

第一章 緒論

1.1 研究動機

臨床物理治療上使用等速運動來幫助病人延緩肌肉萎縮、訓練肌力及肌耐力和評估神經肌肉等相關問題⁽¹⁾，已有三十餘年之歷史，臨床治療人員對於等速運動在神經肌肉病變方面或骨科問題上，皆有準確效度和訓練效果⁽²⁾。由於使用等速運動來訓練時，病人或受試者經常需要盡其最大的能力來執行等速運動訓練，此等速運動訓練的心血管反應對正常人與骨科患者可能是一種負荷 (stress)⁽³⁸⁾。

心血管系統受到負荷會反應在運動中的心跳與血壓上。各種型式的運動方式之特定反應是很重要的，因此，運動計畫對於有心臟疾病的人可以根據不同狀況做調整。等速運動已經廣泛應用於肌肉骨骼受傷的肢體復健，這些患者可能有症狀的心血管疾病或沒有明顯症狀的心血管疾病。基於這些情形，等速運動訓練對於心血管反應之研究討論更顯得重要。然而，並無太多之研究進行此一問題的探討。

研究探討阻力運動產生的心血管反應，大多在等長和等張運動下觀察，很少探討等速運動對心血管之影響⁽⁴⁰⁾。有些學者^(40,45)認為等速運動造成心血管的壓迫可能是很大的，他們並建議在執行等速運動之前必需對心血管系統做評估和篩選。過去有關年輕人最大等速運動對心血管系統反應之研究測試，大多著重在等速向心運動^(12,21)；只有少數討論到等速離心運動或等速向心運動

兩種方式引起的心血管反應。等速離心運動與等速向心運動和等長收縮運動做比較，等速離心運動只需少量的神經肌肉活動和能量消耗，但卻產生較大的力矩值；在離心收縮時，被動的平行彈性單元與串聯彈性單元增加對力量的影響甚大，而收縮單元影響相對減小⁽⁵⁴⁾。因此，等速離心運動產生較大的力量和造成較小的血管壓力⁽⁴²⁾，可能與上述原因有關。

以往研究觀察連續等速向心運動對心肺生理反應之影響，但只記錄包括心跳、血壓等幾項基本變數，本篇研究探討正常年輕人執行膝部等速伸直彎曲向心運動和股四頭肌等速伸直彎曲向心/離心運動時受測者的心跳、血壓、換氣量、耗氧量、心跳血壓乘積、氣體交換率和血氧飽和度等變化，並且比較膝部等速向心運動和股四頭肌等速向心/離心運動這兩種運動計畫休息與運動中每一角速度時的心跳、血壓、換氣量、耗氧量、心跳血壓乘積、氣體交換率和血氧飽和度之的差異。過去研究未深入考量等速運動計畫對心血管反應之安全性與適用性，故本研究亦探討膝部等速向心運動和股四頭肌等速向心/離心運動在穩定狀態下對正常年輕人之心血管反應之影響與安全性。

1.2 研究目的

本文主要研究目的在於探討膝部等速向心運動和股四頭肌等速向心/離心運動計畫對正常年輕人心肺反應之影響，並比較膝部等速向心運動和股四頭肌等速向心/離心運動這兩種運動計畫下之心跳、血壓、氣體交換率、耗氧量、心跳血壓乘積、換氣量和血氧飽和度在不同角速度下之差異。

1.3 研究假設

本研究虛無假設如下：

1. 正常年輕人膝部等速向心運動和股四頭肌等速向心/離心運動前、運動中之每一個角速度，其心跳並無差異。
2. 正常年輕人膝部等速向心運動和股四頭肌等速向心/離心運動前、運動中之每一個角速度，其血壓並無差異。
3. 正常年輕人膝部等速向心運動和股四頭肌等速向心/離心運動前、運動中之每一個角速度，其耗氧量並無差異。
4. 正常年輕人膝部等速向心運動和股四頭肌等速向心/離心運動前、運動中之每一個角速度，其心跳血壓乘積並無差異。
5. 正常年輕人膝部等速向心運動和股四頭肌等速向心/離心運動前、運動中之每一個角速度，其換氣量並無差異。
6. 正常年輕人膝部等速向心運動和股四頭肌等速向心/離心運動前、運動中之每一個角速度，其氣體交換率並無差異。

7. 正常年輕人膝部等速向心運動和股四頭肌等速向心/離心運動前、運動中之每一個角速度，其血氧飽和度並無差異。

1.4 名詞解釋

1. 等速運動(Isokinetic exercise)

一種可固定速度的阻力運動。

2. 向心運動(Concentric exercise)

當肌肉收縮時肌肉兩端點間距離縮短，該肌肉收縮力的方向與作功的方向相同，所以這是一個屬於正機械功的運動。

3. 離心運動(Eccentric exercise)

當肌肉收縮時肌肉兩端點間距離變長，該肌肉收縮力的方向與作功的方向相反，所以這是一個屬於負機械功的運動。

4. 最大耗氧量(Maximal oxygen consumption)

指在海平面高度上做運動每單位時間所能攝入最大氧氣量，也表示個人的最大有氧能力或心肺適能。通常用每公斤每分鐘幾毫升表示，一般健全男性年齡 20-29 歲為 40-50 毫升/分鐘/公斤；女性為 35-45 毫升/分鐘/公斤⁽⁵⁷⁾。

5. 氣體交換率 (Gas exchange ratio)

肺部的二氧化碳排除率除以氧氣攝取率。一般正常人休息狀態之氣體交換率大約為 0.8，正常人激烈運動時的氣體交換率會大於 1.0，可做為運動時努力與否之參考。

6. 每分換氣量 (Minute ventilation)

是指一分鐘內吸進或呼出肺內的氣體的量 (但非兩者一起), 它經常指呼氣量而非吸氣量。

7. 心跳血壓乘積 (Rate-pressure product)

是由心跳和心縮壓乘積的百分之一作為心跳血壓乘積的指標。正常人休息時心跳血壓乘積為 10 毫升/分鐘/100 克，而運動時則可增至 50 毫升/分鐘/100 克。

8. 氧飽和度 (Oxygen saturation)

血中血紅素和氧氣結合之百分比稱之。當氧氣由肺擴散到血液，少部分 (3%) 溶於血漿及細胞液，其餘的 (97%) 則與血紅素結合，帶到組織，以供身體所需。

9. 急性心血管反應 (Acute cardiovascular responses)

藉觀察生理指標如心跳、呼吸速率、皮膚及深部的體溫、肌肉的活動等。

10. 慢性心血管適應 (Chronic cardiovascular adaptations)

指長期訓練後的生理適應，如訓練後其休息時的心跳下降、緩衝時間下降，達平原期時心跳下降。

11. 穩定狀態 (Steady State)

運動中生理功能 (如 $\dot{V}O_2$) 保持一定值 (穩定) 的一段時間。

12. 體內狀態 (BTPS)

體溫、壓力、飽和蒸氣壓。體溫 37°C ，身體的壓力與周圍 (環境) 壓力相同。

13. 代謝當量 MET (metabolic equivalent)

用來評估身體活動代謝消耗的單位。1MET 等於每公斤每分鐘 3.5 毫升的氧氣。

14. 努責效應 (Valsalva manoeuvre)

閉氣時腹部用力的現象。

第二章 文獻探討

本章文獻探討針對等速運動文獻、運動對心血管之反應和膝部等速向心運動和股四頭肌等速向心/離心運動對心血管之反應等文獻逐一討論。

2.1 等速運動文獻探討

近三十年來，等速向心和離心運動的觀念被廣泛地運用於臨床病人復健運動與肌力訓練⁽¹⁾，同樣的國際研究報告與成果甚多，應用於運動項目運動員測試報告也不少，然而這些研究報告主要是以等速向心收縮或等長收縮為主，直至近十餘年來才有更多功能的等速肌力測試儀器逐漸發展及出現，例如：Biodex，Kin-Com，Lido，SPARK，Cybex6000 等，等速離心收縮測試之研究與資料才逐漸增加。由於離心收縮對於動作功能與運動表現有著很大的貢獻，但是過去文獻對於等速離心肌力並未有完整的資料與研究，僅有少數幾篇研究探討等速離心收縮^(53,58)。很多文獻證明肌肉離心收縮增加肌力是由於彈性組成收縮組織和非收縮組織一起作用產生，然而肌肉向心收縮增加肌力只有收縮組織的貢獻產生肌力。儘管如此，單純等速向心訓練顯示也使得等速離心的肌力增加⁽⁴⁶⁾，而等速向心訓練使肌肉和關節酸痛程度比等速離心訓練較低，但在高強度的等速離心訓練計畫中學者認為肌肉比較容易發生延遲性酸痛⁽¹⁷⁾。

等速運動訓練的肌力改變與訓練速度、組數、訓練重覆的次數、訓練時之休息時間和關節角度等有關。等速向心運動計畫在下列幾種不同組合裏，

皆可使肌力增加。從訓練速度和組數來看，例如：1.在角速度每秒 60 度和 240 度時重覆 15 次。2.在角速度每秒 60 度時重覆 12 次執行二回⁽¹⁹⁾。3.在角速度每秒 60 度時重覆 8 次執行三回⁽¹⁶⁾。4.在角速度每秒 60 度時重覆 10 次執行一回，每秒 179 度時重覆 30 次執行一回和每秒 299 度時重覆 50 次執行一回⁽³⁵⁾。5.在角速度每秒 60 度重覆 5 次執行五回⁽¹¹⁾。從以上等速運動計畫的組合，不同的重覆次數、時間和角速度皆有可能增加肌力，視訓練時的目的和對象而調整等速運動計畫。Lesmes⁽³⁷⁾在 1978 年研究不同組數和時間的最大力矩值沒有顯著差異，另一研究比較 5 次慢速、10 次中速和 15 次快速之運動，發現三者間肌力增加沒有顯著差異。因此 Lesmes⁽³⁷⁾認為由於等速運動計畫採用的角速度不同，故其重覆次數並不一定會影響最大力矩值的增加，但每一組之重覆次數最少要三次。

在設計等速運動時，組與組間之休息時間亦是十分重要。研究證實⁽³⁶⁾，長的休息時間用來發展肌肉爆發力，短的休息時間用來增加肌肉耐力。例如：學者⁽³⁶⁾讓受試者每週運動三次持續四週，其間休息時間分別為短的休息時間 40 秒和長的休息時間 160 秒，結果發現長的休息時間增加大腿後肌最大力矩值比短的休息時間多。故做等速運動訓練時，休息時間的長短會影響肌力改變的幅度，長的休息時間會顯著的使肌力增加。

先前很多研究支持等速運動訓練可使肌力增加，那麼理想的訓練速度是什麼呢？快速或慢速呢？有些研究指出沒有證據顯示當要獲得最大力矩值時

需要在一特定速度下。Bell, Hinson, Lander, Lacerte 等學者^(4,25,32,33)分別在 60⁰/s 或 180⁰/s 訓練時獲得最大力矩值與在 60⁰/s,120⁰/s,180⁰/s 和 240⁰/s 時相近 Coyle⁽¹³⁾等人利用三種不同速度做實驗，慢速度訓練在 60⁰/s 執行五組，每一組五次最大收縮；快速度訓練在 300⁰/s 執行五組，每一組十二次最大收縮；結合慢速和快速分別各三組（在 60⁰/s 執行二至三組，每一組六次最大收縮和在 120⁰/s 執行二至三組，每一組十二次最大收縮），結果顯示在三組特定的訓練速度下皆可得到最大力矩值。綜合這些研究發現等速運動訓練可以增加肌力，但要獲得最大肌力需要取決於在特定速度下最大力矩值的增加。

2.2 運動對心肺反應之影響

運動時，氧氣的需求大增，能量代謝的速率增加，代謝後的產物也必須加速排除，因此，呼吸系統與循環系統都會加快腳步來因應身體的需求。運動時呼吸的速率會變快，潮氣量 (tidal volume) 也會增加以吸入較多的氧氣及排出二氧化碳，心臟會加速收縮，血液循環加快，以迅速將氧氣及養份送到組織細胞，並且可以將運動時所產生的熱加速排除。血壓的反應則視運動類型而定，如果是大肌肉的動態收縮，收縮壓會增加，舒張壓則不會有太大之變化，如果是靜態的肌肉收縮型式，則收縮壓和舒張壓都會大幅增加⁽⁵²⁾。呼吸系統與循環系統的工作量隨著氧氣需求量的增加而增加，有氧運動的強度越強時，氧氣的需求越多，呼吸系統與循環系統的反應也會越激烈。

運動訓練在身心各方面對健康和體適能的效益皆已被定量化⁽²⁾(例如：身體的、代謝的和心理的)。除此之外，與日俱增的流行病學研究更支持身體活動和良好的心肺呼吸體適能可降低各種慢性疾病的危險性 (表一)；如可降低高血壓、肥胖、大腸癌、第二型糖尿病和骨質疏鬆症等發生率。因此規律的運動可以減少心血管疾病的危險性。規律的運動對身體造成的效益如下：

1. 改善心血管呼吸和代謝方面

- (1). 由於中樞和週邊的適應使最大耗氧量增加
- (2). 給予次大強度的運動，會使每分鐘的換氣量下降
- (3). 給予絕對次大強度的運動，使心跳血壓乘積下降
- (4). 給予次大強度的運動，使心跳和血壓下降
- (5). 增加骨骼肌的微血管密度
- (6). 增加血中乳酸累積的運動閾值
- (7). 增加疾病症狀發生的運動閾值 (如：心絞痛、缺血性的 ST-區間下降、間歇性跛行的病人)

2. 減少冠狀動脈疾病的危險因子

- (1). 休息時的收縮壓和舒張壓下降
- (2). 增加血清中高密度脂蛋白膽固醇和減少血清中三酸甘油酯
- (3). 減少身體總脂肪，減少腹部間脂肪
- (4). 降低胰島素的需求，改善葡萄糖的忍受

3. 降低疾病之死亡率和發生率

(1). 初級預防 (如：預防急性心臟問題的介入)

- 有高活動量和體適能的狀態，可降低冠狀動脈疾病的死亡率
- 有高活動量和體適能的狀態，可降低冠狀動脈疾病、心血管疾病、大腸癌和第二型糖尿病的發生率

(2). 次級預防 (如：心臟問題的介入)

- 心肌梗塞手術後的病人，接受心臟復健運動訓練後，可降低心血管和所有因子造成的死亡率達 25%。

4. 其他效益

(1). 降低憂慮和焦慮的負面情緒

(2). 增進心理的舒適

(3). 提昇工作表現、創造力和運動活動

一般正常人在激烈的運動中，對心血管系統產生的危險性會暫時升高⁽²⁾，如運動量增加太快、太多出現運動過度的徵兆；安靜心跳率增加，全身疲憊，運動表現下降，頭痛等；或胸部緊悶，胸痛或頭部、肩部、左上臂疼痛，心悸或心率不規則，不正常的呼吸急促等心臟毛病的警訊。所以，運動在一方面來說似乎可以保護我們去預防心血管疾病；另一方面則會在外來或內在負荷過量時發出警訊。我們希望深入探討運動對心血管系統之反應，俾能藉此設計最有效而又最安全的運動計畫。

表一 身體活動和選擇性的慢性疾病發生率間的關係

疾病狀態	活動或體能類別的證據
多原因死亡率	
冠狀動脈疾病	
高血壓	
肥胖	
中風	
周邊血管疾病	
癌症	
大腸	
直腸	
胃	
乳房	
前列腺	
肺	
胰臟	
第二類型糖尿病	
退化性關節炎	
骨質疏鬆症	

活動或體能與疾病發生率沒有顯著差異

部分證明活動或體能使疾病發生率下降

證明活動或體能使疾病發生率下降

許多證明活動或體能使疾病發生率下降

(引用自參考文獻第二篇，第七頁)

2.3 等速運動對心肺反應之影響

在研讀過去學者發表利用等速運動的測試計畫來探討心血管的立即反應，其整理如下^(14,22,24,25,26,27,28,37,39,42)：

作者 (年代)	受試者 (年齡)	運動方式	結果	備註
Greer et al (1984)	5 人 33-49	在 75% 和 100% 的最大自主收縮強度下，各做五次的右肘肌力訓練。	心跳和血壓沒有因運動結果持續上升，且在整個肌力訓練過程中休息次數越頻繁則心跳和血壓上升幅度較小。	研究者利用 100% 和 75% 最大自主收縮強度來刺激心肺反應，未觀察到肌力訓練之反應，且心肺無明顯反應。
Negus (1987)	12 人 23-25	每個個案隨機採取一個角速度 (60°/s、120°/s、180°/s、240°/s、300°/s) 做膝和肩部的等速向心運動共 13 組各五次或一組 30 秒。	性別不同耗氧量與舒張壓也不同。膝部做等速運動的心跳率比肩部做等速向心運動時高。	本篇所給予的等速運動非一般之肌力訓練計畫。
Haennel et al (1989)	16 人 20-40	利用 hydraulic circuit training 的阻力運動形式來評估其最大耗氧量、脈搏量、心輸出量和訓練效果 (分兩組：一為 circuit weight training，一為 cycling)	兩組之最大耗氧量、脈搏量、心輸出量皆增加。	非一般常用的等速運動。
Peel and Alland (1990)	12 人 22-44	在一個固定的速度下 (如 60°/s、90°/s 或 120°/s) 做軀幹等速運動共五組每一組 30 秒五次。	影響收縮壓上升的因子包括週邊阻力與心輸出量增加。收縮壓上升使心輸出量增加，心輸出量增加也使心跳的上升。但在研究中，運動時心跳上升，收縮壓無明	受試者頭暈且不安全，有些受試者出現輕微頭痛。研究結果建議執行此項運動時要先觀察對運動的忍受度。

			顯變化，舒張壓隨著運動逐漸下降。	
Haennel et al (1991)	16 人 30-60	利用上述研究訓練 16 個冠狀動脈繞道手術之病人（分成兩組：一為 cycle ergometer，一為 isokinetic resistance training）	結果兩組之最大耗氧量、脈搏量、心輸出量皆增加，但只有等速運動訓練之肌力有增加	非一般常用的等速運動。
Douris (1991)	10 人 20-40	在三種速度（30°/s、120°/s、300°/s）下做等速膝部彎曲和伸直向心運動持續一分鐘。	心跳和血壓上升速率的增加在 300°/s 比 30°/s 高。在此三種速度下收縮壓均在 188mmHg 以上，心跳和血壓的上升是由於運動速度及運動強度。	在三種速度下做一分鐘等速運動，高速度對心臟造成的負荷比低速大，在此主要是比較角速度之不同，所造成的心血管之反應。
Haennel et al (1992)	5 人 20-32	膝部和肘部在 60°/s、180°/s 和 300°/s 下做等速、等長和動態運動各六次。	心跳和心輸出量皆顯著的增加。	運動計畫沒有促使血壓升高且運動的速度不影響心血管反應。
Horstman (1994)	64 人 22-60	分四個年齡層作膝部等速向心（60°/s、180°/s、240°/s、300°/s）和離心（60°/s、120°/s） \times 次，等長運動（75°、60°、45°、30°）量測心跳與血壓。	向心肌力與年齡有關，運動類型所量得之心跳、血壓與年齡無關。心跳、血壓：向心 > 離心 > 等長運動。	只分析心跳與血壓，比較運動方式與年齡之關係。
Iellamo et al (1997)	10 人 22-42	比較在 40% 最大用力的等速運動（180°/s）、等張運動（各 30 次）和 40% 最大自主收縮的等長運動（1 分鐘）之血壓和心跳。	等張和等速運動時其心跳、血壓、最大耗氧量和換氣量比等長運動高，但等張與等速運動之值相似。	次大量之刺激運動與固定速度之等速運動且運動時間短

Marzorati et al (2000)	18 人 25-30	在 60°/s 和 180°/s 時做等速膝伸直及彎曲運動各持續五分鐘。	耗氧量和輸出功率成正比，心跳和耗氧量成正比，氧需求量和輸出功率成正比。	本篇運動計畫非臨床運用之肌力訓練，因此觀察出來的心肺反應與實際肌力訓練時之心肺反應可能有差距。
Overend et al (2000)	40 人 23-76	分兩組：年輕與老人分別以 50% 之最大向心力矩值作膝伸直之向心與離心運動各持續兩分鐘。	兩族群之心跳、平均動脈壓和心跳血壓乘積在向心運動比離心運動高，但與年齡無關。	固定之角速度與相同的運動強度使向心和離心運動之心跳、平均動脈壓和心跳血壓乘積有差異。

綜合以上整理結果，以下幾篇的研究結果可當成本篇研究之重要參考。

Negus⁽⁴¹⁾在 1987 年，選取 12 位受試者年齡 23-25 歲，運動方式為每個個案隨機採取一個角速度 (60°/s、120°/s、180°/s、240°/s、300°/s) 做膝和肩部的等速向心運動共 13 組各五次或一組 30 秒，運動中每一組間休息 30 秒，結果發現性別不同耗氧量與收縮壓也不同。男性膝部等速向心運動產生的耗氧量最大值為 7.3 METs，女性為 5.7 METs 分別為最大有氧能力測試之 50%和 54%，心跳率分別為最大有氧能力測試之 83%和 85%，收縮壓分別為最大有氧能力測試之 101%和 106%，心跳率與收縮壓乘積值分別為最大有氧能力測試之 83%和 89%。研究結果發現膝部等速向心運動的心跳血壓乘積明顯上升，因此 Negus⁽⁴¹⁾建議患者執行等速運動計畫應該要小心監測心跳和血壓。

Peel and Alland⁽⁴³⁾等人在 1990 年選取 12 位受試者，年齡 22-44 歲，在固定的速度下 (如 60°/s、90°/s 或 120°/s) 執行軀幹等速向心運動共五組每一組 30 秒，運動中組與組間休息 60 秒。結果發現軀幹等速向心運動中，影響收縮壓上升的因子包括週邊阻力與心輸出量的增加。心輸出量增加使收縮壓上升也使心跳上升。而 Douris⁽¹⁴⁾於 1991 選取 10 位受試者，年齡 20-40 歲，在三種速度 (30°/s、120°/s、300°/s) 下執行膝部等速伸直和彎曲向心運動持續一分鐘。結果發現膝部等速彎曲和伸直運動的心跳和血壓上升幅度在角速度 300°/s 比 30°/s 高。在此三種速度下收縮壓均在 188 毫米汞柱以上，Douris⁽¹⁴⁾提出心跳和血壓的上升是由於運動速度及運動強度。這篇研究主要是比較等速運動中在角速度每秒 300 度比每秒 30 度造成較大的心臟負荷。

Haennel⁽²⁵⁾於 1992 選取 5 位受試者，年齡為 20-32 歲，執行膝部和肘部在 60°/s、180°/s 和 300°/s 下做等速向心運動 20 秒、等長運動 20 秒和腳踏車運動 30 秒。結果發現心跳和心輸出量皆比休息時顯著的增加，但運動計畫沒有促使血壓升高且運動的速度不影響心血管反應。Horstman⁽²⁷⁾在 1994 年，選取 64 位受試者，年齡為 22-60 歲，分四個年齡層施行膝部等速向心運動 (60°/s、180°/s、240°/s、300°/s) 和離心運動 (60°/s、120°/s) 分別執行 1 分鐘，等長運動在各關節角度下 (75°、60°、45°、30°) 執行 5 秒，在這三種運動中量測心跳與血壓。結果發現等速向心肌力與年齡有關，運動類型所量得之心跳、血壓與年齡無直接相關。量測的心跳、血壓分別為等速向心運動大於等速離心運

動大於等長運動。

Marzorati⁽³⁹⁾在 2000 年，選取 18 位受試者，年齡 25-30 歲，分別在 60°/s 和 180°/s 時執行等速膝部伸直及彎曲向心運動各持續五分鐘。結果發現等速膝部伸直及彎曲運動之耗氧量和輸出功率成正比，心跳和耗氧量成正比，氧需求量和輸出功率成正比。Overend⁽⁵¹⁾在 2000 年，選取 40 位受試者，年齡 23-76 歲，分成年輕與老人兩組，分別以 50% 之最大向心力矩值執行膝部伸直之向心與離心運動各兩分鐘。結果發現兩族群之心跳、平均動脈壓和心跳血壓乘積在向心運動比離心運動高，但與年齡無直接相關。

由於學者採用各種不同的等速向心或離心的運動方式、次數和角速度，所以心血管反應略有不同。過去學者利用各種等速向心運動或等速離心訓練模式，如最大量肌肉收縮或次大量肌肉收縮之等速向心或離心運動訓練來觀察是否造成心肺方面的影響，而且學者並嘗試利用不同部位如手肘、軀幹、肩部與膝部等執行等速運動觀察這些運動刺激量造成的心肺反應，但卻未考量所給予之等速向心或離心運動計畫是否可成為肌力訓練計畫，是否為復健臨床常用的肌力訓練計畫？以往研究受試者較少，且受試者大多皆採單一性別，採用之等速向心或離心運動非臨床常用的訓練計畫。因此針對以往研究之不足，本篇為整合神經肌肉訓練，心肺功能及運動生理幾個領域之研究專題，以計畫進行針對正常青年人等速向心和離心運動計畫時，在心肺功能之反應變化，進行詳盡之研究探討。

第三章 實驗方法與步驟

3.1 研究對象

本篇以二十四名正常年輕男性與女性為受試者，其年齡在 18-30 歲之間，並在施行正式測驗前進行問卷調查（附錄一）。所有受試者在近半年內未有下肢關節及肌肉之病變及傷害，同時從未有過心臟及肺部之疾病，每位受試者在予以告知實驗目的及流程後（附錄二），簽署受試同意書（附錄三），之後在實驗前予以保險；在本實驗中有兩名受試者未完成整個實驗流程，因此有二十二名受試者完成整個實驗流程。

3.2 實驗設備

3.2.1 Biodex 腳踏車（圖一）

本研究以 Biodex 腳踏車 (Biodex Medical Systems, Inc., New York, U.S.A) 主要是用來測最大耗氧量與受試者測驗前之熱身運動 (30 瓦/每秒)，受試者踩腳踏車測最大耗氧量之計畫在運動前與運動後量測受試者之心跳、血壓、氣體交換率、換氣量、耗氧量和血氧飽和度等數值。

3.2.2 等速測力機（圖二）

本研究以 Kin-Com 500H 等速測力機 (Chat-tecx Group, Chattanooga, U.S.A) 進行膝部等速向心運動及股四頭肌等速向心/離心運動測試。

3.2.3 氣體分析儀（圖二）

氣體分析採用 Cortex[®] 能量代謝分析系統 (MetaMax, Cortex Biophysik GmbH, Germany), 其分析使用之程式為 MetaMax[®], 外接電腦, 受試者戴上面罩, 藉由受試者運動時一呼一吸所收集的氣體經由 MetaMax[®] 的氣體分析, 從外接電腦每 10 秒記錄一次心跳、耗氧量、氣體交換率和換氣量等。



圖一 腳踏車



圖二等速肌力測試儀和氣體分析儀

3.3 實驗方法

所有受試者皆需依序經過三個實驗測試程序，首先在研究過程中，受試者先進行最大有氧能力之實驗測試（同時並記錄心跳、血壓、血氧飽和度、氣體交換率、換氣量、心跳血壓乘積）。第二個實驗測試，進行膝部等速向心運動下心肺反應之實驗測試（同時並記錄心跳、血壓、血氧飽和度、氣體交換率、換氣量、心跳血壓乘積）。第三個實驗測試，進行股四頭肌等速向心/離心運動下心肺反應之實驗測試（同時並記錄心跳、血壓、血氧飽和度、氣體交換率、換氣量、心跳血壓乘積）；第一個實驗測試與第二個實驗測試至少相隔一週以上，第二個與第三個實驗測試至少相隔三天。

3.4 實驗步驟

3.4.1 最大有氧能力測試

在最大有氧能力測試方面，氣體分析採用 Cortex[®] 能量代謝分析系統，其分析使用之程式為 MetaMax[®]，每次使用此系統前皆經過氣體之校正。受試者在腳踏車上進行測驗，直到受試者踩至力竭為止，在測驗同時並戴上面罩及動態血壓計 (NIBP)，手指並套上血氧計測試之手套。在此測試過程中受試者之心跳率、動態血壓、耗氧量、氣體交換率、換氣量、及手指之血氧飽和度被加以記錄。最大有氧能力的運動計畫如表二。最大有氧能力的運動測試，首先腳踏車先設定 30 瓦為暖身運動，執行 2 分鐘後，每 2 分鐘增加 30 瓦，直到受試者踩至力竭為止，再做緩和運動 2 分鐘，最後休息 2 分鐘^(53,57)。

表二 最大有氧運動功能測試

姓名		編號	
測試日期		備註	Sex: M F Height:_____
			BW:_____

Exercise Test : (filename) :				
Stage	Watts	Time frame	SBP/DBP	SaO2
Rest	0W			
Warm up (2 min)	10W			
Start Exercise (30w per 2min)	30W			
	60W			
	90W			
	120W			
	150W			
	175W			
Cold down (2 min)	10W			
Stop (2 min)	0W			

3.4.2 膝部等速向心運動測試

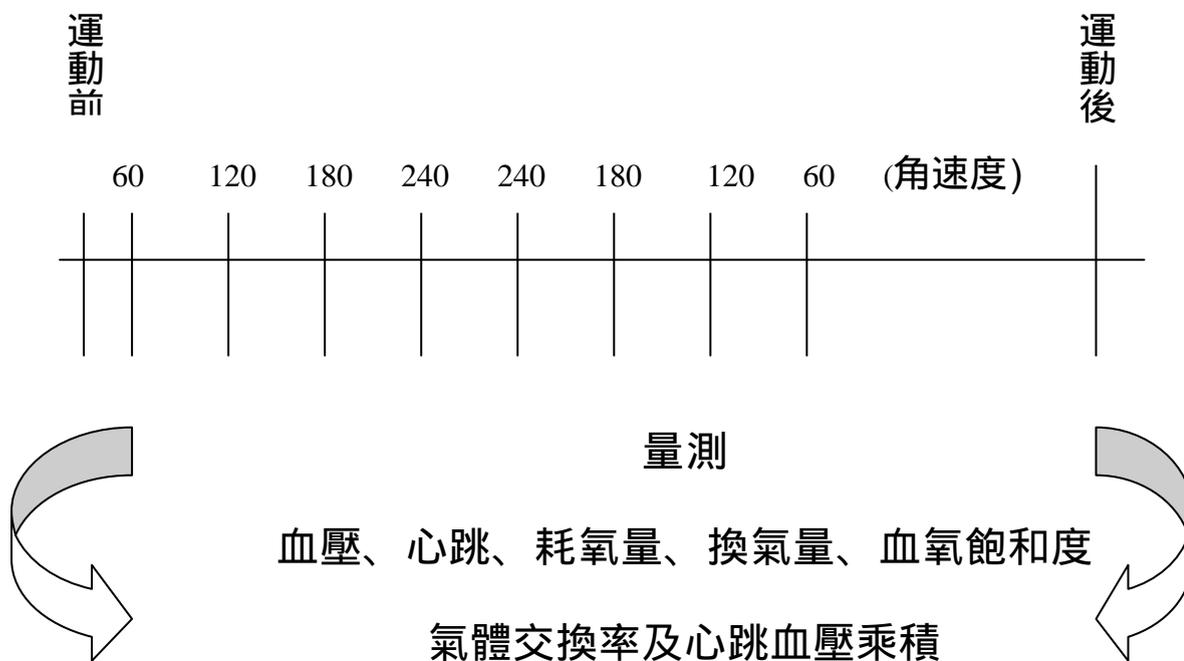
膝部等速向心/向心運動採用 Kin-Com 等速測力機測試時。受試者坐在 Kin-Com 上，胸部使用固定帶固定，力臂平行於小腿，旋轉軸調至膝關節的外上髌，遠端則固定在踝部外髌上方二吋處。受試者在測試時，手交叉抱胸另一腳自然垂下，右腳膝蓋彎曲 90° 且做重力矯正。受試者執行膝部等速向心伸直/向心彎曲運動是從膝部彎曲 90° 至 10° ，施行此運動計畫時需盡全力且快速。

在正式膝部等速向心/向心運動訓練前，所有受試者需先進行 10 分鐘熱身運動，熱身運動項目為騎腳踏車使其輸出功率達 30 瓦，熱身運動後休息五分鐘，然後開始執行膝部等速向心/向心運動。

膝部等速向心/向心運動訓練流程，採用 Kin-Com 等速測力機，所設計之等速向心/向心運動為臨床常用之股四頭肌與大腿後肌肌力訓練計畫，其速度分別為角速度 60° 、 120° 、 180° 、 240° 、 240° 、 180° 、 120° 、 60° /s 下執行右腳膝部最大等速向心/向心收縮五次，在每次測試速度之間皆休息 30 秒，在每個角速度正式測試前熱身進行三次最大收縮，以熟悉測試速度。

從開始執行熱身運動起，受試者左手綁上量測血壓之固定帶置於固定的把手上使之放鬆且穩定，同時並戴上面罩，氣體分析採用 Cortex[®] 能量代謝分析系統，其分析使用之程式為 MetaMax[®]，使用此系統前皆經過氣體感測器之校正。休息時就先量測血壓、心跳、血氧飽和度、氣體交換率、耗氧量及換氣

量；設定每完成一角速度就量測一次血壓、心跳、氣體交換率、耗氧量及換氣量之變化 (表三)；血氧飽和度則以血氧計夾在右手食指進行量測，如此同步記錄心跳、血壓、耗氧量、氣體交換率、換氣量及血氧飽和度 (圖三)；測試中，研究者施予受試者口頭鼓勵，一直進行到等速向心/向心運動結束後再觀察 3 分鐘，給予受試者自覺用力係數表 (Rate of perceived exertion, RPE) 如表四所示才算完成整個測試。



圖三 實驗記錄

表三 膝部等速向心運動測試

姓名		編號	
測試日期		備註	Sex: M F Height: _____ BW: _____

Isokinetic exercise			
Speed (repetition)	(Con/Con) SBP/DBP	SaO ₂	RPE
0 ⁰ /s			
60 ⁰ /s (5)			
120 ⁰ /s (5)			
180 ⁰ /s (5)			
240 ⁰ /s (5)			
240 ⁰ /s (5)			
180 ⁰ /s (5)			
120 ⁰ /s (5)			
60 ⁰ /s (5)			
0 ⁰ /s			

表四 自覺用力係數表(RPE)

6.

7. 非常非常輕微 (very very light)

8.

9. 非常輕微 (very light)

10.

11. 輕微 (fairly light)

12.

13. 有點吃力 (somewhat hard)

14.

15. 吃力 (hard)

16.

17. 非常吃力 (very hard)

18.

19. 非常非常吃力 (very very hard)

20.

3.4.3 股四頭肌等速向心/離心運動測試

股四頭肌等速向心/離心運動訓練流程，也採用 Kin-Com 等速測力機。所設計之股四頭肌等速向心/離心運動的速度也分別為角速度 60° 、 120° 、 180° 、 240° 、 240° 、 180° 、 120° 、 60° /s 下執行右腳股四頭肌最大等速向心/離心收縮五次，在每次測試速度之間皆休息 30 秒，在每個角速度正式測試前熱身進行三次最大收縮，以熟悉測試速度。受試者執行股四頭肌等速向心/離心運動是從膝部彎曲 90° 至 10° ，施行此運動計畫時需盡全力且快速。

從開始執行熱身運動起，受試者左手綁上量測血壓之固定帶置於固定的把手上使之放鬆且穩定，同時並戴上面罩，氣體分析採用 Cortex[®] 能量代謝分析系統，其分析使用之程式為 MetaMax[®]，使用此系統前皆經過氣體感測器之校正。休息時就先量測血壓、心跳、血氧飽和度、氣體交換率、耗氧量及換氣量；設定每完成一角速度就量測一次血壓、心跳、氣體交換率、耗氧量及換氣量之變化；血氧飽和度則以血氧計夾在右手食指進行量測，如此同步記錄心跳、血壓、耗氧量、氣體交換率、換氣量及血氧飽和度（圖三）；測試中，研究者施予受試者口頭鼓勵，一直進行到四頭肌等速向心/離心運動結束後再觀察 3 分鐘，給予受試者自覺用力係數量表 (Rate of perceived exertion, RPE) 如表四所示才算完成整個測試。

表五 股四頭肌等速向心/離心運動測試

姓名		編號	
測試日期		備註	Sex: M F Height: _____ BW: _____

Isokinetic exercise			
Speed (repetition)	(Con/Ecc) SBP/DBP	SaO ₂	RPE
0°/s			
60°/s (5)			
120°/s (5)			
180°/s (5)			
240°/s (5)			
240°/s (5)			
180°/s (5)			
120°/s (5)			
60°/s (5)			
0°/s			

3.5 資料收集

本研究所收集之資料包括：

1. 受試者身高、性別、體重、年齡、體脂肪百分比。
2. 休息時之心跳、血壓、耗氧量、氣體交換率、換氣量、血氧飽和度、心跳血壓乘積及自覺用力係數量表。
3. 腳踏車測最大有氧能力測試之心跳、血壓、耗氧量、氣體交換率、換氣量、血氧飽和度、心跳血壓乘積。
4. 膝部等速向心運動各個角速度時的心跳、血壓、耗氧量、氣體交換率、換氣量、血氧飽和度、心跳血壓乘積及自覺用力係數量表。
5. 股四頭肌等速向心/離心運動各個角速度時的心跳、血壓、耗氧量、氣體交換率、換氣量、血氧飽和度、心跳血壓乘積及自覺用力係數量表。

3.6 資料分析

本研究以 SPSS for Window10.0 套裝軟體配合個人電腦進行統計分析，所有數值資料均以平均數和標準差的方式表示；以混合設計二因子共變數分析 (Two factor mixed type repeated measurement ANCOVA) 分別考驗：

1. 膝部等速向心運動在八個角速度中之心跳、血壓、耗氧量、氣體交換率、換氣量、心跳血壓乘積和血氧飽和度等值有無顯著差異。
2. 膝部等速向心運動中，男女性別之心跳、血壓、耗氧量、氣體交換率、換

氣量、心跳血壓乘積和血氧飽和度等值有無顯著差異。

3. 股四頭肌等速向心/離心運動在八個角速度中之心跳、血壓、耗氧量、氣體交換率、換氣量和血氧飽和度等值有無顯著差異。
4. 股四頭肌等速向心/離心運動中，男女性別之心跳、血壓、耗氧量、氣體交換率、換氣量、心跳血壓乘積和血氧飽和度等值有無顯著差異。

以配對 t-test (paired t-test) 比較膝部等速向心運動與股四頭肌等速向心/離心運動在各個角速度間的心跳、血壓、耗氧量、氣體交換率、換氣量、心跳血壓乘積和血氧飽和度等值之差異；所有推論統計之顯著差異值皆訂在 $p < 0.05$ 。

第四章 結果

4.1 基本資料與最大有氧能力測試結果

24 位受試者只有 22 位完成所有測試。利用腳踏車測最大有氧能力測試共有 24 人，在膝部等速向心和股四頭肌等速向心/離心運動測試時，一人血壓不穩，一人未完成膝部等速向心和股四頭肌等速向心/離心運動測試，所以共有 22 人符合條件。受試者平均年齡為 21 歲 (± 1.7)，身高 166.17 公分 (± 5.62)，體重 58.6 公斤 (± 9.98)，體脂肪 16.9% (± 6.4)。有關受試者基本資料表請見表六。

表六 受試者基本資料表 (N = 22)

測試值	男性(n=10)		女性(n=12)		總和(n=22)	
	平均數	標準差	平均數	標準差	總平均	標準差
身高 (公分)	169.5	5.6	162.8	5.5	166.2	5.6
體重 (公斤)	59.3	9.6	52.3	7.7	58.6	10
年齡 (歲)	22	1.5	20.3	1.5	21	1.5
體脂肪 (%)	13.8	6.2	20.2	7.2	16.9	6.4

最大有氧能力測試結果如表七。男性在最大有氧能力測試結果中的心

跳、收縮壓、舒張壓、最大耗氧量、心跳血壓乘積、最大換氣量、氣體交換率和血氧飽和度等值皆高於女性。一般正常年輕人，年齡在 20-29 歲時之最大耗氧量男性約為 43-52 毫升/公斤/分鐘，女性約為 33-42 毫升/公斤/分鐘⁽⁵²⁾。在本實驗的最大有氧能力測試之最大耗氧量男性約為 37.6 毫升/公斤/分鐘，女性約為 29.9 毫升/公斤/分鐘，其最大有氧能力測試之最大耗氧量比一般正常年輕人低，推測本實驗之受試者的體能比一般正常年輕人較差。

表七 最大有氧能力測試結果

測試值	男性(n=10)		女性(n=12)		總和(n=22)	
	平均數	標準差	平均數	標準差	總平均	標準差
心跳 (次/分)	174.2	24.3	162.7	18.9	168.5	21.6
收縮壓 (毫米汞柱)	161.2	21.2	152.1	20.6	156.7	20.9
舒張壓 (毫米汞柱)	82.8	19.4	83.4	9.5	83.1	14.5
最大耗氧量 (毫升/公斤/分鐘)	37.6	3.5	29.9	3.8	33.6	3.7
心跳血壓乘積 (無)	272	5.2	239	4.1	253	4.7
最大換氣量 (升/分)	67.4	12.9	45.9	9.7	56.7	11.3
氣體交換率 (無)	1.38	0.2	1.31	0.2	1.35	0.2
血氧飽和度 (%)	97.4	1.4	95.8	3.0	96.6	2.0

4.2 膝部等速向心運動結果

受試者進行膝部等速向心運動中，心跳在休息時與在 8 個角速度時統計上有顯著差異，8 個角速度之間只有 180-240⁰/s、240-180⁰/s 和 180-120⁰/s 之間未有明顯差異（見圖四）。收縮壓在休息時與在 8 個角速度時統計上有顯著差異，8 個角速度之間未有明顯差異（見圖六）。舒張壓在休息時與在 8 個角速度時統計上未有顯著差異，8 個角速度之間只在 180-240⁰/s、180-120⁰/s 和 120-60⁰/s 有明顯差異（見圖八）。換氣量在休息時與在 8 個角速度時統計上有顯著差異，8 個角速度之間只在 240-240⁰/s、240-180⁰/s 未有明顯差異（見圖十）。耗氧量在休息時與在 8 個角速度時統計上有顯著差異，8 個角速度之間有明顯差異，只有 240-180⁰/s 未有明顯差異（見圖十二）。心跳血壓乘積在休息時與在 8 個角速度時統計上有顯著差異，8 個角速度之間只有 120-60⁰/s 明顯差異（見圖十四）。血氧飽和度在休息時與在 8 個角速度時統計上在第二次的 120⁰/s、240⁰/s、第二次的 120⁰/s、第二次的 60⁰/s 有顯著差異，8 個角速度之間未有明顯差異（見圖十六）。氣體交換率在休息時與在 8 個角速度時統計上有顯著差異，8 個角速度之間有明顯差異，只有 180-240⁰/s 和 240-180⁰/s 未有明顯差異（見圖十六）。

性別在膝部等速向心運動過程中，心跳、血壓、耗氧量、換氣量、心跳血壓乘積、血氧飽和度及氣體交換率未有顯著差異；收縮壓介於 95-157 mmHg、舒張壓介於 56-93 mmHg、心跳介於 64-127 beat/min、耗氧量介於 3.8-16 ml/min/kg、換氣量介於 4.9-24.0 l/min、心跳血壓乘積介於 62.1-171、

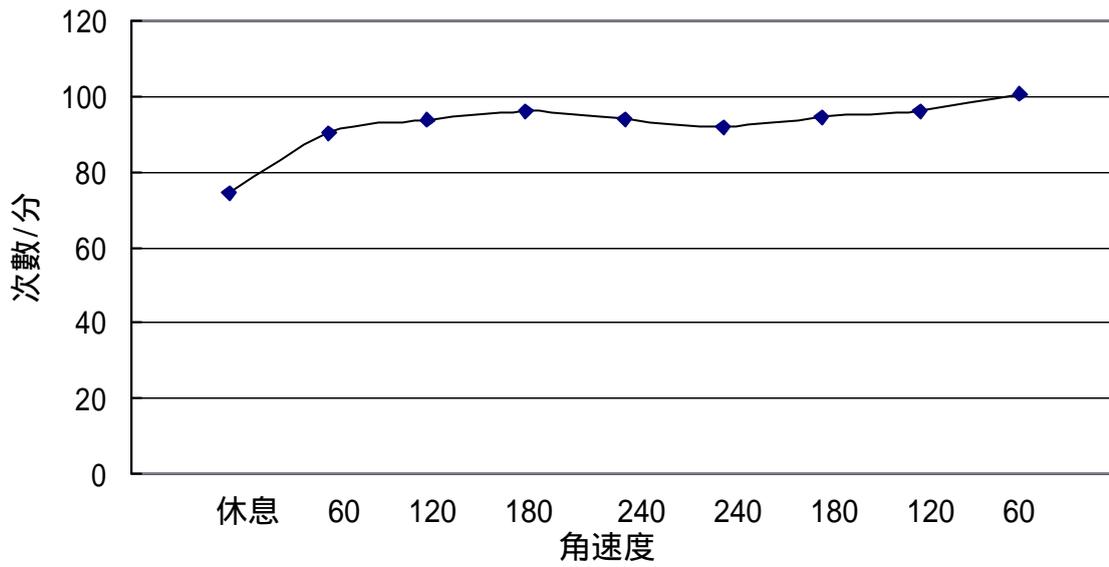
氣體交換率介於 0.72-1.27 和血氧飽和度介於 94-99 % 等皆在安全範圍。膝部等速向心運動測試之自覺用力係數表為 10-14 之間是介於輕鬆到有點困難。膝部等速向心運動測試各個角速度間與休息之比較見表八所示。

4.3 股四頭肌等速向心/離心運動結果

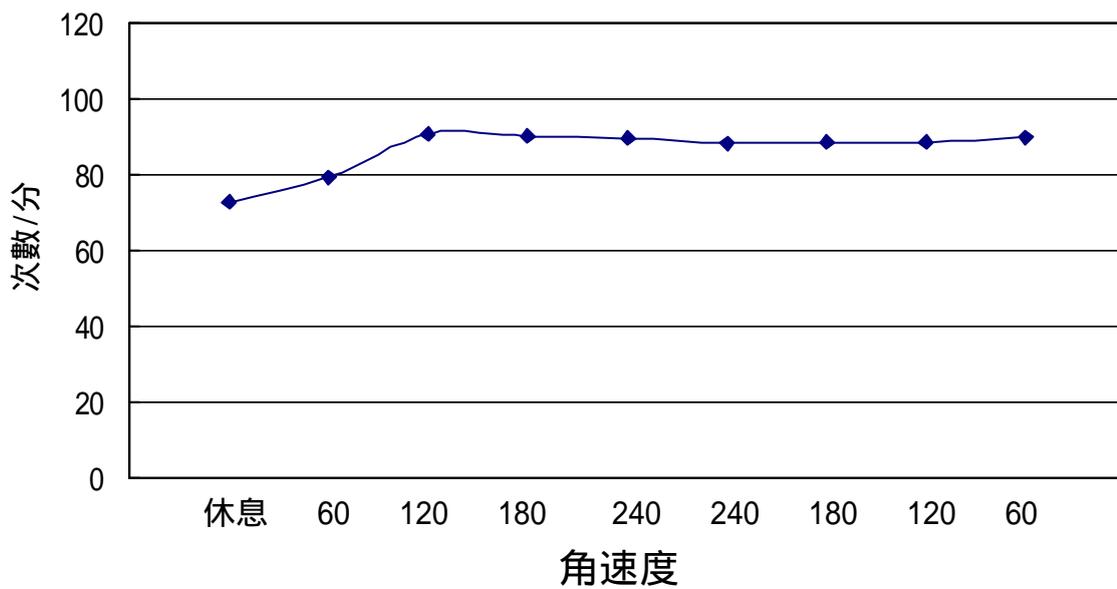
在股四頭肌等速向心/離心運動中，心跳在休息時與在 8 個角速度時統計上有顯著差異，8 個角速度之間只有 120-180⁰/_s 之間有明顯差異（見圖五）。收縮壓在休息時與在 8 個角速度時統計上未有顯著差異，8 個角速度之間未有明顯差異，只在 240-240⁰/_s 和 240-180⁰/_s 有明顯差異（見圖七）。舒張壓在休息時與在 8 個角速度時統計上未有顯著差異，只在 240-240⁰/_s、240-180⁰/_s 和 120-60⁰/_s 有明顯差異，8 個角速度之間只在 180-240⁰/_s 和 120-60⁰/_s 有明顯差異（見圖九）。換氣量在休息時與在 8 個角速度時統計上有顯著差異，8 個角速度之間只在 240-240⁰/_s、240-180⁰/_s、180-120⁰/_s 和 120-60⁰/_s 未有明顯差異（見圖十一）。耗氧量在休息時與在 8 個角速度時統計上有顯著差異，8 個角速度之間只有 60-120⁰/_s 有明顯差異（見圖十三）。心跳血壓乘積在休息時與在 8 個角速度時統計上有顯著差異，8 個角速度之間只有 60-120⁰/_s 明顯差異（見圖十五）。血氧飽和度在休息時只與在 8 個角速度時第一次的 120⁰/_s 有顯著差異，8 個角速度之間只有 180-240⁰/_s 有顯著差異（見圖十七）。氣體交換率在休息時與在 8 個角速度時統計上有顯著差異，只有 60 和 120⁰/_s 無明顯差異；8 個角速

度之間未有明顯差異，只有 120-180⁰/s 和 180-240⁰/s 有明顯差異（見圖十九）。

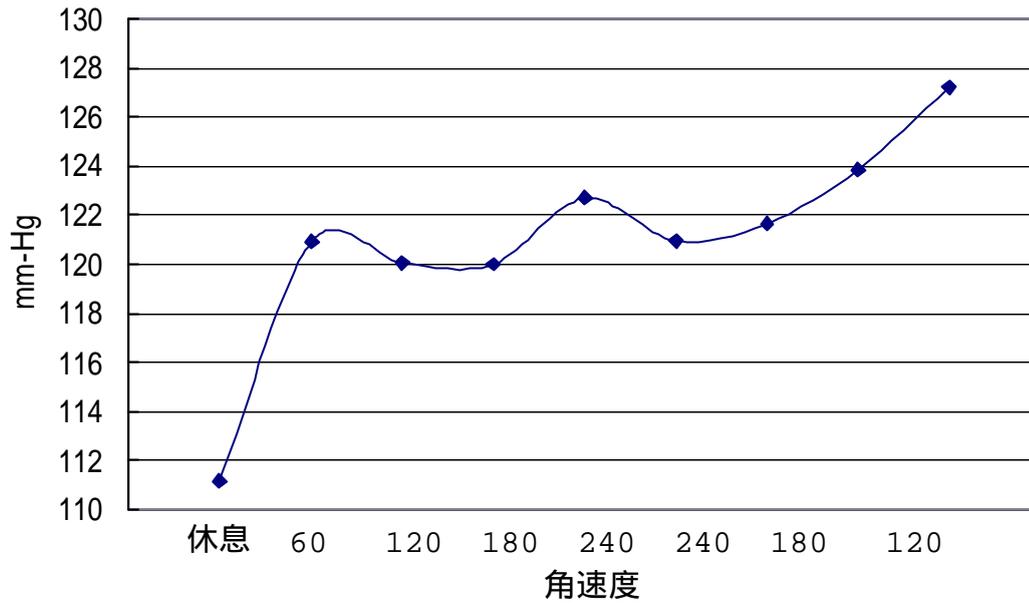
性別在股四頭肌等速向心/等速離心運動過程中，心跳、血壓、換氣量、耗氧量、心跳血壓乘積、血氧飽和度及氣體交換率未有顯著差異；收縮壓介於 85-172 mmHg、舒張壓介於 54-90 mmHg、心跳介於 65-122 beat/min、耗氧量介於 3.3-13.7 ml/min/kg、換氣量介於 4.5-19.6 l/min、心跳血壓乘積介於 64.6-161、血氧飽和度介於 91-99 % 和氣體交換率介於 0.72-1.04 等皆在安全範圍。股四頭肌等速向心/離心運動測試之自覺用力係數表為 10-13 之間，這是介於輕鬆到有點困難。至於股四頭肌等速向心/離心運動測試各個角速度間與休息之比較見表九所示。



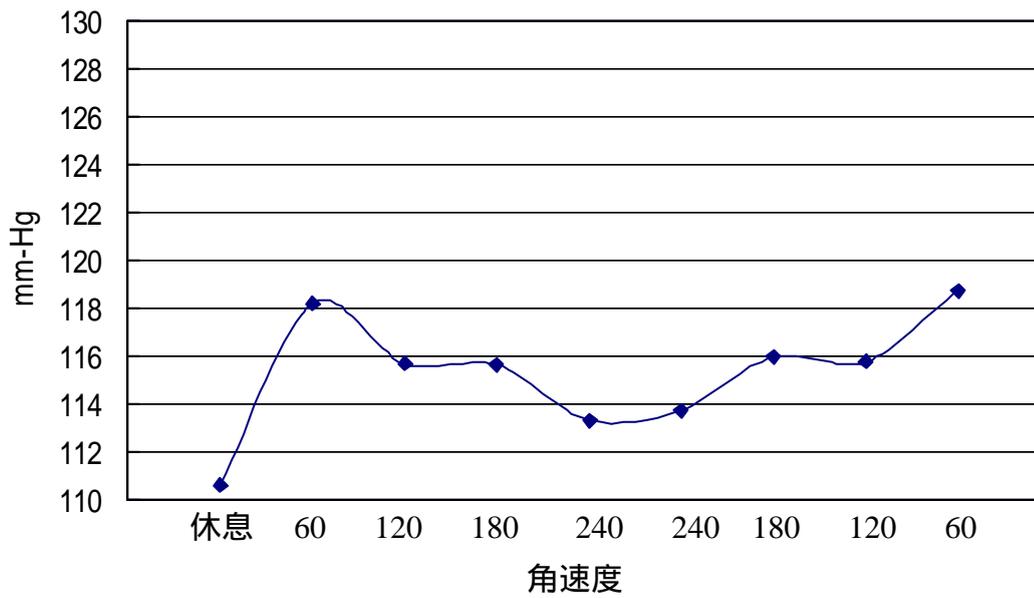
圖四 膝部等速向心運動之心跳率變化圖



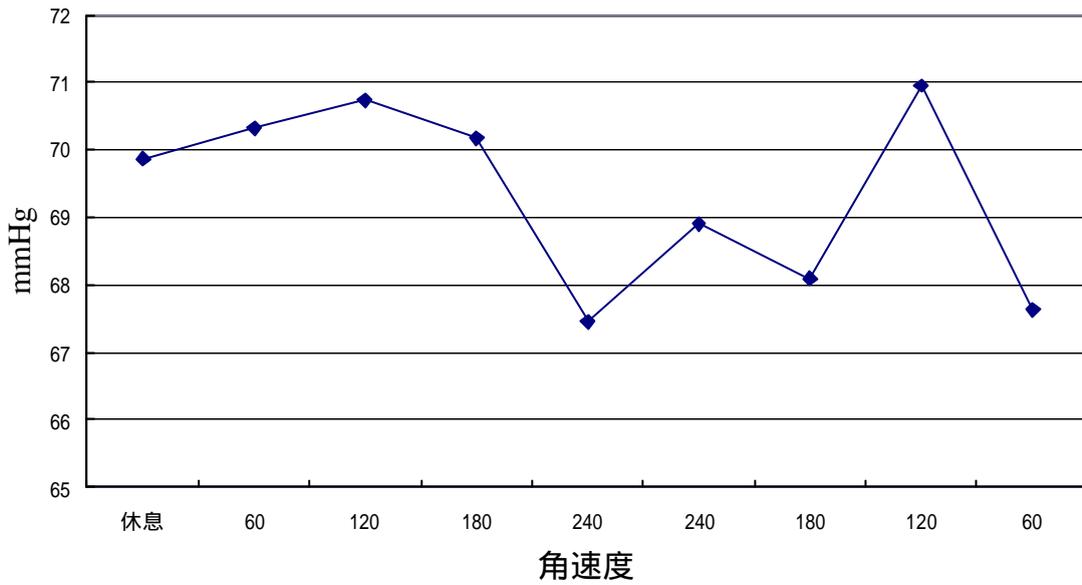
圖五 股四頭肌等速向心/離心運動之心跳率變化圖



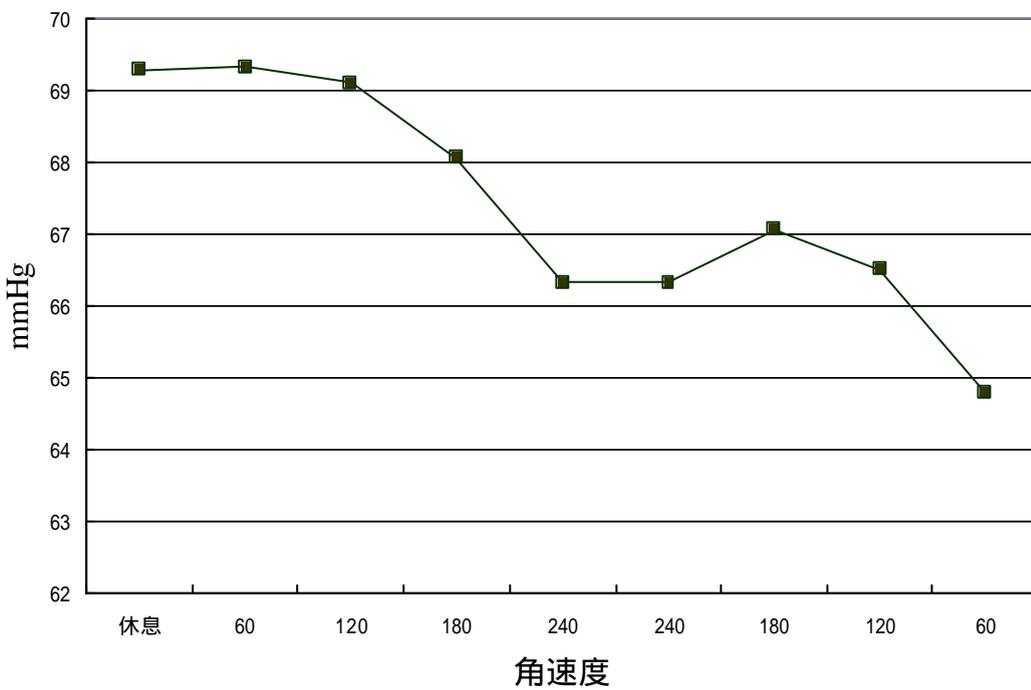
圖六 膝部等速向心運動收縮壓變化圖



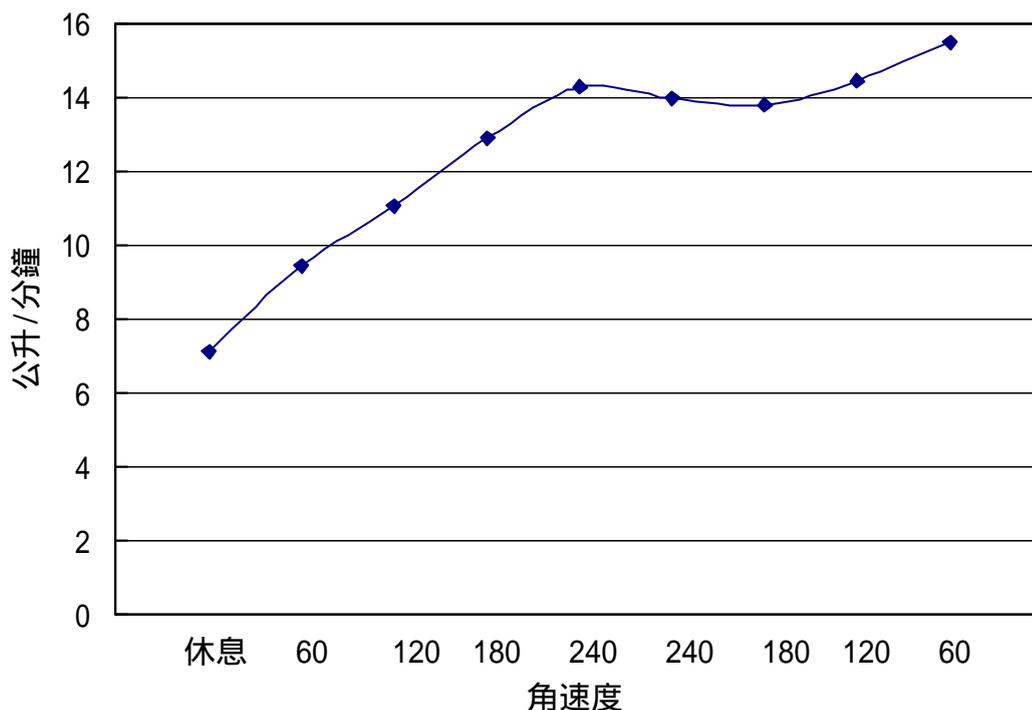
圖七 股四頭肌等速向心/離心運動之收縮壓變化圖



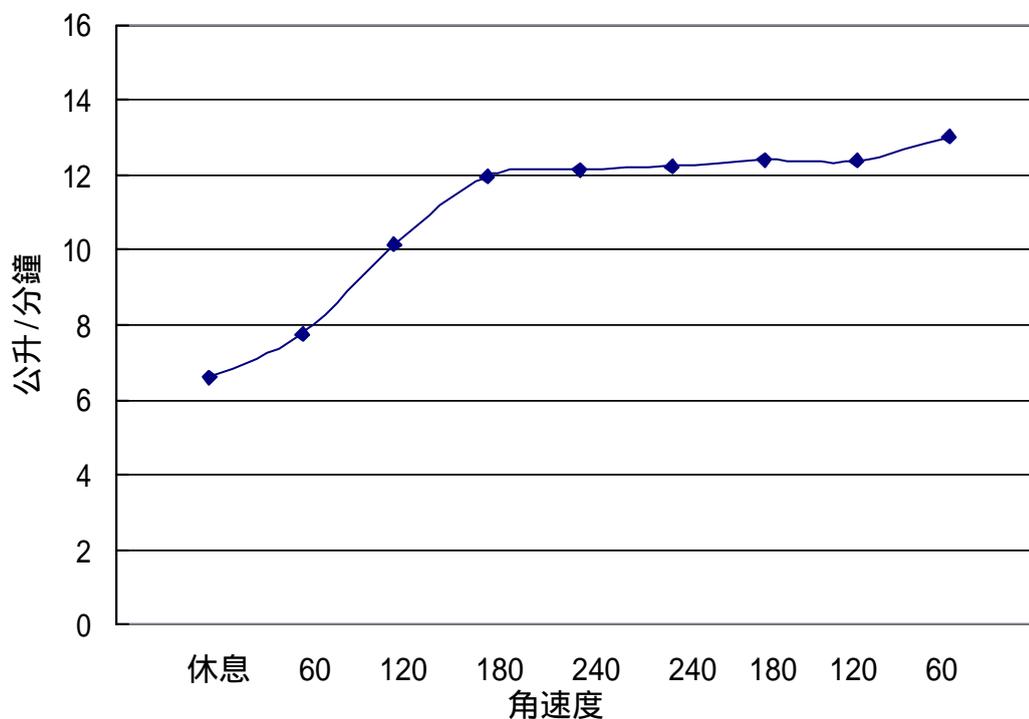
圖八 膝部等速向心運動舒張壓變化圖



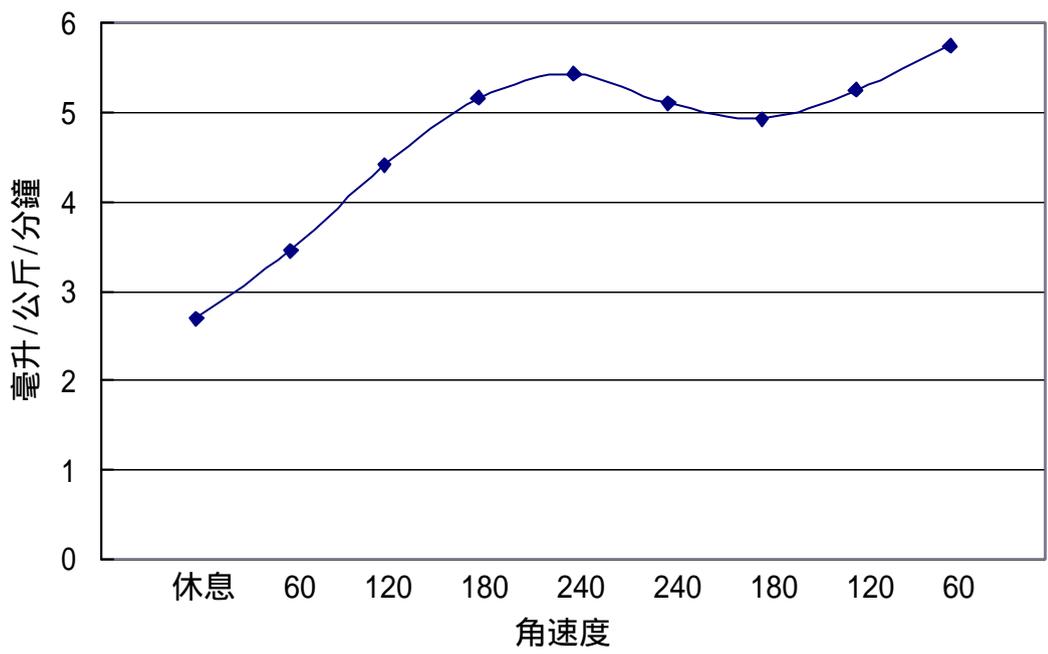
圖九股四頭肌等速向心/離心運動之舒張壓變化圖



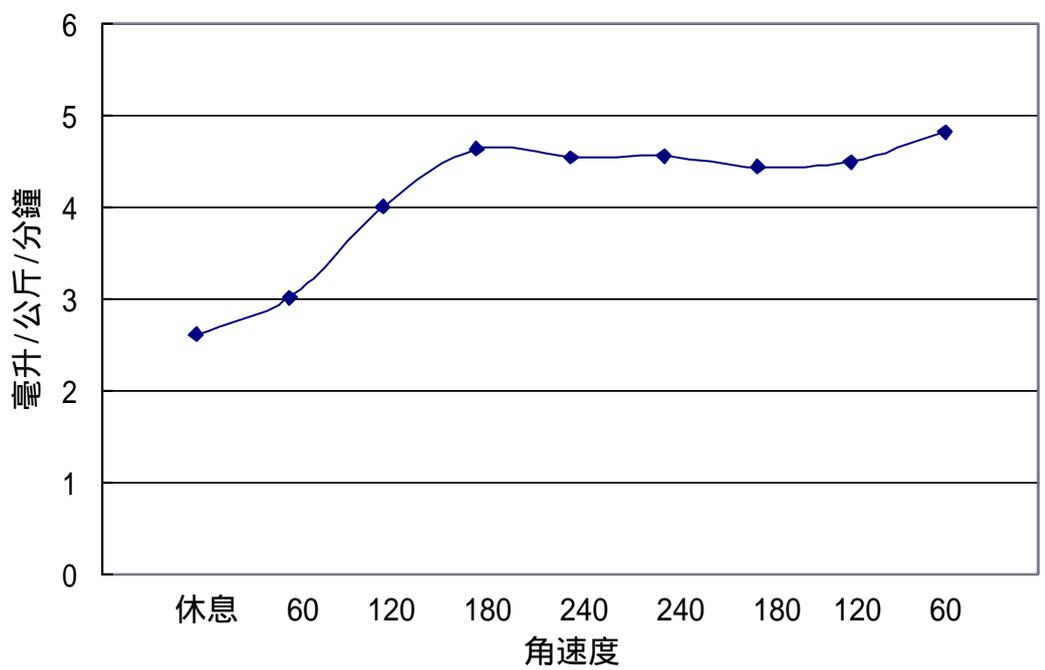
圖十 膝部等速向心運動之換氣量變化圖



圖十一 股四頭肌等速向心/離心運動之換氣量變化圖



圖十二 膝部等速向心運動之耗氧量變化圖



圖十三 股四頭肌等速向心/離心運動之耗氧量變化圖

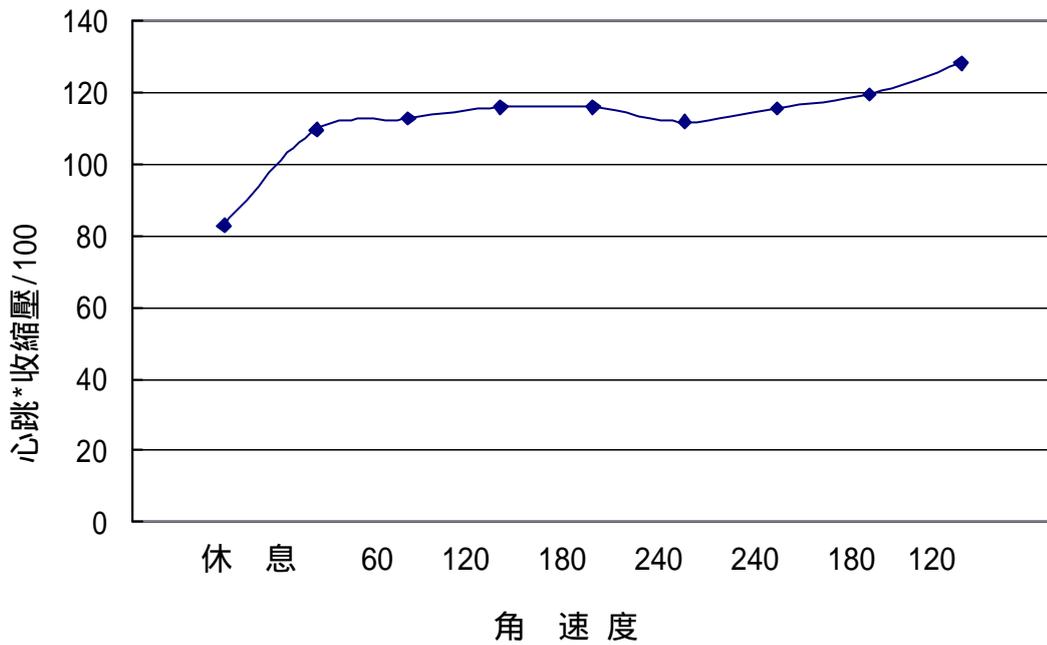


圖 十四 膝 部 等 速 向 心 運 動 之

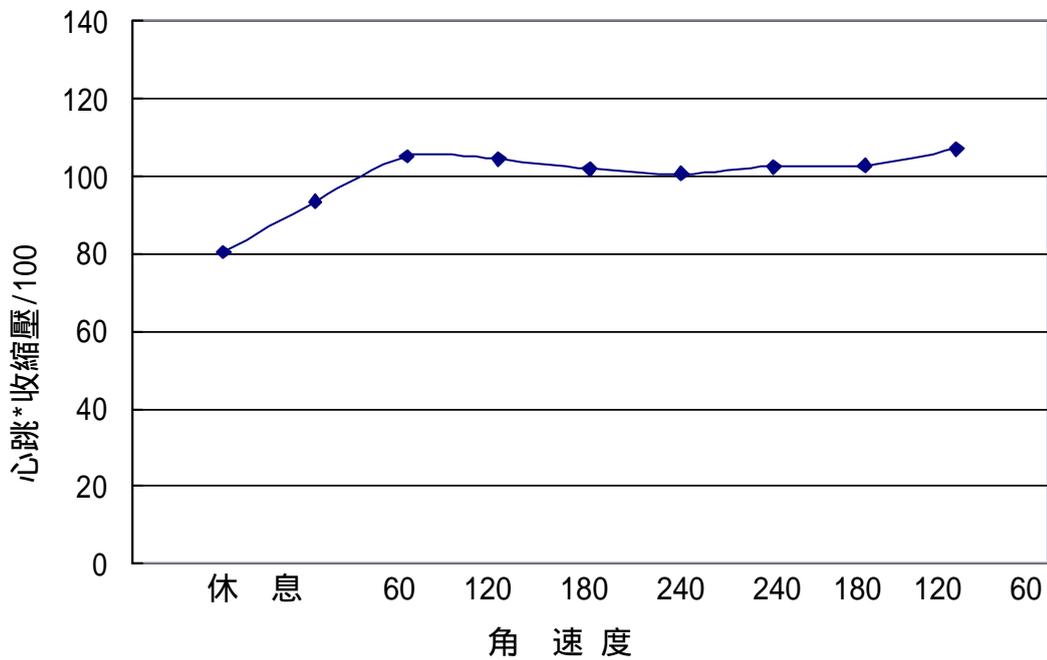
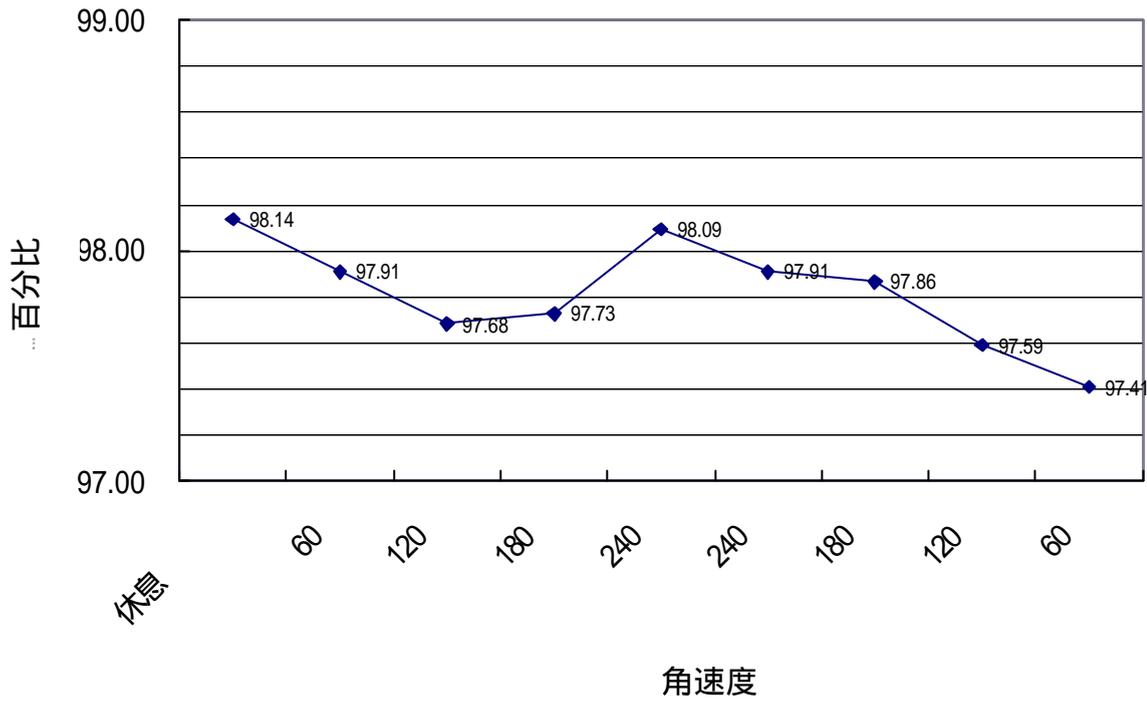
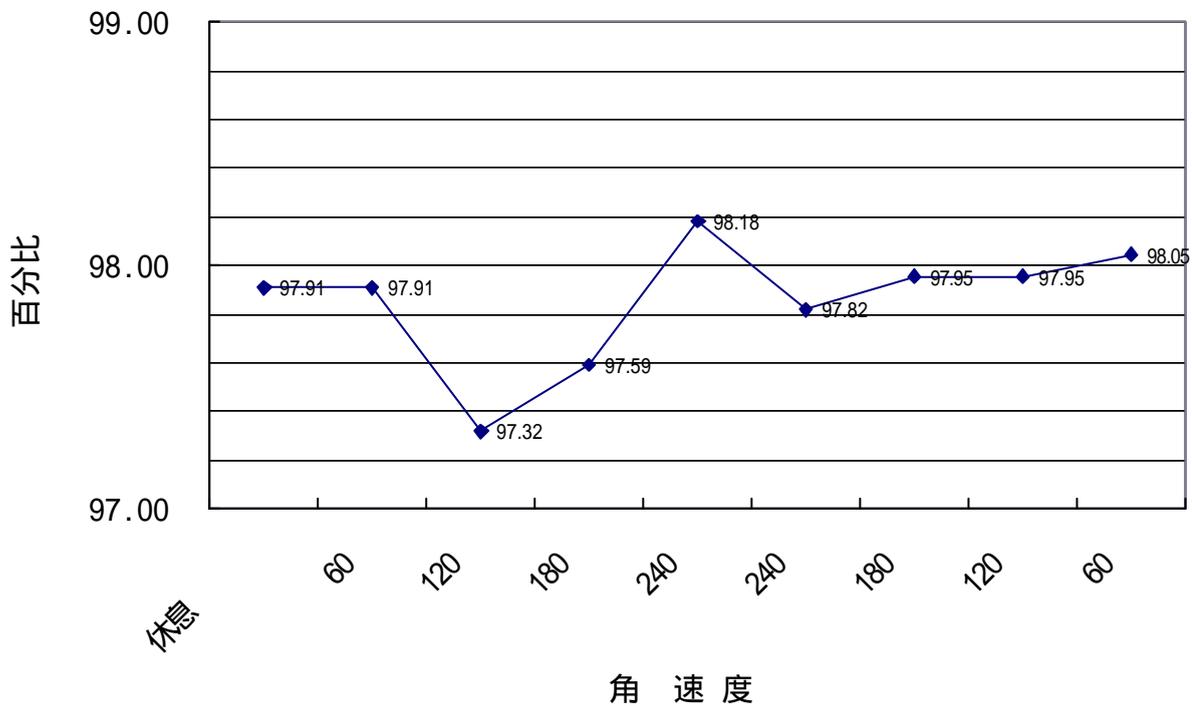


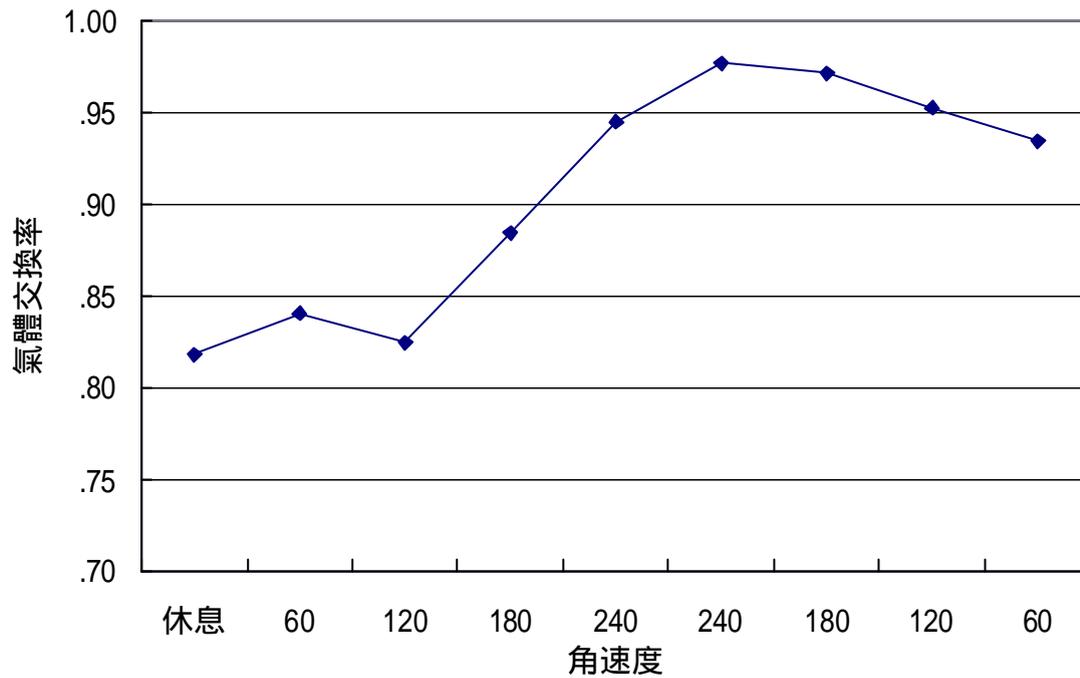
圖 十五 股 四 頭 肌 等 速 向 心 / 離 心 運 動 之 心 跳 血 壓 乘 積 變 化 圖



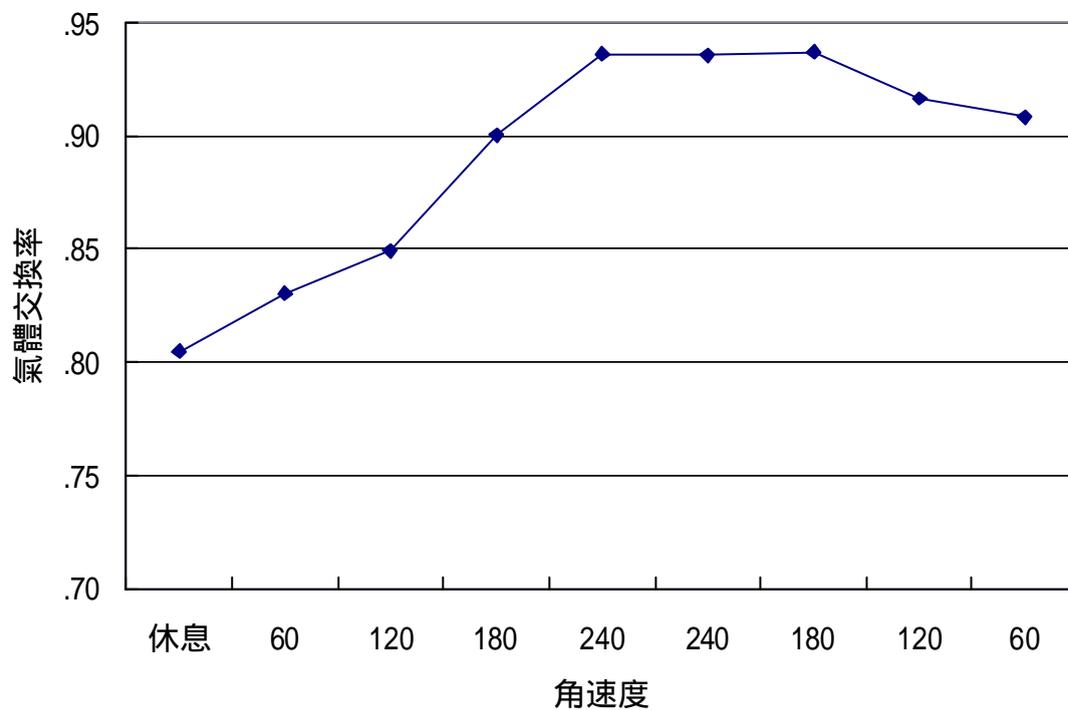
圖十六 膝部等速向心運動血氧飽和度變化圖



圖十七 股四頭肌等速向心/離心運動血氧飽和度變化圖



圖十八 膝部等速向心運動氣體交換率變化圖



圖十九 股四頭肌等速向心離心運動氣體交換率變化圖

表八 膝部等速向心運動之各個角速度間與休息在心肺反應之比較

角速度比較	心跳	收縮壓	舒張壓	換氣量	耗氧量	氣體交換率	心跳血壓乘積	血氧飽和度
第一次 60 和休息	64.46*	28.64*	0.76	21.07*	20.05*	0.02	105.39*	2.36
第一次 120 和休息	71.93*	27.56*	1.15	68.94*	160.35*	21.88*	109.95*	5.68*
第一次 180 和休息	85.34*	26.20*	0.70	88.14*	208.84*	189.17*	86.93*	2.19
第一次 240 和休息	106.28*	37.54*	1.50	163.27*	347.12*	143.20*	98.68*	0.00
第二次 240 和休息	71.11*	37.81*	0.06	149.20*	193.34*	135.48*	76.03*	4.63
第二次 180 和休息	142.82*	35.45*	0.83	151.92*	173.14*	40.63*	131.50*	3.62
第二次 120 和休息	86.39*	29.70*	1.11	143.05*	229.61*	158.27*	117.73*	4.50*
第二次 60 和休息	128.98*	22.56*	1.00	259.70*	251.07*	223.27*	131.06*	5.56*
第一次 60 和第一次 120	5.38*	0.27	0.19	8.12*	31.50*	2.38	2.13	1.61
第一次 120 和第一次 180	4.32*	0.01	0.46	34.57*	32.64*	55.21*	2.60	0.07
第一次 180 和第一次 240	2.31	3.70	16.47*	15.87*	9.06*	48.89*	0.06	2.17
第一次 240 和第二次 240	4.65*	1.58	1.95	0.70*	7.35	7.79*	3.53	3.05*
第二次 240 和第二次 180	4.27	0.32	0.77	0.47	2.34	0.37*	2.93	0.07
第二次 180 和第二次 120	0.65	1.53	5.00*	5.14*	11.19*	4.90	4.21	1.62
第二次 120 和第二次 60	8.18*	3.25	10.44	5.84*	8.36	2.73	8.84	0.59

* 為混合設計二因子共變數分析的執行結果， $P < 0.05$ 達顯著水準

單位：角速度(度/秒)，心跳(次/分)，收縮壓(毫米汞柱)，舒張壓(毫米汞柱)，
換氣量(升/分)，耗氧量(毫升/公斤/分鐘)，氣體交換率(無)，心跳血壓
乘積(無)，血氧飽和度(%)

備註：表內之數值為比較後之 F 值

**表九 股四頭肌等速向心/離心運動測試
各個角速度間與休息在心肺反應之比較**

角速度比較	心跳	收縮壓	舒張壓	換氣量	耗氧量	氣體交換率	心跳血壓乘積	血氧飽和度
第一次 60 和休息	13.79*	8.63*	0.01	11.26*	8.35*	1.21	23.47*	0.00
第一次 120 和休息	58.17*	5.53*	0.01	99.26*	113.59*	4.03	41.73*	4.73*
第一次 180 和休息	74.51*	4.61*	1.54	136.65*	184.50*	24.35*	40.59*	1.23
第一次 240 和休息	72.83*	2.15	7.78*	185.62*	141.66*	48.52*	46.89*	2.08
第二次 240 和休息	50.12*	2.44	5.83*	156.24*	184.85*	51.63*	41.41*	0.05
第二次 180 和休息	45.04*	6.25*	2.82	156.27*	155.93*	67.37*	40.28*	0.60
第二次 120 和休息	50.73*	6.20*	4.30	130.46*	139.23*	52.28*	34.65*	0.03
第二次 60 和休息	41.89*	6.75*	13.50*	106.05*	107.12*	35.60*	33.41*	0.07
第一次 60 和第一次 120	19.06	1.43	0.05	20.99*	43.96*	1.20	8.19*	2.15
第一次 120 和第一次 180	0.04*	0.00	2.56	41.49*	28.87*	44.25*	0.22	1.89
第一次 180 和第一次 240	0.33*	1.99	10.00*	0.73	0.53	17.38*	1.33	7.19*
第一次 240 和第二次 240	1.59*	0.08	0.09	0.06	0.00	0.03	0.38	2.11
第二次 240 和第二次 180	0.01*	4.38*	0.78	0.58	0.53	0.05	1.71	0.33
第二次 180 和第二次 120	0.01*	0.02	0.30	0.13	0.09	19.91*	0.00	0.20
第二次 120 和第二次 60	2.78	2.49	4.39*	2.92	4.87*	0.87	4.25	0.22

* 為混合設計二因子共變數分析的執行結果，P < 0.05 達顯著水準

單位：角速度(度/秒)，心跳(次/分)，收縮壓(毫米汞柱)，舒張壓(毫米汞柱)，

換氣量(升/分)，耗氧量(毫升/公斤/分鐘)，氣體交換率(無)，心跳血壓乘

積(無)，血氧飽和度(%)

備註：表內之數值為比較後之 F 值

4.4 比較膝部等速向心運動與股四頭肌等速向心/離心運動之結果

由表十所示，膝部等速向心運動在心跳、收縮壓、換氣量、耗氧量和心跳血壓乘積等值有明顯統計的意義，結果顯示膝部等速向心運動對心血管的變化顯著大於股四頭肌等速向心/離心運動，然而兩種運動在舒張壓、氣體交換率、血氧飽和度的變化則無統計的意義。膝部等速向心運動的心跳範圍為 64-127 次/分鐘，收縮壓範圍為 95-157 毫米汞柱，舒張壓範圍為 56-93 毫米汞柱，耗氧量範圍為 3.8-16.0 毫升/分鐘/公斤，換氣量範圍為 4.9-24.0 升/分鐘，心跳血壓乘積範圍為 62-271，氣體交換率範圍為 0.72-1.27，血氧飽和度範圍為 94-99%。股四頭肌等速向心/離心運動的心跳範圍為 65-122 次/分鐘，收縮壓範圍為 85-172 毫米汞柱，舒張壓範圍為 54-90 毫米汞柱，耗氧量範圍為 3.3-13.7 毫升/分鐘/公斤，換氣量範圍為 4.5-19.6 升/分鐘，心跳血壓乘積範圍為 65-161，氣體交換率範圍為 0.72-1.04，血氧飽和度範圍為 91-99% 如表十一所示。除了股四頭肌等速向心/離心運動的收縮壓最大值為 172 毫米汞柱比膝部等速向心運動的收縮壓最大值為 127 毫米汞柱高外，在心跳、收縮壓、換氣量、耗氧量、心跳血壓乘積、舒張壓、氣體交換率、血氧飽和度等則膝部等速向心運動的最大值皆比股四頭肌等速向心/離心運動高。

膝部等速向心運動與股四頭肌等速向心/離心運動之男女平均值如表十二所示，膝部等速向心運動在心跳、收縮壓、舒張壓、換氣量、耗氧量、心跳血壓乘積、氣體交換率和血氧飽和度等之男女平均值皆比股四頭肌等速向心/

離心運動大。而膝部等速向心運動與股四頭肌等速向心/離心運動的心跳、收縮壓、舒張壓、換氣量、耗氧量、心跳血壓乘積、氣體交換率、血氧飽和度等在每一角速度下之最大值的平均值如表十三所示亦皆比股四頭肌等速向心/離心運動大，這結果顯示對膝部等速向心運動對心血管造成的影響比股四頭肌等速向心/離心運動大。藉由表十三的結果與腳踏車最大有氧測試進行比較，由表十四膝部等速向心運動與股四頭肌等速向心/離心運動佔最大有氧能力測試值之百分比所示，結果顯示膝部等速向心運動與股四頭肌等速向心/離心運動之心跳、收縮壓、換氣量、耗氧量、心跳血壓乘積、氣體交換率、血氧飽和度等值皆低於 80 % 之最大有氧能力測試值，而舒張壓略高於 80 % 之最大有氧能力測試值。

從能量代謝方面探討在膝部等速向心運動與股四頭肌等速向心/離心運動之耗氧量平均值、耗氧量變化範圍之比較如表十五所示。膝部等速向心運動在八個角速度下最大耗氧量之平均值為 13.1 (± 1.5) 毫升/分鐘/公斤，變化範圍在 10.0-16.0 毫升/分鐘/公斤，佔最大有氧能力測試之最大耗氧量的 30%-48%；股四頭肌等速向心/離心運動在八個角速度下最大耗氧量之平均值為 11.9 (± 1.5) 毫升/分鐘/公斤，變化範圍在 8.9-13.6 毫升/分鐘/公斤，佔最大有氧能力測試之最大耗氧量的 26%-40%。

**表十 膝部等速向心運動與股四頭肌等速向心/離心運動
在各個角速度間之心肺反應比較**

角速度比較	心跳	收縮壓	舒張壓	換氣量	耗氧量	氣體交換率	心跳血壓乘積	血氧飽和度
c60和 e60	4.33*	0.97	0.73	3.70*	2.57*	0.46	3.89	0.16
c120和 e120	1.08	2.12*	1.44	2.11*	2.91*	1.86	1.90	0.73
c180和 e180	2.29*	1.95	2.41*	1.33	2.62*	1.08	2.61*	0.13
c240和 e240	2.29*	4.39*	1.05	2.64*	3.79*	0.17	3.84*	0.47
c240和 e240	1.45	2.90*	2.29*	2.38*	2.25*	2.09*	2.29*	0.12
c180和 e180	2.70*	2.60*	0.71	1.77	3.83*	2.12*	3.25*	0.54
c120和 e120	2.59*	2.88*	2.67*	2.91*	4.54*	2.12*	3.14*	1.07
c60和 e60	4.35*	2.80*	2.07	3.47*	2.68*	1.50	4.32*	1.75

* 為配對 t test 執行結果 P < 0.05 備註：表內之數值為比較後之 t 值

**表十一 膝部等速向心運動與股四頭肌等速向心/離心運動
測試之平均值**

測試值	膝部等速向心運動		股四頭肌等速向心/離心運動	
	男性(n=10)	女性(n=12)	男性(n=10)	女性(n=12)
心跳 (beat/min)	94±3	95±3	86±2	89±2
收縮壓 (mmHg)	130±3	116±3	124±4	108±3
舒張壓 (mmHg)	71±2	68±2	70±2	68±2
耗氧量(ml/min/kg)	9.5±0.3	8.4±0.3	8.8±0.3	7.8±0.3
換氣量(l/min)	15±0.6	12±0.6	13±0.6	10±0.6
心跳血壓乘積	119±0.5	107±0.5	107±0.5	98±0.5
氣體交換率	0.94±0.01	0.89±0.01	0.91±0.01	0.9±0.01
血氧飽受度	98±0.2	98±0.2	98±0.2	98±0.2

**表十二 膝部等速向心運動與股四頭肌等速向心/離心運動
之心肺反應範圍之比較**

測試值	膝部等速向心運動	股四頭肌等速向心/離心運動
心跳 (次/分)	64-127	65-122
收縮壓 (毫米汞柱)	95-157	85-172
舒張壓 (毫米汞柱)	56-93	54-90
耗氧量 (毫升/公斤/分鐘)	3.8-16.0	3.3-13.7
換氣量 (升/分)	4.9-24.0	4.5-19.6
心跳血壓乘積	62-171	65-161
氣體交換率	0.72-1.27	0.72-1.04
血氧飽和度 (%)	94-99%	91-99%

**表十三 膝部等速向心與股四頭肌等速向心/離心運動測試
最大測試值之平均值**

測試值	膝部等速向心運動		股四頭肌等速向心/離心運動	
	男性(n=10)	女性(n=12)	男性 (n=10)	女性(n=12)
心跳 (次/分)	112±3	110±3	102±2	107±2
收縮壓 (毫米汞柱)	159±3	134±4	149±3	131±3
舒張壓 (毫米汞柱)	84±2	78±2	87±2	73±2
耗氧量 (毫升/公斤/分鐘)	6.2±0.4	8.1±0.4	5.8±0.3	7.1±0.3
換氣量 (升/分)	19±0.6	17±0.6	18±0.6	14±0.6
心跳血壓乘積	156±0.5	133±0.5	146±0.5	127±0.5
氣體交換率 (%)	1.14±0.01	1.07±0.01	1.05±0.01	1.05±0.01

表十四 膝部等速向心與股四頭肌等速向心/離心運動測試
最大測試值之之平均值佔最大有氧測試之百分比

測試值	膝部等速向心運動		股四頭肌等速向心/離心運動	
	男性(n=10)	女性(n=12)	男性 (n=10)	女性(n=12)
心跳	64 %	68 %	59 %	66 %
收縮壓	99 %	86 %	93 %	87 %
舒張壓	1.01	1.07	1.05	88 %
耗氧量	16 %	27 %	15 %	24 %
換氣量	28 %	37 %	27 %	31 %
心跳血壓乘積	37 %	58 %	34 %	55 %
氣體交換率	83 %	82 %	76 %	80 %

表十五 膝部等速向心與股四頭肌等速向心/離心運動測試
八個角速度之最大耗氧量的平均值與變化範圍

	平均	變化範圍	佔最大有氧能力測試百分比
膝部等速向心運動			
最高耗氧量	13.1± 1.5	10.0-16.0	30%-48%
股四頭肌等速向心 /離心運動			
最高耗氧量	11.9± 1.5	8.9-13.6	26%-40%

第五章 討論

從心肺呼吸生理觀點來看影響心肺反應的原因甚多，舉凡實驗設計不同、受試者不同、儀器不同、量測數值方式、操作者經驗等等變數，皆會影響研究之結果^(8,41,42,52,53)。本研究針對男性、女性正常年青人做膝部等速向心運動之心肺反應，股四頭肌等速向心/離心運動之心肺反應，膝部等速向心運動和股四頭肌等速向心/離心運動心肺反應之比較，及測試方法等分別進行討論。

5.1 膝部等速向心運動之心肺反應

由實驗結果可知受試者膝部等速向心運動前與運動中每一角速度的心跳、收縮壓、耗氧量、換氣量和氣體交換率等值皆有統計上的意義，只有舒張壓和血氧飽和度等值並無統計上之意義。此結果表示膝部等速向心運動在每一角速度下對心跳、收縮壓、耗氧量、換氣量和氣體交換率等所造成的負荷明顯增加，而在舒張壓和血氧飽和度上則負荷增加幅度小。性別因子不會影響膝部等速向心之心跳、收縮壓、舒張壓、換氣量、耗氧量、氣體交換率、心跳血壓乘積和血氧飽和度等值的變化。自覺用力係數 (RPE) 表在膝部等速向心運動時平均為 12，自覺用力屬於輕微。

5.1.1 膝部等速向心運動心跳之反應

在此運動過程中，心跳率最大值為 127 次/秒，最大平均值出現在第二次

60⁰/s 時，心跳在 8 個角速度的最大值之平均男性為 112 (±3) 次/分鐘，女性為 110 (±3) 次/分鐘，分別佔最大有氧能力測試之 64% 與 68%。Peel⁽⁴³⁾ 研究軀幹 (trunk) 等速向心運動對心血管反應，其設定角速度為 60⁰/s、90⁰/s 和 120⁰/s，受試者從 60⁰/s、90⁰/s 和 120⁰/s 各執行 5 回，每一回 30 秒，每一回期間休息 60 秒，心跳結果在第一回平均心跳佔最大有氧測試之 65%，第五回平均心跳佔最大有氧測試 77%。Haenel⁽²⁵⁾ 研究膝部最大等速運動在角速度 35⁰/s、90⁰/s 和 150⁰/s 時，在每一角度下執行 20 秒，每一速度間休息 20 秒，心跳在膝部等速向心運動中為 138 (±9) 次/分鐘出現在 150⁰/s 時，但其三種角速度間心跳並沒有顯著不同。以上結果是因膝部等速向心運動中，心跳控制是基於主動收縮的肌肉引起化學性和機械性輸入 (inputs)，心跳上升比率較大是大腿肌肉的動態活動結合姿勢性腹部等長收縮成份且心跳快速的改變是由於迷走神經縮回 (withdrawal) 的反應^(25,42)。本篇研究比上述研究之心跳值低，表示膝部等速向心運動在心跳上造成之負荷較低。

5.1.2 膝部等速向心運動血壓之反應

膝部等速向心運動時收縮壓最大值為 157 毫米汞柱，8 個角速度最大值平均男性為 150 (±3) 毫米汞柱，女性為 131 (±3) 毫米汞柱，佔最大有氧測試值之 96% 與 86%。由圖六所示收縮壓最大平均值出現在第二次 60⁰/s 時。舒張壓最大值為 93 毫米汞柱，8 個角速度最大值平均男性為 84 (±2) 毫米汞柱，

女性為 78(±2) 毫米汞柱。由圖八所示舒張壓最大平均值出現在第二次 120⁰/s 時。受試者在執行膝部等速向心運動時其血壓接近最大有氧能力測試可能是為了膝部肌肉收縮出現姿勢性腹部等長收縮與努責效應 (Valsalva maneuver) 而使血壓上升。收縮壓最大平均值出現在膝部等速向心運動中第二次 60⁰/s 時是由於肌肉用力使肌肉傳入接收器興奮，促使周邊血管阻力增加，進而來改變血壓與角速度並無直接關係⁽⁴³⁾。

雖然膝部等速向心運動的血壓接近最大有氧能力測試，但在本篇研究中受試者最大有氧能力測試之收縮壓與舒張壓平均為 156 毫米汞柱與 83 毫米汞柱，血壓並未如預期的高，可能原因是受試者未盡全力執行最大有氧能力測試。膝部等速向心運動的血壓上升幅度不如預期的高與其在每一角速度下執行最大收縮 5 次有關，可能是肌肉最大收縮次數較少，使周邊血管阻力增加幅度小，故血壓上升較低。一般真正的量測血壓是由復健專科醫師插動脈內管始能測得運動中動態血壓，在本實驗中是採用高精密電子式血壓計量得，在動態運動中或身體移動幅度過大時易量測不到正確的動態血壓，故血壓會有些許誤差。

5.1.3 膝部等速向心運動耗氧量之反應

運動中的代謝消耗主要是計算能量由有氧能量轉變成有用的功。耗氧量是一種代謝率的標準測量，主要是測量氧氣被用來產生能量的代謝率⁽³⁹⁾。本

篇研究受試者耗氧量最高耗氧量平均為 13.1 (± 1.5) 毫升/分鐘/公斤，變化範圍在 10.0-16.0 毫升/分鐘/公斤佔最大有氧能力測試之之 30%-48%之間。由圖十所示，在膝部等速向心運動第二次 60⁰/s 時其耗氧量開始上揚，表示受試者最大努力或接近最大努力時會徵召慢速運動單元 (type I) 和快速運動單元 (type II) 幾乎全被徵召，在高速度下徵召的運動單元 (motor unit) 較偏向快速運動單元 (type II)。過去研究⁽³⁹⁾最大間歇性等速向心運動在角速度 60⁰/s 和 180⁰/s 下持續一分鐘膝部伸直彎曲運動測得的最大值為 24 毫升/分鐘/公斤，遠比本篇膝部等速向心運動高。主要原因為本篇膝部等速向心運動的角速度為 60⁰/s、120⁰/s、180⁰/s、240⁰/s、240⁰/s、180⁰/s、120⁰/s 和 60⁰/s，在每一角速度下各執行 5 次最大收縮大約 10-20 秒，每一角速度間休息 30 秒，整個運動屬於高強度、短時間運動且未達穩定狀態，只使用 ATP-PC 系統與醣酵解系統 (glycolysis) 或乳酸系統，所以 30 秒之休息時間，使 ATP-PC 獲得補充至少達 50% 以上，在接下來運動時將可再被做為能量來源，休息期間有一部份氧債可以恢復，可使乳酸堆積量減少，降低疲勞程度⁽⁵¹⁾。因此，膝部等速向心運動只消耗 3METs 至 4.5METs 的能量，如表十四所示屬於輕度運動程度。

5.1.4 膝部等速向心運動換氣量之反應

在正常安靜狀態下，每分換氣量因人而異。在安靜時，每分鐘在 4-15 升間 (BTPS 狀態下)，此值因體型大小和性別而異。本文 22 位受試者的最大有氧能力測試男性的每分換氣量平均為 67.4 (標準差 12.9) 升，女性的每分換氣

量平均為 45.9 (標準差 9.7) 升，總平均為 56.7 (標準差 11.3) 升。受試者執行膝部等速向心運動時之每分換氣量不受性別影響，其佔最大有氧能力測試的 23 %。一般正常人值在 50 到 70 % 之最大自主換氣是屬於正常換氣量⁽²⁾。運動中，每分鐘換氣量增加，通常其增加量與活動肌群的氧消耗量和二氧化碳產生量的增加量成正比。過去文獻對膝部等速向心運動之每分換氣量未曾提出討論，所以無法與過去文獻做比較。本篇研究執行膝部等速向心運動時之每分最大換氣量為 24 升/分鐘，各為安靜值的 3-6 倍。由圖八所示，每分換氣量在運動前也會上升，它並非運動造成的，而是大腦皮質由於人欲參與運動而事先有所活動之故⁽⁵⁷⁾。運動開始後數秒鐘迅速上升，這可能是作用肌之活動關節受刺激而產生的。快速上升之現象消失，代之以緩慢上升，換氣量上升至最高值後達穩定狀態，運動一停止會立即迅速下降。主要因運動停止，來自關節和肌肉的刺激已不存在之故⁽⁵⁷⁾。另外一個原因是因為本研究之等速向心運動計畫並非連續性且長時間之有氧性運動，所以換氣量的增加不如有氧性運動增加的那麼明顯。

5.1.5 膝部等速向心運動心跳血壓乘積之反應

心跳血壓乘積 (rate-pressure produce) 在正常人休息時為 10 毫升/分鐘/100 公克，而運動時則可增至 50 毫升/分鐘/100 公克⁽⁵⁷⁾。在 1978 年，心跳率乘以收縮壓已經被證明是一個心跳血壓乘積的重要指標。臨床則常以心跳率

和收縮壓乘積的百分之一做為心跳血壓乘積的指標。心跳血壓乘積其決定的因素為：心跳、血壓、心肌壁的壓力和左心室壓力產生的速率等。

膝部等速向心運動的心跳血壓乘積最大值平均為 156，佔最大有氧能力測試之 37%，最大心跳血壓乘積為 171 出現在膝部等速向心運動第二次 60°/s 時。Greer⁽²²⁾利用受試者執行最大等速向心運動、等長運動和等張運動各十次比較其對心血管的反應，研究結果指出等速向心運動比等長運動和等張運動有較高的心跳血壓乘積為 116，且在等速向心運動之角速度為 60°/s 時，與本篇研究結果相似。Negus⁽⁴¹⁾比較等速向心運動與踩腳踏車的肌力運動，研究結果指出等速向心運動心跳血壓乘積為 290，佔最大有氧能力測試之 90%；Negus 提出等速向心運動產生的心跳血壓乘積對一般人或有冠狀動脈疾病的人之心肌和冠狀動脈可能造成負荷過大⁽⁴¹⁾；當心臟的耗氧量超過冠狀動脈的供給能力時，就會出現臨床上心臟缺血性的症狀和徵候⁽⁵⁶⁾。膝部等速向心運動對心跳血壓乘積的影響有可能是因為膝部等速向心運動是一種阻力運動，執行這種阻力運動會壓迫到週邊的動脈系統使血流受限，收縮壓增加，同時心跳率也略為增加造成心臟負荷上升。在本篇研究中，膝部等速向心運動對心肌和冠狀動脈所造成的負荷較小，對正常人的心血管刺激來說是非常安全的，但未來對有冠狀動脈疾病或心臟疾病者則仍要觀察其心血管反應。

5.1.6 膝部等速向心運動氣體交換率之反應

氣體交換率(R) 若大於 1.2 表示運動過程中受試者努力以赴。膝部等速向心運動之氣體交換率在第二次 240⁰/s 達到最高值。最大氣體交換率為 1.27 約最大有氧能力測試之 68%。氣體交換率在第一次 120⁰/s 時下降是因運動一開始在肌肉、組織液和血液中，被運動前 20、30 秒造成的鹼性環境緩衝掉，而換氣量上升二氧化碳未增加⁽⁵²⁾，所以量測的耗氧量是增加的，所以氣體交換率變化曲線會先下降再上升。膝部等速向心運動是高強度、短時間的間歇性運動因未達穩定狀態，所以氣體交換率變化曲線緩慢上升後在第二次 180⁰/s 時曲線緩慢下降。

5.1.7 膝部等速向心運動血氧飽和度之反應

血氧飽和度(SaO₂)百分比在休息與運動時的差距若大於 4 % 或，則懷疑不正常⁽²⁾。例如休息時的血氧飽和度是 91 %，運動時降至 87 %，這可會導致肺部血管收縮、心臟功能失常或嚴重缺氧；若改變是從休息時的 97 % 到最大運動時 93 %，則是臨床可預期的結果。在膝部等速向心運動時的血氧飽和百分比在休息時分別為 98 % (標準差 0.2)，運動時分別為 97.7 % (標準差 1.4)，差距小於 4 %。因此，膝部等速向心血脈氧飽和百分比則是臨床可預期的結果。

5.2 股四頭肌等速向心/離心運動之心肺反應

股四頭肌等速向心/離心運動前與運動中每一角速度的心跳、收縮壓、耗氧量、換氣量、氣體交換率、心跳血壓乘積等值皆有差異，只有舒張壓、血氧飽和度等值無差異。此結果表示在股四頭肌等速向心/離心運動每一角速度下對心跳、收縮壓、耗氧量、換氣量和氣體交換率等所造成的負荷明顯比在舒張壓和血氧飽和度上增加。性別因子不會影響股四頭肌等速向心/離心運動之心跳、收縮壓、耗氧量、換氣量、氣體交換率、心跳血壓乘積和血氧飽和度等值的變化。自覺用力係數表 (RPE) 在股四頭肌等速向心/離心運動時為 11，自覺用力屬於輕微。

5.2.1 股四頭肌等速向心/離心運動心跳之反應

在此運動過程中，心跳率最大值為 122 次/秒，最大平均值出現在第一次 $120^{\circ}/s$ 時，心跳在 8 個角速度的最大值平均男性為 102 (± 3) 女性為 107 (± 3)，分別佔最大有氧能力測試之 59% 與 66%。股四頭肌等速向心/離心運動心跳的變化曲線在第一次 $120^{\circ}/s$ 後曲線漸近平緩，變化幅度小。由於股四頭肌等速向心/離心運動的徵召之運動單元較少，且肌肉自主活動少，同時引起迷走神經縮回反應小，所以股四頭肌等速向心/離心運動對心跳之反應影響略小⁽²⁵⁾。

5.2.2 股四頭肌等速向心/離心運動血壓之反應

股四頭肌等速向心/離心運動之收縮壓在第一次 60⁰/s 和第二次 60⁰/s 時出現最大值的趨勢，舒張壓從第一次 60⁰/s 後慢慢往下降。股四頭肌等速向心/離心運動之收縮壓最大值為 172 毫米汞柱，8 個角速度最大值平均男性為 149 (±3) 毫米汞柱，女性為 131 (±3) 毫米汞柱，佔最大有氧測試值之 93%與 87%。股四頭肌等速向心/離心運動只較需少量的肌肉自主活動，肌肉內力量降低，造成血壓下降；且運動中潮氣容積和心輸出量增加，使周邊血管阻力下降，對心臟負荷影響較小。本研究中之收縮壓最大值為 172 毫米汞柱，可能原因之一是受試者為了固定胸部和腹部，出現努責效應使胸內壓力和腹腔壓力上升，造成收縮壓上升。

5.2.3 股四頭肌等速向心/離心運動耗氧量之反應

股四頭肌等速向心/離心運動時的最高耗氧量平均為 11.9 (±1.5) 毫升/分鐘/公斤大約為 3.5METs，變化範圍在 8.9-13.6 毫升/分鐘/公斤約 2.5 METs 至 4METs，佔最大有氧能力測試之 26%-40%之間。實驗中發現受試者在執行股四頭肌等速向心/離心運動時執行至高速時，肢體收縮往往趕不上機器速度，因此，肢體力量部分被用於趕上機器速度，剩餘部分才被記錄^(44,54)。所以，從能量的觀點，股四頭肌等速向心/離心運動時其耗氧量偏低。股四頭肌等速向心/離心運動時的耗氧量變化曲線圖在第一次 180⁰/s 後曲線圖漸趨平緩至第二

次 60⁰/s 後稍為上揚，但曲現變化幅度小。如表十四所示其運動程度屬於輕度運動程度。

5.2.4 股四頭肌等速向心/離心運動換氣量之反應

受試者執行股四頭肌等速向心/離心運動時之每分換氣量不受性別影響。股四頭肌等速向心/離心運動之每分最大換氣量為 19.6 升/分鐘，各為安靜值的 3-5 倍，其佔最大有氧能力測試的 21 %。股四頭肌等速向心/離心運動換氣量變化圖在第一次 180⁰/s 後曲線圖漸趨平緩至第二次 60⁰/s 後稍為上揚，但曲現變化幅度小。

5.2.5 股四頭肌等速向心/離心運動心跳血壓乘積之反應

股四頭肌等速向心/離心運動的最大心跳血壓乘積為 160，佔最大有氧能力測試之 45 %，心跳血壓乘積最大平均值出現在股四頭肌等速向心/離心運動第一次 120⁰/s 時，之後曲現變化幅度小，顯示股四頭肌等速向心/離心運動對心肌或冠狀動脈產生的負荷較小。

5.2.6 股四頭肌等速向心/離心運動氣體交換率之反應

股四頭肌等速向心/離心運動的氣體交換率為平均值 0.9 (標準差 0.01)，最大氣體交換率值為 1.04。股四頭肌等速向心/離心運動在第一次 240⁰/s 後曲

線持平且緩慢下降。股四頭肌等速向心/離心運動屬無氧能量代謝系統，運動過程中有氧系統貢獻較少，且二氧化碳排除率在此運動中未大量增加，所以氣體交換率在股四頭肌等速向心/離心運動並未明顯上升。

5.2.7 股四頭肌等速向心/離心運動血氧飽和度之反應

在股四頭肌等速向心/離心運動時的血氧飽和百分比在休息時為 97.9% (標準差 0.2)，運動時為 97.8% (標準差 1.4)，差距小於 4%。因此，股四頭肌等速向心/離心運動的血氧飽和百分比則是臨床可預期的結果。

5.3 膝部等速向心運動和股四頭肌等速向心/離心運動對心肺反應之比較

在本文結果中膝部等速向心運動與股四頭肌等速向心/離心運動之心跳、耗氧量、換氣量、心跳血壓乘積等平均值皆佔最大有氧測試之 75% 以下，表示接受膝部等速向心與股四頭肌等速向心/離心運動訓練時對心血管造成之反應屬於安全範圍。膝部等速向心與股四頭肌等速向心/離心運動之收縮壓與舒張壓在各個角速度之間沒有差異，這樣結果表示血壓的增加與用力強度、運動的肌肉群大小有關與在動態運動⁽⁴⁶⁾和阻力運動⁽³⁸⁾時肌肉產生的力量較無直接關係。

膝部等速向心運動在心跳、收縮壓、耗氧量、換氣量和心跳血壓乘積等

值對心血管的負荷皆比股四頭肌等速向心/離心運動大。由於膝部等速向心運動比股四頭肌等速向心/離心運動徵召更多的運動神經元，因此，可預期的膝部等速向心運動時大的活動肌群使得心跳和血壓增加比股四頭肌等速向心/離心運動高。股四頭肌等速向心/離心運動比膝部等速向心運動之每分鐘換氣量低，也是與其作用肌之活動有關。

Overend⁽⁵¹⁾等學者在 2000 年，選取 40 位受試者，年齡 23-76 歲，分成年輕與老年人兩組，分別以 50% 之最大向心力矩值執行膝伸直之向心與離心運動各兩分鐘。結果發現等速離心運動得到最大力矩值比等速向心運動大；兩族群之心跳、平均動脈壓和心跳血壓乘積在向心運動比離心運動高，等速向心運動誘發出較大的心血管反應與本篇結果類似。Marzorati⁽³⁹⁾認為心跳與耗氧量在運動呈現穩定狀態後，心跳與耗氧量成正比線性關係；氧的需求量與能量輸出成線性關係，從這些規律的觀點來看，這些發現暗示呼吸反應幾乎由代謝需求的量來表現，心血管反應則明顯受肌肉收縮的強度及方式影響。膝部等速向心運動是屬於高強度、短時間的肌肉自主收縮，氧需求量比股四頭肌等速向心/離心運動高，因此心跳與耗氧量在膝部等速向心運動比股四頭肌等速向心/離心運動大。

綜合以上所述，本研究執行膝部等速向心與股四頭肌等速向心/離心運動則對正常青人之血管刺激量小，無論是心跳、收縮壓、換氣量、耗氧量、氣體交換率、心跳血壓乘積和血氧飽和度等值皆屬安全範圍。股四頭肌等速向

心/離心運動對心跳、收縮壓、換氣量、耗氧量、氣體交換率、心跳血壓乘積和血氧飽和度造成的負荷比膝部等速向心運動低；且執行本研究之股四頭肌等速向心/離心運動時受試者並無任何延遲性之肌肉酸痛。基於上述探討，本研究的膝部等速向心運動和股四頭肌等速向心/離心運動是一種安全的肌力訓練，但非心肺耐力訓練，需調整膝部等速向心運動和股四頭肌等速向心/離心運動的施行次數與時間或許才能成為心肺運動訓練計畫，倘若如此未來還要再進行類似本研究之實驗設計來深入探討。

5.4 膝部等速向心運動和股四頭肌等速向心/離心運動之運動計畫分析

過去研究多數在探討膝部等速向心運動對心血管的反應，少數幾篇是探討等速離心運動對心血管的反應，但膝部等速向心運動每一篇所採用之運動計畫皆不同；然而不同運動計畫對心血管的反應會有差異。本篇研究的膝部等速向心運動和股四頭肌等速向心/離心運動之運動分別在 $60^{\circ}/s$ 、 $120^{\circ}/s$ 、 $180^{\circ}/s$ 、 $240^{\circ}/s$ 、 $240^{\circ}/s$ 、 $180^{\circ}/s$ 、 $120^{\circ}/s$ 和 $60^{\circ}/s$ 執行膝部伸直彎曲最大收縮五次(大約 10-20 秒)，每個角速度中休息 30 秒，是屬於間歇性高強度但短時間的運動。膝部等速向心運動的主要作用肌群為股四頭肌向心收縮和大腿後肌向心收縮，而股四頭肌等速向心/離心運動之運動的主要活動肌群為股四頭肌向心收縮和離心收縮，兩種運動最大的差異在於主要活動肌群不同，

所以造成心血管的反應上有明顯差異。膝部等速向心運動和股四頭肌等速向心/離心運動之運動的次數（每個角速度執行五次）、時間（10-20 秒）、強度（最大自主收縮）和每個角速度中的休息時間（30 秒）等皆相同，因此這些變數不影響上述兩種運動之間對心血管的反應。

Douris⁽¹⁴⁾於 1991 選取 10 位受試者，年齡 20-40 歲，在三種速度（30°/s、120°/s、300°/s）下執行膝部等速伸直和彎曲向心運動持續一分鐘。結果發現膝部等速彎曲和伸直運動在此三種速度下收縮壓均在 188 毫米汞柱以上，心跳平均為 147 次/分鐘，其研究結果對心血管的反應皆大於本篇研究。因此，運動計畫的運動的次數多寡、時間長短、強度、有無休息的時間等變數的差異皆會影響心血管的反應。而本研究結果顯示膝部等速向心運動和股四頭肌等速向心/離心運動對正常年輕人心肺反應之影響小。

表十六 運動程度與平均心肺反應對照表⁽⁵⁶⁾

運動程度	METs	VE (公升/分鐘)	可以繼續工作的時間	心率 (/分鐘)	呼吸商
很輕	2.5	10		80	0.8
輕度	2.5~5.0	10~20	很久，沒有限制	<100	0.85
中度	5.0~7.5	20~35	每日八小時	<120	0.85
中重度	7.5~10.0	35~50	季節性的每日八小時	<140	0.90
重度	10~12.5	50~65	每週數次、數週	<160	0.95
最大	12.5~15	60~86	偶爾一至二小時	<180	1.0

第六章 結論與建議

6.1 結論

在本研究中，性別因子不影響執行膝部等速向心運動和股四頭肌等速向心/離心運動在心跳、收縮壓、舒張壓、耗氧量、換氣量、氣體交換率、心跳血壓乘積和血氧飽和度等值對心血管的反應。股四頭肌等速向心/離心運動在心跳、收縮壓、舒張壓、耗氧量、換氣量、氣體交換率、心跳血壓乘積和血氧飽和度等值皆比膝部等速向心運動對心血管的刺激量更低。在研究中同時發現膝部等速向心運動和股四頭肌等速向心/離心運動的心跳、收縮壓、氣體交換率等值皆小於 80 % 最大有氧能力測試；換氣量、氣體交換率、心跳血壓乘積等值小於 50 % 最大有氧能力測試，只有舒張壓達到 80 % 最大有氧能力測試。因此，本研究的膝部等速向心運動和股四頭肌等速向心/離心運動對正常年輕人心肺反應之影響小，對心肌刺激量也小。所以，正常年輕人執行本研究的膝部等速向心運動和股四頭肌等速向心/離心運動計畫是有效的肌力訓練且非常安全。

6.2 建議事項

針對研究過程中，實驗研究在氣體感測器校正上最好每實驗三位受試者後就要進行校正，以確保氣體收集的準確性。氣體收集時受室內空氣溫度和濕度、受試者的面罩大小、面罩消毒和受試者呼吸方式等影響，若實驗時能

控制好這些因子，則氣體分析更準確。執行膝部等速向心運動和股四頭肌等速向心/離心運動時也要對等速測力機檢查與校正，使實驗過程會更精準流暢。每次實驗時要先對氣體分析儀器熱機至少 15 分鐘，在氣體收集與分析時，數值較準確且運作會較順暢。

從心肺反應的觀點而言，膝部等速向心運動和股四頭肌等速向心/離心運動是非常安全的計畫，但若要成為心肺耐力訓練計畫，則要調整在每一角速度時執行的次數（例如：每個角速度執行十次）或運動期間的休息時間，再與最大有氧能力測試做比較。如此，調整膝部等速向心運動和股四頭肌等速向心/離心運動計畫就可成為肌力訓練結合心肺耐力的雙重訓練計畫，以作為臨床物理治療之訓練計畫。

未來研究可針對不同族群如老人、中年人、運動員和受傷者等，調整膝部等速向心運動和股四頭肌等速向心/離心運動之運動次數、時間和不同運動部位。針對不同對象，不同需求，可成為臨床心肺復健之運動處方或心肺功能訓練之計畫。經由本篇研究發現股四頭肌等速向心/離心運動對心血管的負荷小，在未來可探討股四頭肌等速向心/離心運動是否適用於有心臟疾病或心血管疾病之患者與其臨床應用價值。