

捷泳划手技巧之重要因素探討

李靜雯、李至斌
國立臺北大學體育室

摘要

游泳中的捷式，俗稱自由式，是游泳比賽四個泳姿中速度最快的，也是比賽項目最多的一種泳姿，選手除了要保持流線型泳姿以減少阻力外，還須注意划手動作以增加推進力。本文的目的在探究捷泳划手動作的相關文獻，藉此了解影響整個划手動作的重要因素。經由相關文獻的統整可得到以下三個划手時的重點：一、水中划手動作有二次的加速，分別在內划和上划階段。內划階段主要是靠肩的關節轉動，而上划階段主要是靠肩和肘的關節轉動，來增進推水速度；二、划手動作和身體的滾動需互相配合，如此不但可使前進的阻力較小，也可同時增加划手向後推時加速的一致性；三、多數的研究結果指出在推水時手指微微張開會比完全併攏可產生較大的推進力量。在許多捷泳划手相關的實驗性研究中，尚未看到有針對水中動作的划手深度、手肘彎曲程度或加速策略的相關技巧探討，這些課題也許可作為進一步研究的思考方向。

關鍵詞：生物力學、加速度、手指張開、身體滾動

通訊作者：李靜雯

E-mail：carollee@mail.ntpu.edu.tw

DOI：10.53106/2226535X2024011301002

壹、緒論

游泳是一項耗費體力的運動，必須在水中用力的移動肢體讓身體前進，要能夠游得快，除了可以在水中保持流線型以降低阻力外，更積極的做法就是增加在水中的推進力。而要如何增加在水中的推進力呢？這可以從動作技巧的提升、肌肉和心肺適能的強化來同時進行。其中技巧的提升，也就是在肢體的位置、速度變化或力量分配上做一些修正，這技巧的精進，可藉由學者們在生物力學領域的游泳相關研究，以客觀的數據驗證來找到減少阻力及增加推進力的技巧，而不是憑藉經驗法則來指導，相信這對游泳表現是有正向的幫助。

四個游泳競賽泳姿有：蝶式 (butterfly stroke)、仰式 (back stroke)、蛙式 (breast stroke) 和自由式 (freestyle)，其中在自由式項目，選手們都是以最快的泳姿——捷泳 (front crawl stroke) 來參賽，故一般都把捷泳稱為自由式。捷泳不但速度快，動作也符合人體力學，因此游起來最有效益 (Sanders & McCabe, 2015)，這也是為什麼比賽 1500 公尺自由式時，選手仍然用捷泳這個泳姿來參賽。此外，選手們在練習時，大多數的練習量都是以自由式來進行的 (Virag et al., 2014)。也就是說選手在比賽中，除混合式外 (四式皆要游)，有超過一半的項目都是以捷泳參賽，而練習時捷泳也佔有很大的泳姿比例，由此可見其重要性。

在捷泳的眾多相關研究中，有許多種類型：如跳水出發、轉身、不同比賽距離的配速、划手技巧、踢腿、器材，甚至是和不同泳姿的比較等，十分多樣。其中捷泳泳姿是整個捷泳比賽過程的主體，早在三十多年前就已經證實捷泳中划手的貢獻多於踢腿 (Hollander et al., 1988)，接著亦有一些研究證實此論點 (Bartolomeu et al., 2018; Cohen et al., 2018; Morouco et al., 2015)。Morouco 等 (2015) 提出手和腳的相對貢獻比例約 7 : 3，Cohen 等 (2018) 則指出隨著捷泳划手頻率的增加 (速度亦增加)，手臂對游泳的貢獻相對於腳也隨之增加。由此可知，划手動作相較於踢腳來說，不但重要且其重要性更隨著速度的增加而加大。

綜合前述原因可知，游泳動作技巧的強化對推進力的提升是很重要的方法之一，而游泳中捷式是最基礎的一項泳姿，其中划手動作又相對地重要，故以下將針對捷泳划手技巧的相關文獻統整後做進一步的討論。

貳、划手動作之重要技巧

一、划手動作的加速

(一) 划手動作的分期

若把捷泳划手動作從入水向前伸直當作每次划手循環的開始和結束，大部分研究的分期都大同小異，雖然在每階段的時間比例，甚至路徑曲線型態不一定一致 (Liu et al., 1993)，但大致上可分為以下各階段 (Maglischo, 1994)：

階段 1：入水伸展 (entry and stretch)

階段 2：下划抓水 (downsweep and catch)

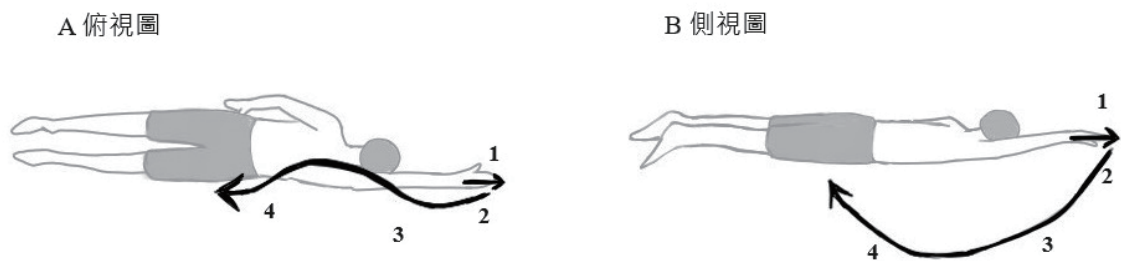
階段 3：內划 (insweep，俗稱抱水)

階段 4：上划 (upsweep，俗稱推水)

階段 5：出水空中回復 (release and recovery)

Ohgi 等 (2002) 同時以攝影機和綁在手腕上的加速規來驗證 Maglischo (1994) 的分期，結果顯示捷泳划手動作的各階段是可以藉由加速規來辨別的。階段 1~4 為在水中划水，整個手臂從在頭前方入水後，一直推到大腿旁，第 5 階段為空中回復動作。如圖 1，以右手為例，A 圖為從上方、B 圖為從右側方看選手划手的水中路徑，箭頭方向為划手的方向，數字則為各階段的位置。

圖 1
捷泳右手划手水中路徑



(二) 划手加速的時機與效益

Schleihaufl 等 (1988) 指出，選手在水中推進期時有些顯示出單一速度峰值的型態 (one-peak velocity pattern)，而有些則是二次速度峰值的型態 (two-peak velocity pattern)。也就是說有些選手在水中划手階段，產生一次的加速，而有些則是有二次的加速。之後 Maglischo (2003) 更進一步分析世界短水道短距離選手的划手與身體速度，發現身體在水中有 2 個加速期：分別是手從 2~3 階段與 4 的後半階段；而當手在 3 轉到 4 階段時，反而是減速的。這樣的結果在之後的許多研究中也得到證實 (林謙如, 2022; Cohen et al., 2015; Gonjo et al., 2020; Gourgoulis et al., 2015; van Houwelingen et al., 2017a)。林謙如 (2022) 以奧運選手為個案分析不同泳速 (70%、80%、90% 和 100%) 的划手加速度，發現選手不僅僅在划手時保持向後方向的加速度，同時在左右方向的加速度也相當明顯。Cohen 等 (2015) 以國家級的女選手為受試者，攝影後再以電腦模擬選手不換氣的動作。研究結果顯示選手水中划手時左右手的速度峰值不一定一致，選手右手在內划及上划階段各有一次加速；而左手的加速則不若右手明顯，這和林謙如 (2022) 的研究結果相同。除了左右兩手加速的不一致外，Cohen 等亦指出，兩手加速出現的相對時間亦不同，且空中動作較水中動作的速度快且有一速度峰值，也就是有加速的現象。另外，在加速的效益上，Kudo 等 (2013) 以機器手臂在流水槽中實驗，研究中以力量傳感器來測得手部在推水時的拖曳力 (drag force) 和昇力 (lift force)，並以 1m/s 和 1.5m/s 的流速分別仿造約 50% 和 75% 真實比賽速度。結果指出在流速 1.5m/s 的狀況下，划手動作在加速手的流體動力變化是沒有加速手的 1.7~25 倍之多，這說明了水中划手時加速的重要性。

在划手各階段推進力貢獻的組成上，Cohen 等 (2015) 指出手部在各階段產生的推進力是結合昇力和拖曳力，其研究結果發現在內划階段時主要是拖曳力對推進力的貢獻；而內划階段結束後則主要是昇力在主貢獻著推進力。Gourgoulis 等 (2015) 以十位女性選手為受試者，分析不換氣且無踢腿的划手動作，研究中使用四台攝影機求得運動學參數後再代入阻力公

式，並針對捷泳划手手部加速及拖曳力和昇力的相對貢獻來研究。結果指出在水中划水過程中，有加速時的推水阻力明顯大於沒有加速的狀況（尤其在本研究中的階段 3 後期和階段 4 差異最大）。另外，划水的中期也就是階段 2~3 主要的推進力是靠拖曳阻力；而上划階段（階段 4）則主要靠的是昇力（和 Cohen 等的研究結果相同）。Gourgoulis 等也建議，為了要達到使合力向前的目的，選手在水中開始向後推水時要致力於手的加速，且在推水內划期手掌要盡量朝向後方地確實壓到水，再接著上划期繼續朝後、朝外、朝上的動作。

（三）手部速度的貢獻來源

二十多年前，Payton 等 (2002) 即指出，選手在捷泳的內划動作時，肩部的關節轉動（解剖學中肩關節的伸展動作）對於手的向前直線速度是有貢獻的。近年來，仍陸續有學者從事相關研究 (Gonjo, et al., 2020; Kudo et al., 2017; Kudo et al., 2021)，Gonjo 等 (2020) 是研究捷泳和仰泳的差異，而 Kudo 等 (2017) 則以 16 位高技巧選手為受試者，以陸上和水中攝影機在流水槽中拍攝選手不換氣衝刺時肩和手部的動作，藉此得到運動學參數，另划手時壓力值的資料來自手掌上的壓力偵測器。接著以數學公式的運算得到手部推進力的估計值，藉此評估手部推進力在上划階段是否大於內划階段，以及肩的角速度和手的推進力之關聯性。結果指出在前後方向的手部速度、手的加速和攻角在內划階段明顯大於上划階段。肩關節在上划階段向後的轉動角速度（此處亦指肩的伸展動作）越快，手的昇力推進也越大。也就是在上划階段時做快速的肩關節轉動來增加肩的角速度，進而增加上划階段手的推進昇力。Kudo 等 (2021) 指出在內划階段時肩關節對手部速度的貢獻遠大於軀幹、肘和腕關節，此階段最主要的貢獻者是肩關節的轉動，其次是軀幹滾動，肘關節在此階段並沒有貢獻；上划階段時最主要的貢獻者為肩和肘關節的轉動，貢獻比例差不多，皆大於軀幹滾動；出水空中回復階段則以肩的貢獻為最顯著。

根據前述研究可得知，手在水中產生的推進力是靠著手推水的加速，而不只是平順的推完動作而已。在捷泳水中划手階段有 2 個加速期：一個是內划階

段，此階段的推進力主要是拖曳力，手掌要確實地向後推水（這也說明了游泳水中高手肘技巧的重要），需著重於肩關節的轉動（肩關節伸展）；另一個是上划階段，此階段的推進力主要是昇力的貢獻，須強調加速肩和肘的關節轉動（肩和肘關節伸展），這會更加地有助於手部的推水速度。

二、划手時身體的滾動

在捷泳動作中，身體軀幹會在划手時以身體長軸 (longitudinal axis) 為中心軸做上下擺動的旋轉動作，我們稱之為身體的滾動 (body roll)。身體滾動除了選手軀幹的主動滾動外，還有一個主要的力學外力來源，就是浮力矩 (buoyancy torque)。當一邊的上肢越過水面而另一邊在做水中推水時，身體浮力中心會移動，這現象會對位於身體長軸上的重心造成一個旋轉的影響，這就是浮力矩 (Gonjo et al., 2021)。這身體滾動的技巧會提升游泳時的推進力和降低水中的阻力 (胡程鈞等, 2011; Sanders & McCabe, 2015)，然而人體軀幹包含肩關節和髖關節，所以這二個關節在划手時也是繞著身體長軸做上下擺動旋轉的動作。

(一) 身體滾動的運動學現象

研究指出，在捷泳身體滾動時，肩和髖繞身體長軸的上下擺動旋轉，二關節的旋轉是同向的，也就是身體軀幹的同一側會一起朝同方向上下擺動旋轉，且肩部的旋轉範圍比髖部來得大。Gonjo 等 (2020) 以十位選手為受試者比較捷泳（不換氣）和仰泳的運動學差異，以攝影法得知捷泳的最大肩關節上下擺動旋轉範圍約是 54 度，髖是 34 度左右，仰泳也有旋轉範圍呈現肩大於髖的現象；在關節上下擺動旋轉的角速度上，二種泳姿也都是肩大於髖許多。這證明了在游捷泳時身體核心要保持穩定，不可使下半身任意地隨著身體的滾動左右搖擺，尤其是當身體疲勞時，很容易造成髖關節的上下擺動旋轉增加 (Psycharakis & McCabe, 2011; Psycharakis & Sanders, 2010)，身體的搖晃也隨之越大。Dieguez 與 Barden (2020) 以 24 位選手為受試者，12 位無肩部受傷，12 位的非換氣慣用邊曾有肩部疼痛。研究中將加速規放在肩和髖部，以三種不同速度捷泳游 100 公尺。結果顯示換氣邊的肩或髖最大身體旋轉角度上在組間並沒有不同；然而有肩痛的選手在非換氣邊之髖的上下擺動旋轉明顯較小，Dieguez 與 Barden 認為也

許髑的旋轉和肩的疼痛有著潛在的相關。

隨著游泳速度的增加，身體的滾動範圍也會減少 (Dieguez & Barden, 2020; Gonjo et al., 2021)。此外，不論在慢速、中速或快速度衝刺時，換氣邊軀幹（髑和肩關節）的上下擺動旋轉角度皆大於沒換氣邊 (Dieguez & Barden, 2020; Liu et al., 1993; Payton et al., 1999; Psycharakis & McCabe, 2011)。Payton 等 (1999) 研究換氣慣用邊和不換氣邊的差異，結果得知在 200 公尺配速游時，身體滾動角度最大是在下划的後期或是內划的最初期，換氣邊的身體滾動約為 66 度，明顯大於不換氣邊的 57 度；而換氣邊在划手整個水中階段的時間稍久、划手頻率稍慢、划幅雖較長但無明顯差異。綜上述研究可知，換氣確實會影響身體滾動角度的大小和划手的頻率，因此使用二邊換氣的策略可以達到划手二側在時間與動作上的平衡，對於運動表現也許有幫助。此外，在探討不同層級選手的身體滾動技術上，Marc 與 Gerhard (2012) 的研究結果顯示，成績較佳的選手在身體滾動上，每一次的滾動幅度都差不多，也就是穩定性較佳；初學者則是每次滾動的幅度皆有很大的變化。

（二）身體滾動的效益與貢獻

除了運動學上的比較外，最重要的是身體滾動對游泳推進力和速度有相當大的貢獻。在較近期的研究中進一步得到上肢動作對游泳前進貢獻的量化結果，Kudo 等 (2021) 以 15 位高技巧選手為受試者，先以攝影機在流水槽中拍攝選手不換氣衝刺時肩和手部的動作，藉此得到運動學參數。接著以上肢各肢段的運動學參數代入數學公式，藉此得知各肢段或關節轉動（關節轉動意指關節自身的旋轉動作）對前進速度的貢獻百分比（軀幹滾動、肩關節轉動、肘關節轉動和腕關節轉動對手掌向前速度的貢獻加起來為 100%）。結果指出軀幹滾動所導致之手部在前後方向的速度和划手頻率有正相關；軀幹滾動對手部速度的貢獻，在內划階段和上划階段分別為 28% 和 19%，對出水空中回復階段則有 19%。軀幹滾動在內划階段的貢獻，僅次於肩關節的轉動；在上划階段，其貢獻皆少於肩和肘關節的轉動。綜上述討論可知，在游捷泳時除了上肢的主動划水外，身體滾動對於前進

速度亦有貢獻。肩和髖關節會跟著身體滾動而繞身體長軸上下擺動旋轉，這身體的滾動可提升游泳時的推進力和降低水中的阻力，尤其是有助於在水中的二個划手加速期（內划階段貢獻為 28%，上划階段貢獻為 19%）。又身體滾動時肩的上下擺動旋轉角度大於髖，在疲勞時要特別注意髖關節的穩定性。

三、划手時手指併攏程度

在游泳時，手指也需用力來對抗阻力，手推水時阻力越大，代表著推進力也越大，對於身體前進的幫助也越大。這些年來有一些游泳的相關研究是針對推水時大拇指和手指的併攏程度來進行討論的。

以純粹實驗方法的研究有 Takagi 等 (2001) 和 Sidelnik 與 Young (2006)，Takagi 等 (2001) 在右手的模型上面劃分 88 個區塊放置壓力傳感器，並讓模型固定在風洞 (wind tunnel) 中，以 12m/s 的流速去測。最後將手掌表面的各壓力值代入阻力公式以求得昇力和拖曳力係數。Sidelnik 與 Young (2006) 則是以手的模型在水中移動，藉由力量傳感器來測得力量。以數值分析法的研究有 Marinho 等 (2010)、Minetti 等 (2009) 和 Vilas-Boas 等 (2015)。

(一) 大拇指併攏與否

在技巧上，對於大拇指併攏與否的研究並沒有定論，有學者 (van Houwelingen et al., 2017b; Vilas-Boas et al., 2015) 認為划手時手指或大拇指併攏程度的阻力會因為手掌和前臂的傾斜角度（也就是水流經過手掌的方向和角度）而改變，例如 Vilas-Boas 等的研究結果指出：大拇指和小指為前緣 (leading edge，最先遇到水流之處) 且攻擊角為 45 度和 90 度時，大拇指併攏會有較大的拖曳係數；大拇指為前緣時併攏，小指為前緣時大拇指稍微張開會有較大的昇力係數。Takagi 等 (2001) 認為大拇指張開大小對於壓力擾流有大的影響，手掌動作中以大拇指或小指做為前緣對於大拇指張開程度有不同的結果。以大拇指為前緣時，大拇指打開對於產生昇力有幫助，以小指為前緣時，大拇指併攏則可以產生較大昇力，也就是大拇指在水中推水的不同時期會有不一樣併攏程度的策略。

(二) 除大拇指外之另四手指併攏程度

而對於游泳時另四手指併攏程度也有不少研究，較多的研究顯示游泳時手指間微微張開划水會有較大的拖曳力或昇力 (Marinho et al., 2010; Minetti et al., 2009; Sidelnik & Young, 2006; van Houwelingen et al., 2017b; Vilas-Boas et al., 2015)。Sidelnik 與 Young 在十多年前即以實驗法研究了手指在不同併攏程度 (0 和 10 度) 時對手部動作在不同抓水角度 (20、30、40 和 50 度) 時的影響，實驗結果顯示不論在何種抓水角度時，手指微微張開 10 度都比緊緊併攏時產生的划水力量大；Minetti 等 (2009) 以模擬的方法研究八種不同手指張開程度的阻力係數，結果顯示手指微微張開約 12 度 (大約是休息時手的姿勢) 是最佳的。Marinho 等 (2010) 同樣以模擬的方法來研究，結果指出划手時將手指尖處微微張開約 0.23 公分比緊緊併攏或張開約 0.46 公分能夠產生較大的推進力。同樣地，Vilas-Boas 等 (2015) 以模擬的方法亦得到類似的結果：手指尖處微微張開約 0.32 公分比併攏或張大 0.64 公分會有較大的拖曳係數，但在昇力係數方面得視水流方向而定。

綜上各研究所述，可以得知游泳時並非手指用力完全併攏就能有最大的推進效果，而是要將手指間微微張開划水，這時的阻力，也就是推進力才是較大的。

參、結論

在捷泳划手技巧的相關研究中，可以得到以下結論：一、於水中划手推水時，在內划階段和上划階段要強調手的加速。內划階段主要是以肩關節的轉動來帶動整個上肢，上划階段則要強調加速肩和肘的關節轉動。二、水中划手的二次加速須和身體的滾動相配合，來使前進的效率增加。三、手指可微微張開而非一定要完全併攏。

在統整捷泳划手的相關研究時，對於划手技巧的部分細節尚未看到有更深入的研究，如內划階段的深度、向內側划的程度 (是否超過身體中線及手肘彎曲角度)，以及水中划手加速的型態 (峰值出現的相對時間) 和換氣慣用邊的相關性等。期待未來有研究可針對上述議題做進一步的探討，以提供給指導捷泳動作技巧上的參考。

參考文獻

- 林謙如 (2022)。自由式不同泳速的划手加速度分析:以奧運級選手為例。《運動教練科學》, 68, 22-37。 [https://doi.org/10.6194/SCS.202212_\(68\).0003](https://doi.org/10.6194/SCS.202212_(68).0003)
- 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>
- Bartolomeu, R. F., Costa, M. J., & Barbosa, T. M. (2018). Contribution of limbs' actions to the four competitive swimming strokes: a nonlinear approach. *Journal of Sports Sciences*, 36(16), 1836-1845. <https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1423608>
- Cohen, R. C. Z., Cleary, P. W., Mason, B. R., & Pease, D. L. (2015). The role of the hand during freestyle swimming. *Journal of Biomechanics Engineering*, 137(11): 111007. <https://doi.org/10.1115/1.4031586>
- Cohen, R. C. Z., Cleary, P. W., Mason, B. R., & Pease, D. L. (2018). Forces during front crawl swimming at different stroke rates. *Sports Engineering*, 21, 63-73. <https://doi.org/10.1007/s12283-017-0246-x>
- Dieguez, O. V., & 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>
- Gonjo, T., Fernandes, R. J., Vilas-Boas, J. P., & Sanders, R. (2020). Upper body kinematic differences between maximum front crawl and backstroke swimming. *Journal of Biomechanics*, 98(2), 109452. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2019.109452>
- Gonjo, T., Fernandes, R. J., Vilas-Boas, J. P., & Sanders, R. (2021). Body roll amplitude and timing in backstroke swimming and their differences from front crawl at the same swimming intensities. *Scientific Reports*, 11(1), 824. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80711-5>
- Gourgoulis, V., Boli, A., Aggeloussis, N., Antoniou, P., Toubekis, A., & Mavromatis, G. (2015). The influence of the hand's acceleration and the relative contribution of drag and lift forces in front crawl swimming. *Journal of Sports Science*, 33(7), 696-712. <https://doi.org/10.1080/02640414.2014.962571>
- Hollander, A. P., De Groot, G., van Ingen Schenau, G. J., Kahman, R., & Toussaint, H.

- M. (1988). Contribution of the leg to propulsion in front crawl swimming. In B. Urigerechts, K. Wilkie, & K. Reischle (Eds.), *International series on sport sciences, Vol 18, Swimming Science V* (pp.39-44). Human kinetics.
- 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 Science*, 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 Science*, 35(10), 945-952. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1206208>
- Kudo, S., Vennell, R., & Wilson, B. (2013). The effect of unsteady flow due to acceleration on hydrodynamic forces acting on the hand in swimming. *Journal of Biomechanics*, 46(10), 1697-1704. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2013.04.002>
- 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. <https://doi.org/10.1123/jab.9.3.238>
- Maglischo, E. W. (1994). *Swimming even faster*. Mayfield.
- Maglischo, E. W. (2003). *Swimming fastest*. Human kinetics.
- Marc, B., & Gerhard, T. (2012). Swimming performance and technique evaluation with wearable acceleration sensors. *Pervasive and Mobile Computing*, 8(1), 68-81. <https://doi.org/10.1016/j.pmcj.2011.05.003>
- Marinho, D. A., Barbosa, T. M., Reis, V. M., Kjendlie, P. L., Alves, F. B., Vilas-Boas, J. P., Machado, L., Silva, A. J., & Rouboa, A. I. (2010). Swimming propulsion forces are enhanced by a small finger spread. *Journal of Applied Biomechanics*, 26, 87-92. <https://doi.org/10.1123/jab.26.1.87>
- Minetti, A. E., Machtsiras, G., & Masters, J. C. (2009). The optimum finger spacing in human swimming. *Journal of Biomechanics*, 42, 2188-2190. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2009.06.012>
- Morouco, P. G., Marinho, D. A., Izquierdo, M., Neiva, H., & Marques, M. C. (2015). Relative contribution of arms and legs in 30s fully tethered front crawl swimming. *Biomed Re-*

- search International*, 1-6. <https://doi.org/10.1155/2015/563206>
- Ohgi, Y., Yasumura, M., Ichikawa, H., & Miyaji, C. (2002). Analysis of stroke technique using acceleration sensor IC in freestyle swimming. *Engineering of Sport*, 7, 503-511.
- Payton, C. J., Baltzopoulos, V., & Bartlett, R. M. (2002). Contributions of rotations of the trunk and upper extremity to hand velocity during front crawl swimming. *Journal of Applied Biomechanics*, 18, 243-256. <https://doi.org/10.1123/jab.18.3.243>
- 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 Science*, 17, 689-696. <https://doi.org/10.1080/026404199365551>
- Psycharakis, S. G., & McCabe C. (2011). Shoulder and hip roll differences between breathing and non-breathing condition in front crawl swimming. *Journal of Biomechanics*, 44(9), 1752-1756. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2011.04.004>
- 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>
- Sanders, R. H. & McCabe, C. B. (2015). Freestyle technique. In S. Riewald, & S. Rodeo (Eds.), *Science of swimming faster* (pp. 23-50). Human kinetics. <https://doi.org/10.5040/9781492595854.ch-002>
- Schleihauf, R. E., Higgins, J. R., Hinrichs, R., Luedtke, D., Maglischo, C., Maglischo, E., & Thayer, A. (1988). Propulsive techniques: front crawl stroke, butterfly, back stroke, and breaststroke. In B. Urigerechts, K. Wilkie, & K. Reischle (Eds.), *International series on sport sciences, Vol 18, Swimming Science V* (pp.53-60). Human kinetics.
- Sidelnik, N. O. & Young, B. W. (2006). Optimising the freestyle swimming stroke: the effect of finger spread. *Sports Engineering*, 9(3), 129-135. <https://doi.org/10.1007/BF02844114>
- Takagi, H., Shimizu, Y., Kurashima, A., Sanders, R. (2001, June 26). *Effect of thumb abduction and adduction on hydrodynamic characteristics of a model of the human hand* [Oral presentation]. XIX international symposium on biomechanics in sports, San Francisco, United States.
- Van Houwelingen, J., Schreven, S., Smeets, J. B. J., Clercx, H. J. H., & Beek, P. J. (2017a).

-
- Effective propulsion in swimming: grasping the hydrodynamics of hand and arm movements. *Journal of Applied Biomechanics*, 33(1), 87 - 100. <https://doi.org/10.1123/jab.2016-0064>
- Van Houwelingen, J., Willemsen, D. H. J., Kunnen, R. P. J., Heijst, G. F., Grift, E. J., Breugem, W. P., Delfos, R., Westerweel, J., Clercx, H. J. H., & Water, W. (2017b). The effect of finger spreading on drag of the hand in human swimming. *Journal of Biomechanics*, 63, 67-73. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2017.08.002>
- Vilas-Boas, J. P., Ramos, R. J., Fernandes, R. J., Silva, A. J., Rouboa, A. I., Machado, L., Barbosa, T. M., & Marinho, D. A. (2015). Hydrodynamic analysis of different finger positions in swimming: A computational fluid dynamics approach. *Journal of Applied Biomechanics*, 31, 48-55. <https://doi.org/10.1123/JAB.2013-0296>
- Virag, B., Hibberd, E. E., Oyama, S., Padua, D. A., & Myers, J. B. (2014). Prevalence of freestyle biomechanical errors in elite competitive swimmers. *Sports Health*, 6(3), 218–224. <https://doi.org/10.1177/1941738114527056>

The Important Factors of Stroke Technique in Front Crawl Swimming

Ching-Wen Lee & Chih-Pin Lee
Office of Physical Education, National Taipei University

Abstract

The front crawl stroke, or freestyle, is the fastest stroke, and has most events of four swimming competitive styles. Swimmers not only have to keep a streamlined form to decrease the drag but also to focus on the skills of armstroke to increase the propulsive force in front crawl stroke. So, the purpose of this article was to find out several important factors that swimmers should focus on when executing front crawl armstroke from previous studies. There were three key points in the processing of total armstroke: 1. Swimmers accelerated the hand twice to push the water, one was in insweep phase, another was in upsweep phase. The shoulder rotation was the main contributor to the stroke velocity in insweep phase. The shoulder and elbow rotation were the main contributors to the stroke velocity in upsweep phase. 2. The movement of armstroke in the water should work in coordination with body rolling, it was not only decreasing the resistance but also having the timing consistent with the acceleration of hands. 3. Most studies indicated that a small finger spread leads to increase propulsive forces but not total grouped in the water. Many experimental studies related to armstroke of front crawl, were not focus on stroke depth, elbow flexion condition, or strategies of hand acceleration. These may provide some thinking direction about further studies.

Keywords: biomechanics, acceleration, finger spread, body roll