

跳水的力學分析

許樹淵

壹、緒論

游泳紀錄優良的運動員，其速度性耐久力固然是勝利的要素，然其出發動作的力量、速度、入水距離也是造成優良成績的重要因素。入水快速者，自然速度快，而其動作必須也迅速而協調，因之費力較少。然而，速度快與費力小仍得自於起跳後身體在空中之軌跡所受的阻力要比在水中所受的阻力為小的緣故，故起跳入水動作的重要性不問可知了。

游泳起跳出發入水的行程，身體行經的軌跡受落體原理左右，並由人類的跳躍能力來決定。游泳起跳動作係以彈躍求速度的運動方式，身體站立於起跳台，藉腿對重力之克服而躍起，同時身體在空中之重心軌跡在起跳瞬間即已決定。因此，入水距離與投射速度乃決定於躍起的瞬變動作。此種以運動結果來推敲原因的研究方式，即為今日人體運動力學的研究趨勢——運動形態的研究方法。

依據目前捷泳（自由式）採用的出發入水法，可分為四種方式，而這四種出發法的目的旨在適應運動員的個人習慣及藉之以促進運動成績而產生的。此四方式之間的特性係以運動員在跳水台上所佔據的時間的久暫、肢體助擺產生力量的大小，起跳瞬間角度而成立的。然而，就以目前學者專家的研究跳水動作而論，概約以起跳入水前的某一部分動作，或入水後游某段距離的時間短暫之問題來判斷何種起跳入水方式較為優異，此種研究祇能提供某一角度或某單一因素的研究，缺乏研究的整體性，很難找尋並比較出發入水動作各種方式的利弊得失。

因此，本文是以運動形態研究法與實驗法多方面共同來瞭解分析各種出發入水方式之各種力學要素，並藉以解決出發入水方式實施上有關的問題。

貳、文獻回顧

游泳出發入水動作，其跳躍動作和平地上的跳躍動作原理相同；因而，陸地上的跳躍研究可引為參考，並作為證明。許樹淵於民國六十四年研究手臂助擺動作對立定跳遠，垂直跳成績的影響，發現擺臂助跳之距離、踏板之力量並不顯著大於不擺臂；然其擺臂助勢起跳成績則顯出較優的趨勢。（註一）此擺臂助跳同本文的繞臂法。

劉錫銘在『跳部運動的力學研究』中指出：垂直跳手臂助擺振動作的效果，在起跳後半部才能產生較大的力量，它有利於蹬足力量的發生，手臂助擺振動作意識的增大，則可使起跳時足部離地瞬間產生較大的初速度，對身體重心的提高相當有效；而立定跳遠得到的結果與垂直跳相同。（註二）

馬哥力斯克（Mogisch）之三種手臂助擺動作對快速出發入水和起跳速度間的協調問題作研究，發現繞臂出發入水法在最先15呎處的速度要大於擺臂出發入水法，而擺臂出發入水法和手臂前振出發入水法則沒有顯著的差別；又，手臂之助擺出發和繞臂出發入水法之間沒有顯著差異，不過運動員有喜好採用繞臂出發入水法的趨勢。（註三）

一九七三年，米查利斯（Michales）發現前振出發入水法較傳統的擺臂、繞臂兩種出發入水法為快。（註四）

一九七二年，洛霍（Rofter）的研究結果指出：前振出發入水法比擺臂法快0.1秒。（註五）

一九七三年，斯洛田（Slooten）用電動分析器研究，證明擺臂出發入水法的跳躍飛程較遠，加速度較大；而前振出發入水法較早離開跳台，入水時間較快，可較早進入游泳動作。（註六）

一九七五年，師範大學體育研究所謝伸裕應用電鈴、1/100秒電動碼錶、電鈕、腰帶、細索、夾子等儀器測驗體育學系學生十四人，發現前振出發入水法出發入水的時間為1.49秒，擺臂出發入水法的時間為1.56秒，前者較後者快，但不顯著。（註七）

休斯挪（Heusner）應用活動影片研究許多技術優良大學游泳運動員跳水出發，發現從出發台的起跳角度很少一致，角度大約為5°—22°之差異，角度和體型、打水力學、或比賽獲勝並無任何顯著相關。（註八）

美國游泳名教練康歇爾曼（Counsilman）的研究指出：捷泳的出發入水角度為15°。（註九）

從上列的文獻中，可以看出研究的方向，缺乏整體的研究。

叁、出發入水法釋義

目前為止，捷泳出發入水法計有四種：

- 一、前振出發入水法。
- 二、擺臂出發入水法。
- 三、繞臂出發入水法。
- 四、蹲踞出發入水法。

其中，蹲踞式出發入水法由於實驗儀器——測力板的限制，故不列入實驗。茲說明其餘三種方法於下。（註十）

一、前振出發入水法

受試者將腳趾緊扣於測力板（代出發台）的前緣，膝關節彎屈，雙手掌緊按住出發台前緣，身體放鬆。出發時，手向前上振起，同時腳趾用力蹬板，將力量由腳趾、踝關節、膝關節、股關節一直透到身體上部，重心前移而出發。此法除沒有助擺向後作反動動作外，其餘動作同擺臂出發入水法。

二、擺臂出發入水法

受試者雙腳趾緊扣於測力板前緣，雙腳相距大約15—30公分，股關節彎曲、膝關節放鬆、腿肌放鬆，手臂從雙肩處垂直下懸，背伸與上軀幹成一直線，臀與手成水平的姿勢，出發時手往後作擺振動作。

三、繞臂出發入水法

身體先成擺臂出發姿勢，出發時手臂由前往後上方以肩關節為軸，繞環將近一周後出發入水。

肆、實驗方法

一、實驗日期：民國六十五年四月

二、實驗地點：國立台灣師範大學游泳池

三、實驗受試者：體育學系學生三人作為受試者，其中一人（七十公斤）為國家男子自由式百公尺代表，一人（五八公斤）為師大男自由式代表隊隊員，其餘一人（四八公斤）為師大女自由式代表隊隊員，他們慣用的出發方法不相同。

四、實驗襄試者：翁志成等七位同學幫助攝影及固定座標。

五、實驗儀器：

(一) 多用途紀錄器 (Multipurpose polygraph)，日本光電牌。

(二) 測力板 (Force platform)，為 $60 \times 30 \times 5 \text{ cm}^3$ 之長方形二片鋼板連接而成，上方鋼板之上下兩面各安置一張力計 (Strain gauge)，並應用薄木板覆蓋上方，以防張力計因蹬踏而受損。

(三) 插座 (Socket)。

(四) 橋箱 (Bridge box) 光電牌

(五) 日本 Minolta 八厘米攝影機一部，速度為 36 F/sec

(六) 看片機 (Movie editor)

(七) 座標 (Coordinate)，自製為 $1.80 \times 2.70 \text{ m}^2$ 之座標板，固定於池邊

(444)

六、實驗儀器的連接圖：



七、實驗方法：受試者重心的標定以游泳褲上端之髖骨為準，受試者每人按參之說明法，每人每種姿勢各作一次。實驗儀器時加校正。

伍、結果與討論

依據多用途紀錄器及攝影得到之影片加以整理分析，得到下列結果

| 入水法 | | | | 入水法 | | | |
|-----------------|-------|-------|-------|-------------------|-------|-------|-------|
| 力學變數 | 前 | 擺 | 繞 | 力學變數 | 前 | 擺 | 繞 |
| 起跳角度(度) | 34 | 38 | 42 | 入水角度(度) | 23 | 19 | 20 |
| 起跳時重心高度(公分) | 140 | 144 | 146 | 入水重心之垂直高度(公分) | 32 | 28 | 29 |
| 起跳時重心離板水平距離(公分) | 81 | 82 | 80 | 入水時重心與頭部之水平距離(公分) | 72 | 75 | 74 |
| 起跳板上時間(秒) | 0.413 | 0.386 | 0.453 | 飛程時間(秒) | 0.491 | 0.491 | 0.528 |
| 起跳力量(公斤) | 224 | 246 | 274 | 全部時間(秒) | 0.904 | 0.877 | 0.981 |
| 合速度(公尺/秒) | 2.62 | 2.86 | 2.63 | 空中距離(公尺) | 1.29 | 1.40 | 1.39 |
| 垂直分速度(公尺/秒) | 1.45 | 1.73 | 1.74 | 跳水距離(公尺) | 2.82 | 2.97 | 2.93 |
| 水平分速度(公尺/秒) | 2.07 | 2.27 | 1.96 | | | | |

從上表中知悉，跳水的力學分析可說由起跳板上時間，起跳力量、起跳角度、速度及入水角度等五種因素構成：

一、起跳台時間

它爲擺動助勢的時間，亦爲產生瞬發力所需要的時間。若時間短而能產生大力量，則獲得的速度大，進而加大瞬發力。因此，起跳板上時間爲決定跳水軌跡行程的最基本要素。擺臂法在起跳板上花費的時間短於繞臂法，前振法則快於擺臂法，慢於擺臂法，此與前人研究的結果不同，有待進一步探討。

二、起跳力量

起跳力量爲整個運動軌跡的原動力。繞臂法之力量大於擺臂法，擺臂法大於前振法。依據角動量原理，當游泳運動員手臂作環形繞環時，能加速和建立巨大的角動量，角動量傳至身體，使作用的力量加大。（註十一）

三、起跳角度

依據不等高拋射原理的公式：

$$S = \frac{1}{g} V \cos \theta [V \sin \theta + \sqrt{V^2 \sin^2 \theta + 2g(h_1 - h_2)}]$$

知悉起跳角度的變化、速度爲跳水距離的兩大要素。起跳角度大小影響起跳瞬間重心與起跳台之水平距離，以及水平速度和垂直速度之大小關係。當速度大時，角度可略爲加大，速度小時，角度可略爲縮小，其原理可藉函數值來找出某種速度、某種起跳角度能跳得最遠。（註十二）

四、速度

本文速度是不計空氣阻力的，同時速度是以空中時間除空中距離。它計分合速度、垂直分速度、水平分速度等三種。合速度以其角度之大小，而使垂直分速度和水平分速度相增減。當角度加大時，垂直分速度增加，水平分速度則減少；反之亦然。擺臂出發入水法的速度大於其他二種，故行經之距離較遠。

五、入水角度

它影響入水時重心與頭部的水平距離。當入水角度小時，在空中重心移動時間長，行走的距離隨之加長，頭部與重心的水平距離加長，跳水的全程因之變長，此由入水角度及其相關的入水重心之垂直距離、入水之水平距離看出來。因此，入水角度應力求縮小，更藉之減少下沉的深度，影響水平分速度與行走較長的距離。上表之擺臂出發入水法之入水角度較其他二種方法爲小，其相關的入水水平距離大，相對的入水垂直距離小，無形中，在進入水中時也佔了便宜。

陸、結 論

國立台灣師範大學體育學系游泳代表隊(捷泳)員三人作為受試者，應用科學儀器——多用途紀錄器、測力板、座標、八厘米攝影機從事前振、擺臂、繞臂等三種出發入水法的各種力學要素加以分析，獲得結果為：擺臂出發入水法跳的距離較長，時間較短，速度較快，起跳角度較大，而入水角度較小，各力學要素均優於其他二種；至於繞臂法與前振法則無差異。

參考 資料

- 註一：許樹淵著：手臂擺動對立定跳遠與垂直跳成績的影響 國民體育季刊第廿六期 P 四四
- 註二：劉錫銘著：跳部運動的力學研究 國立台灣師範大學體育學會出版 民六五年四月
- 註三：Cheryl W. Maglisco d Everest Maglisco, "Comparison of Three Racing Starts Used in Competitive Swimming," Research Quarterly, XXXIX October, 1968.
- 註四：Richard A. Mechalis, "A Time Distance Comparison of the Conventional and The Grab Start," Swimming Technique, April, 1973. PP. 16-17.
- 註五：Barry J. Roffer, "The Grab Start is faster," Swimming Technique, January, 1972, PP. 101-102.
- 註六：Van Slooten, "An Analysis of Two Forward Swimming Starts Using Cinematography, Swimming Technique, October, 1973, PP. 85-88.
- 註七：謝伸裕著：游泳擺臂出發法與前振出發法之比較，師大體研所研討會 民國六十四年
- 註八：William, W. Heusner, "Theoretical Specifications for The Racing Diving, Optimum Angle of Take-off," R. Q., XXX, March, 1959, PP. 25-37.
- 註九：Counsillman, "The Science of Swimming," Prentice-Hall, 1971, P140.
- 註十：許樹淵著：人體運動力學 協進書局 民六五年四月 P P 六三五——六三七
- 註十一：同註十，P 六三九
- 註十二：許樹淵著：田徑運動力學 協進書局 民六四年六月 P 二〇九
- Mechanical Analysis of Swimming Start Shuh Ytian Hsi
- Abstract—The purpose of this study was to Compare the differences among various starts in swimming based on mechanical ingredient. Three kind of starts, traditional start, swinging start and grab start were tested.
- 3 students, who master in Crawl style in National Taiwan Normal University Were voluntarily Used as subjects. In order to

make the subjects familiar with test Conditions, each one of them was given 2 trials each start before the test. The experimental tools are multipurpose Polygraphy, 36f./sec Cinematography, force Plateform, Coordinate and movie editor.

Based on the experimental data, such as time of takeoff, force of takeoff, distance of takeoff measured, angle of takeoff at the instant of leaving the board, takeoff velocity, angle of diving, and the horizontal distance between swimmers Center of gravity at the instant his head touch the water and the diving Point, the study finds the following results.

1. Swimming start in swimming is the best of all the three methods.
2. There is no difference between traditional start and grab start.