.8 歲的男女學童實施運動介入 12 週、每週 3 次、每次 30 分鐘、運動強度為最大心跳 166 下/分的運動訓練，研究結果發現，運動組在運動訓練後 $\dot{V}O_{2\max}$ 增加 6.5% ，且達顯著差異；而控制組則無明顯改變。

Welsman, Armstrong, and Withers (1997) 以51位9到10歲的青少年為研究對象，分成三組分別施予8週，每週3天，第一組17位實施20-25分鐘有氧運動訓練；第二組18位實施20分鐘、運動強度為最大心跳160-170的跑步機訓練；控制組16位。研究結果發現，控制組與運動組心肺適能均無顯著提昇。推究其原因為訓練強度雖然足夠，可能因為運動持續時間不足或是運動訓練週期過短導致無法促進心肺適能。

Baquet, Berthoin, Gerbeaux and Praagh (2001) 針對11到16歲學童分為高強度運動組（女243人、男260人）和控制組（女21人、男27人）分別施予每週3小時的體育課程，共10週的運動訓練。其中針對高強度運動組，從每週三小時的體育課中抽出1小時實施強度為100% 最大有氧耐力的間歇運動（10秒鐘）；研究結果發現：高強度運動組在立定跳遠、20公尺折返跑及7分鐘跑走均有明顯的提昇，而控制組則無改變。

麥秀英、卓俊辰(1984)以20名成年婦女為對象，進行每週三次、每次45分鐘的有氧舞蹈訓練，並測量其心肺適能與身體組成的變化。結果發現雖然對身體組成改變不明顯，但是對於最大攝氧量、安靜心跳等心肺適能指標均有顯著的改善($p < .01$)。

吳重貴(2001)針對64位國中女生探討國中三年級女生以不同運動方式介入，經過十週、每週三天、每次30分鐘對其心肺功能之比較分析。共分為實驗組（十二分鐘跑走組、跳繩運動組及新式健身操組等三組）與控制組，以脈搏數每分鐘 130 ± 5 次以上的運動強度為期十週的運動介入；結果發現十二分鐘跑走、跳繩活動及新式健身操等三組，在心肺耐力上明顯優於控制組，且於訓練後明顯要比訓練前好。研究並指出長期從事規律運動訓練可提升國中女生心肺功能。

二、分段式運動對心肺適能的影響

至於該如何運動才能達到心肺適能促進的效果，多年來 ACSM 針對心肺適能的促進提出以下建議(表 1)：

表 1 ACSM 對身體活動的建議(吳益佳整理，2004)

年代	運動強度	運動頻率/週	運動持續時間 mins
1975	60-90%	3	20-30mins
1980	50-85%	3-5	15-60
1990	50-85%	3-5	20-60
1998	中等以上強度	盡量每天	累積 30 mins 以上

ACSM 長期以來對運動持續時間的建議都維持在 20 到 60 分鐘不等。但是對於多數體適能不佳者、孕婦及老人而言，一開始要他們達到這個要求是有困難的。所以 ACSM 建議一天連續運動 20~60 分鐘或一天累積多次 10 分鐘、運動持續時間達到 30 分鐘以上的運動對心肺適能會有所幫助的。而且根據調查，許多運動參與者也認為他們可以接受分段式的運動方式對於達到促進健康益處和持續運動 30 分鐘有相同的效果；並且這種方式在有氧運動時能創造出更多好玩的氣氛。ACSM 也提出，中等強度（55—69% 最大心跳率）能有效控制體重；分段運動（每次 10—15 分鐘）每天累積 30—45 分鐘的效果和持續時

間運動的效果相當。

對於 ACSM 所提出的這個理論，之後也經由許多的研究得到證實。Coleman 等 (1999) 以最大心跳率 55-65% 為運動強度，運動頻率為每週 6 天，運動介入時間 16 週的跑走運動，將受試者分成三組：單次運動 30 分鐘、每天分成 3 次、每次運動 10 分鐘以及每次 5 分鐘但累積 30 分鐘以上。研究結果發現：各組均能改善有氧適能與收縮壓；而且只要累積足夠運動時間，一樣也可以達到增進心血管健康之功效。

Donnelly, Jacobsen, Heelan, Seip and Smith (2000) 以 22 位無規律運動習慣的女性為對象，採用 60-75% 最大心跳率為運動強度的快走運動，將受試者分為兩組，一組每週運動三天、每次運動 30 分鐘；另一組每週運動五天、每天進行二次 15 分鐘的運動；經過 18 個月的運動訓練後，結果發現兩組的心肺適能均提升。

林瑞興與方進隆 (2000) 以 22 名安靜血壓偏高的青少年，分成三組從事 12 週不同形式的快走訓練，運動強度為最大心跳率 130~140 次/分，研究結果發現每週 3 天、每天 3 次、每次 10 分鐘及每天連續 30 分鐘的快走訓練，對改善體適能的效果是一樣的。

吳益佳 (2004) 以 30 名男性青少年(平均年齡為 13.6 ± 0.5 歲，平均最大攝氧量為 $47.13 \pm 7.24 \text{ml/kg/min}$) 作為受試對象，以配對分

組方式分為集中式跑步運動組、分散式跑步運動組及控制組。集中式運動組除每週兩次體育課外，額外進行強度為 $70\% \dot{V}O_2R$ ，每週 3 天、每次連續 30 分的跑步運動；分散式運動組則除體育課外，進行強度為 $70\% \dot{V}O_2R$ ，每週 3 天、每天分為早晚 2 次各 15 分鐘的跑步運動；控制組除體育課外，不從事任何運動。研究結果發現以八週時間從事每週 3 天、每天 30 分鐘強度為 $70\% \dot{V}O_2R$ 之跑步運動，不論是以集中方式或分散方式來加以進行，均能有效改善青少年之心肺適能。

由上述文獻可知，有多數研究顯示分段式運動對於心肺適能的增進與集中式運動有著相同的效果 (Coleman 等, 1999; Murphy & Hardman, 1998)。依目前國民中學體育課程標準規定，每週兩天，每天上課 45 分鐘；然而體育教師在課程的規劃上必須兼顧到運動技能的學習及其他體育常識的灌輸，所以要每堂體育課都達到連續 30 分鐘的有氧運動是有它的困難點。因此根據 ACSM 的建議可以將運動時間分成數段，累積足夠的運動時間，一樣可以達到維持或促進心肺適能的效果；所以在促進兒童、青少年心肺適能的運動處方選擇上，可以更有彈性而同樣能達到所預期的效果。吳益佳曾將集中式與分段式運動對心肺適能的影響文獻整理條列如表 2。

表 2 集中式與分段式運動對心肺適能的影響(吳益佳整理, 2004)

研究者	對象	組間運動時間	運動強度	運動頻率	運動期	運動方式	效果
Debusk 等(1990)	36 位中 年男性	1. 單次 30mins 2. 3*10mins	65-75%HRmax	每天	8 週	慢跑	有
Duncan 等(1991)	102 位 停經婦 女	1. 4.8km/h 2. 6.4km/h 3. 8.0km/h 4 控制組	完成 4.8km/天 每天約 40-60mins	5 天/週	24 週	快走	有
Murphy 等(1998)	47 位中 年女性	1. 單次 30mins 2. 3*10mins 3. 控制組	70-80%HRmax	5 天/週	10 週	快走	有
Coleman 等(1999)	32 位成 年男性	1. 單次 30mins 2. 3*10mins 3. 每次 5mins, 累 積 30mins	55-65%HRmax	6 天/週	16 週	快走	有
Woolf 等 (1999)	56 位中 年男女	1. 單次 20-40mins 2. 多次 5-10mins 3. 多次 10-15mins 4. 控制組	70%HRmax	每天	18 週	快走	有
Donnelly 等(2000)	22 位無 規律運 動女性	1. 單次 30mins 2. 2*15mins	60-75%HRmax	1 組 3 天/ 週 1 組 5 天/ 週	18 個月	快走	有
Thomas 等(2001)	18 位年 輕男女	1. 單次 30mins 2. 3*10mins 3. 控制組	50-60%HRmax	3 天/週	12 週	快走	無
Schmidt 等(2001)	48 位過 重女性	1. 單次 30mins 2. 2*15mins 3. 3*10mins 4. 控制組	75%HRR	3-5 天/週	12 週	有氧運動	有
吳益佳 (2004)	30 位男 性青少 年	1. 單次 30mins 2. 2*15mins	70% $\dot{V}O_2R$	3 天/週	8 週	跑步	有

第四節 心肺適能運動處方文獻探討

一般來說，心肺適能的運動處方可從運動強度、運動頻率、運動持續時間及運動方式四個方面來加以探討。

一、運動強度

在早期，ACSM 建議的強度較高，並且多以最大心跳率(maximum heart rate, HR_{max})來設定標準。如果要增進心肺適能，運動強度必須介於55-65%最大心跳率以上才會有效果(ACSM, 1998)。除此之外，近年來ACSM 也建議以保留心跳率(heart rate reserve, HRR)來設定運動強度，因為保留心跳率與保留攝氧量之間的相關，大於心跳率百分比與最大攝氧量百分比之間的相關(Swain, Abernathy, Smith, Lee & Bunn, 1997)。因此在運動強度的設定也開始使用HRR的概念(Schmidt等, 2001)。

二、運動頻率

為了增進心肺適能，ACSM 建議每週應運動3-5天。不過當運動頻率超過每週3天時，其增加效果將趨緩；而超過每週5天時，幾乎就沒有增加任何效果了(Wenger等, 1986)，反而會因為過度頻繁的運動增加下半身負荷，進而提高運動傷害的機率(McArdle, Katch & Katch, 1996)。

三、運動持續時間

ACSM(1998)指出以中強度運動增進心肺耐力的時間，每次必須活動20-60分鐘或是累積多次10分鐘，不過運動時間的長短必須考量運動的強度，如果強度低，可能要連續運動30分鐘以上才有效果。

四、運動方式

ACSM建議應以長時間、具節奏性的大肌肉活動為主。不過長時間的運動，對於剛開始運動者、老年人或是體重過重者容易造成下肢的運動傷害 (Pollock等, 1991)。對於這些群體，ACSM (1998) 建議應以低強度、低負重的運動為優先考慮(譬如快走、慢跑、騎腳踏車或游泳)。文獻中多數的研究是以坐式生活、體重過重者為研究對象，因此運動介入的形式也多以快走為其運動方式。而對於兒童、青少年以慢跑、快走或是登階將是最簡單又最方便的運動形式。

第五節 本章總結

綜合上述所提，每週三到五天大肌肉運動（例如快走、慢跑、踩腳踏車、慢跑、登階），運動強度為最大心跳率的60—90%，運動時間集中20~60分鐘或是分段（5—15分鐘）累積運動時間30—45分鐘，亦同樣有促進心肺適能的效果。分段式運動在過去的研究都是以成年人的坐式生活者為研究對象，而且大多數的研究均支持在適當強度下能有效促進心肺適能的提升。相對於正處青春期的國中女生而言，將運動時間分段實施是否也能達到相同的效果？有待進一步去釐清與探討。