

國立臺灣師範大學運動與休閒學院

體育與運動科學系

碩士論文

Department of Physical Education and Sport Sciences

College of Sports and Recreation

National Taiwan Normal University

Master's Thesis

不同層級游泳運動員在不同捷泳速度下

肩和髖部側傾之運動學

Kinematic Differences in Shoulder Roll and Hip Roll at  
Different Front Crawl Speeds in Different Level Swimmers

李英瑋

Ying-Wei Lee

指導教授：張家豪 博士

Advisor: Jia-Hao Chang, Ph.D.

中華民國113年6月

June 2024

# 不同層級游泳運動在不同捷泳速度下肩和髖部側傾之運動學

2024年6月

研究生：李英瑋

指導教授：張家豪

## 摘要

**目的：**探討不同前進速度對軀幹側傾角度之影響，並瞭解在不同組別游泳速度與軀幹傾角的變化。**方法：**招募16位受過3年以上競技游泳訓練選手，依據50公尺捷泳最佳成績分為優秀與次優秀組。使用無線傳感器分別安裝於軀幹和手腕位置，擷取頻率設定120 Hz。受試者依序進行自覺中等速度、給定速度、最大速度50公尺捷泳試驗。上肢傳感器用於辨識動作周期與計算划幅、划頻；軀幹傳感器對其縱軸角速度訊號進行積分求得軀幹側傾角度、角速度與扭轉數據。使用二因子混和變異數分析，組內分析不同游泳速度差異，組間分析不同層級選手差異，並對運動學參數進行皮爾森相關分析。顯著水準採用 $\alpha=0.05$ 。**結果：**除上軀幹的非慣用側外，其餘側傾角均受前進速度與選手層級的交互作用影響。所有選手在最大速度時，上、下軀幹皆出現最小傾角，且與划手頻率呈高度負相關。此外，在相同的控制速度下，優秀選手展現出更大的上軀幹慣用側傾角和較低的划手頻率。**結論：**游泳選手透過減少上軀幹的傾角使划手頻率增加，並且核心肌群作用，降低下軀幹傾角，使動力鏈能夠更好的傳遞並維持划手頻率。主要效果檢定顯示，選手層級和游泳速度的交互作用影響傾角變化模式，但由於軀幹傾角與游泳秒數及划手頻率高度相關，不能作為衡量技術水平的唯一標準。

**關鍵詞：**捷泳、運動學、軀幹側傾、對稱性、無線傳感器

# **Kinematic Differences in Shoulder Roll and Hip Roll at Different Front Crawl Speeds in Different Level Swimmers**

June, 2024

Author: LEE, Ying-Wei  
Advisor: CHANG, Jia-Hao

## **Abstract**

**Purpose:** To investigate the impact of different swimming speeds on trunk inclination angles and variations across skill levels. **Methods:** Sixteen competitive swimmers with over three years of training were categorized into elite and sub-elite groups based on their best 50-meter freestyle performance. Wireless sensors on the trunk and wrists, capturing data at 120 Hz, recorded motion cycles and stroke frequency during trials at moderate, controlled, and maximum speeds. Trunk sensors measured roll angles and trunk twist angles. A two-factor mixed-design ANOVA analyzed intra-group speed differences and inter-group skill variations, with Pearson correlation for kinematic parameters. The significance level was set at  $\alpha = .05$ . **Results:** Except for the non-dominant side of the upper trunk, the other lateral roll angles are influenced by the interaction between forward speed and swimmer level. At maximum speed, all swimmers exhibit the smallest roll angles in both the upper and lower trunk, which are highly negatively correlated with stroke frequency. Additionally, at the same controlled speed, elite swimmers demonstrate a greater dominant side roll angle of the upper trunk and a lower stroke frequency. **Conclusion:** Swimmers can increase their stroke frequency by reducing the tilt angle of the upper trunk. The engagement of the core muscles reduces the tilt angle of the lower trunk, allowing for better transmission and maintenance of the stroke frequency within the kinetic chain. Main effect tests indicate that the interaction between swimmer level and swimming speed influences the tilt angle variation pattern. However, due to the high correlation between trunk tilt angles, swimming times, and stroke frequency, these angles cannot be used as the sole standard for assessing skill level.

**Key words:** Freestyle, Kinematics, Trunk Inclination, Symmetry, Wireless Sensors

# 目次

中文摘要.....	i
英文摘要.....	ii
目次.....	iii
表次.....	v
圖次.....	vi
<b>第壹章 緒論.....</b>	<b>1</b>
第一節 前言.....	1
第二節 研究背景.....	2
第三節 研究目的.....	2
第四節 研究假設.....	3
第五節 研究限制.....	3
第六節 名詞操作定義.....	4
第七節 研究之重要性.....	5
<b>第貳章 文獻探討.....</b>	<b>6</b>
第一節 捷泳動作分析.....	6
第二節 捷泳側傾研究.....	7
第三節 傳感器於游泳項目應用.....	9
第四節 文獻小節.....	10
<b>第參章 研究方法.....</b>	<b>11</b>
第一節 研究參與者.....	11
第二節 儀器與設備.....	11
第三節 實驗流程.....	13
第四節 資料分析.....	15

第五節 統計分析.....	16
<b>第肆章 結果.....</b>	<b>17</b>
第一節 游泳速度與划手頻率.....	17
第二節 上軀幹側傾角.....	21
第三節 下軀幹側傾角.....	24
第四節 軀幹扭轉角度.....	27
<b>第伍章 討論.....</b>	<b>29</b>
第一節 相同游泳速度下側傾角度變化.....	29
第二節 不同層級選手於不同速度下側傾角度變化.....	31
第三節 軀幹扭轉參數.....	32
<b>第陸章 結論與建議.....</b>	<b>34</b>
<b>參考文獻.....</b>	<b>35</b>



## 表 次

表 4-1 受試者基本資料表.....	17
表 4-2 不同組別選手於不同速度下，50公尺捷式秒數.....	17
表 4-3 不同組別選手於不同速度下，划手頻率平均值、標準差.....	18
表 4-4 划手頻率二因子混合設計變異數分析摘要表.....	20
表 4-5 划手頻率單純主要效果檢定摘要表.....	20
表 4-6 不同組別選手於不同速度下，肩部側傾角度.....	21
表 4-7 肩部慣用側傾角度二因子混合設計變異數分析摘要表.....	22
表 4-8 肩部慣用側傾角度單純主要效果檢定摘要表.....	22
表 4-9 肩部非慣用側傾角度二因子混合設計變異數分析摘要表.....	23
表 4-10 不同組別選手於不同速度下，腕部側傾角度.....	24
表 4-11 腕部慣用側傾角度二因子混合設計變異數分析摘要表.....	25
表 4-12 腕部非慣用側傾角度二因子混合設計變異數分析摘要表.....	25
表 4-13 腕部慣用側傾角度單純主要效果檢定摘要表.....	26
表 4-14 腕部非慣用側傾角度單純主要效果檢定摘要表.....	26
表 4-15 不同組別選手於不同速度下，軀幹扭轉角度.....	27
表 4-16 軀幹扭轉角度二因子混合設計變異數分析摘要表.....	28
表 4-17 軀幹扭轉角度單純主要效果檢定摘要表.....	28

# 圖次

圖 1-1 上軀幹側傾.....	4
圖 3-1 VICON Blue Trident IMU 與 CAPTURE.U 軟體.....	11
圖 3-2 IMU 擺放位置.....	12
圖 3-3 GoPro HERO 10 Black.....	12
圖 3-4 靜待校正角度計算公式.....	13
圖 3-5 實驗流程圖.....	14
圖 3-7 捷泳划手週期辨識圖.....	15
圖 4-1 划手頻率與上、下軀幹傾角、軀幹扭轉角度散佈圖.....	19
圖 4-2 上軀幹慣用側與游泳秒數散佈圖.....	21
圖 4-3 下軀幹慣用側、非慣用側與游泳秒數散佈圖.....	24
圖 4-4 軀幹扭轉角度與游泳秒數散佈圖.....	27



# 第壹章 緒論

## 第一節 前言

游泳項目一直都是各大綜合賽事重點之一，且各國選手技能水平相近，使得競爭更加激烈，以 2022 東京奧運為例，50 公尺自由式決賽選手差距不到 0.7 秒，其他項目前三名差距更是時常在 秒內。隨著台灣游泳選手在國際賽事成績逐漸提升，面對競爭如此激烈的賽事，相關的運科研究也更顯重要。游泳四式動作中，捷泳比賽項目佔據最多，同時也是選手訓練課表的重要核心之一。捷泳划手頻率 (Stroke Rate, SR)、划手幅度 (Stroke Length, SL)、軀幹側傾角度等參數對於游泳速度與選手技術皆有相關 (Cappaert et al., 1995; Lee et al., 2008; Kudo et al., 2017)，然而國內針對捷泳的研究十分有限，相關技術與分析必須仰賴國外文獻。因此，我們將透過運科儀器量化、分析國內不同層級選手捷泳運動表現，比較不同層級運動員之間運動學差異，以提供教練訓練與選材上參考之依據。

以運動生物力學的角度探討捷泳，主要是由划手週期搭配踢水節奏而組成的連續性運動，推進時，透過水的介質造成流體的壓力差進而產生推進力 (胡程鈞等, 2011)，並且 Toussaint 與 Truijens (2005) 提出捷式有 85% 的推進力是由手臂動作所產生，可以推斷上肢運動對於游泳速度的影響至關重要。因此，在過去已有需多文獻探討划頻與划幅對於游泳運動員速度變化上的影響，划手動作上亦有許多時空參數被分析 (Chollet et al., 2000)，其目的皆是在探討不同的參數是否能夠作為衡量選手技術與速度的指標，以便改善選手技術。然而，划手過程中左右手臂的交替動作伴隨著軀幹沿身體縱軸的大量側傾運動 (Roll)，研究發現除了划頻與划幅之外，游泳運動員軀幹側傾的改變與速度 and 技術有相當的關聯。此概念最早由 Counsilman (1968) 提出，認為划手過程中軀幹的側傾運動將有助於手臂恢復期的進行，並使手掌在推進階段維持在身體中線上，讓推力置於身體質心下方增加推進效率。後續研究也證實不同的技能水平與前進速度，皆會造成軀幹旋轉角度、角速度與扭轉的改變。Yanai (2003) 發現捷泳運動員必須透過減少軀幹側傾以便增加划頻達成快速增加速度的效果。此外也有助於手臂恢復動作 (Counsilman, 1968)，提升推進力與減少阻力 (Chatard, 2003)，並降低肩膀受傷風險。因此對於捷泳動作除了划頻與划幅之外，軀幹的側傾角度與扭轉之變化也應納入考量之一，但不同技能水平與游泳速度之間對於軀幹側傾造成的影響仍須釐清。

統整過去研究，雖然較快的前進速度或是較高的技術水平分別對軀幹側傾角度皆有減少的影響，但角度的範圍仍有歧異。早期實驗大多使用影像系統，此方法容易因架設環境、水流與氣泡等因素造成誤差，此外泳池中所能涵蓋到的拍攝範圍較小，造成影像數據誤差與樣本數較少的問題 (Ohgi et al., 2003)，進而導致許多研究側傾角度不一的現象。隨著微型晶片發展，慣性測量單元 (Inertial measurement unit, IMU) 精準度與防水性逐漸提升，現今已能夠投入水中項目進行實驗 (劉康田等，2013)，除了便利性與價格低等優點外，最重要的是能夠收取選手完整游泳數據，實驗數據的收集不再被影像系統侷限於拍攝範圍。

## 第二節 研究背景

捷泳除了是正式比賽項目之一，也是選手訓練的重要核心，目前為止尚無我國捷泳運動員詳細的運動學參數；軀幹側傾對於捷泳運動是十分重要的參考指標，除了會影響選手划幅與划頻之外，對於技能水平與前進速度也有所關聯，但彼此的影響仍須釐清。大多數的捷泳研究使用傳統攝影機並透過動作分析系統來獲取數據，但拍攝範圍十分有限，僅能針對局部區段進行量化，進而導致樣本數不足與數據誤差的現象。現今透過IMU的應用，能夠完整的收集游泳數據，並穿戴於受試者身上，比起攝影系統更直接的收取運動學參數，減少影像數據而產生誤差。總結來說，使用傳感器取代傳統攝影機能夠避免過去研究的限制與問題，對我國捷泳選手收集全面的運動學參數，並探討技能水平與前進速度兩因子對於軀幹側傾的影響，以提供我國教練或運科人員後續訓練、選材與分析之依據。

## 第三節 研究目的

探討不同前進速度對軀幹側傾角度之影響，並瞭解在不同組別游泳速度與軀幹傾角的變化，尋找其角度變化與划幅、划頻之關聯，確認軀幹側傾參數能否成為選手技能水平的評斷指標。

#### 第四節 研究假設

- 一、相同的游泳速度下，層級較高選手之上、下軀幹側傾角度較小。
- 二、軀幹側傾角度受到不同層級選手技能水平所影響，能夠作為游泳者技能評斷指標。
- 三、軀幹的不對稱性因選手技能水平不同而有所差異。

#### 第五節 研究限制

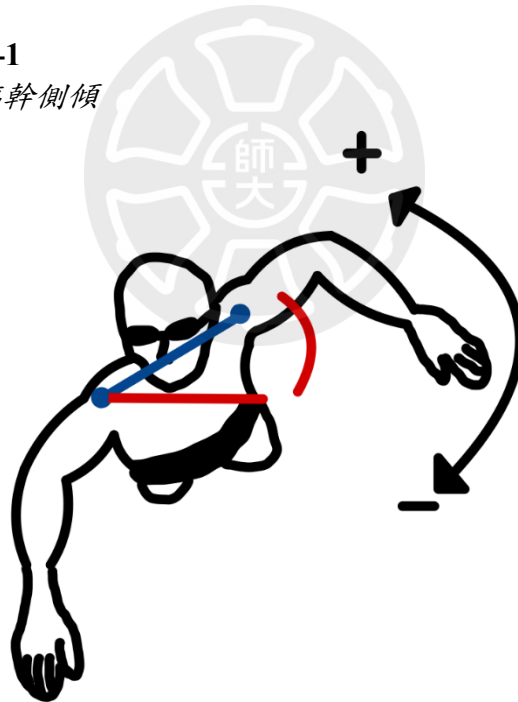
- 一、游泳動作具有個體變異性，本研究僅針對有多年訓練且動作水平較為穩定的競技游泳者進行探討，實驗結果無法應用於休閒游泳者或國中、小層級運動員。
- 二、軀幹側傾的計算是基於身體繞縱軸的角運動，橫軸與矢狀軸的運動不納入考慮之中，Yanai (2003) 也表明此兩軸向的角運動對於軀幹側傾的影響可以忽略不計。
- 三、研究過程為了避免呼吸動作影響軀幹側傾數據，因此限制受試者進行換氣動作，呼吸時對軀幹側傾之影響不納入討論。



## 第六節 名詞操作定義

- 一、划手頻率 (Stroke Rate, SR)：選手完成一次划手動作所需之時間，為起始手入水至再次入水的時間。
- 二、划手幅度 (Stroke Length, SL)：完成一次划手所前進之距離，為起始手入水至再次入水的距離。
- 三、游泳速度 (swimming velocity, SV)：游泳前進速度，根據下列等式解釋 SV、SR與 SL 關係。 $SV = SR \cdot SL$  (Seifert et al., 2010)
- 四、軀幹側傾：捷泳中左右手臂交替划水所產生軀幹沿身體縱軸之角運動。
- 五、上軀幹側傾 (Shoulder Roll)：左、右肩峰之連線繞其軀幹縱軸的角運動 (圖 1-1)。
- 六、下軀幹側傾 (Hip Roll)：左、右後上髂棘之連線繞其軀幹縱軸的角運動。
- 七、軀幹扭轉 (Trunk Twist)：上、下軀幹於人體座標水平面產生之夾角。
- 八、側傾的不對稱性：左側與右側髖部與肩部側傾最大角度差之絕對值。

圖 1-1  
上軀幹側傾



## 第七節 研究之重要性

近年我國游泳項目國際成績不斷提升，透過運動科學的介入能夠幫助教練與選手提升技術水平，然而國內游泳相關研究十分稀少。過去文獻表明軀幹側傾對捷泳項目有重要影響，透過 IMU 的結合，克服過去光學分析系統的限制，對我國游泳運動員進行軀幹側傾的探討，將有助於國內游泳研究發展，並提供教練與運科人員研究之依據。



## 第貳章 文獻探討

捷泳為全身動作，本章第一節會統整以往的研究，簡介捷泳動作的形成，第二節說明側傾運動對於捷泳動作之影響，並針對受試者層級高低與實驗控制的前進速度進行探討，最後則討論 IMU 運用在游泳項目與傳統攝影系統的比較。

### 第一節 捷泳動作分析

捷泳為全身性運動，游泳者透過雙手輪替推水與恢復，配合下肢踢腿維持平衡與推進，動作過程中藉由水所產生的流體壓力差，使身體獲得推進力 (胡程鈞等, 2011; Yanai, 2003)。過去已經有許多研究指出上肢動作對於前進方向的推進力有最大的貢獻，並認為上肢划水技術是影響捷泳運動員成績的關鍵因素 (Rouboa et al., 2006; Gatta et al., 2012)，因此捷泳研究普遍著重在上肢動作。

游泳速度是 SR 與 SL 的乘積，已有大量研究認為此兩個參數對於游泳速度有直接的影響，認為游泳者透過控制划幅與划頻調整前進速度 (Chollet et al., 1997)，Yanai (2003) 指出透過增加划手頻率，能夠使游泳者快速達到最大速度，並建議選手訓練應在維持固定的速度下盡量減少划頻，有助於增加划手技術水平。但後續發現單憑 SR 與 SL 無法對捷泳技術進行更深入的探討，因此，Chollet 等 (2000) 透過攝像機分析捷式划手時空參數，動作分為四個時期：

#### 一、入水與抓水 (Entry and Catch)：

手部前端進入水中到開始向後移動，入水與抓水期與選手技能水平相關，層級較高選手，入水動作較為平緩 (Ohgi et al., 2000)，訓練中也會加入抓水動作練習以增進選手水感。

#### 二、拉動 (Pull)：

手部開始向後移動到手到達肩部的垂直平面。此階段是身體向前推進的開始，2000年以前大多選手採用S型划手動作，相較於現代划手技術更傾向於保持軸關節角度，此現象也間接造成軀幹側傾的改變。

#### 三、推進 (Push)：

手位於肩部下方到離開水面。Kudo 等 (2021) 提出此階段向後划手速度約有 20% 由上軀幹旋轉而引起，進而影響手部推進與划頻，建議教練應將軀幹側傾動作納入

參考。

#### 四、恢復 (Recovery)：

手部離開水面到再次進入水中。較大的軀幹側傾能夠幫助恢復動作的進行，減少代償作用，降低動作時于肱關節撞擊力道，造成運動員肩關節疼痛與損傷。

由上述可以得知，軀幹側傾角度的改變會影響上肢划手動作與划頻，進而影響前進速度。此外，推進階段與恢復階段的動作與軀幹側傾皆有關聯。競技游泳中，選手和教練不斷地透過技術的改進來尋求最佳的運動表現並減少受傷的風險，過去普遍認為SL與SR分別能夠代表選手的推進效率與前進速度。然而，研究表明應將軀幹側傾的變化也納入考量因素之一。Cappaert等 (1995) 發現菁英選手下軀幹側傾角度小於其他選手。Kudo等 (2017) 則提出隨著游泳速度的增加，下軀幹側傾角度有逐漸下降的趨勢，彼此之間呈現負相關。但尚未有研究探討不同層級選手在不同速度下側傾的角度變化。下一節將針對近年來捷泳軀幹滾動的生物力學研究進行探討。

## 第二節 捷泳側傾研究

軀幹側傾是捷泳中左右手臂划水時的交替，伴隨著軀幹身體縱軸的角運動。此概念由 Counsilman (1968) 提出，並強調軀幹的側傾使手臂的恢復更容易，並允許恢復動作的旋轉半徑更短；推進階段能將手臂更直接地置於質心下方，提升推進效率；並且臀部的側傾位置，使踢腳可以部分向側面推，從而消除由雙臂交替擺動造成的軀幹的側面搖擺。側傾研究最開始將整個軀幹在捷泳動作中假設為剛性軀幹來計算，並使用 2D 的攝影分析技術進行實驗 (Castro et al., 2007；Liu et al., 1993；Payton et al., 2002；Payton et al, 1999)。

Castro 等 (2007) 提出當前進速度增加時，游泳者減少了軀幹側傾，並發現鐵人三項運動員與游泳運動員之間軀幹側傾結果並不一致，認為可能是因為體人三項運動員穩定性較差所導致。儘管 2D 的動作分析已初步證實前進速度與技術水平皆可能導致軀幹角度變化，但肩關節和髖關節側傾的幅度不同，不能將其視為同一剛體，應將兩者各別評估，Psycharakis 與 Sanders (2008) 表示游泳者的肩關節的側傾明顯多於髖關節，並且兩者最大角度出現的時間有所不同。因此，必須分別計算肩部和髖部的側傾，以便更詳細地分析軀幹的側傾運動。

在使用 3D 的分析中，主要有兩種方法計算上軀幹與下軀幹的側傾角度，第一種是

將左、右肩關節中點與腕關節中點連線定義為軀幹向量，隨後將左、右肩峰連線之向量與軀幹向量外積，求得肩部/軀幹平面之法線，計算運動時垂直線與肩部/軀幹平面法線之夾角得到上軀幹側傾角度，下軀幹亦然。(Psycharakis & Sanders, 2008; Sanders & Psycharakis, 2009)；第二種計算方法則是測量游泳者左、右肩關節之連線繞其軀幹縱軸(連接肩部中點和腕部中點連線)的旋轉來定義上軀幹側傾角，下軀幹亦然。當左、右肩關節連線位於水平位時，角度定義為零(Cappaert et al., 1995; Yanai, 2003; Yanai & Hay, 2000)。

捷泳軀幹側傾的研究中有針對上軀幹和下軀幹兩大重點，分別為側傾幅度以及側傾的不對稱性。捷泳側傾的幅度Cappaert等(1995)針對1992年巴塞隆納奧運男子100公尺自由泳選手進行分析，菁英組上、下軀幹側傾角度( $34.4^{\circ} \pm 1.7^{\circ}$ 、 $8.3^{\circ} \pm 1.5^{\circ}$ )，次菁英組分別為( $35.4^{\circ} \pm 2.5^{\circ}$ 、 $-17.8^{\circ} \pm 1.5^{\circ}$ )，兩組之間上軀幹側傾幅度雖沒有差別，但次菁英組下軀幹側傾的幅度較大，並且上、下軀幹之間呈現反方向滾動。適當的側傾動作能夠減少正面的表面積降低阻力，但上、下軀幹反方向的滾動，可能會使臀部造成較大的表面積，破壞身體流線降低划幅與推進效率。Yanai (2003) 前進速度從 1.3 m/s 增加到 1.6 m/s 時，上軀幹側傾從  $75^{\circ}$  降低到  $66^{\circ}$ ，並且軀幹扭轉幅度從  $15^{\circ}$  提高至  $21^{\circ}$ 。Yanai 解釋游泳者增加划水頻率以加快游泳速度時，減少了身體側傾並增加了軀幹扭轉的幅度，但過大的軀幹扭轉可能會使表面積提升造成阻力增加，與Cappaert等(1995)觀察相同。此外，Yanai 同時認為增加的軀幹扭轉，使上軀幹有更大的側傾角度，提升游泳者表現，然而後續不同速度控制下的研究不同中皆未發現上軀幹側傾角度有所差異。

Psycharakis 與 Sanders (2008) 進行 200 公尺捷泳實驗，上軀幹側傾總範圍 ( $106^{\circ} \pm 8.4^{\circ}$ ) 明顯大於下軀幹 ( $50.4^{\circ} \pm 12.3^{\circ}$ )，測試期間隨著速度降低，所有受試者下軀幹側傾角度增加，上軀幹側傾則沒有變化。然而，受試者之中速度較快的游泳者上軀幹側傾角度相對較小。對此，作者與Yanai (2003) 同樣推測受試者之間較小的上軀幹側傾，使肩與腕之間的差異縮小，降低身體扭轉減少表面積阻力，認為上軀幹側傾的大小可能主要與游泳者的技能有關，而不是游泳速度。最近的一項研究中Andersen等(2020)比較不同 400 公尺速度與 50 公尺衝刺速度下，上、下軀幹側傾的運動學差異，其結果皆與先前研究相似。50 公尺較高的衝刺速度下，軀幹扭轉幅度較大，認為速度增加時，下軀幹側傾隨之減少，但上軀幹沒有相應降低，造成較大的軀幹扭轉幅度。此研究雖然多比較 400 公尺與 50 公尺速度差異下的變化，但未對受試者的層級進行控制，因此仍然無法確定身體的側傾是否與游泳者的技能相關。

側傾的不對稱性，多數的研究沒有針對慣用側與非慣用側的滾動進行探討。Arellano等(2003)指出側傾的不對稱性在游泳中十分常見，並且可能與游泳速度相關。Psycharakis與Sanders(2008)計算10位右邊慣用側與右邊換氣的國家級選手，上軀幹側傾的不對稱性為 $8.2\pm 4.8^\circ$ ，下軀幹側傾不對稱性為 $5.9\pm 3.9^\circ$ 。研究發現不對稱性與游泳速度無關，並且不會隨著疲勞而改變，游泳者向左側的轉動幅度明顯大於右側，這與受試者右邊慣用側的優勢吻合。不對稱性造成的原因可能是慣用側與非慣用側之間力量與推進力等差異所造成。

綜合相關研究，一致認為上軀幹側傾幅度遠大於下軀幹，兩者必須分開討論，不能視為一個鋼體；隨著游泳者提升前進速度，下軀幹側傾角度會隨之減小，以利提升划手頻率，Yanai(2003)觀察發現上軀幹側傾角度也會隨之降低，但後續研究尚未有相同情形發生；技能水平較高的游泳者上軀幹側傾範圍似乎比一般選手來的小，可能主要與游泳者的技能有關，但此現象仍須確認；Psycharakis與Sanders(2008)認為側傾的不對稱性與游泳速度、游泳表現無關，但此實驗受試者皆為國家級選手，認為應該多比較不同層級選手之間的差異。Psycharakis與Sanders(2010)指出游泳側傾研究之間的差異，可能是受試者水平不同所導致，認為應多加探討不同技能水平與游泳速度下上、下軀幹的側傾狀況，以確認現有的發現。

### 第三節 傳感器於游泳項目應用

過去游泳相關研究皆使用傳統攝影系統紀錄與分析選手數據，雖然2D或3D的影像分析被認為是最準確的方法和數據的黃金標準，但此方法對於場地和設備有一定程度的要求。由於游泳項目需要長距離的移動，若要完整追蹤游泳周期需要架設多台攝影機，後續的資料處理與分析更是費工耗時，無法進行即時回饋，運動時時水中出現的氣泡容易遮蔽影像，造成數據上的誤差。IMU相關元件擁有體積小、訊號提取快速等優點，加上近年微型晶片發展迅速，精準度提升許多，已經能夠投入到水中項目之中(劉康田等，2013)。Pansiot等(2010)率先使用單個傳感器安裝於頭部，使用加速規訊號透過三角函數計算(圖2-1)，得出軀幹側傾與俯仰角度，但加速規訊號容易隨著使用時間而增加誤差，因此大多研究使用陀螺儀來計算角度變化。

Walker等(2017)利用IMU在跳板跳水中進行驗證及應用，指出陀螺儀與3D光學系統角速度的測量有高度相關( $r=1.0, p<0.001$ )，陀螺儀測得角速度符合3D光學系統的規範評估值( $<0.5\%$  差異)，認為IMU具有一定的可靠性。隨後Félix等(2019)使用陀螺

儀訊號於游泳的測量，計算游泳者軀幹側傾的幅度，並作為辨識划手次數之依據，其結果表明陀螺儀能夠有效應用於游泳技術的分析中。

綜合上述研究，IMU 透過與光學系統的相關分析，證明能夠應用於運動學的測量，在游泳項目的實際應用中也有良好結果。過去光學分析系統受限於拍攝角度的問題，使受試者在每趟試驗中僅能完整收取一至三個划手循環，傳感器可以克服此限制，提高每趟收取的樣本數降低數據的誤差。

#### 第四節 文獻小節

軀幹側傾對於捷泳影響十分廣泛，側傾動作的改變與划頻、划幅和前進速度皆有所相關，對於游泳技術的分析應將軀幹側傾也納入考量之一。相關的運動生物力學研究，可以發現不同的研究彼此間皆有差異，可能是受試者技術層級不同所致，對此應針對不同技能水平與游泳速度之間上、下軀幹的側傾狀況進行深入探討。此外，水中光學系統的分析不易，影像遮蔽與拍攝角度的限制皆可能造成數據的誤差，現今 IMU 技術發展成熟，證實能夠良好應用於游泳項目之中，克服過去實驗儀器所帶來的限制。



# 第參章 研究方法

## 第一節 研究參與者

研究對象招募16位國內游泳選手(優秀組8名、次優秀組8名)，參與者須受過3年以上競技游泳訓練，以110年全大運捷泳50公尺甲組選手整體成績之第一四分位數(Q1)與第三四分位數(Q3)作為優秀與次優秀組區別(優秀組成績低於24.55秒、次優秀組成績高於26.35秒)，近半年內無任何影響捷泳動作之肌肉、骨骼與神經相關疾病和損傷。每位受試者參與本實驗前，皆詳盡告知實驗內容，亦請詳閱受試者須知，確認瞭解實驗內容後，簽屬知情同意書，參與實驗。

## 第二節 儀器與設備

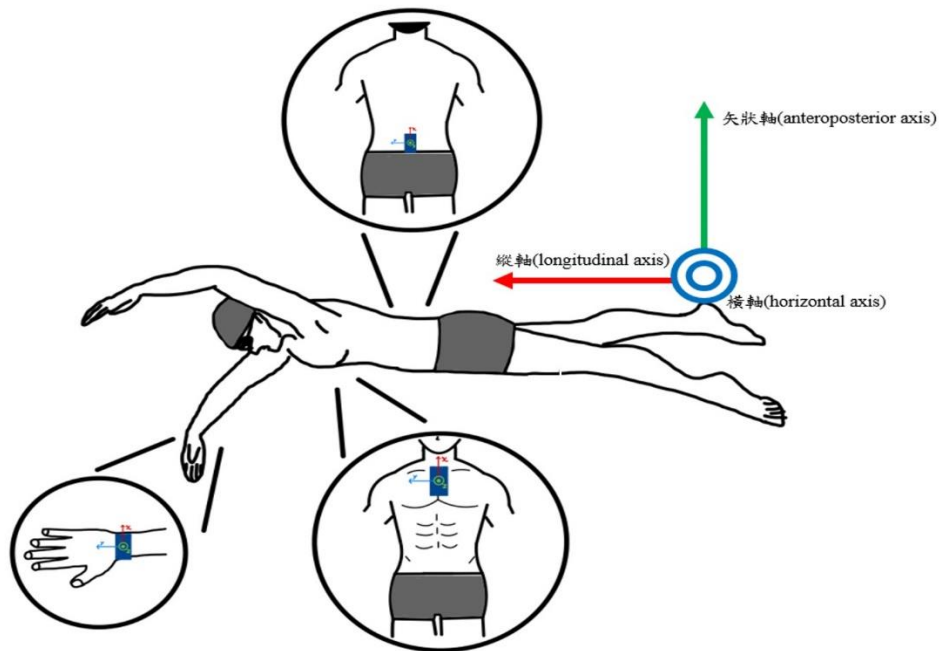
### 一、無線傳感器

無線傳感器使用4台VICON Blue Trident，內建9軸傳感器(圖3-1)，軀幹傳感器軸向根據人體座標系統擺放，統一標準化，人體縱軸(longitudinal axis)，加速度方向為X軸；人體橫軸(horizontal axis)，加速度方向為Y軸；人體矢狀軸(anteroposterior axis)，加速度方向為Z軸。黏貼位置參考先前文獻建模方式(Cappaert et al., 1995; Yanai & Hay, 2000)，肩部傳感器選擇安裝於胸骨柄(Manubrium sterni)盡量靠近左、右肩峰連線與身體中線交界點，以避免受試者划手時背肌擠壓影響；腕部傳感器黏貼於左、右後上髁棘連線與身體中線交界點；上肢傳感器安裝於兩側手腕位置(圖3-2)。收取加速規、陀螺儀訊號，使用CAPTURE.U軟體控制啟動與暫停，事後資料輸出將多個IMU資料同步並將擷取頻率為120 Hz。

圖 3-1  
VICON Blue Trident IMU 與 CAPTURE.U 軟體



圖 3-2  
IMU 擺放位置



## 二、高速攝影機

高速攝影機使用 1 台 GoPro HERO 10 Black 進行錄製 (圖 3-3)，攝影解析度 1920\*1080，擷取頻率為 120 Hz，安裝於三軸穩定器上，於實驗開始前拍攝傳感器撞擊畫面，並利用撞擊瞬間加速規訊號與影像畫面進行同步，隨後受試者側面進行跟拍，確認受試者動作狀況，以便後續資料分析與檢查。

圖 3-3  
GoPro HERO 10 Black



### 第三節 實驗流程

#### 一、架設實驗儀器

##### (一) 場地配置：

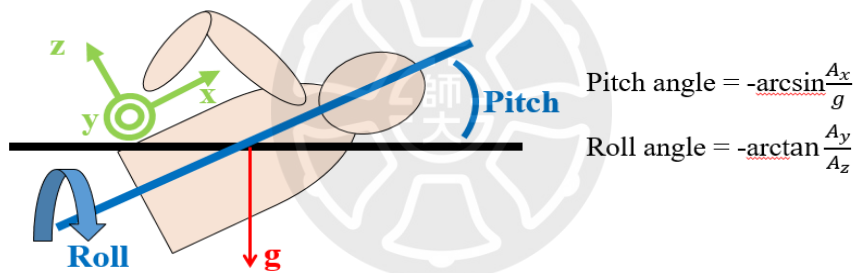
於 50 公尺泳池進行，為避免出發與觸牆動作影響實驗數據，本實驗擷取中段 20 公尺之訊號進行分析，跟拍攝影機拍攝位置由 15 公尺至 35 公尺，受試者位於出發位置後進行靜態校正 (圖 3-6)。

##### (二) 靜態校正：

受試者安裝完傳感器後，俯臥於長條板凳，保持身體穩定和水平 10 秒，使用加速度訊號，經過頻譜分析後進行濾波處理，根據 Pansiot 等 (2010) 所提出之公式 (圖 3-4) 計算原始側傾角度，取 10 秒數據之平均值進行歸零，以避免傳感器黏貼於不同受試者，所造成角度上的個體誤差。

圖 3-4

靜態校正角度計算公式



#### 二、捷泳實驗

##### (一) 確實熱身：

由於實驗將收取受試者全力衝刺之運動學參數，動作強度十分激烈，因此需充分進行熱身，要求受試者進行 30 分鐘熱身，熱身項目比照賽前習慣進行。

##### (二) 配戴儀器：

受試者熱身結束後，使用肌效貼布將顆傳感器黏貼於受試者背部及上肢，背部黏貼位置於胸骨柄盡量靠近左、右肩峰連線與身體中線交界點，以及左、右後上髒棘連線與身體中線交界點；上肢傳感器安裝於兩側手腕位置，傳感器 X 軸與人體縱軸 (longitudinal axis) 對齊，Y 軸對應於人體橫軸 (horizontal axis)，Z 軸則與人體矢狀軸 (anteroposterior axis) 一致；。黏貼位置為求一致性以減少實驗誤差，皆由同一人執行。

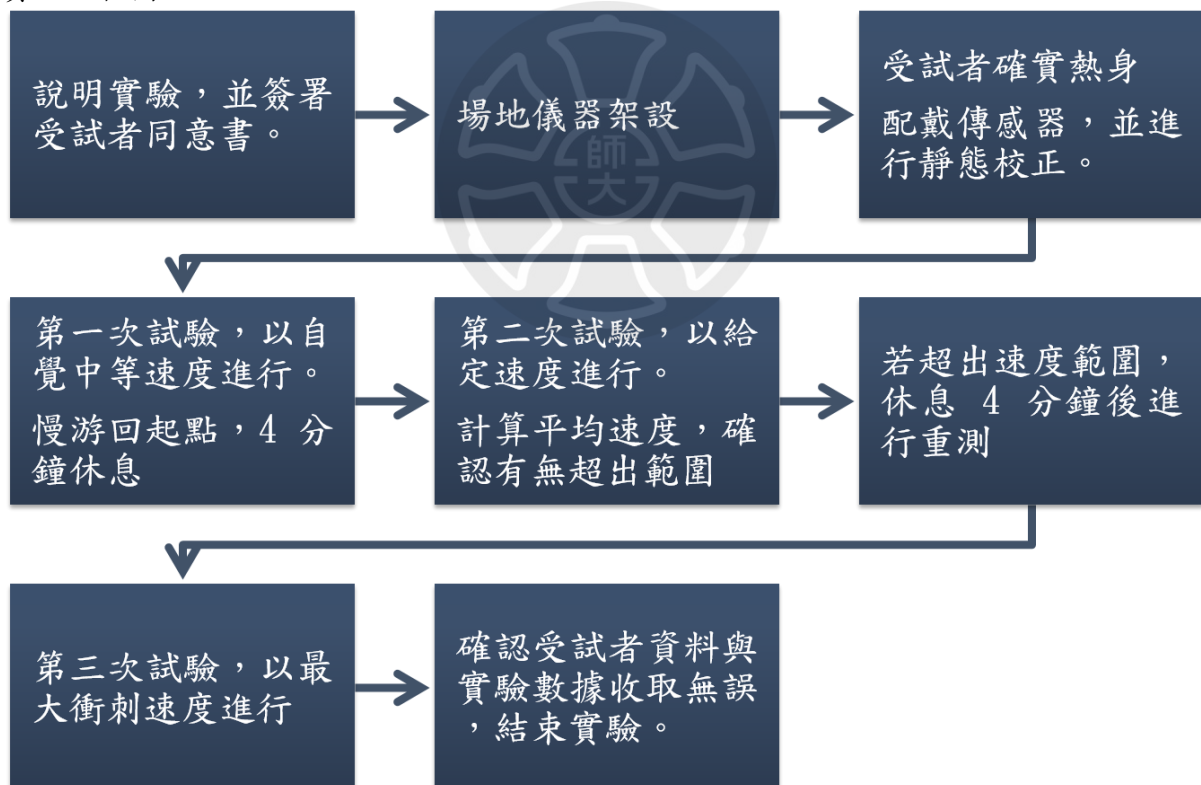
(三) 實驗流程：

請受試者於水中蹬牆出發，進行三次不同速度 50 公尺捷泳試驗，依序以自覺中等速度、給定速度、最大速度進行試驗，每次試驗結束休息 4 分鐘後繼續下次試驗，為避免呼吸動作造成誤差，要求受試者在中間 20 公尺不進行換氣。給定速度目標介於中等速度與最大衝刺之間，Yanai (2003) 以次最大速度進行試驗，發現受試者平均速度為 1.6 m/s，接近 Psycharakis 與 Sanders (2008) 受試者 200 公尺中的最大速度。因此，本研究選擇 1.6 m/s 作為給定速度標準，能夠與過去文獻進行比較，也較接近中距離比賽時的速度模式。給定速度的試驗中透過游泳秒數計算平均速度來確認，與目標速度差距不得超過 0.05 m/s，如有超出速度範圍的情形，則休息 4 分鐘後進行重測。

(四) 確認受試者資料完整無誤後，結束實驗。

圖 3-5

實驗流程圖

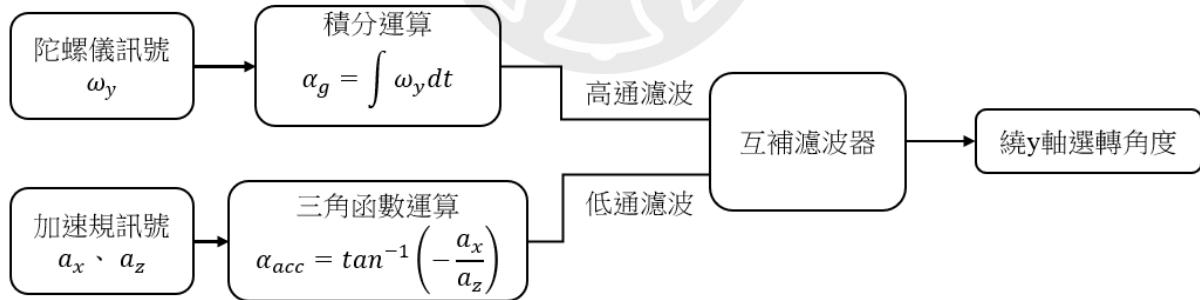


## 第四節 資料分析

將受試者3趟運動學數據進行分析，Blue Trident IMU 所記錄之資料為9軸 (加速規、陀螺儀、磁力計) 訊號，提取每趟中間 20 公尺完整划手週期之數據後，根據 Ohgi (2002) 方法利用前臂傳感器，探測手臂入水時撞擊水面而重複出現加速度訊號峰值辨識入水動作分期點，以此計算划幅、划頻，完整划手周期定為右臂入水至同手臂再次入水。軀幹傳感器數據根據 Daukantas 等 (2011) 建議計算方法，使用互補濾波器對加速規訊號進行低通濾波過濾高頻雜訊，陀螺儀選用高通濾波減少於緩慢動作或靜止時的累計飄移 (濾波頻率透過頻譜分析確定)，訊號經過濾波，並分別計算三軸角度後，透過加權係數結合得出軀幹角度(如圖3-7)。利用胸骨柄與薦骨傳感器求得受試者每次划手過程中上、下軀幹最大滾轉角度，並分析划手周期內慣用側與非慣用側最大滾轉角度，機算上、下軀幹夾角之絕對值作為軀幹扭轉角度數據進行分析。

圖3-7

互補濾波器計算旋轉角度流程



## 第五節 統計分析

SPSS 23.0 版之軟體進行分析，使用二因子混和變異數分析，比較不同層級選手在不同游泳速度下，上、下軀幹側傾最大角度、角速度、軀幹扭轉與划頻之差異，組內分析不同游泳速度差異，組間分析不同層級選手差異，二因子中交互作用若達顯著，進行單純主要效果考驗，使用 LSD 事後比較，檢測層級與游泳速度兩因子間的交互作用與效果量。並對軀幹側傾數據與划頻、游泳速度等運動學參數進行皮爾森相關分析。顯著水準採用  $\alpha=.05$ 。



## 第肆章 結果

### 第一節 游泳速度與划手頻率

共招募16位男性游泳運動員（優秀組8位、次優秀組8位），受試者之平均身高、體重、年齡、50公尺自由式最佳成績，如表4-1所示：

表 4-1  
受試者基本資料表

	N	身高(cm)		體重(kg)		年齡(y)		50 自最佳成績(s)	
		平均值	標準差	平均值	標準差	平均值	標準差	平均值	標準差
優秀組	8	180.6	4.6	77.0	8.4	20.4	1.4	24.2	0.7
次優秀組	8	173.6	7.1	65.9	5.2	20.0	1.5	27.5	2.5
總計	16	177.1	6.8	71.4	8.9	20.2	1.4	25.9	2.4

優秀與次優秀選手之中等速度、控制速度、最大速度測驗表現，如表4-2所示。最大速度組 ( $F = 6.65$ ,  $p < .05$ ) 優秀與次優秀選手游泳秒數達顯著差異。優秀選手在三種速度下，游泳秒數分別達顯著差異 ( $F_{(2,21)} = 48.30$ ,  $p < .01$ ；最大速度組 $<$ 中等速度組；最大速度組 $<$ 控制速度組)。

表 4-2  
不同組別選手於不同速度下，50 公尺捷式秒數(s)

	N	平均值	標準差	事後比較
中等速度組				
優秀	8	30.76	1.26	
次優秀	8	31.66	2.44	
總計	16	31.21	1.93	
控制速度組				
優秀	8	31.12	0.74	
次優秀	8	31.09	0.49	
總計	16	31.10	0.60	
最大速度組				
優秀	8	26.85	0.81	
次優秀	8	29.36	2.63	優秀 $<$ 次優秀
總計	16	28.11	2.28	

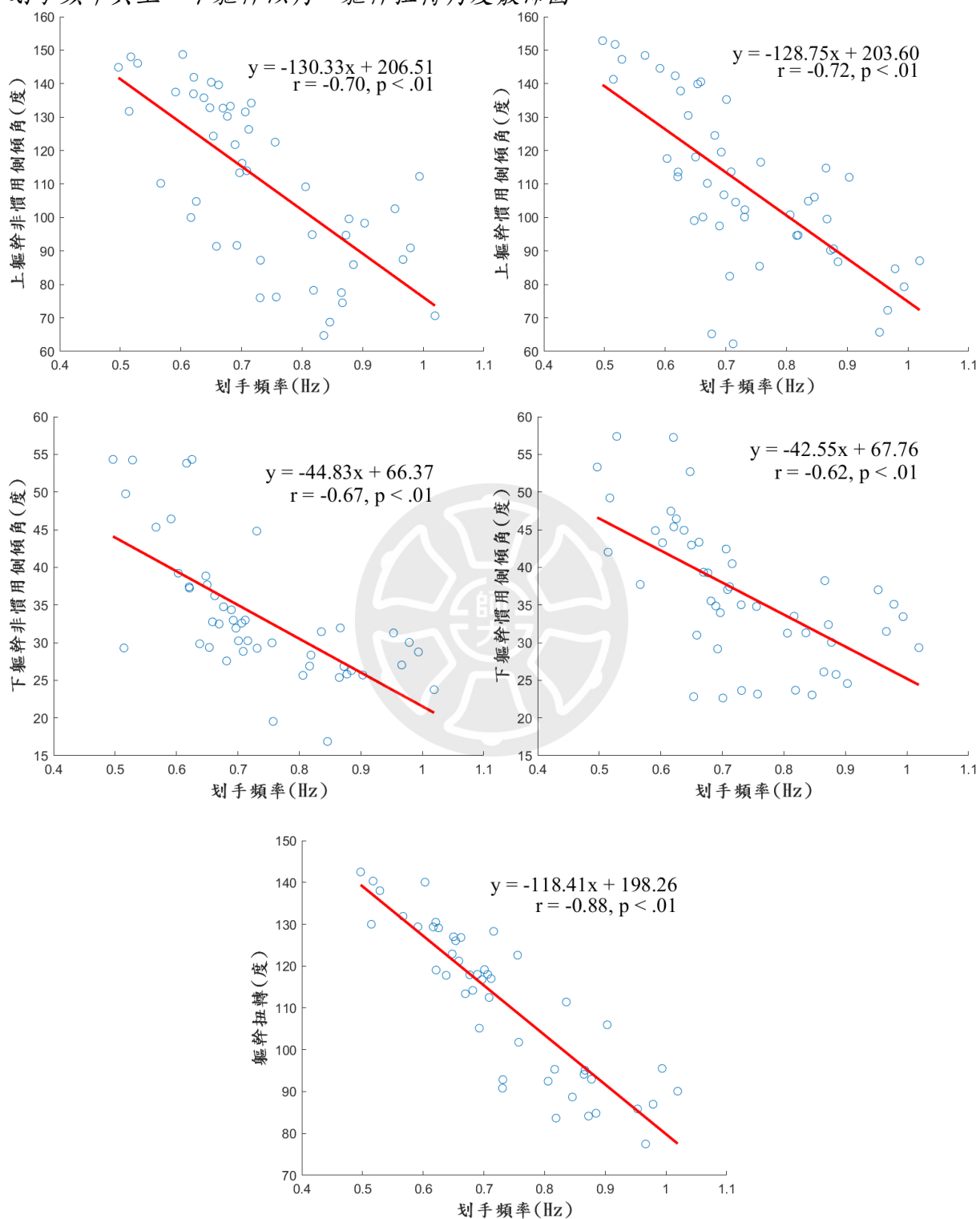
優秀組與次優秀組選手划手頻率，如表4-3所示。划手頻率隨游泳速度加快而提升，此外划頻與上軀幹慣用側傾角 ( $r = -0.72, p < .01$ )、非慣用側傾角 ( $r = -0.70, p < .01$ )；下軀幹慣用側傾角 ( $r = -0.62, p < .01$ )、非慣用側傾角 ( $r = -0.67, p < .01$ )；軀幹扭轉角度 ( $r = -0.88, p < .01$ )，等軀幹側傾參數呈現高度負相關，如圖4-1。

**表 4-3**  
不同組別選手於不同速度下，划手頻率(Hz)

	N	平均值	標準差
<b>中等速度組</b>			
優秀	8	0.64	0.08
次優秀	8	0.68	0.07
總計	16	0.66	0.08
<b>控制速度組</b>			
優秀	8	0.60	0.07
次優秀	8	0.74	0.13
總計	16	0.67	0.12
<b>最大速度組</b>			
優秀	8	0.89	0.07
次優秀	8	0.84	0.09
總計	16	0.86	0.09

圖 4-1

划手頻率與上、下軀幹傾角、軀幹扭轉角度散佈圖



兩因子達顯著交互作用( $F_{(2,42)} = 6.16, p < .01, \eta^2 = .30$ )，單純主要效果檢定顯示，兩組選手在最大速度下皆有較高的划手頻率(優秀選手： $F_{(2,28)} = 31.81, p < .01$ ，最大速度組>中等速度組、控制速度組；次優秀選手： $F_{(2,28)} = 7.47, p < .01$ ，最大速度組>中等速度組)。且在相同的控制速度下，次優秀選手比優秀選手表現出更高的划手頻率( $F_{(1,42)} = 10.09, p < .01$ )。二因子混合設計變異數分析摘要表、單純主要效果量摘要表如表4-4、表4-5所示。

**表 4-4**

划手頻率二因子混合設計變異數分析摘要表

變異來源	SS	自由度	平均值平方	F	顯著性	$\eta^2$
選手層級(獨立因子)	0.02	1	0.021	1.88	.192	.118
游泳速度(相依因子)	0.42	2	0.209	33.20	.000*	.703
選手層級 x 游泳速度	0.08	2	0.039	6.16	.006*	.306
組內	0.30	42				
受試者間	0.16	14	0.006			
殘差	0.18	28	0.011			
全體	0.90	47				

**表 4-5**

划手頻率單純主要效果檢定摘要表

單純主要效果	SS	自由度	平均值平方	F	顯著性	事後比較
游泳速度*						
優秀組選手	0.40	2	0.20	31.81	.000*	(1)<(3);(2)<(3)
次優秀組選手	0.09	2	0.05	7.47	.003*	(1)<(3)
誤差(殘差)	0.17	28	0.01			
選手層級*						
中等速度	0.01	1	0.01	0.75	.389	
控制速度	0.08	1	0.08	10.09	.003*	B>A
最大速度	0.01	1	0.01	1.51	.225	
誤差(殘差)	0.33	42	0.01			

註：(1)中等速度組；(2)控制速度；(3)最大速度；A 優秀組選手；B 次優秀組選手

## 第二節 上軀幹側傾角

優秀與次優秀組選手不同速度下，上軀幹慣用側與非慣用側傾角，如表4-6所示。

兩側最小傾角皆發生於最大速度衝刺下，且慣用側傾角與游泳秒數達顯著正相關 ( $r = 0.39, p < .01$ )，隨游泳速度提升，慣用側傾角有下降的趨勢，如圖4-2。

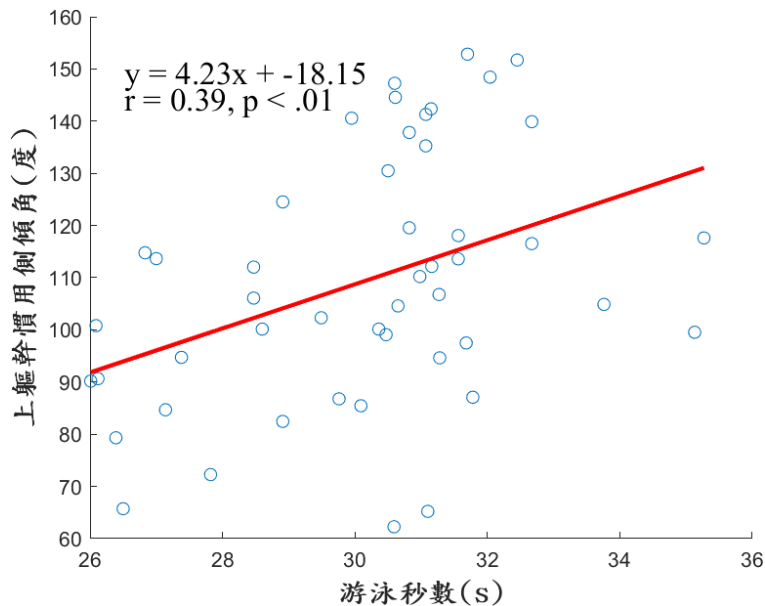
表 4-6

不同組別選手於不同速度下，上軀幹側傾角度(度)

	N	上軀幹慣用側		上軀幹非慣用側	
		平均值	標準差	平均值	標準差
中等速度組					
優秀	8	125.89	18.02	118.67	28.43
次優秀	8	107.90	22.07	121.78	26.47
總計	16	116.89	21.57	120.23	26.59
控制速度組					
優秀	8	131.00	19.58	128.62	18.82
次優秀	8	98.65	19.58	118.17	24.10
總計	16	114.83	25.24	123.39	21.57
最大速度組					
優秀	8	92.04	15.63	91.79	15.89
次優秀	8	88.15	12.80	100.00	18.93
總計	16	90.10	13.95	95.90	17.41

圖 4-2

上軀幹慣用側與游泳秒數散佈圖



上軀幹慣用側傾角二因子混合設計變異數分析，交互作用達顯著 ( $F_{(2,42)} = 4.73$ ， $p < .05$ ， $\eta^2 = .25$ )，如表4-7所示。不同選手層級與不同游泳速度交互作用下，肩部上軀幹慣用側傾角具有顯著差異。

表 4-7

上軀幹慣用側傾角度二因子混合設計變異數分析摘要表

變異來源	SS	自由度	平均值平方	F	顯著性	$\eta^2$
選手層級(獨立因子)	3921.01	1	3921.01	6.02	.028*	.301
游泳速度(相依因子)	7114.70	2	3557.37	20.78	.000*	.598
選手層級 x 游泳速度	1619.98	2	809.99	4.73	.017*	.253
組內	13909.90	42				
受試者間	9117.80	14	651.27			
殘差	4792.09	28	171.14			
全體	26565.60	47				

單純主要效果檢定，如表4-8。優秀選手上軀幹慣用側傾角在不同速度下具有顯著差異 ( $F_{(2,28)} = 20.95$ ， $p < .01$ ，最大速度 < 控制速度)。且兩組選手於控制速度下，優秀組選手傾角大於次優秀組選手 ( $F_{(1,42)} = 12.58$ ， $p < .01$ )。

表 4-8

上軀幹慣用側傾角度單純主要效果檢定摘要表

單純主要效果	SS	自由度	平均值平方	F	顯著性	事後比較
游泳速度*						
優秀組選手	7172.95	2	3586.47	20.95	.000*	(2) > (3)
次優秀組選手	1561.77	2	780.88	4.56	.019	
誤差(殘差)	4792.09	28	171.15			
選手層級*						
中等速度	1294.38	1	1294.38	3.90	.055	
控制速度	4168.09	1	4168.09	12.58	.001*	A > B
最大速度	60.52	1	60.52	0.18	.671	
誤差(殘差)	13909.9	42	331.19			

註：(1)中等速度組；(2)控制速度；(3)最大速度；A 優秀組選手；B 次優秀組選手

上軀幹非慣用側傾角分析結果，如表 4-9。此變量不受交互作用影響，且不同的游泳速度變化可以解釋 65.7%的變異量，主要效果分析顯示，所有選手於最大速度時，非慣用側的上軀幹傾角角度最小( $F_{(2,42)} = 26.86$ ， $p < .01$ ， $\eta^2 = .65$ ，最大速度 < 中等速度、控制速度)。

**表 4-9**

上軀幹非慣用側傾角度二因子混合設計變異數分析摘要表

變異來源	SS	自由度	平均值平方	F	顯著性	$\eta^2$	事後比較
選手層級(獨立因子)	1.03	1	1.03	0.00	.978	.000	
游泳速度(相依因子)	7242.80	2	3621.41	26.86	.000*	.657	(1)<(3) (2)<(3)
選手層級 x 游泳速度	743.81	2	371.90	2.75	.081	.165	
組內	21385.60	42					
受試者間	17611.40	14	1257.96				
殘差	3774.15	28	134.79				
全體	29373.20	47					

註：(1)中等速度組；(2)控制速度；(3)最大速度

### 第三節 下軀幹側傾角

優秀與次優秀組選手不同速度下，下軀幹慣用側與非慣用側傾角，如表 4-10 所示。

慣用側與非慣用側最小傾角皆發生於最大速度下，最大傾角優秀組選手發生於控制速度下，次優秀組選手發生於中等速度。慣用側 ( $r = .29, p < .05$ ) 與非慣用側 ( $r = .35, p < .05$ ) 皆與游泳秒數呈現正相關，如圖 4-3。

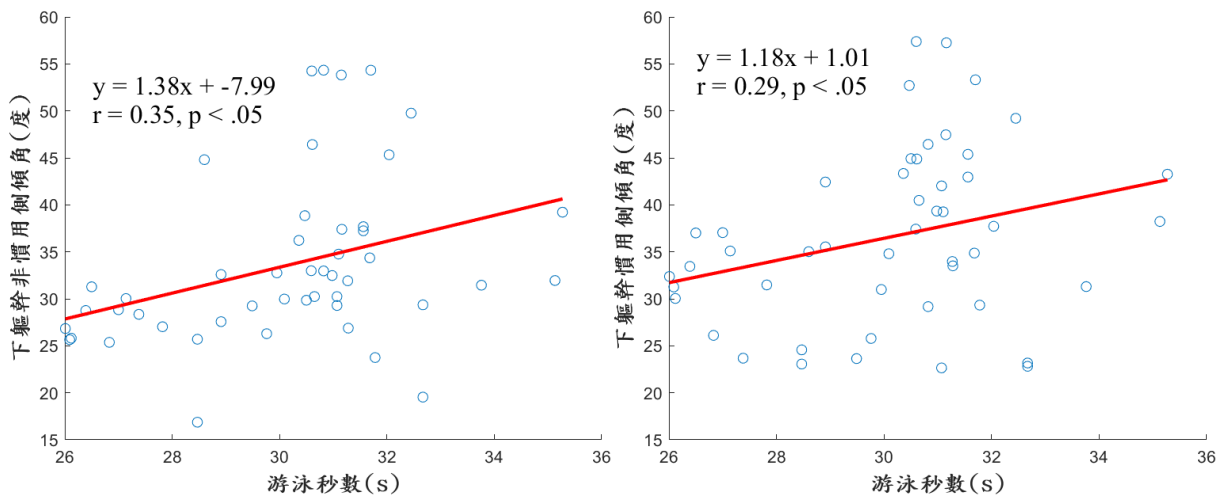
表 4-10

不同組別選手於不同速度下，下軀幹側傾角度(度)

	N	下軀幹慣用側		下軀幹非慣用側	
		平均值	標準差	平均值	標準差
中等速度組					
優秀	8	39.27	12.96	35.56	10.98
次優秀	8	37.82	9.22	34.87	6.28
總計	16	38.55	10.89	35.21	8.65
控制速度組					
優秀	8	44.06	9.01	39.10	9.60
次優秀	8	37.22	9.55	32.86	6.91
總計	16	40.64	9.64	35.98	8.70
最大速度組					
優秀	8	30.26	5.30	26.64	4.45
次優秀	8	34.02	7.42	29.30	3.59
總計	16	32.14	6.52	27.97	4.14

圖 4-3

下軀幹慣用側、非慣用側與游泳秒數散佈圖



下軀幹傾角二因子混合設計變異數分析，慣用側 ( $F_{(2,42)} = 5.78$ ， $p < .01$ ， $\eta^2 = .29$ ) 與非慣用側 ( $F_{(2,42)} = 4.33$ ， $p < .05$ ， $\eta^2 = .23$ ) 交互作用皆達顯著，如表 4-11、4-12 所示。不同選手層級與不同游泳速度交互作用下，下軀幹傾角具有顯著差異。交互作用相分別能解釋慣用側 29.2% 與非慣用側 23.7% 傾角之變異量。

**表 4-11**

下軀幹慣用側傾角度二因子混合設計變異數分析摘要表

變異來源	SS	自由度	平均值平方	F	顯著性	$\eta^2$
選手層級(獨立因子)	27.22	1	27.22	0.12	.727	.009
游泳速度(相依因子)	628.10	2	314.06	16.17	.000*	.536
選手層級 x 游泳速度	224.69	2	112.34	5.78	.008*	.292
組內	3558.80	42				
受試者間	3015.18	14	215.37			
殘差	543.59	28	19.41			
全體	4438.80	47				

**表 4-12**

下軀幹非慣用側傾角度二因子混合設計變異數分析摘要表

變異來源	SS	自由度	平均值平方	F	顯著性	$\eta^2$
選手層級(獨立因子)	24.45	1	24.45	0.18	.670	.013
游泳速度(相依因子)	625.20	2	312.57	16.81	.000*	.546
選手層級 x 游泳速度	161.20	2	80.60	4.33	.023*	.237
組內	2328.80	42				
受試者間	1808.38	14	129.17			
殘差	520.37	28	18.58			
全體	3139.60	47				

單純主要效果檢定，如表 4-13、4-14 所示。優秀選手兩側下軀幹傾角在不同速度下達顯著差異 (慣用側： $F_{(2,28)} = 20.23$ ， $p < .01$ ；非慣用側： $F_{(2,28)} = 17.73$ ， $p < .01$ )，事後比較結果皆顯示最大速度下，側傾角小於控制速度。

**表 4-13**

下軀幹慣用側傾角度單純主要效果檢定摘要表

單純主要效果	SS	自由度	平均值平方	F	顯著性	事後比較
游泳速度*						
優秀組選手	785.83	2	392.91	20.23	.000*	(2) > (3)
次優秀組選手	66.97	2	33.48	1.72	.197	
誤差(殘差)	543.59	28	19.41			
選手層級*						
中等速度	8.35	1	8.35	0.09	.755	
控制速度	186.93	1	186.93	2.20	.145	
最大速度	56.62	1	56.62	0.66	.418	
誤差(殘差)	3558.77	42	84.73			

註：(1)中等速度組；(2)控制速度；(3)最大速度

**表 4-14**

下軀幹非慣用側傾角度單純主要效果檢定摘要表

單純主要效果	SS	自由度	平均值平方	F	顯著性	事後比較
游泳速度*						
優秀組選手	659.06	2	329.53	17.73	.000*	(2) > (3)
次優秀組選手	127.29	2	63.64	3.42	.047	
誤差(殘差)	520.37	28	18.58			
選手層級*						
中等速度	1.95	1	1.95	0.03	.852	
控制速度	155.56	1	155.56	2.80	.101	
最大速度	28.14	1	28.14	0.50	.480	
誤差(殘差)	2328.76	42	55.45			

註：(1)中等速度組；(2)控制速度；(3)最大速度

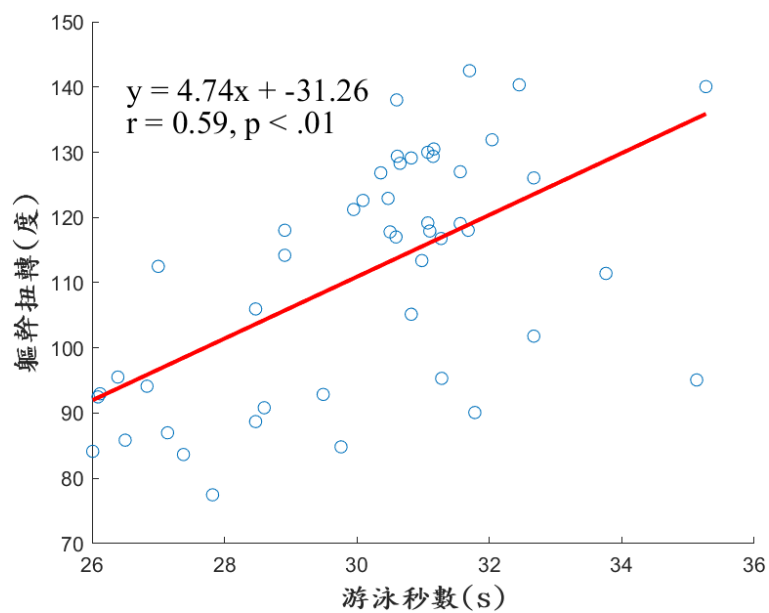
#### 第四節 軀幹扭轉角度

優秀與次優秀組選手不同速度軀幹扭轉角，如表 4-15 所示。優秀組與次優秀組最小軀幹扭轉皆發生於最大速度衝刺下，最大軀幹扭轉優秀組於控制速度發生，次優秀組於中等速度發生，並且軀幹扭轉角度與游泳秒數有強烈的正相關 ( $r = .59, p < .01$ )。

**表 4-15**  
不同組別選手於不同速度下，軀幹扭轉角度(度)

	N	平均值	標準差
中等速度組			
優秀	8	118.94	16.03
次優秀	8	122.52	9.81
總計	16	120.73	12.97
控制速度組			
優秀	8	124.94	12.32
次優秀	8	115.60	14.91
總計	16	120.27	14.06
最大速度組			
優秀	8	88.94	4.58
次優秀	8	98.48	15.81
總計	16	93.71	12.27

**圖 4-4**  
軀幹扭轉角度與游泳秒數散佈圖



二因子混合設計變異數分析結果，如表 4-16 所示。組內與組間交互作用達顯著 ( $F_{(2,42)} = 4.41$ ,  $p < .05$ ,  $\eta^2 = .24$ )。兩因子交互作用下，軀幹扭轉具有顯著差異，且可以解釋扭轉角度 24% 的變異量。

**表 4-16**

軀幹扭轉角度二因子混合設計變異數分析摘要表

變異來源	SS	自由度	平均值平方	F	顯著性	$\eta^2$
選手層級(獨立因子)	19.06	1	19.06	0.05	.814	.004
游泳速度(相依因子)	7658.80	2	3829.41	45.38	.000*	.764
選手層級 x 游泳速度	744.98	2	372.48	4.41	.022*	.240
組內	6986.30	42				
受試者間	4623.81	14	330.27			
殘差	2362.46	28	84.37			
全體	15409.10	47				

單純主要效果檢定，如表 4-17 所示。優秀與次優秀選手於不同游泳速度組別，軀幹扭轉角度具有顯著差異。優秀選手於最大速度組扭轉角度最低，中等速度與控制速度之間則無差異 ( $F_{(2,28)} = 35.27$ ,  $p < .01$ )。次優秀選手在最大速度組角度低於中等速度組，其餘皆無差異 ( $F_{(2,28)} = 14.52$ ,  $p < .01$ )。

**表 4-17**

軀幹扭轉角度單純主要效果檢定摘要表

單純主要效果	SS	自由度	平均值平方	F	顯著性	事後比較
游泳速度*						
優秀組選手	5952.16	2	2976.08	35.27	.000*	(1)>(3);(2)>(3)
次優秀組選手	2451.64	2	1225.82	14.52	.000*	(1)>(3)
誤差(殘差)	2362.46	28	84.37			
選手層級*						
中等速度	51.33	1	51.33	0.30	.581	
控制速度	348.84	1	348.84	2.09	.155	
最大速度	363.85	1	363.85	2.18	.147	
誤差(殘差)	6986.27	42	166.34			

註：(1)中等速度組；(2)控制速度；(3)最大速度

## 第五章 討論

本研究主要目的為探討不同前進速度對軀幹側傾角度之影響，並釐清不同的游泳層級選手於不同速度，兩因子對軀幹傾角的變化與交互狀況。對此本研究共提出三個假設，第一點「相同游泳速度下，高層級選手上、下軀幹側傾角較小」，第二點「軀幹側傾角度主要受到選手技能水平影響」，第三點「軀幹的扭轉幅度會因選手技能水平不同而有所差異」。本章節將依序討論三點假設結果。

### 第一節 相同游泳速度下側傾角度變化

本研究將兩組選手於三種不同速度下進行 50 公尺捷泳，控制速度目標介於中等速度與最大速度之間，Yanai (2003) 研究中測得的受試者次最大速度為 1.6 m/s。與 Psycharakis 與 Sanders (2008) 研究中受試者在 200 公尺衝刺達到的最大速度相近。基於這個原因，將此作為控制速度標準，不僅便於與先前的研究進行比較，也更貼近中距離游泳比賽中常見的速度模式。其中控制速度要求兩組受試者平均速度維持在，其目的在於確認不同層級選手在相同速度時，其軀幹傾角參數是否可以表現出技術水平之差異。

本研究結果顯示，上軀幹(慣用側：114 度；非慣用側：123 度)和下軀幹(慣用側：40 度；非慣用側：35 度)的傾角數值明顯高於 Psycharakis 與 Sanders (2008) 所報告的數據(上軀幹：57 度；下軀幹：22 度)。這種差異可能源於不同測量方法的使用。過往研究使用傳感器測量 (Barden & Barber, 2022；Vila Dieguez et al., 2022)，軀幹傾角的數值通常會比使用影像分析系統測量的數值大。影像分析系統在測量滾轉角度時需從正面進行拍攝，這可能因為肩部和髖部的遮蔽問題而導致誤差。相反，傳感器雖然對安裝

位置和訊號雜訊敏感，可能也會造成一定的誤差，Daukantas 等 (2011)使用互補濾波器進行角度運算與影像資料驗證後得到十分良好的結果。儘管傳感器和影像分析系統得出的具體數值可能不同，但它們在評估軀幹傾角的整體趨勢上是一致的，能夠作為分析有泳動作的有效工具。

進一步比較發現，兩組選手在相同的控制速度下，僅有上軀幹慣用側傾角優秀組顯著大於次優秀組(優秀組： $131\pm 19.5$ 度；次優秀組： $98.6\pm 19.5$ 度)，雖然其他軀幹參數沒有顯著差異，但以敘述性統計可以看出依然有優秀組大於次優秀組的趨勢，與研究假設呈現相反的結果。比對過去文獻，軀幹的傾角變化可能由兩種狀況造成影響，Castro 等 (2007)認為與選手技能水平相關，技術優秀的選手前進時擁有較佳的穩定性，能夠有較小傾角幅度。然而，Yanai (2003)則認為軀幹傾角減少，主因是游泳者透過減少軀幹旋轉的幅度使划水頻率增加。本次實驗結果表明，在相同速度下優秀組軀幹傾角皆有大於次優秀組選手的趨勢，與 Castro 等 (2006)的觀點不同，相同速度下，軀幹傾角的差異與選手的技能水平以及軀幹穩定性沒有直接的關聯。此外，次優秀組划手頻率大於優秀組選手，並且由相關性分析可以發現，軀幹傾角與划手頻率皆有高度的負相關，次優秀組選手在控制速度下使用較高的划手頻率，因此為了減少划手過程中的時間消耗，軀幹側傾角度降底，以便加快划手速度，此發現與 Yanai (2003)的觀點相同。

雖然划手頻率與軀幹傾角彼此間有強烈的相關性，並且相同速度下使用較低的划頻，可以代表更良好的前進效率，不同游泳層級與三種游泳速度間的交互作用在軀幹多個傾角參數中有達顯著。因此，無法將此視為評斷選手間技能水平最直接的標準，必須交叉考量技能水平與游泳速度間對於軀幹傾角的影響。

## 第二節 不同層級選手於不同速度下側傾角度變化

過去研究大多僅針對選手層級或游泳速度單因子進行實驗分析，其結果難以辨別影響軀幹傾角的主要原因為何。本研究同時觀測軀幹傾角於兩因子作用下之變化，結果發現軀幹傾角受到選手層級與游泳速度交互作用影響，並且傾角參數在優秀組選手內有呈現出較明顯的差異性。這表明游泳者在不同速度下的身體動作調整可能與他們的技能水平有關，優秀組選手在技術動作的調整以適應不同速度時表現出更高的靈活性和適應性。

上軀幹側傾角度，Psycharakis 等 (2008) 報告指出隨游泳速度增加，傾角沒有任何變化與 Yanai (2003) 的數據相反，對此 Psycharakis 提出可能的解釋是兩項研究中參與者水平的差異 (Psycharakis：國家隊成員、Yanai：大專運動員)，儘管技能對身體滾動的影響尚未明確，但先前 Cappaert 等 (1995) 研究的證據表明，技能可能會影響上軀幹和下軀幹的傾角幅度和模式。對此，Anderson 等 (2020) 同樣收取國家代表隊選手軀幹傾角變化，得到與 Psycharakis 一樣的結果，並認為選手在高速狀態下透過增加轉動速度來提升頻率，而不是犧牲傾角幅度。然而，本研究結果顯示，上軀幹在最大速度下有較小的傾角，其中慣用側交互作用表明，不同游泳速度下優秀組選手有明顯的差異變化，反之次優秀組沒有任何差別，這結果證實 Cappaert 的觀點，不同的技能水平確實會影響傾角變化。並且上軀幹傾角數據與划手頻率高度的負相關的結果，優秀組選手透過減少上軀幹的傾角以提升划手頻率。本結果與 Psycharakis 和 Anderson 實驗相異的原因推測是由於先前研究未將划手頻率考慮在內，而造成的實驗誤差，上軀幹傾角與划頻的高相關性也證實傾角並不完全因游泳速度而產生變化。

下軀幹側傾角度，慣用側與非慣用側皆達交互作用，結果顯示優秀組選手於最大衝刺速度下有較小的傾角幅度，雙側傾角與游泳速度有低度正相關，且與划手頻率有高度正相關，此結果與過去文獻發現一致，Sanders 與 Psycharakis (2009) 認為下軀幹傾

角下降的原因為下肢踢水所造成的扭矩，使傾角受到限制。Psycharakis 與 Sanders (2008) 對於下軀幹的報告中也指出，相較於 200 公尺配速，選手在衝刺其間會隨著速度提升，增加打水頻率，作用在下軀幹的打腿的扭矩，在衝刺配速時較大，這現象可能有助於減少游泳速度提升時下軀幹的滾動。以此觀點評斷，下軀幹在整體活動期間主要擔任穩定的工作，Kwok 等 (2023) 指出軀幹肌肉可能不會直接有助於運動表現。然而，沒有核心肌群的參與，動力鏈就無法完成。下軀幹附近大多以髖關節肌群為主，Martens 等 (2015) 指出腹直肌在捷泳過程中活化較低，主要是作為穩定器的功用，優秀選手需要足夠的核心穩定性來平衡上下肢所產生的力量。隨後 Andersen 等 (2023) 驗證了這個概念，比較髖部肌群對軀幹滾轉的影響，並指出此些肌群最主要功用為維持軀幹穩定而非主動扭轉軀幹，能使游泳者在動作中更好的控制四肢運動，從而提升划手頻率與前進速度。此觀點解釋下軀幹傾角與划手頻率高度負相關的關係。

### 第三節 軀幹扭轉參數

由上述可以得知，優秀組選手上、下軀幹傾角分別在最大速度下有降低的表現，上軀幹透過更小的傾角使划手頻率增加，並且髖關節肌群作用降低下軀幹傾角，使動力鏈能夠更好的傳遞並維持划手頻率。透過觀察上、下軀幹之夾角變化，發現隨速度提升軀幹扭轉角度也有下降的趨勢，Cappaert 等 (1995) 認為軀幹扭轉的幅度會影響前進時身體截面積，從而增加阻力，菁英選手應該有較低的軀幹扭轉。Psycharakis 與 Sanders (2008) 報告中也指出試驗中較快的受試者擁有較低的軀幹扭轉，此參數可能與技能水平相關，但本研究結果發現軀幹扭轉角度兩因子間達交互作用，在不同的速度下，優秀組與次優秀組之間皆無差異，且兩組選手組內分別於不同速度時展現出扭轉差異。並且扭轉角度與游泳秒數和划手頻率之間高度的相關性，表明了軀幹扭轉角度無法直接作為衡量選手技術水平的標準，扭轉角度的變異受到划手頻率與游泳速度的

影響較大，並且組內相依因子個別達顯著差異，代表此參數受到不同選手間變異性的影響。使用此參數評估游泳技術和訓練方法時，需要考慮軀幹扭轉角度與其他因素（如划手頻率和游泳速度）的相互作用，以及個體間的差異性。



## 第陸章 結論與建議

### 結論

觀察兩組選手在三種不同游泳速度的軀幹傾角表現，發現相同的控制速度下，優秀組選手上軀幹的慣用側傾角顯著大於次優秀組，且其他軀幹傾角參數表明技術水平可能影響傾角變化。但軀幹傾角與划手頻率呈現高度負相關和交互作用的影響，研究結果發現透過更小上軀幹的傾角能使划手頻率增加，並且核心肌群作用降低下軀幹傾角，使動力鏈能夠更好的傳遞並維持划手頻率。表明其角度變化不能視為技能水平最直接的標準，這與先前研究提出的觀點一致。單純主要效果檢定的分析顯示，這些參數受到選手層級與游泳速度的交互作用影響，雖然兩組別之間顯示了不同的傾角變化模式。然而，由於軀幹傾角與游泳秒數和划手頻率的高度相關，代表其參數與技能水平並沒有最直接的關係，無法直接作為衡量技術水平的唯一標準。軀幹傾角分析需考量技能水平、游泳速度與划手頻率等因素的相互作用，能提供選手分析自身技術變化，但不適合用以評斷不同選手之間的技能水平。

### 建議

本研究可應用在未來捷泳技術動作分析，但仍需注意傳感器偵測角度比較傳統影像分析系統普遍有較大的趨勢，與過往研究比較，上軀幹傾角容易受到安裝位置而影響，還需仰賴未來實驗校正。此外，本次實驗中發現參數之間相關性極高，但變異數分析結果不盡相同，推測是因個體變異性較大並且樣本數量不足而造成誤差，後續研究必須加以改善。

## 參考文獻

- 胡程鈞、蕭新榮、湯文慈 (2011)。身體滾轉對自由式游泳運動表現之影響。大專體育, 113, 42-48。 <https://doi.org/10.6162/SRR.2011.113.07>
- 劉康田、張淳皓、孟範武、何金山 (2013)。影像分析與慣性裝置運用於游泳划手動作分析之探討。嘉大體育健康休閒期刊, 12(3), 310-316。  
<https://doi.org/10.6169/NCYUJPEHR.12.3.30>
- Andersen, J. T., Sinclair, P. J., McCabe, C. B., & Sanders, R. H. (2020). Kinematic Differences in Shoulder Roll and Hip Roll at Different Front Crawl Speeds in National Level Swimmers. *Journal of strength and conditioning research*, 34(1), 20–25.  
<https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000003281>
- Andersen, J., Sinclair, P., Fernandes, R. J., Vilas-Boas, J. P., & Sanders, R. (2023). Is torso twist production the primary role of the torso muscles in front crawl swimming? *Sports biomechanics*, 22(12), 1602–1616. <https://doi.org/10.1080/14763141.2021.1925334>
- Arellano, R., Lopez-Contreras, G., & Sanchez-Molina, J. A. (2003). Qualitative evaluation of technique in international Spanish junior and pre-junior swimmers: An analysis of error frequencies. In J. C. Chatard (Ed.), *Biomechanics and medicine in swimming IX* (pp. 87–92). St Etienne: University of St Etienne Publications
- Barden, J. M., & Barber, M. V. (2022). The Effect of Breathing Laterality on Hip Roll Kinematics in Submaximal Front Crawl Swimming. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 22(6), 2324. <https://doi.org/10.3390/s22062324>
- Cappaert, J.M., Pease, D.L., & Troup, J.P. (1995). Three-Dimensional Analysis of the Men's 100-m Freestyle During the 1992 Olympic Games. *Journal of Applied Biomechanics*, 11(1), 103-112. <https://doi.org/10.1123/jab.11.1.103>
- Castro, F.S., Villas-Boas, J.P., & Guimarães, A.C. (2007). Effects of swimming intensity and breathing in front crawl body roll angles for swimmers and triathletes. *Brazilian Journal of Biomechanics*, 7(13), 85-90.
- Chatard, J. C. (Ed.). (2003). *Biomechanics and Medicine in Swimming IX: Proceedings of the IXth World Symposium on Biomechanics and Medicine in Swimming*. University of Saint-Etienne.
- Chollet, D., Chabies, S., & Chatard, J. C. (2000). A new index of coordination for the crawl: description and usefulness. *International journal of sports medicine*, 21(1), 54–59.  
<https://doi.org/10.1055/s-2000-8855>
- Chollet, D., Pelayo, P., Delaplace, C., Tourny, C., & Sidney, M. (1997). Stroking characteristic variations in the 100-M freestyle for male swimmers of differing skill. *Perceptual and motor skills*, 85(1), 167–177. <https://doi.org/10.2466/pms.1997.85.1.167>
- Counsilman, J.E. (1968). *The science of swimming*. Prentice Hall.
- Daukantas, S., Marozas, V., Lukosevicius, A., Jegerlevicius, D., & Kybartas, D. (2011),

- September 15-17). *Video and inertial sensors based estimation of kinematical parameters in swimming sport*. In Proceedings of the 6th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems. Prague, Czech Republic. <https://doi.org/10.1109/IDAACS.2011.6072785>
- Félix, E. R., Silva, H. P. D., Olstad, B. H., Cabri, J., & Correia, P. L. (2019). SwimBIT: A Novel Approach to Stroke Analysis During Swim Training Based on Attitude and Heading Reference System (AHRS). *Sports (Basel, Switzerland)*, 7(11), 238. <https://doi.org/10.3390/sports7110238>
- Gatta, G., Cortesi, M., & Di Michele, R. (2012). Power production of the lower limbs in flutter-kick swimming. *Sports biomechanics*, 11(4), 480–491. <https://doi.org/10.1080/14763141.2012.670663>
- Kudo, S., Mastuda, Y., Yanai, T., & Sakurai, Y. (2021). Forwards-backwards hand velocity induced by the upper trunk rotation in front crawl strokes and its association with the stroke frequency. *Journal of sports sciences*, 39(15), 1669–1676. <https://doi.org/10.1080/02640414.2021.1892266>
- Kudo, S., Sakurai, Y., Miwa, T., & Matsuda, Y. (2017). Relationship between shoulder roll and hand propulsion in the front crawl stroke. *Journal of sports sciences*, 35(10), 945–952. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1206208>
- Kwok, W. Y., So, B. C. L., & Ng, S. M. S. (2023). Underwater Surface Electromyography for the Evaluation of Muscle Activity during Front Crawl Swimming: A Systematic Review. *Journal of sports science & medicine*, 22(1), 1–16. <https://doi.org/10.52082/jssm.2023.1>
- Lee, J., Mellifont, R., Winstanley, J., & Burkett, B. (2008). Body roll in simulated freestyle swimming. *International journal of sports medicine*, 29(7), 569–573. <https://doi.org/10.1055/s-2007-989285>
- Liu, Q., Hay, J. G., & Andrews, J. G. (1993). Body Roll and Handpath in Freestyle Swimming: An Experimental Study. *Journal of Applied Biomechanics*, 9(3), 238-253. Retrieved Jul 23, 2024, from <https://doi.org/10.1123/jab.9.3.238>
- Martens, J., Daly, D., Deschamps, K., Fernandes, R. J., & Staes, F. (2015). Intra-Individual Variability of Surface Electromyography in Front Crawl Swimming. *PloS one*, 10(12), e0144998. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0144998>
- Ohgi, Y. (2002, June). *Microcomputer-based acceleration sensor device for sports biomechanics-stroke evaluation by using swimmer's wrist acceleration*. [Poster presentation]. SENSORS, 2002 IEEE, Orlando, FL, USA. <https://doi.org/10.1109/ICSENS.2002.1037188>
- Ohgi, Y., Ichikawa, H., Homma, M., & Miyaji, C. (2003). Stroke phase discrimination in breaststroke swimming using a tri-axial acceleration sensor device. *Sports Engineering*, 6(2), 113-123. <https://doi.org/10.1007/BF02903532>
- Ohgi, Y., Yasumura, M., Ichikawa, H., & Miyaji, C. (2000). Analysis of stroke technique using acceleration sensor IC in freestyle swimming. *The engineering of sport: Research, development and innovation*, 250, 503-511.

- Pansiot, J., Lo, B., & Yang, G. Z. (2010, June). *Swimming stroke kinematic analysis with BSN*. In 2010 International Conference on Body Sensor Networks, Singapore. <https://ieeexplore.ieee.org/document/5504746>
- Payton, C. J., Bartlett, R. M., Baltzopoulos, V., & Coombs, R. (1999). Upper extremity kinematics and body roll during preferred-side breathing and breath-holding front crawl swimming. *Journal of sports sciences*, *17*(9), 689–696. <https://doi.org/10.1080/026404199365551>
- Payton, C., Baltzopoulos, V., & Bartlett, R. (2002). Contributions of Rotations of the Trunk and Upper Extremity to Hand Velocity during Front Crawl Swimming. *Journal of Applied Biomechanics*, *18*(3), 243–256. <https://doi.org/10.1123/jab.18.3.243>
- Psycharakis, S. G., & Sanders, R. H. (2008). Shoulder and hip roll changes during 200-m front crawl swimming. *Medicine and science in sports and exercise*, *40*(12), 2129–2136. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31818160bc>
- Psycharakis, S. G., & Sanders, R. H. (2010). Body roll in swimming: a review. *Journal of sports sciences*, *28*(3), 229–236. <https://doi.org/10.1080/02640410903508847>
- Rouboa, A., Silva, A., Leal, L., Rocha, J., & Alves, F. (2006). The effect of swimmer's hand/forearm acceleration on propulsive forces generation using computational fluid dynamics. *Journal of biomechanics*, *39*(7), 1239–1248. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2005.03.012>
- Sanders, R. H., & Psycharakis, S. G. (2009). Rolling rhythms in front crawl swimming with six-beat kick. *Journal of biomechanics*, *42*(3), 273–279. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2008.10.037>
- Seifert, L., Toussaint, H. M., Alberty, M., Schnitzler, C., & Chollet, D. (2010). Arm coordination, power, and swim efficiency in national and regional front crawl swimmers. *Human movement science*, *29*(3), 426–439. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2009.11.003>
- Toussaint, H., & Truijens, M. (2005). Biomechanical aspects of peak performance in human swimming. *Animal Biology*, *55*(1), 17–40. <https://doi.org/10.1163/1570756053276907>
- Vila Dieguez, O., & Barden, J. M. (2022). Body roll differences in freestyle swimming between swimmers with and without shoulder pain. *Sports biomechanics*, *21*(10), 1277–1290. <https://doi.org/10.1080/14763141.2020.1760923>
- Yanai T. (2003). Stroke frequency in front crawl: its mechanical link to the fluid forces required in non-propulsive directions. *Journal of biomechanics*, *36*(1), 53–62. [https://doi.org/10.1016/s0021-9290\(02\)00299-3](https://doi.org/10.1016/s0021-9290(02)00299-3)
- Yanai, T., & Hay, J. G. (2000). Shoulder impingement in front-crawl swimming: II. Analysis of stroking technique. *Medicine and science in sports and exercise*, *32*(1), 30–40. <https://doi.org/10.1097/00005768-200001000-00006>
- Yanai, T., & Hay, J. G. (2000). Shoulder impingement in front-crawl swimming: II. Analysis of stroking technique. *Medicine and science in sports and exercise*, *32*(1), 30–40. <https://doi.org/10.1097/00005768-200001000-00006>