

國立臺灣體育運動大學
National Taiwan University of Physical Education and Sport
體育研究所碩士學位論文

水面蹼泳之運動學分析
Kinematical Analysis of Surface Finswimming



研究生：林子筠 撰

指導教授：吳鴻文 教授

中華民國 102 年 7 月

中文摘要

蹼泳是一種歸屬於「時尚運動」類的新興水中競速比賽，也是潛水運動中的一項獨特的競技運動項目，素有水中「美人魚」之稱。蹼泳與正常的游泳動作相比，蹼泳運動更強調蹼的使用以及身體軀幹大量屈曲與伸展來帶動下肢關節的高速衝刺。此外，由於特殊的運動行為模式，蹼泳運動亦容易造成特定的運動傷害，如下背部肌肉傷害以及坐骨神經的損傷。藉由分析蹼泳運動中關節活動方式，有助於了解蹼泳運動的技巧，避免運動傷害的發生及提供運動訓練時的參考。因此，本研究目的為分析蹼泳運動選手在進行水面蹼泳時，各關節的運動模式。受試者為 3 男 4 女受過蹼泳訓練達全國分齡比賽之選手，利用兩部攝影機分別置於水上水中進行拍攝後分析關節角度與角速度。研究結果顯示蹼泳運動模式下肢段關節的擺盪幅度與角速度遠大於上軀段與上肢段關節，為主要運動關節，使用的肌群亦為下軀段及其以下肢肌群所構成的主要推進力，故成績並非唯一由運動選手心肺適能來決定，而是能確定此運動真正操作的關節肢段肌耐力可能也是相當重要影響因子。此外，整個蹼泳運動中下肢關節運動遠較上肢及軀幹大，是主要的動力源，研究結果中關節角度及角速度範圍，可作為蹼泳選手未來以等速肌力訓練儀訓練時的參考。

關鍵字：蹼泳、關節角度、關節角速度、運動模式

Abstract

Fin swimming, a water-racing competition of fashion is an unique event of diving sport, and so-called the underwater mermaid as well. Compare fin swimming with other general swimming motion, fin swimming focus more on the application of fin and the high-speed sprint by the joints of the lower limbs whose motive power comes from the frequent flexion and stretch of trunk. Moreover, due to this unique motion, fin swimming results in specific sport injury inevitably as well, such as the injury to the lower trunk muscle and the sciatic nerve injury. By analyzing the movement mode of joints in fin swimming, we can find out the skills for fin swimming, how to prevent sport injuries and the reference about sport training. Therefore, the aim of the study is to analyze the movement pattern of each joint of the swimmers who are exercising surface fin swimming. Three male swimmers and four female swimmers who are trained to fin swim and qualified as the national competitions by age groups, were taken for the recording. In a swimming pool two cameras were placed on each side of the pool to complete the video recording process. The result of the study was shown that the lower limbs joints, the primary movement joints, amplitude and angular velocity were larger than the upper trunk and the upper limbs joints for the movement pattern of fin swimming, and the primary impelling energy was composed of the working muscles for the lower trunk and the lower limbs. So the grades were really not the only decision by the cardiopulmonary fitness of athletes, but it was sure that the muscular endurance of the lower limbs for fin swimming may be so important influence factor. In addition, the oscillation of the lower limbs was larger than the upper limbs and the upper trunk in fin swimming. It implied the lower limbs were the primary of driving force source. The range of joint angle and angular velocity by this result of the study could be used as training references by isokinetic muscle strength training equipment for fin swimmers in the future.

Keywords: fin swimming 、 joint angle 、 joint angular velocity 、 movement pattern

目 錄

中文摘要	I
英文摘要	II
目 錄	III
表目錄	V
圖目錄	VI
第壹章緒論	1
第一節 研究背景與動機	1
第二節 研究目的	2
第三節 研究假設	2
第四節 研究的範圍與限制	3
第貳章文獻回顧	4
第一節 蹼泳運動的歷史起源	4
第二節 蹼泳的發展與研究現況	7
第三節 蹼泳的運動傷害	10
第四節 蹼泳運動在運動訓練上的發展	11
第五節 蹼泳運動在運動科學上的發展	13
第參章研究方法與步驟	16
第一節 實驗受試者	16
第二節 實驗地點與時間	17
第三節 實驗儀器與設備	19
第四節 實驗流程與步驟	21
第肆章結果與討論	29
第一節 心肺適能	29

第二節關節角運動	30
第三節關節角速度	38
第五章結論與建議	50
參考文獻	51
附錄 A 體能活動適應能力問卷	56
附錄 B 受試者同意書	58

表目錄

表 2-1 競技蹠泳國際賽事一覽表	5
表 3-1 受試者基本資料	16
表 3-2 BRUCE PROTOCOL	27
表 3-3 柏格最大吃力自覺量表	28
表 4-1 單蹠水面施測成績與最大耗氧量	29

圖目錄

圖 3.1 單 蹠	20
圖 3.2 雙 蹠	20
圖 3.3 呼 吸 管	20
圖 3.4 實 驗 流 程	21
圖 3.5 實 驗 場 地 配 置 圖 俯 視 圖 (上)及 側 視 圖 (下)	22
圖 3.6 實 驗 前 的 校 正	23
圖 3.7 黏 貼 標 記	24
圖 3.8 動 態 資 料 辨 識	26
圖 4.1 受 試 者 最 大 耗 氧 量 與 25 M 及 50 M 成 績	30
圖 4.2 踝 關 節 、 膝 關 節 及 髖 關 節 角 運 動	33
圖 4.3 下 軀 幹 及 上 軀 幹 角 運 動	34
圖 4.4 肘 關 節 及 肩 關 節 角 運 動	35
圖 4.5 關 節 活 動 度	36
圖 4.6 踝 關 節 、 膝 關 節 及 髖 關 節 角 速 度	40
圖 4.7 下 軀 幹 及 上 軀 幹 角 速 度	41
圖 4.8 肘 關 節 及 肩 關 節 角 速 度	43
圖 4.9 關 節 最 大 角 速 度	44

第壹章 緒論

第一節 研究背景與動機

蹼泳 (FinSwimming) 競技運動是世界水中聯盟協會 (World Confederation of Underwater Activities, CMAS) 九項水中競技運動比賽項目之一。蹼泳運動發展以及起源至今可以追溯到50年前俄羅斯軍隊的特種部隊，然而，這種軍事用具的發明也正好興起了一項有趣且時尚的競技運動—蹼泳。在1962年，蹼泳運動正式在首屆兩年一度的世界錦標賽上讓全世界的人看到蹼泳運動曼妙的競技表現。至今目前，蹼泳運動發展已超過50年歷史。國內蹼泳競技運動已與世界慢慢接軌。在2011年9月於大陸煙台舉辦的世界盃蹼泳錦標賽，我國優秀運動員榮獲推動競技蹼泳運動以來最好的成績殊榮—3金5銀2銅。同時，在2011年教育部體育署更把蹼泳競技成績列入國光獎章獎勵的運動項目之一。

蹼泳是一種歸屬於「時尚運動」類的新興水中競速比賽，也是潛水運動中的一項獨特的競技運動項目，素有水中「美人魚」之稱(高雄世界運動會，2009)。蹼泳的游速飛快，與世界級的游泳選手之游泳成績相比，蹼泳的成績更是優快於30%。然而，由於特殊的運動行為模式，蹼泳運動亦容易造成特定的運動傷害，如下背部肌肉傷害以及坐骨神經的損傷 (Sereni, Reggiani, & Odaglia, 1981; Verni, et al., 1999)，這是

在推動或進行蹼泳運動時，所必須瞭解的重要課題。除此之外，蹼泳運動所帶來的運動傷害與運動過程中的關節運動模式可能是息息相關的。而目前，有關蹼泳運動中的關節運動的研究仍是相當鮮少。因此，藉由了解蹼泳運動的關節運動模式，可有助於減少運動傷害及作為運動訓練時的參考，以有效地增進運動員在運動場上的成績表現。

第二節 研究目的

本篇研究目的是瞭解蹼泳運動中人體各個肢段的關節運動模式，主要特定研究目的為：

1. 探討運動學的參數，包括關節角度、角速度
2. 探討影響蹼泳運動成績的相關因子

第三節 研究假設

本研究運動情境模式相當特別，運動方式是界於水面與水中上下來回擺盪，在水中介質與水面上空氣介質是不相等的情況下，為避免誤差並在水面上架設攝影機進行同步拍攝。本研究假設如下：

- 一、水底攝影機不會受水面波浪影響而有位移的問題
- 二、受試者在人體各肢段的矢狀面黏貼標記與皮膚之間不會有相對位移
- 三、水中攝影機與水面攝影機採同步拍攝，拍攝前進時間與拍攝位置的校對，並藉由敲擊物體聲音

作為傳遞啟動拍攝，避免拍攝時的誤差

第四節 研究的範圍與限制

本研究的範圍以我國有受過專業蹼泳訓練達全國分齡賽能力的選手為研究對象，著重在運動學分析。在研究限制，符合資格選手來源受一定限制，參與實驗對象來自不同隊伍，實驗前的溝通需耗費較多時間，在時間排上將無法完全依原定期程安排而有落差，拍攝的成果受水中能見度、環境光線、氣候、水溫為影響因素。

第貳章 文獻回顧

第一節 蹼泳運動的歷史起源

蹼泳在國際賽上的發展演進史，大概可以用時間軸來做簡單的區分。1959年，世界水中聯盟（World Confederation of Underwater Activities, CMAS）設立於摩納哥，蹼泳運動是世界水中聯盟（CMAS）九項水中運動項目之一的比賽。蹼泳於1962年首屆兩年一度的世界錦標賽中，第一次站上世界的舞台。接下來，於1968年在義大利所舉辦的第一屆歐洲蹼泳錦標賽，也使得蹼泳在歐洲的體育演進史寫下了重要的記錄。世界水中聯盟於1986年獲得國際奧林匹克運動委員會正式承認的競技團體，更進一步的將蹼泳列為正式競技比賽的項目，蹼泳運動比賽也陸續在最受注目的世界運動會及各個大大小小的世界性與洲際性比賽登場，並且受到世人的矚目（中華台北水中運動協會，2010）。目前，全世界共有一百多國家發展蹼泳運動，其主要之國際性比賽的賽事及項目如表 2-1。

表 2-1

競技蹼泳國際賽事一覽表

賽事名稱	性質	舉辦年限	等級	參賽對象	比賽項目
世界運動會	世界綜合性國際賽	4	第一級	世界排名前16強，接力隊由CMAS選定	水面屏氣
世界盃	世界性國際賽	2年輪流舉辦一次	第二級	世界排名前18強，接力隊由CMAS選定	水面屏氣 氣瓶 雙蹼
世界錦標賽	巡迴分站賽				
歐洲錦標賽	各州際賽		各國最多可6名選手參加個人賽及一個組接力隊，各項名額限定2名選手	第三級	水面屏氣
亞洲錦標賽					
亞州室內運動會	區域綜合性國際賽		偶數年舉辦	18歲以下	水面屏氣 氣瓶 雙蹼
東南亞運動會					
世界池內青年錦標賽	國際分齡賽事	奇數年舉辦	16歲以下	水面屏氣 氣瓶 雙蹼	
世界池內少年錦標賽		奇數年舉辦	18歲以下		
州際池內青年錦標賽		偶數年舉辦	16歲以下		
州際池內少年錦標賽		奇數年舉辦	青年18歲以下；少年16歲以下		
世界青年跟少年長距離錦標賽	開放水域	偶數年舉辦			
州際青年跟少年長距離錦標賽					
*世界和洲際錦標賽每兩年輪流舉辦一次。按照國際奧會規定，世界和洲際錦標賽必須進行禁藥檢測。世界和洲際錦標賽必須按照國際CMAS蹼泳規定籌組，須經國際CMAS蹼泳委員會和行政處認可，這些修訂在世界錦標賽之後才可實施。					

蹼泳 (Finswimming)，從字面上的意義可瞭解到此項運動需要的不單單只是身體軀幹以及全身性的相互協調運動，更進一步的需要腳蹼的協助以及別於一般游泳方式來呈現出蹼泳競技的運動行為模式，其中，又以「單蹼」(monofin swimming) 的競技運動有著水中美人魚之稱的美名。就單蹼的歷史來說，「單蹼」是由俄羅斯特種部隊發明與使用，而這種軍事用具的發明也正好興起了一項有趣的運動-蹼泳。一直到現在，東歐國家「單蹼」競技運動已有 50 多年的歷史。競技蹼泳推動至今，在歐洲擁有高度競技運動表現的游泳選手也陸續投入競技蹼泳的發展，更在 1992 年最受注目的世界性國際奧林匹克運動會中，第一次將蹼泳運動納入奧運會之示範表演賽項目。然而，在亞洲地區的蹼泳運動發展來說，目前已有許多國家開始重視「蹼泳」運動的發展，尤其中國已經舉行了 11 年蹼泳比賽，而韓國、日本、新加坡、香港、印尼、越南等地，也開始大力推展蹼泳運動。而我國蹼泳運動發展的演進，也已經慢慢接入世界的軌道(世界水中聯盟網站，2009)。

我國首度出現「蹼泳」這名詞大約 25 年前，其發展可分為兩大階段。第一階段為：國內首位將蹼泳資訊引入的是謝新曦先生，謝新曦先生經常於世界各國考察、收集有關潛水與各種水上水中活動的相關資訊，發現在歐洲盛行一種「單蹼」競速運動，也將此運動資訊帶回國內。此外，1988 年 10 月日本蹼泳協會於也特地宣傳蹼泳競技比賽以及邀請亞洲國家一同共襄

盛舉，同時也希望各個國家派出代表隊參加 1989 年於日本名古屋舉行的亞洲蹠泳競技大會。在受邀期間，國內於 1988 年也開始籌備蹠泳競技運動的推廣以及體驗。1989 年 3 月國內開始積極展開巡迴推廣事宜，並且為了要參與日本的邀請賽，成立了許多蹠泳運動的相關知識宣導小組。更進一步的前往當時國內最優秀的體育院校，如：師範大學、台北體專、台中省體專及基隆女中和高雄游泳協會等單位，進行示範動作表演、教學影帶放映及測驗。結果有著驚人的發現：游泳健將們在從未接觸蹠泳，又缺乏練習經驗與環境下，首次嚐試蹠泳競技運動表現就有超乎標準的演出，更有著令人驚訝的成績表現。遺憾的是，由於世界各國運動項目的發展均以奧運會比賽項目為主，而『蹠泳』項目未能列入亞、奧運會比賽項目。因此影響國內整體游泳相關運動發展的方向，加上當時選手不知道蹠泳推展的進度，以及未來升學輔導之配套辦法尚未連結，因此國內蹠泳運動的推廣無疾而終，第一階段的國內蹠泳發展就此中斷。(謝新曦，1990)

第二節 蹠泳的發展與研究現況

2004 年 11 月水中運動協會接獲教育部體育署指示 2009 年世界運動會在台灣高雄舉辦，比賽項目中包含蹠泳項目，中斷 18 年的國內蹠泳運動就此展開新的演進。2005 年由國內水中運動協會代表，成立考察團至日本秋田參加第九屆亞洲蹠泳錦標賽，從賽事安排、

比賽項目、器材等都一一詳細記錄帶回國內展開一連串的歷史任務革新與創新的使命。從推廣、選才、培訓、參賽等，一步一腳印的積極做好每個階段工作，締造蹼泳運動在國內未來的無限發展空間。在這些辛勞的努力以及發展之下，我國國內的蹼泳運動成績也表現十分亮眼：2007年首次參與國際賽會，由教育部體育署率國家代表隊參加第10屆亞洲蹼泳錦標賽榮獲：1金4銀4銅。2008年第11屆亞洲蹼泳錦標賽中代表隊榮獲女子1500m水面蹼泳金牌，是我國睽違18年來首面單蹼金牌。第3屆亞洲室內運動會在越南河內的比賽中也榮獲男子1500m水面蹼泳銅牌。繼2009世界運動會之後，2010年我國主辦的第12屆亞洲錦標賽，代表隊的選手們也獲得1金1銀2銅的優異成績（中華台北水中運動協會，2010）。2011年9月在大陸煙台的世界杯蹼泳錦標賽，我國獲得3金5銀2銅。然而在這次錦標賽的成績表現為我國在推動競技蹼泳以來最亮麗的成績殊榮。除此之外，教育部體育署更在2011年將蹼泳運動列入國光獎章獎勵的運動項目之一。由以上可知，擁有健全國際賽事架構期的蹼泳運動是十分適合我國積極投入的競技項目。

以一項新崛起運動而言，蹼泳運動文獻並不多，過去文獻數普遍探討的領域為生理學、心理學、訓練法、腳蹼工學等為研究方向，以蹼泳強國的中國大陸與歐洲各國在這方面的研究上就有許多針對蹼泳的各項研究報告；呂坤如（2010）指出系統的蹼泳運動可以顯著提高身體的心肺功能，並透過女子蹼泳運動員與

非體育專業的女大學生在各方面的心肺功能指標比較得知。施俊華、崔麗萍與王海燕(2009)發現蹼泳女選手賽前集訓期間，可藉由血紅素、紅血球及血清肌酸酶的測試指標，來調整運動訓練時間及強度，以提升技術及成績。鄭偉濤、韓久瑞、石波與歐康平(2002)的研究中指出，蹼泳運動訓練中最重要的因素是訓練負荷和強度，此相關的指標分為物理指標和生理學指標，本文乃是透過運動訓練上物理指標的分析，確切的監控運動員的運動負荷及訓練強度，應用在蹼泳等周期性反覆的運動訓練上。心理學研究如李安民、王超英、朱川平、楊群會、楊艷、石波、歐康平、梁九二與彭明石等(2002)，在中國優秀青年蹼泳運動員心理運動能力的評價與培養的研究中，發現青年運動員與成年運動員在心理運動能力方面並沒有顯著的差異，由此可知青年運動員的心理運動能力發展水準高與他們較早接受蹼泳的專項訓練有著密切的關係。Zamparo, Pendergast, Termin, & Minetti(2002)在力學方面，則量化蹼泳水中運動前進的速度以及下肢擺盪的拖曳角度，藉此瞭解蹼泳運動中速度以及下肢拖曳角度的相關性。而蹼泳是一項由運動員穿戴腳蹼靠人體自身發力的方式操作腳蹼的競速運動，腳蹼在水中的動力性能裝備都將影響運動成績的表現，馬勇(2003)在裝備腳蹼工學研究中曾經提出，短距離和生理條件較佳的優秀蹼泳運動員，可以選擇硬度較高的蹼泳板進行實際訓練和比賽。

第三節 蹼泳的運動傷害

在發展蹼泳運動的同時，瞭解有關蹼泳運動相關的運動傷害，有助於選手的正確訓練及傷害的防護。蹼泳特殊的運動行為表現，讓蹼泳獲得美人魚的美名。然而，在此運動項目中，也是因為這種特別的運動行為表現，造成某些型式的運動傷害。蹼泳競技運動中常見的運動傷害，包含下背部肌肉傷害、踝關節的肌腱發炎以及坐骨神經的損傷。其中有很多的因素會造成這些運動傷害的產生，如：蹼泳的器具選擇不當會造成肌腱發炎以及坐骨神經痛。Sereni, Reggiani, & Odaglia(1981)更進一步說明，蹼泳器具的材質選擇可以避免運動傷害的發生機率。不同的腳蹼在蹼泳運動的運動訓練上，有著不同的訓練目的。短型且較軟的雙蹼由於其材質特性以及運動時所需抵抗的阻力較小，目前並沒有明顯證據顯示其會造成有相關運動傷害的產生。然而，對於長型的腳蹼而言，由於所需要抵抗的阻力較大，身體軀幹以及下肢力量要作的功比起短腳蹼來的大，相對造成運動傷害的比例增加了許多。一般而言，長型的腳蹼選擇會造成主要運動傷害發生於踝關節的肌腱發炎以及坐骨神經痛。瞭解蹼泳運動器具的選擇以及傷害的特性與部位，有助於給予在成長過程中的年輕運動員，在從事蹼泳運動訓練時，避免造成永久性運動傷害的良好建議。

由於蹼泳選手特殊的運動模式，其運動向前衝刺的動力，需透過身體軀幹大量的屈曲與伸展來帶動下

肢關節的活動度。此外，比賽時的水中阻力以及穿戴腳蹼，造成選手必須增加額外的作功以帶動前進的動量。這些因子都會使得下背部的力量過大，為蹼泳運動員會產生下背部肌肉傷害的主要原因(Verni 等, 1999)。然而，透過醫療性放射線(X-ray)儀器的檢查，也發現了腰椎的關節面有不正常的排列情形，並且可推估運動傷害的機制可能與運動的環境以及選手本身對於腳蹼適應的能力有很大的關係。然而，另一種造成下背部肌肉傷害的原因，可能是運動員在水中作蹼泳運動會比水外練習時需要有更多的能量消耗(Zamparo & Pendergast, 2006)。蹼泳競技運動是一種極需水中心肺適應的一項競技運動(李金勝, 2006)，比賽時間的長短關係到水中心肺適應的能力，一旦心肺能力達到疲勞閾值，軀幹會產生代償性的作用來達到未疲勞時的運動表現，因此造成腰椎會有一個周期性的負荷增加，產生下背部肌肉傷害的症狀。藉由對於蹼泳運動行為有一定的瞭解，提出具有特定性且適當的運動訓練處方，對於提升蹼泳選手在運動成果表現，是一項相當重要的因素。

第四節 蹼泳運動在運動訓練上的發展

運動訓練的主要範疇，是增加運動員運動技能與生理能力，以及發展堅強健康的心理特質。Bompa(2004)指出，運動訓練的方法，涵蓋肌力與爆發力訓練、耐力訓練、速度、柔軟與協調性訓練等。

技能訓練法的文獻中，吳靜萍等人(2004)證實單片蹼的設計圈線與幅度都影響腳蹼在水中的效能。鄭偉濤與韓久瑞(1997)認為選手在運動過程中如何充分展現效率，蹼頻與蹼幅是影響推力的主要關鍵，並提出蹼頻蹼幅與推力側向力及力矩的關係。歐康平、石波、鄭偉濤(2001)進一步更提出小蹼度高頻率的技術有助於水面蹼泳的成績表現。各文獻分別提到訓練的技巧及提高蹼泳推進力的影響因素的探討，包含人體在水中動作技巧與流體力學之間的關係；呂坤如(2010)則指出蹼泳運動與一般的游泳運動都必須要有足夠的心肺適應能力。過去研究發現不同強度的間歇訓練對於在運動過程中的心肺能力，具有一定的提升與顯著進步的效益(Wylegala & Pendergast, 2007)。而高強度的間歇訓練，明顯的提升蹼泳選手在競技運動場上的成績表現，其中又以游泳的速度、最大耗氧量以及心肺容忍度的表現，都比中強度的間歇訓練來的明顯進步與增加。心肺能力的提升對於蹼泳運動來說，會明顯增加的運動表現，而控制心肺能力的呼吸肌肉群肌耐力的增加，也會使得蹼泳選手在運動場上有較佳的運動表現(Lindholm, Pendergast, & Lundgren, 2007)。正因為心肺能力的訓練對於蹼泳運動行為與表現有顯著的進步效果，蹼泳的心肺能力訓練原則也漸趨完整與標準化。

漸進式(Incremental exercise)的訓練法對於需要心肺能力的運動項目來說，亦扮演著十分重要的角色。以蹼泳在運動成績上表現結果來說，漸進式訓練對於

蹼泳的泳速有著明顯的增加。中等強度的漸進式訓練法，則會提升到達最大耗氧量的時間，也就是說運動員會有足夠的效率與能力來運用及增加氧氣交換的能力。在接受更高強度的漸進式訓練法則後，運動成績的表現亦更會明顯的提升。由此可知，漸進式訓練方法能有效率的增加心肺能力以及明顯有助於提升蹼泳競賽成績(Kunru & Li, 2010)。透過這些結果也更進一步的說明，不同強度高低的漸進式運動訓練原則，對於蹼泳運動的心肺能力是有明顯進步，並且更直接的反映於運動成績的表現。

除此之外，核心肌群訓練對於游泳競技運動，也是具有不可或缺的角色。核心肌群的訓練(Core Muscle Training)可以幫助脊椎與骨盆的穩定，進而增加上肢以及下肢功能性的關節角度(Panjabi, 1992; Willardson, 2007)。更進一步的來說，具有好的核心肌群穩定會讓軀幹對於上肢以及下肢的力量傳遞更為完整以及有效(Willardson, 2007)。然而，在蹼泳的運動中，身體軀幹的屈曲與伸展以及腳蹼的上下擺動程度，對於蹼泳選手的運動成績佔有關鍵的決定性因子。核心肌群的訓練可以增加軀幹的穩定性，以及有效的傳遞腳蹼擺動幅度所造成的力量傳遞，進而提升蹼泳運動的表現與進步的空間。

第五節、蹼泳運動在運動科學上的發展

蹼泳是一項新興的水中運動，與游泳有著一樣的

競賽環境。同樣地，蹼泳競技與游泳一樣需要高度心肺能力的需求。過去文獻多著重蹼泳的運動科學參數結合生理學上的研究，瞭解蹼泳運動生理狀態的改變。蹼泳運動過程中，水面蹼泳以及屏氣潛泳比賽項目中，由於水面蹼泳不同於潛泳項目，水面蹼泳需接觸空氣以及水的兩種不同的介質，進而造成身體肢段擺動的幅度差異性，使得屏氣潛泳的運動速率普遍的快於水面上的運動速率(Nicolas & Bideau, 2009)。再者水面蹼泳必須要克服水波以及水花的影響，因此也是造成此運動項目有較慢的運動速率。Zamparo & Pendergast(2006)進一步的直接證明了，身體於運動過程中的傾角與蹼的擺動幅度成正相關的關係(Zamparo & Pendergast, 2006)。這些證據也顯示透過運動科學的觀點，對蹼泳運動的成績表現有著重要性的影響及提供運動技術層面的探討。此外，近年來亦有學者更進一步的去討論蹼泳運動過程中肌肉活化的程度，其中主要運動的幾條肌群包括股內側肌、脛前肌，以及腓腸肌。James 等(2010)的學者們，藉由下肢的表層肌肉的肌電圖的變化情形，發現蹼泳運動選手在運動過程末期的疲勞現象與最大耗氧量發生峰值的區域有很大的相關性。

除此之外，過去文獻運用圖像的方式以及問卷的方式瞭解游泳中的蝶泳以及蹼泳的最大差別。Koulianou 與 Vosniadou(2002)發現蝶式則是由足部開始向水面下擺動，進而帶動腰部向上的運動來造成蝶式游泳運動的衝刺行為。蹼泳的特殊運動行為模式與

一般游泳的模式有著大大的不同；蹼泳的運動表現需要許多的軀幹以及下肢的協調性，來帶動蹼泳運動員在衝刺上的運動表現，其與使用蝶式的游泳選手有極為相似的運動行為。有別於蝶式，蹼泳運動於蹼向上擺動的時候，其運動員的腰部有相對性的向水面下擺動 (Koulianou & Vosniadou, 2002)。

在蹼泳運動中，其蹼的作用取代一般游泳下肢動作擺動與向前推進的運動模式。其特殊運動行為大致可分為兩個時期：提臀後直膝上抬腿的預備動作與下踢打水的動作。換言之，單蹼蹼泳運動模式中有三個支點：手臂、臀部及腳蹼。起動動作以軀幹腰部為軸心，先提臀後下擺、開始抬腿上擺，由骨盆帶動下肢（大腿與小腿自然直膝），直到腳蹼到水平面最高點，時身體姿勢有一下二上與一上二下這兩種運動模式。一上二下時：手臂與腳蹼運動方向是同時向上，骨盆向下，當腳蹼下踢時，骨盆會被腳蹼下壓所產生的反作用力，而造成骨盆上升且產生推進力，隨著擺盪模式進而變成上身往前壓。一下二上時：當前一個一上二下的動作產生了向前的推進力，手臂與腳蹼的方向是同時向下，骨盆向上。此時腳蹼向上提起至水面高度，骨盆會順勢向下壓入水面下，手臂也會帶至水面高度。這一下二上動作目的是為了去做下一個向前推進的準備動作。經由相對運動的行為模式產生一連串鞭狀律動，就是曼妙充滿律動的蹼泳。(世界水中聯盟網站，2009)

第叁章研究方法與步驟

第一節實驗受試者

本實驗參與的對象，受試者為 3 男 4 女受過蹠泳訓練達全國分齡比賽之選手，並可以穩定完成單蹠水面蹠泳 50 公尺衝刺的動作三趟。本實驗共有 8 位選手參與實驗，一位選手資料截取範圍不足而剔除，因此列入分析的受試者共 7 位（3 男 4 女），平均年齡為 15.43 ± 3.10 歲，身高 160.71 ± 10.44 公分，體重 55.63 ± 10.05 公斤。

表 3-1
受試者基本資料

編號	姓名	性別	年齡	身高 (cm)	體重 (kg)
1	莊 ○ 琪	女	15	163	53.9
2	莊 ○ 翰	男	15	171	53.6
3	洪 ○ 恩	男	12	150	48.2
4	程 ○ 迦	男	17	172	59.6
5	金 ○ 吟	女	21	157	67.7
6	李 ○ 葶	女	16	167	66.8
7	黃 ○ 淳	女	12	145	39.6
平均			15.43	160.71	55.63
標準差			3.10	10.44	10.05

實驗開始前，所有受試者必須填寫基本資料(附錄 A)，並接受病史的確定(沒有骨骼肌肉神經性疾病或病變)。所有實驗參與者，必須詳細的瞭解並閱讀「受試者同意書」(附錄 B)；瞭解實驗的內容後，簽署受試者同意書後，才正式開始進行實驗。實驗開始前，為確實掌握所有受試者健康狀況簽署同意書外，為達實驗檢測數據的精確度，以符合本次運動檢測之最佳成績之要求，每趟不超過最佳成績 2 秒以上的運動強度，方可進行運動學分析；再以進行心肺耐力之最大耗氧量測驗做輔助，相對比較受試者之間運動成就與實驗操作成績是否成正相關。讓整個實驗測驗更接近比賽情境，以便取得更精確的運動模式參數。

第二節 實驗地點與時間

一、實驗地點

本研究於台中市豐原區「來賓游泳池」進行蹠泳動作分析的資料蒐集。

二、實驗時間

(一) 實驗前測時間：100 年 05 月 1 日至 9 月 30 日

正式實驗前的前測，收集選手蹠泳動作資料並進行分析，以瞭解實驗流程與設計是否需要進行部分調整或修正。

(二) 正式實驗時間：101 年 1 月 1 日至 3 月 31 日

依據實驗前測結果，確定實驗設計與流程，進行運動員蹠泳動作資料的收集，為求精確數據故進行拍

攝的同時安排其他選手參與測驗計時，並要求選手測驗成績須不超過最佳成績 2 秒方可列入合格拍攝數據，並進行分析運動學資料。

第三節 實驗儀器與設備

主要使用 2 台水中攝影照相機、所需腳蹼及呼吸管。

一、攝影照相機

本研究使用 2 台水中攝影照相機 (DMC-TS1, Panasonic, JAPAN; DSC-TX10, Sony, JAPAN) 配合動作拍攝進行同步擷取蹼泳運動的動作分析。2 台的取樣頻率皆為 60Hz，皆有照相與攝影功能。

二、腳蹼

本研究使用蹼泳運動的單蹼 (monofin swimming) 以及長蛙鞋分別測驗。蹼泳中單蹼 (圖 3.1) 的材質沒有特別的限制以及規範，而單蹼的最大尺寸有長 76 公分，寬 76 公分，高 15 公分的限制 (國際蹼泳競賽規則，2008)。另外，腳蹼構造上不能提供額外的輔助來成就運動表現。腳蹼的邊緣保護選手足部寬度及厚度必須小於 10 公分。雙蹼 (圖 3.2) 在潛水運動中俗稱蛙鞋，其尺寸大小分為兩種：「鞋式蛙鞋」不可超過寬度 22.5 公分、長度 67 公分；「鞋帶式蛙鞋」不可超過寬度 23 公分、長度 67.5 公分 (國際蹼泳競賽規則，2008)。腳蹼的材質限用橡膠或塑膠，禁用玻璃纖維、強化塑膠板 (國際蹼泳競賽規則，2008)。呼吸管 (圖 3.3) 管內直徑 1.8-2.3cm，長度限制為 43-48cm。呼吸管的截面必須為圓型，不能有自動排水功能。



圖 3.1: 單蹼



圖 3.2: 雙蹼



圖 3.3: 呼吸管

第四節 實驗流程與步驟

圖 3.4 為蹼泳動作分析之實驗流程的示意圖，實驗前先進行器材的架設，再進行系統校正以定位空間座標。接著，請受試者填寫同意書及個人資料等，再進行暖身後，即在受試者身上黏貼標記以收集受試者以參與比賽模式於游泳池水道中進行蹼泳運動的影像資料，最後，進行影像資料辨識以計算角度及角速度。

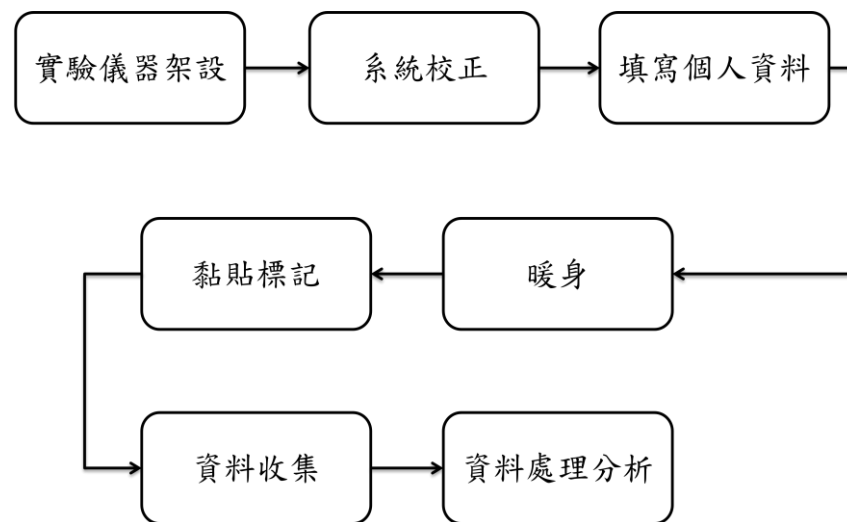


圖 3.4: 實驗流程

一、實驗儀器架設

在標準 50 公尺游泳池中距離跳水台 25 公尺處設置水底攝影照相機一台以及在同處位置岸上設置一台攝影照相機。蹼泳動作分析的實驗蒐集場地配置詳見圖 3.5。

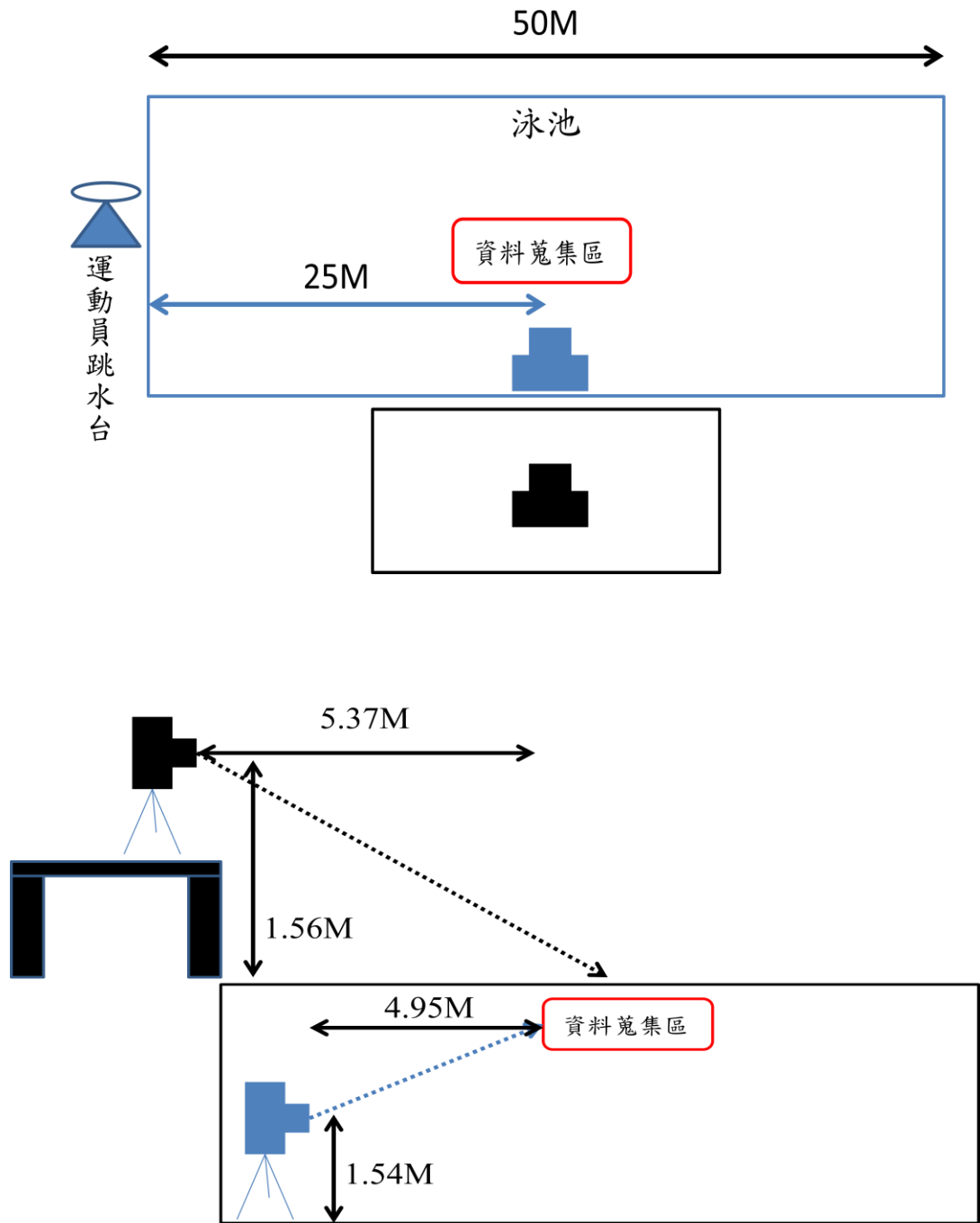


圖 3.5：實驗場地配置圖俯視圖（上）及側視圖（下）

二、系統校正

攝影照相機架設完成後，放置一個規格 100 公分正方的校正框(圖 3.6)，攝影照相機同時擷取此校正框的大小，且在校正之後不可再移動攝影機位置。此影像資料將於後續黏貼標記辨識時，作為訂定空間參考座標用。



圖 3.6: 實驗前的校正

三、填寫基本資料及熱身

每位運動員在正式收集資料之前必須要同意並簽署一份受試者同意書並且填寫 50 公尺最好成績的秒數。在實驗開始之前，要有充分的熱身以及活動。此熱身動作以陸上動作為主，為避免下水熱身後身體潮濕而影響身上標記黏貼建立，同時暖身有助於避免在正式收集實驗中有運動傷害的發生。

四、黏貼標記

根據 Nicolas 與 Bideau(2009)的研究指出，將運動員的側面黏貼黑色的防水貼布，以便於分析運動員在蹼泳動作時肢段運動的結果。本研究參考並運動學角度計算需要，修正了 Nicolas 與 Bideau 的黏貼位置。

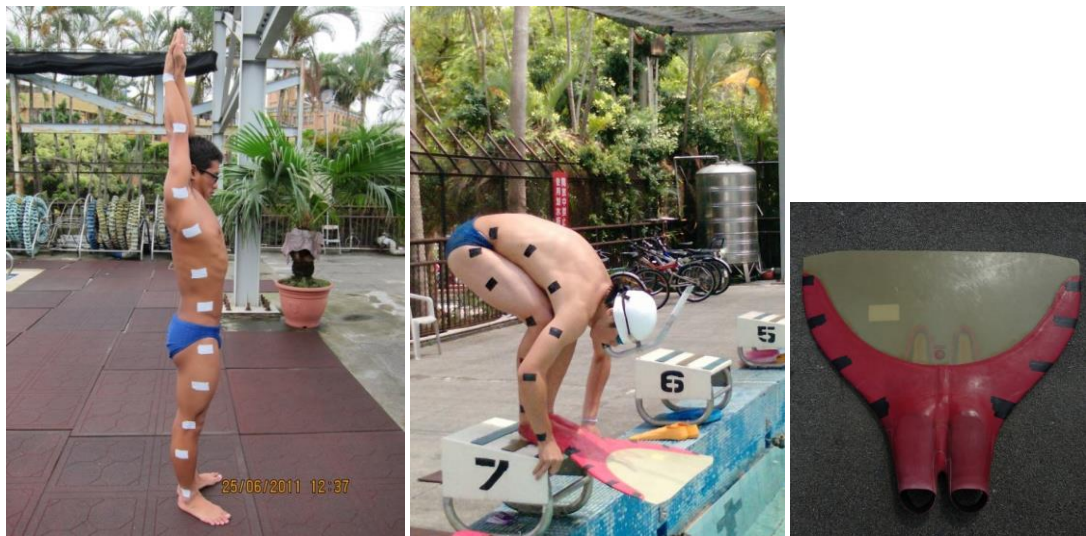


圖 3.7:黏貼標記

本研究黏貼了由身體上而下各關節，上肢、下肢、軀幹 11 點，外加 4 點腳蹼位置(圖 3.7)。身體黏貼位置包括：尺側莖突、肱骨外上顆、肱骨頭外側、肩胛骨下角(Inferior Angle of Scapula)、肩胛骨下角與髂嵴中點、髂嵴(Iliac crest)、股骨大轉子(Great trochanter)、股骨大轉子與膝關節外髁中點、膝關節外髁(Lateral Condyle of Knee Joint)、膝關節外髁與踝關節外髁中點、踝關節外髁(Lateral Malleolus of Ankle Joint)。

五、資料蒐集

本研究蒐集動態蹠泳運動資料，將完全依據正式比賽模式以及規範。選手在正規 50 公尺的泳池中進行動態資料的收集擷取。預計運動員在完全熱身完畢之後，運動員必須盡全力游完單程 50 公尺的距離。避免中途運動員鬆懈問題，全程將有碼表計時，並且為了模擬真實比賽情形，一位受試者在動態收集資料時，安排另一位運動員一起進行模擬競賽。

運動員在跳水後，於 15 公尺起水線出水面。接著進行水面蹠泳的競賽，為了避免出水面後動作的誤差性，所以資料收集處將設在 25 公尺處，以最快速成績抵達 50m 終點處並計算打水次數。最後，資料選取的決定性在於每筆資料的完整以及每次模擬競賽的秒數是否與最好的成績接近，比最好成績大於 2 秒以上，便重新收集動態資料；每位受試者擷取 3 筆資料進行分析，反覆施測時將給予充分的休息時間再依序進行施測，以最好的成績作為依據。

六、資料處理分析

本研究分析軟體選用 Kwon3D 3.01 版本。透過攝影照相機所擷取到的影片檔案，定義每個肢段的連線以及運動過程的軌跡。最後輸出數據檔案，透過 Matlab 程式語言的計算，算出每個肢段關節角度變化的情形。

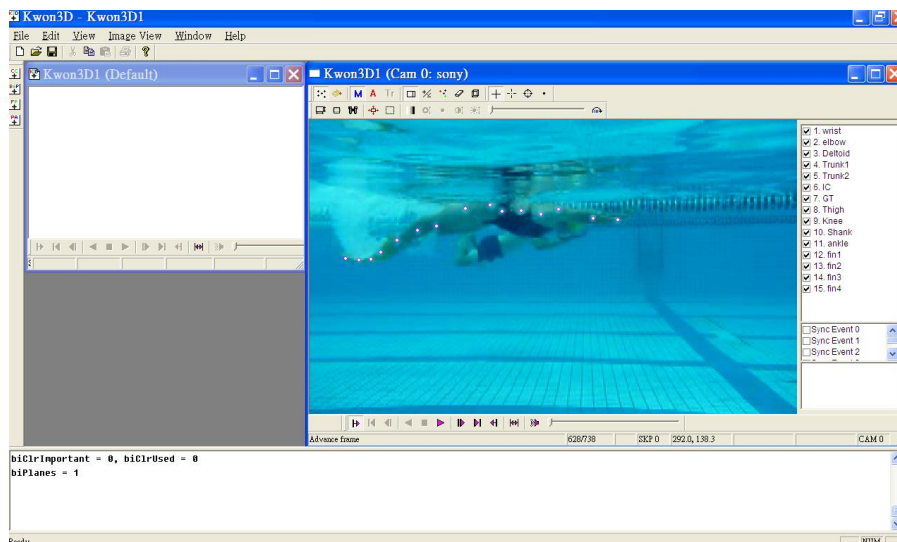


圖 3.8:動態資料辨識

將影像檔案匯入 Kwon3D 的視窗，依序選取校正板的邊界並且計算校正誤差值 0.1 cm。此項前處理的動作可做為下一步動態運動時所必須依據的校正值。再者，定義每個肢段的連線以及定義影片中實際距離匯入動態資料的影片檔，Kwon3D 軟體將影片檔案依時間軸切成一張張的相片檔案。依序就定義好的肢段位置(圖 3.8);即為肢段實驗時所貼的標記做點選的動作。

最後，將所有的動態資料依序點選完輸出成數據檔案。匯入 Matlab 程式語言計算實際關節運動角度以及角速度。

七、最大攝氧量檢測

為了解每位受試者心肺適能，蹼泳運動資料收集完後，在不同天進行最大攝氧量的檢測。本研究利用心肺功能測試系統 (Sensor Medics Vmaxst) 來分析採集的氣體，並讓受試者進行暖身 3 分鐘之後戴上採氧面罩 (mask) 進行氣體採集，運動形式則是利用跑步機，以 Bruce protocol 的心肺檢測規範來進行 (American college of sports medicine, 2007)。使用的運動強度如表 3-2。判定受試者是否達到最大攝氧量的標準為：

1. 最大心跳率 (220-年齡) 的 95% 以上
2. 呼吸交換率大於等於 1.0
3. 受試者盡最大的努力，自覺吃力量表 10 以上 (表 3-3)。

表 3-2

Bruce protocol

階段	時間 (分鐘)	速度 (mph)	坡度 (%)
1	1 - 3	1.7	10
2	3 - 6	2.5	12
3	6 - 9	3.4	14
4	9 - 12	4.2	16
5	12 - 15	5.0	18
6	15 - 18	5.5	20

表 3-3

柏格最大吃力自覺量表 (Borg perceived exertion scale)

6		
7	非常輕鬆	very, very light
8		
9	很輕鬆	very light
10		
11	稍微輕鬆	fairly light
12		
13	有點吃力	somewhat hard
14		
15	吃力	hard
16		
17	很吃力	very hard
18		
19	非常吃力	very, very hard
20		

第肆章 結果與討論

第一節 心肺適能

受試者最大攝氧量與 25m 及 50m 成績如表 4-1 及圖 4.1 所示，其結果得知，25m 與最大攝氧量皮爾森相關係數為 0.429；50m 與最大攝氧量皮爾森相關係數為 0.289，但 p 值都沒有小於 0.05，未達顯著性。顯示最大攝氧量與成績並非具單一相關性，可推論除了心肺適能外，應還有其他影響單蹼水面運動的因子。

表 4-1
單蹼水面施測成績與最大攝氧量

編 號	25 m 成績	50 m 成績	最大攝氧量 $\dot{V}O_2$ (ml/min/kg)
1	09"42	22"02	60.7
2	11"62	24"80	53.6
3	12"38	25"88	69.4
4	09"17	21"14	65.0
5	09"46	22"62	57.2
6	10"11	24"88	50.1
7	14"11	31"29	67.2

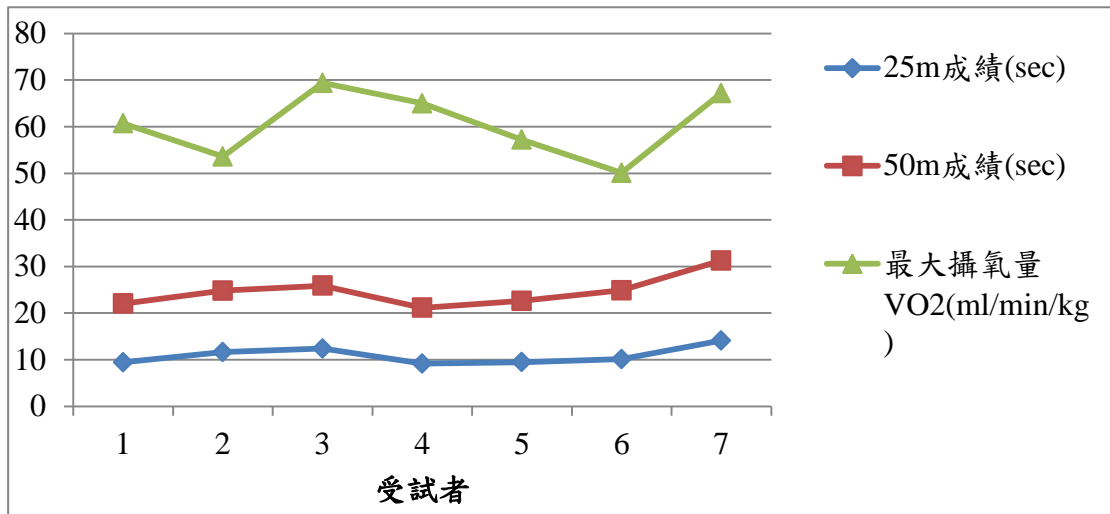


圖 4.1：受試者最大攝氧量與 25m 及 50m 成績

第二節 關節角運動

本研究利用黏貼標記空間位置分別計算出每位受試者的關節角度，包括踝關節 (Ankle Joint)、膝關節 (Knee Joint)、髖關節 (Hip Joint)、下軀幹 (Lower Trunk)、肩關節 (Shoulder joint)、上軀幹 (Upper Trunk)、肘關節 (Elbow Joint)。由於每位受試者關節運動模式皆相似，關節角度變化模式以受試者七結果呈現於後，作為探討模式之範例。此外，為了分析標準化，將運動角度正週期規化成 100 等分。運動週期起點及終點，可以腳蹠的黏貼標記連續兩次到最高點來判斷。但由於本研究所使用之腳蹠並非是剛體 (rigid body)，故踝關節來到關節最大角運動位置時，腳蹠的末端會因慣性而持續擺動。因此，腳蹠的末端來到最高點時，關節角位置並非會一致。故本研究以踝關節連續兩次蹠

屈 (plantar-flexion) 到相對極大值時，作為週期起點及終點。

圖 4.2 為踝關節、膝關節及髖關節在蹠泳運動一個動作周期中關節角運動的變化模式。踝關節角運動定義為腳相對於小腿的運動，膝關節角運動定義為小腿相對於大腿的運動，髖關節角運動則定義為大腿相對於骨盆的運動。在週期開始，踝關節在最大的蹠屈角位置開始作背屈 (dorsi-flexion) 動作並通過中立角度 (0 度) 後，持續背屈到大約週期 60% 來到最大的背屈角度。接著，便改變方向作蹠屈運動到週期結束點。膝關節在週期開始時，呈現伸展 (extension) 的動作，在大約週期 20% 來到伸直的角度，並改變方向作屈曲 (flexion) 運動，一直到大約週期 80%，再改變為伸展的動作。髖關節在週期前 10% 則作伸展的動作，而後改為屈曲動作至 40% 週期的時間點，來到大約伸直的角度 (0 度)。在 40% 至 60% 之間則呈現穩定期，保持在伸直的角度主要作用為充分向前伸展。最後 40% 則再作伸展的動作。

以上本實驗下肢段關節角度的週期動作所呈現的蹠泳運動模式與謝新曦 (1990) 所提出的腰腹腿的踢水動作可相印證。圖 4.2 中，週期 10%~20% 為臀部上提時，膝關節正在向下移動，踝關節則開始由上提進入下壓。週期 20%~40% 為臀部繼續上提，帶動膝關節開始上提，而踝關節帶動腳蹠繼續做下壓動作。週期 40%~60% 為臀部仍在上移，帶動膝部上移和帶動踝關節開始上提。週期 60%~80% 為臀部開始下移，帶動膝

部下移，而踝關節繼續上提。週期 80%~100% 為臀部下壓準備開始上提，膝關節仍在下降，而踝關節由上提移向下壓開始下一個週期性的蹠泳下肢段的運動模式。

在圖 4.2 中，亦可以發現關節角度在週期的起始點與結束點並非一致，其可能原因為本研究只分析矢狀面上 (sagittal plane) 的運動，當受試者運動方面與攝影機非完全垂直時，亦會造成角度計算上的些許誤差。另一個可能原因為受試者本身在動作週期的一致性上，並非達到精熟的程度或本身肌力使用上的差異所造成與外在波浪阻力所影響的。而下肢運動的誤差 (動作不一致)，是降低產生驅動的效益 (Rejman, 2013)，這是選手應加強練習及改善的地方。

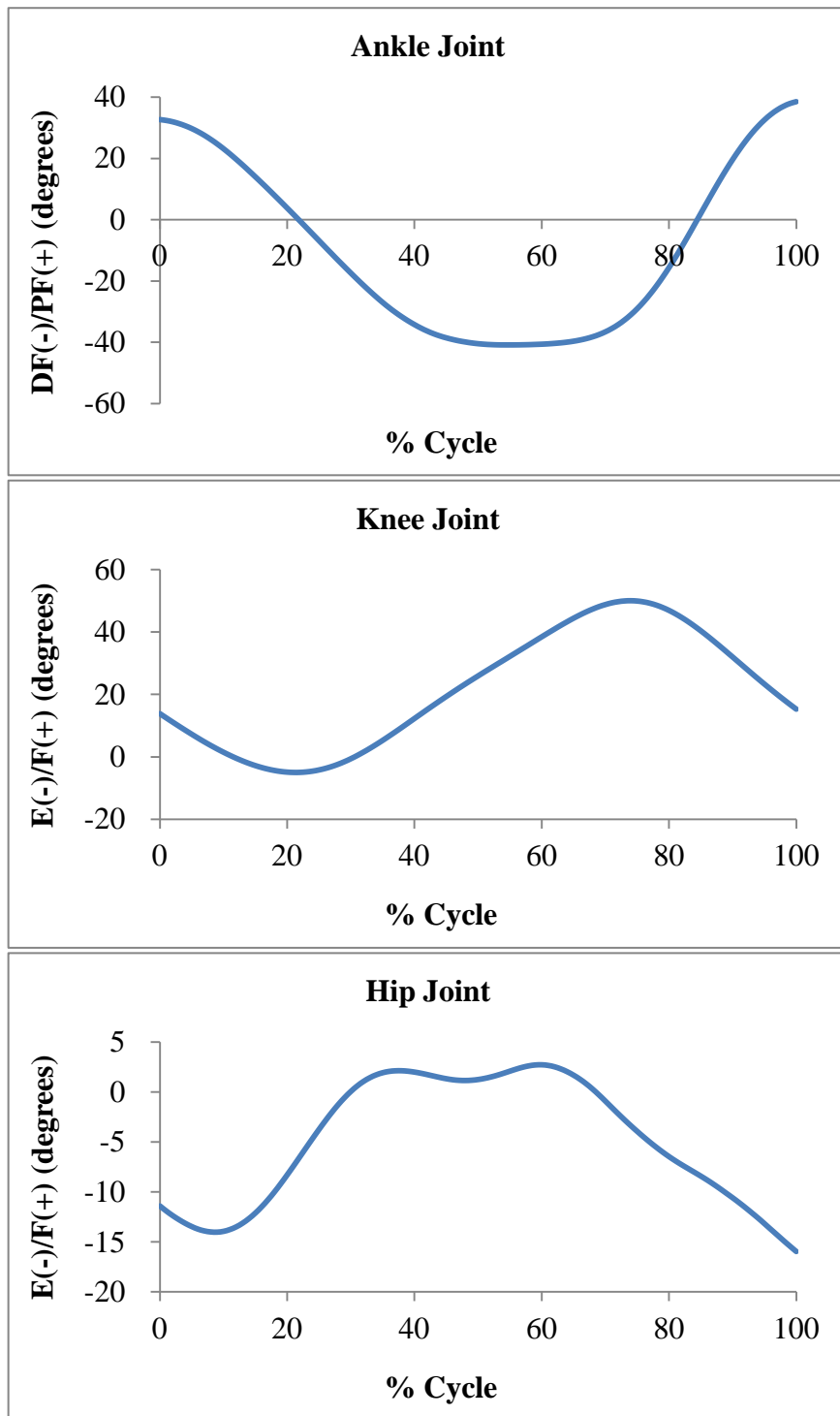


圖 4.2 踝關節、膝關節及髖關節角運動。
DF:背屈；PE:蹠屈；F:屈曲；E:伸展

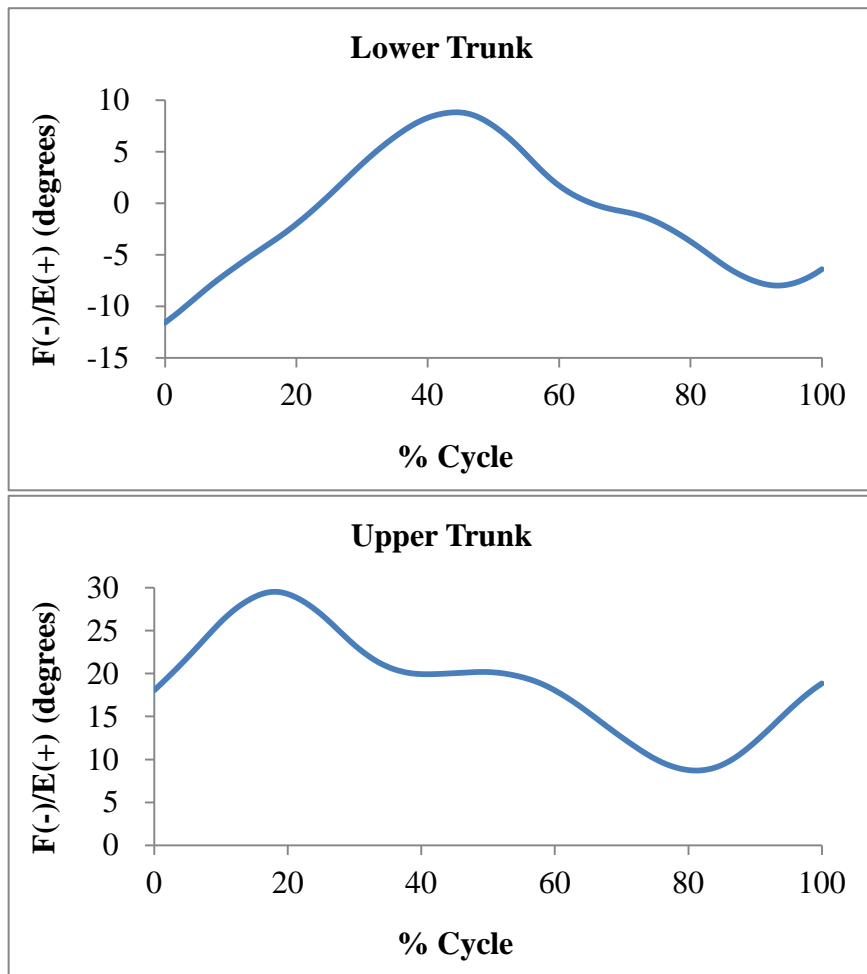


圖 4.3 下軀幹及上軀幹角運動。F:屈曲；E:伸展

圖 4.3 為下軀幹及上軀幹角運動，下軀幹的角運動是表示下腹部相對骨盆的運動（以骨盆為參考點），而上軀幹角運動則是胸部相對於下腹部的運動（以下腹部為參考點）。在週期開始至 40% 期間，下軀幹主要作伸展的動作，週期 40% 以後改變為屈曲動作，並持續至週期 90%，再改變為伸展動作。上軀幹則在週期開始至 20% 期間伴隨下軀幹作伸展的動作，但在週期 20%，則先於下軀幹改變為屈曲動作，並在週期 80%，再改變為伸展動作到週期結束。

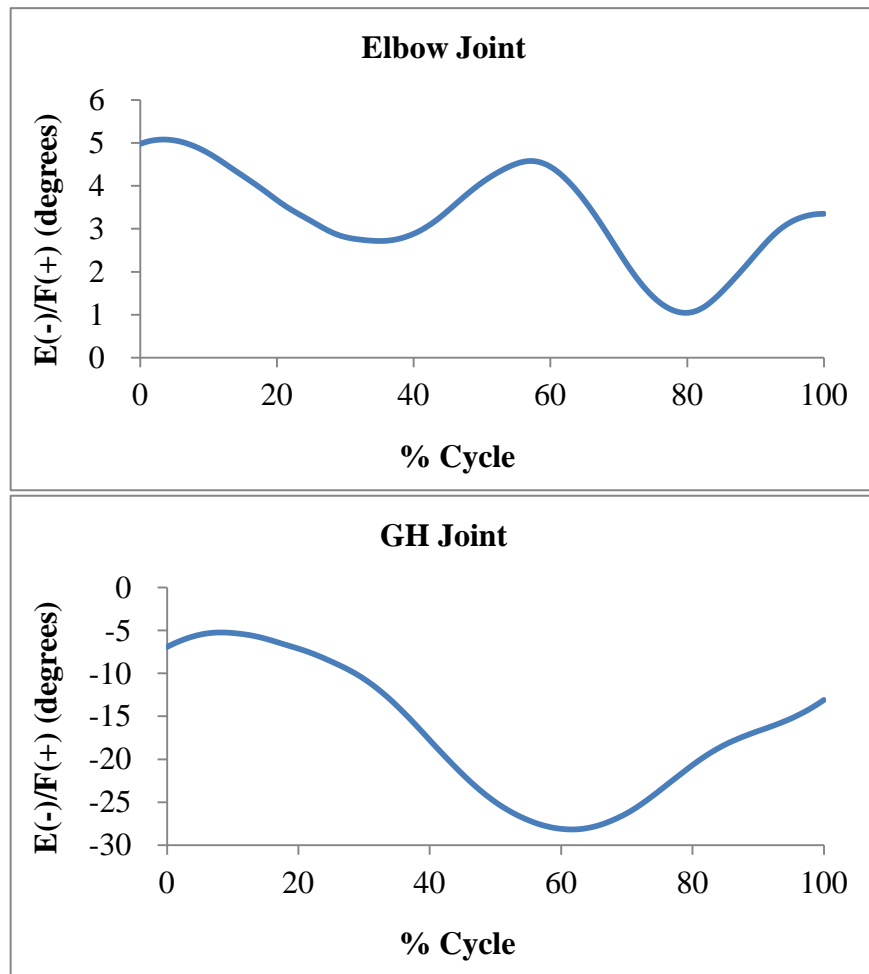


圖 4.4 肘關節及肩關節角運動。F:屈曲；E:伸展

圖 4.4 為肘關節及肩關節角運動模式，肩關節角度是定義為上臂相對於胸部的角度，肘關節則為前臂相對於上臂的運動。肘關節在人體蹠泳運動時的位置，動作大都以伸臂動作，雙臂夾緊俯臥的方式於水平面上，雖有三個波段小變化，但整體屈曲及伸展的角度變化並不大。

一般而言，水面蹼泳運動時，肘關節均在水面上執行，若受試者出現多次不穩定的擺盪或較大的角運動變化範圍的運動模式，將會影響運動成績表現。Gautier, Baly, Zanone & Watier (2004) 的研究發現優秀選手上肢的上下擺動會比一般選手來的小，他們推論藉由減少上肢的運動有助於減少拖曳力 (drag force)。

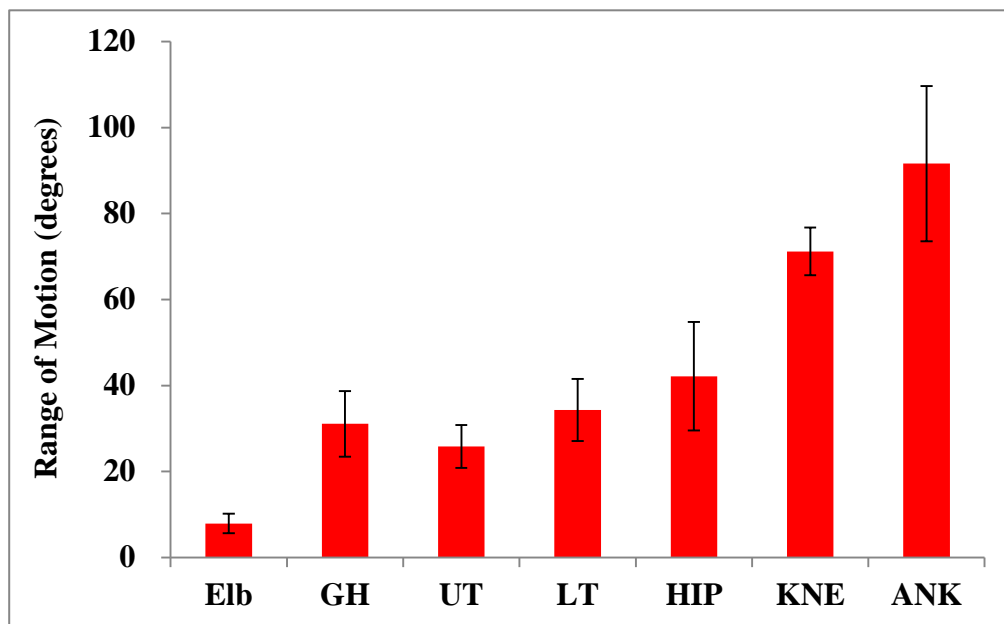


圖 4.5: 關節活動度。

Elb: 肘關節； GH: 肩關節； UT: 上軀幹； LT: 下軀幹；
HIP: 髖關節； KNE: 膝關節； ANK: 踝關節

圖 4.5 為一個完整週期，各關節的關節活動度 (Range of motion)。結果發現下肢關節是主要的活動關節，顯示蹼泳運動主要的動力來源應為下肢部份，

特別是踝關節及膝關節。過去並沒有參考文獻探討蹠泳運動時關節活動度，但已有探討上下震幅的研究。Baly, Favier, Durey & Berton (2002) 亦提到髖關節是水面蹠泳運動的發力點，而 Rejman, Colman & Persyn (2003) 則認為寬大面積的腳蹠是主要的動力源。Gautier 等人 (2004) 探討水面蹠泳時的肢段點的震幅，其結果亦顯示踝關節、膝關節及髖關節上下震幅明顯大於上軀幹及上肢段。同時，優秀選手踝關節的上下擺動會顯著比一般選手大。以圖 4.5 探討本實驗七位受試者均呈現出踝關節、膝關節及髖關節上下震幅明顯大於上軀幹及上肢段，再以成績高低來比較時，發現受試者四的踝關節運動角度亦大於受試者七，與 Gautier 等人 (2004) 的研究相符。

第三節關節角速度

圖 4.6 為踝關節、膝關節及髖關節角速度變化，在週期的前 20% 時期，踝關節作背屈運動(圖 4.2)，角速度亦為背屈且逐漸增加，故此時期為背屈肌群作向心收縮，並持續增加到最大角速度。在週期的 20% 至 60% 時期，踝關節作背屈運動，而此期間角速度為背屈減速，故此期間應為蹠屈肌群(plantarflexor)作離心收縮。在週期的 60% 至 85% 時期，踝關節作蹠屈運動，角速度亦為蹠屈加速，此期間為蹠屈肌群(plantarflexor)作向心收縮。在週期 85% 至週期結束點，踝關節持續作蹠屈運動，角速度為蹠屈減速，此期間應為背屈肌群作離心收縮。James 等人(2010)研究發現在小腿屈曲時，腓腸肌(gastrocnemius muscle)會收縮，伸直時則為脛前肌(Tibialis anterior)收縮。其結果與本研究的結果相符合，在膝關節屈曲的時期(週期 20-80%)為蹠屈肌群(plantarflexor)收縮。

在膝關節部分，在週期開始至 20% 時期，膝關節作伸展運動(extension)，而此期間膝關節逐漸降低伸展角速度，故此時期為屈肌群(flexor)作離心收縮的減速。在週期的 20% 至 60% 時期，膝關節作屈曲運動，角速度則先作屈曲的加速至週期的 40% 後維持等速，故此期間為屈肌群先作向心收縮後維持等長收縮。在週期的 60% 至 80%，膝關節持續作屈曲運動，但屈曲角速度則下降，故此期間應為伸肌群先作離心收縮減速。而在週期 80% 至週期結束點，膝關節作伸展運動，

角速度則先作伸展的加速至週期的 90% 後大致維持等速，故此期間為伸肌群先作向心收縮加速，再維持等長收縮。這結果與 James 等人 (2010) 研究發現在小腿伸直時，股內側肌 (vastus medialis muscle) 會收縮相伏。

在髖關節部分，在週期開始至 10% 時期，髖關節作伸展運動，但伸展角速度則下降，此為屈肌群離心收縮的減速效應。在週期的 10% 至 20% 時期，關節作屈曲運動且角速度為屈曲且逐漸增加，故此時期為屈肌群向心收縮。在週期 20% 至 40% 時期，伸肌群則開始離心收縮作用，造成屈曲角速度下降。在週期 40% 至 60% 時期，關節角度大約維持固定，角速度亦變化不大。而在週期 60% 至週期結束點，關節作伸展運動，初期為伸肌群向心作用，在週期 70% 後角速度變化不大，大致維持等長收縮的型式。

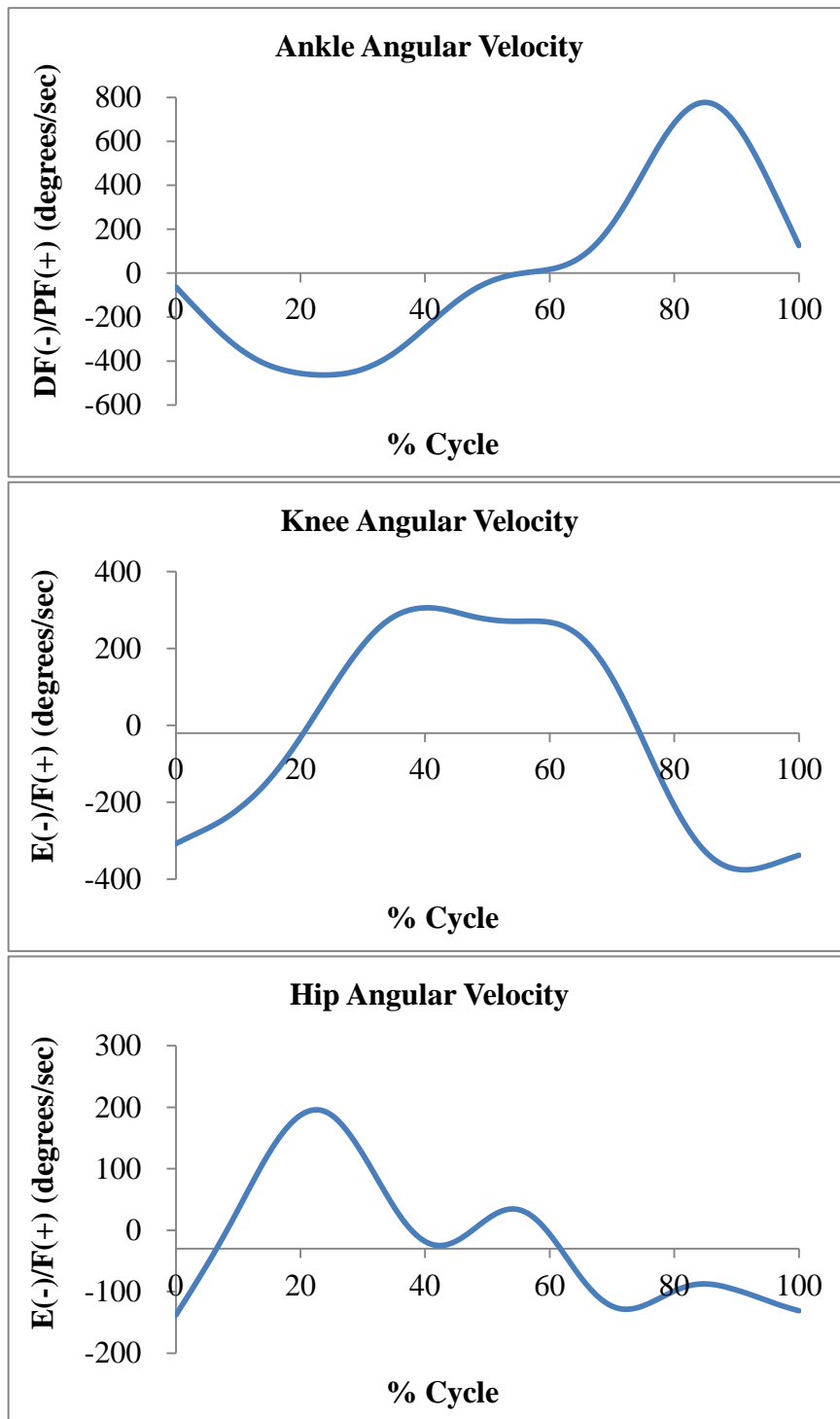


圖 4.6 踝關節、膝關節及髖關節角速度。
DF:背屈；PE:蹠屈；F:屈曲；E:伸展

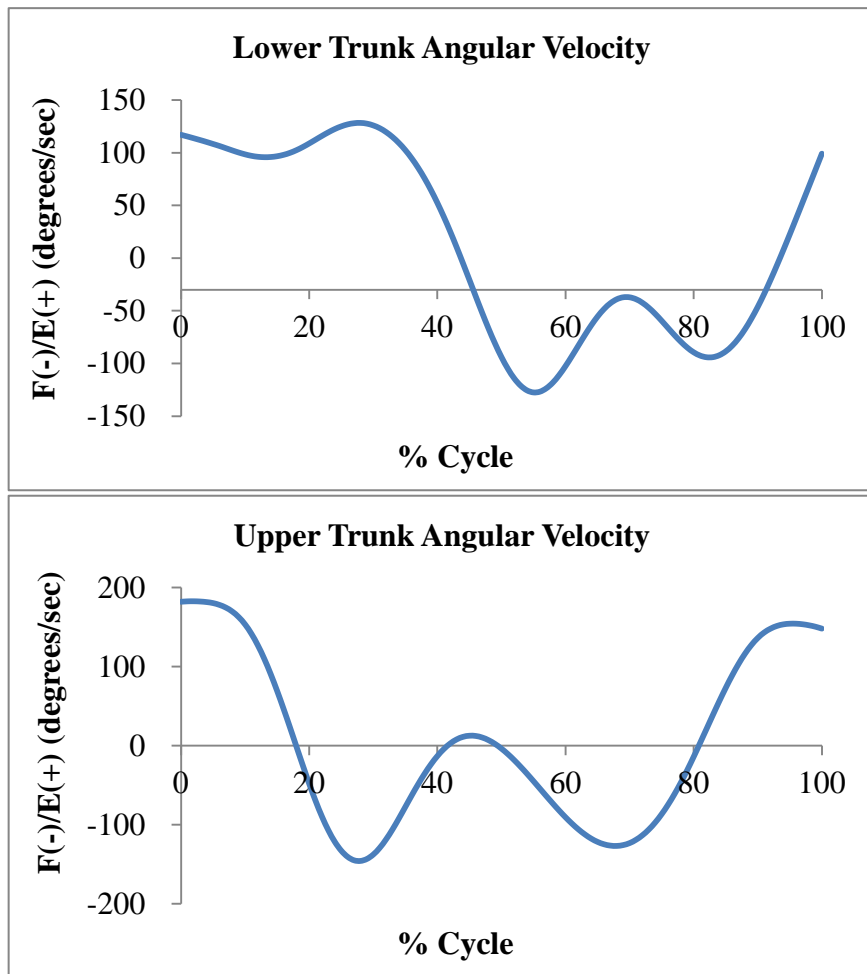


圖 4.7 下軀幹及上軀幹角速度。F:屈曲；E:伸展

圖 4.7 為下軀幹及上軀幹角速度的變化曲線，下軀幹在週期開始至 30% 期間，則大致保持等速的運動。在週期 30% 至 50% 期間，則改為屈肌加速度運動。在週期 50% 至 80% 之間變化不大，但到了週期 80%，關節改作伸展加速運動。在上軀幹部分，主要有兩階段的變化，在週期 10% 至 30% 及週期 70% 至 90% 之間，分別作屈曲及伸展的加速，其餘階段皆保持相對穩定

的角速度小變化。整體而言，雖然角速度曲線上有數個轉折點，但上下軀幹角速度並不大，軀幹應是穩定的核心作用為主。

圖 4.8 為肘關節及肩關節角速度變化，由於肘關節在整個過程中大致保持伸直，關節角度變化不大，因此角速度的變化亦不大。而在肩關節角速度主要分兩階段，在週期開始至週期 40% 期間，角速度往伸展方向增加，在週期 40% 期間至 80% 區間則改向增加曲角速度，週期最後 20% 則大致保持等速。由於整個週期過程中，肩關節角速度數值並不大，故動作應屬配合上軀幹的動作，維持穩定的作用為主。

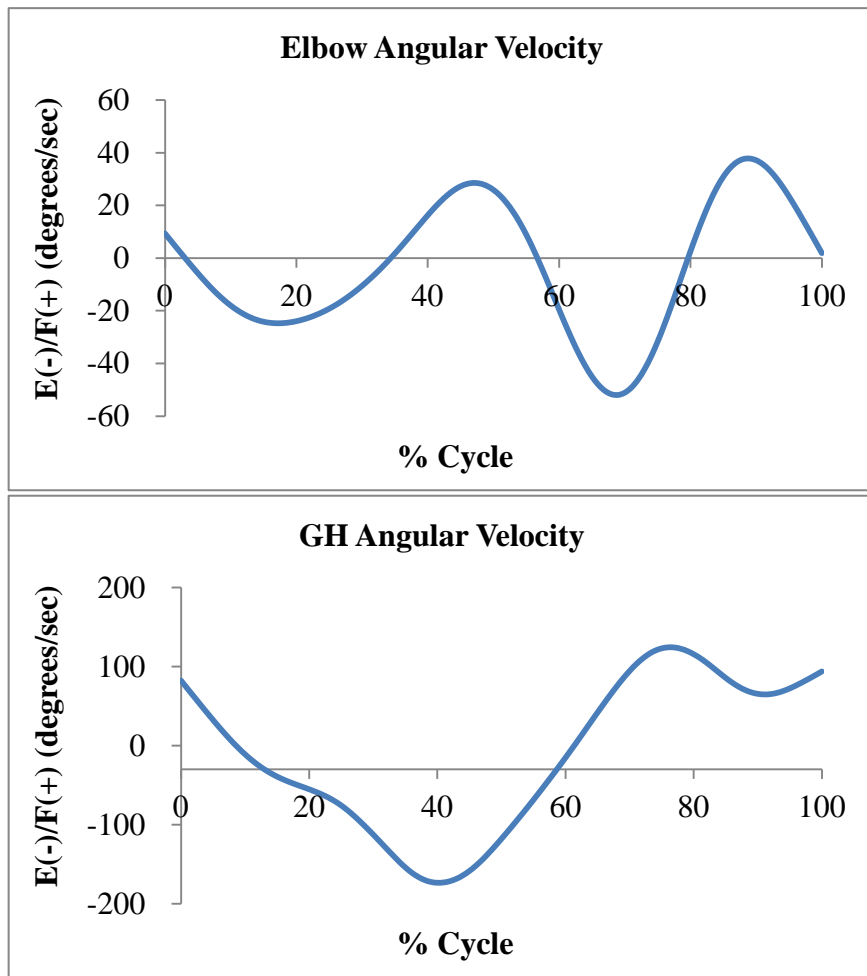


圖 4.8 肘關節及肩關節角速度。F:屈曲；E:伸展

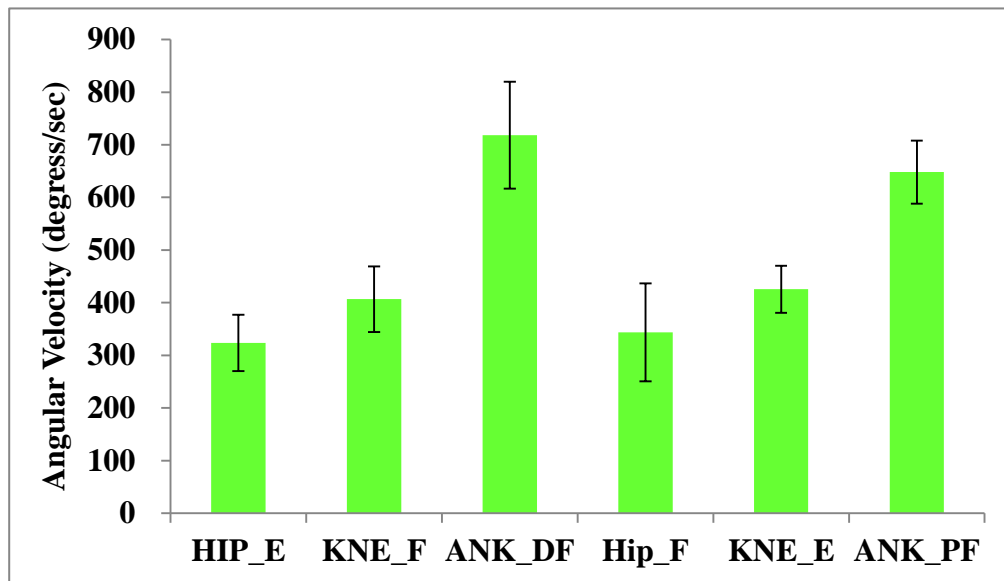


圖 4.9:關節最大角速度。

HIP:髖關節；KNE:膝關節；ANK:踝關節；F:屈曲；
E:伸展；PF:蹠屈；DF:背屈

圖 4.9 為下肢髖關節、膝關節及踝關節的角速度最大值。結果顯示下肢踝關節的角速度明顯大於髖關節及膝關節，驗證了踝關節及腳蹠的動作，是蹠泳運動中最主要的動力來源(Persyn, 2003)。過去文獻鮮少探討蹠泳運動時關節的角速度，但與其他運動項目比較，本研究結果中踝關節最大背屈角速度為 718 度/秒，這與足球運動中腳背踢球時的角速度相近(Barfield, Kirkendall&Yu, 2002)。

蹼泳的肌耐力訓練

在第 12 屆上海世界盃蹼泳錦標賽，50m 水面蹼泳成績男子 16.20 秒打水次數 31 下、女子 17.77 秒打水次數高達 37 下(第 12 屆上海世界盃蹼泳錦標賽，2004)，以本研究實驗以 50m 水面測驗為主選手成績最快在 21.14 秒打水的次數為 29 下，以運動生理學的能量系統理論運動完成時間在 30 秒內的屬於速度的肌力特性，就以運動生理學(人民體育出版社，2002)中提到肌力訓練指出，當運動訓練過程中肌肉收縮的反覆次數訓練次數分為：8~12 下為肌力訓練，12~15 下以上為肌耐力訓練。林正常等人於運動訓練法(2006)中提出非週期性運動的肌耐力，反覆數介於 10 和 30 之間。但對於週期性運動而言，肌耐力的反覆數是高的，近乎運動員的極限。由上可知，蹼泳運動是一種週期性反覆動作的肌耐力運動模式。結果顯示心肺適能並非是影響成績的唯一因子，所以而在蹼泳運動訓練中，肌耐力也是必備的訓練課程。蹼泳運動技術是指運動員在游進中，採用海豚泳的踢水動作(謝新曦，1990)，蝶泳打水演變成模仿海豚尾鰭波浪擊水的動作，人們把這種兩腿同時上下打腿的蝶泳技術又稱為海豚式打水或魚尾式打水(黃取炎，2000)。海豚式打腿專指蝶泳的打腿動作，因為它的腿部動作像海豚尾鰭的動作(科斯蒂爾，馬格利索與理查德森，1992/2002)。腿部動作使用的主要肌肉群腿部向上動作其主要肌肉群為臀大肌、股四頭肌、腿後腱群。腿部向下動作其

主要肌群為：逢匠肌、股四頭肌、脛骨前肌、腓腸肌、比目魚肌、張闊筋腹肌、臀大肌、閉孔內肌。由本研究結果我們可以清楚得知，下肢關節運動角度與角速度明顯大於上肢關節，由此可知蹠泳運動主要的作用來自下肢，也驗證在蹠泳運動肌耐力訓練中，大腿及小腿的伸肌群及屈肌群訓練是相當重要的。在蹠泳由於配戴裝具、技術動作週期以及競速等三方面的特點，針對上述肌群可以藉由踢腿機、伸展機、屈腿機、蹬腿機等進行專項訓練(水中運動協會，2005)。此外，為了維持軀幹正常姿勢，可透過仰臥起坐、俯背弓身等體能訓練提升核心肌力，本研究結果亦顯示蹠泳運動過程中，核心運動角度及角速度並不大，應是扮演穩定的角色。肌力訓練的方法需視其運動特性來區分，有週期性與非週期性、長時間與短時間的；需要週期性爆發力的運動項目的特性是它們與速度有著非常密切的關係(Tudor O.Bompa,林正常等,2004)。本研究中的角速度變化模式及範圍，可作為未來肌耐力訓練的參考，例如使用等速肌力訓練儀(Isokinetic Measurement System)來進行數值科學化的肌力訓練，將本研究角運動及角速度範圍作為訓練時設定的參考。

蹠泳與蝶泳差異

(一)、上身肢段的運動模式：

身體浮臥水面時的姿勢，謝新曦(1990)在蹠泳入

門中提到，單蹠技術中，身體臥水的姿勢趨向於低頭、身軀在水中漂浮姿勢較為高平、整個身體從雙臂夾緊前伸至胸、臀到下肢的完全伸展，形成一個很好的流線型，上身肢段上下起伏小，以保持平穩等動作特點，臥水姿勢是特別重要的，對於成績有著直接的影響。

Gautier 等人 (2004) 提到蹠泳初學者上肢擺動振幅遠大於精熟蹠泳選手在水面蹠泳運動行為表現上。精熟蹠泳選手上身肢段擺動較為穩定，是為了節省無謂的動作能量支出，以便集中增加運動能力以發揮極限的潛在能量。且根據本實驗結果得知圖 4.5 關節活動度中肘關節、肩關節、上軀幹的運動角度亦符合上述觀點。反觀蝶泳選手的身體在水中的姿勢則是很有節奏性的上下起伏之波浪動作，蘇金德 (1987)。而黃取炎 (2000) 在蝶泳動作與相關肌肉群肢探討中更提到，理想的蝶泳動作是身體上下起伏的波浪動作，以上身肢段的兩臂為主，一種兩臂划手的動力是推動運動員前進的主要力量。

本實驗結果亦顯示，蹠泳上身肢段擺動的關節角度與角速度小於下肢肢段。水中運動協會 (2005) 舉出，腰部、腿部的鞭打腿動作特點，即身體的近端關節的活動幅度比遠端的關節活動幅度要小，並以穩定為前提。同時說明蹠泳與蝶泳兩者之間，雖有共同的海豚式打腿，但在整體運動技術上卻有著截然不同的方式與運動技巧。蹠泳以下肢打腿為主，蝶泳則以雙手划動為主要推進力。

(二)、下身肢段的運動模式：

蹼泳的推進方式與海豚鯨魚等動物的尾鰭推進方式極為相仿，不容置疑蹼泳的推進方式是一種仿生推進的運動方式。仿生推進是一種高效率、低耗能、低噪音及具有良好機動性新型運動的推進方式。(吳靜萍等，2004)。蹼泳運動之擺腿動作差異在於，蹼泳運動為求推進的效果，將著重於下踢推進的動作，因蹼的上下擺動、波動所產生的壓力差而得到推進力。這壓力差的理論稱為白努力定理(謝新曦，1990)。藉由力學昇力與作用力產生的推力效果，減輕抬腿的動作，因此，腿部提升之中力量較為省力。Baly 等人(2002)舉出蹼泳藉由蹼的浮力在髖關節的帶動下使膝關節角度有所變化並使下肢自然抬起藉此一反作用力向下作功使力，所得到的瞬間強大推進力；反觀蝶泳運動之腿部鞭打動作，由於要產生加速踢腿的次數與力量，由於水中黏性的因素，加深抬腿的困難度，所以，抬腿時必須主動且施力，方能促使下肢提升完成下一週期之鞭打動作前進。蹼泳的開始方式是由上往下的推動去取代蝶泳的由下往上的推動(Koulianou&Vosniadou, 2002)。蝶泳是以下踢力量為主，加上沒有任何輔助器具，以至於必須以膝關節主動彎曲將下肢段往水面上抬高的方式來帶動下踢的推進力，簡單來說是必須藉由膝關節向上彎曲將小腿抬高後向下打水。

當蹼泳大腿帶動小腿上提時，在膝關節角度約 135° 、髖關節角度伸展達 200° 、屈曲約 160° (中華民國

國水中運動協會，2005)；同時，黃取炎(2000)也指出蝶泳當打水開始時大腿與小腿的彎曲約 130° ，與蹠泳的相近；在向下打水是向前推進的主要動力當向下打水幅度 $2/3$ 時為最大推進力，後 $1/3$ 的幅度只產生向上分力可使臀部抬高。蝶泳選手腳掌彎曲的角度應為 $70^{\circ}\sim 85^{\circ}$ (溫宇紅，1992/2001)。蘇金德(1987)分析蝶泳選手腳掌彎曲角度舉出，向下打水時打水幅度產生推進力的方向。

第五章 結論與建議

1. 藉由人體動作分析，可以了解及量化蹼泳運動中，身體各關節的運動模式。研究發現蹼泳運動中，下肢關節運動遠較上肢及軀幹大，是主要的動力源。
2. 蹼泳成績並非唯一由運動選手心肺適能來決定，肌耐力可能也是相當重要影響因子。在蹼泳運動訓練中，心肺訓練及肌耐力訓練，皆是必備的訓練課程。
3. 國外以等速肌力訓練儀進行肌力及肌耐力訓練已經相當普遍，本研究結果中關節角度及角速度範圍，可作為蹼泳選手未來以等速肌力訓練儀訓練時的參考。

參考文獻

- 王瑞元(主編)(2002)。運動生理學。北京市：人民體育。
- 中華台北水中運動協會(2010, 12月1日)。中華民國水中運動協會成立歷程。上網日期：2010, 12月1日, 資料引自
<http://www.cmas.tw/modules/tinyd/index.php?id=6>
- 中華民國水中運動協會(民94)。蹠泳教材(上冊)。亞洲蹠泳教練講習會資料, 45。
- 世界水中聯盟網站(2009, 11月30日)。上網日期：2009, 11月30日, 資料引自
<http://www.cmas.org>
- 李安民等(2002)。我國優秀青年蹠泳運動員心理運動能力的評價與培養的研究。武漢體育學院學報, 36(3), 126-128。
- 李金勝(2006)。乳酸閾訓練與持續訓練對女子蹠泳運動員有氧能力的影響。宿州學院學報, 24(5), 129-158。
- 呂坤如(2010)。蹠泳運動對女子運動員心肺功能的影響。淮北煤炭師範學院學報, 31(3), 55-58。
- 林正常、蔡崇濱、劉立宇、林政東、吳忠芳(譯)(2004)。運動訓練法。臺北市：藝軒。(Tudor O. Bompaa., 1999)
- 吳靜萍、鄭偉濤、姜曼松、鄭曉偉、韓久瑞、馬勇(2004)。單片蹠的水動力性能試驗研究。武漢理工大學學報, 28(1), 11-13。
- 施俊華、崔麗萍、王海燕(2009)。賽前集訓對中國蹠泳女運動員身體機能的影響。運動期刊,

11(3), 35-38。

高雄世界運動會(2009, 11月)。比賽項目—時尚運動—蹼泳。上網日期: 2009年11月, 資料引自

<http://www.worldgames2009.tw/wg2009/cht/sports.php?sn=30>

馬勇(2003)。蹼泳板水動力性能數值模擬與試驗研究。武漢理工大學碩士學位論文, 1-65。

歐康平、石波、鄭偉濤(2001)。水面蹼泳小幅度高頻率技術的力學分析應用。武漢體育學院學報, 4(2), 28-31。

國際蹼泳競賽規則(2008)。[世界水中運動總會 2008年國際蹼泳競賽規則](#)

謝新曦(編)(1990)。蹼泳入門。新北市: 中華潛水器材。

鄭偉濤、韓久瑞、石波、歐康平(2002)。蹼泳訓練強度的功率評價法。武漢體育學院學報, 36(1), 132-135。

蘇金德(1987)。競技游泳運動訓練策略。台中市: 澤偉。

American college of sports medicine (2007).

ACSM's health-related physical fitness assessment manual. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins.

Baly, L., Favier, D., Durey A., & Berton, E. (2002). Influence of race distance on kinematics parameters of swimming for elite finswimmers. *Science and Sports*, 17, 263-265

Barfield, W.R., Kirkendall, D.T. Yu, B. (2002) Kinematic instep kicking differences between

- elitefemale and male soccer players. *Journal of Sports Science and Medicine*, 1, 72-79
- Gautier, J., Baly L., Zanone P., & Watier, B. (2004). A Kinematic Study of Finswimming at Surface. *Journal of Sports Medicine*. 3, 91-95.
- Jammes, Y., Delliaux, S., Coulange, M., Jammes, C., Kipson, N., Brerro-Saby, C., et al. (2010). EMG changes in thigh and calf muscles in fin swimming exercise. *International Journal of Sports Medicine*, 31(8), 548-554.
- Koulianou, M., & Vosniadou, S. (2002). *Differences Between Experts and Novices in Fin Swimming: A Cognitive System Analysis* Paper presented at the 5th European System Science Congress.
- Kunru, L., & Li, Z. (2010). Changing Features of Gaseousmetabolism of Elite Fin-swimming Female Athletes during Incremental Exercise. *Hubei Sports Science*, 29(6), 678-680.
- Lindholm, P., J, W., Pendergast, D. R., & Lundgren, C. E. G. (2007). Resistive respiratory muscle training improves and maintains endurance swimming performance in divers. *Undersea and Hyperbaric Medicine* 34(3), 169-180.
- Maria Koulianou & Stella Vosniadou (2002). Differencebetween Expertsand Novicesin Fin Swimming: A Cognitive System A. Graduate Programme in Basic and Applied Cognitive Science. University of Athens Greece: Department of History and Philosophy of

Science.

- Nicolas, G., & Bideau, B. (2009). A kinematic and dynamic comparison of surface and underwater displacement in high level monofin swimming. *Human Movement Science*, 28, 480-493.
- Panjabi, M. M. (1992). The stabilizing system of the spine. Part II. Neutral zone and instability hypothesis. *J Spinal Disord*, 5(4), 390-396; discussion 397.
- Rejman, M., Colman, V. and Persyn, U. (2003) The method of assessing the kinematics and dynamics of single fin movements. *Human Movement*, 2(8), 54-62.
- Rejman, M. (2013) Analysis of Relationships between the Level of Errors in Leg and Monofin Movement and Stroke Parameters in Monofin Swimming. *Journal of Sports Science and Medicine*, 12, 171-181
- Sereni, G., Reggiani, E., & Odaglia, G. (1981). [Physiopathology of fin swimming. II. Clinical data]. *Minerva Medica*, 72(22), 1405-1408.
- Verni, E., Prosperi, L., Lucaccini, C., Fedele, L., Beluzzi, R., & Lubich, T. (1999). Lumbar pain and fin swimming. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 39(1), 61-65.
- Willardson, J. M. (2007). Core stability training: applications to sports conditioning programs. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(3), 979-985.
- Wylegala, J., M, S.-o., & Pendergast, D. R. (2007).

Optimization of fin-swim training for SCUBA Divers. *Undersea and Hyperbaric Medicine* 34(6), 431-437.

Zamparo, P., & Pendergast, D. R. (2006). Economy and efficiency of swimming at the surface with fins of different size and stiffness. *European Journal of Applied Physiology*, 96, 459-470.

Zamparo, P., Pendergast, D. R., Termin, B., & Minetti, A. E. (2002). How fins affect the economy and efficiency of human swimming. *Journal of Experimental Biology*, 205, 2665-2676.

附錄 A

體能活動適應能力問卷

經常進行體能活動不但有益身心而且樂趣無窮，因此，開始每天做運動是很安全的。不過有些人，在增加運動量前請先徵詢醫生的意見。如果你計畫增加運動量，請先回答下列 7 條問題，這份問卷會告訴你應否在最佳時間開始諮詢醫生。通常常識是回答這些問題的最佳指引，請仔細閱讀後並以「是」、「否」誠實作答。

編號	是否	問題
1	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	醫生曾否說過你的心臟有問題，以及只可進行醫生建議的體能活動？
2	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	你進行體能活動時，是否感到胸痛？
3	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	過去一個月你曾否在沒有進行體能活動時也感到胸口痛？
4	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	你曾否因感到暈眩而失去平衡，或曾否失去知覺？
5	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	你的骨骼或關節是否有毛病？且會因改變體能活動而惡化？
6	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	你現在是否有在服用醫生給的一些有關血壓或心臟藥物（如利尿劑）？
7	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	你是否有其他理由讓你進行體能活動？

請依你的答案結果，再做分別做下列判斷為下列	
一題以上答「是」如下	全部答「否」如下
在開始增加運動量或進行體能評估前，先致電或親身與醫生商談告訴醫生這份問卷以及你答「是」問題。	如果你對體能活動適應能力問卷的全部問題誠實答「否」，你可以合理的相信你。
<ul style="list-style-type: none"> ● 只要開始時慢慢進行，然後逐漸增加你；又可以進行任何活動；又或者你需受限，安全及全的活。告訴醫生及你希望參加的活。聽從他的意見。 ● 找出的對你安全及有助的社區活。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 開始增加運動量開始慢慢進行，然後逐漸增加，這是最安全和最容易的方法。 ● 參加體能評估，這是一種確定基本體能的好方法，以便你擬定最佳運動計畫。

延遲增加運動量：

- 如果你因傷風或發燒暫時性疾病而感到不適，請在康復後才開始增加運動量。
- 如果你可能懷孕請先徵詢醫生的意見或更改你的體能活動。

我已閱悉並填妥問卷。我的問題已得到圓滿答案。

姓名：

簽署：日期：

附錄 B

受試者同意書

研究名稱：水面蹼泳動作訓練生物力學分析
 研究單位：國立台灣體育運動大學體育研究所
 暨運動健康科學系
 研究負責人：林子筠
 連絡電話：0919-829600

我同意接受安排的蹼泳科學訓練計劃之各項檢測。此份同意書屬於身體活動之檢測評估所必須填寫。

此檢測的目的主要是評估自行運動後心肺、肌力、動作技術分析，針對上述能力及經過運動過程中的高血壓、心臟病、等慢也痛身身體，是在運動檢測等可能產生內容包含：心肺耐力檢測、等速肌力檢測較束後測人員皆會仔細地講解動作與注意事項，並在檢測過程中保護檢測時的安全。並且在我簽名後，即表示我：

1. 了解在進行的本運動檢測中，我可能遭致傷害。
 2. 我表示我的健康狀況良好，足以參與本運動檢測。

我已仔細閱讀完此份同意書，明白了解裡面所述的由內容，並聲明我的健康狀況良好，我以本人之自願意志，簽署本文件，我願意參與此蹼泳科學訓練計劃。自願受試者：

(或法定代理人)簽名：

連絡住址：

連絡電話：

日期： 年 月 日