

運動技術分析

——運動生物力學研究



王順正 著

運動技術分析

——運動生物力學研究

王順正 著

高雄復文圖書出版社

運動技術分析——運動生物力學研究

一版 2005/08 2002/09
1997/04

版權所有，請勿翻印

定價：250元

著 者：王 順 正
發 行 人：蘇 清 足

本書如有破損，缺頁或倒裝，
請寄回更換。

出 版 者：高雄復文圖書出版社
地 址：高雄市苓雅區泉州街5號
電 話：(07) 2261273
傳 真：(07) 2264697
郵 撥：41299514
台北分公司：台北市大安區溫州街48巷5號1F
電 話：(02) 23695250・23695680
傳 真：(02) 83691393
裝 訂：台灣高揚文化事業有限公司
電 話：(07) 6165206
發 行：高雄復文圖書出版社
麗文文化事業股份有限公司
巨 流 圖 書 有 限 公 司

行政院新聞局出版事業登記證局版台業字第1804號

ISBN 957-555-301-2(平裝)

<http://www.liwen.com.tw>

E-mail: liwen@mail.liwen.com.tw

作者簡介

王順正

民國五十五年生

台灣省雲林縣人

學歷 國立台灣師範大學體育研究所博士班肄業(運動生理學)
國立台灣師範大學體育研究所教育碩士(運動生物力學)
國立台灣師範大學體育學系77級畢業
省立嘉義高中

經歷 國立台北師範學院體育學系講師
國立台北師範學院體育學系助教
國立台北師範學院田徑代表隊教練
中華民國運動傷害防護協會合格運動傷害防護員
中華民國國家棒球代表隊隨隊運動傷害防護員(1989)
台北市立松山工農職業學校教師

學術性榮譽 國科會81年度乙種研究獎勵
國科會82年度乙種研究獎勵
教育部82年度體育學術著作優等獎

現任 國立中正大學運動與休閒教育研究所副教授
國立中正大學田徑代表隊教練

著作 運動與健康(國立中正大學體育室出版)

論著 棒球投手不同投球動作加速期的生物力學分析等

許 序

運動訓練的成就，是由體能、技術和心理等一體三面的科學所建立起來。其中，運動技術包括著動作的分析、說明，也包括著戰術的擬定，因此其重要性明顯可見。

運動技術分析是運動技術的代表性學科，引用生理學、解剖學、力學、材料學等科學知識為基礎，綜合而成為一門實用的獨立科學，用來定性定量運動技術，明晰運動技術因果關係，編擬運動戰術戰略，獲取運動比賽勝利，進而促進日常工作與比賽效率。

順正學弟是多年亦師亦友的研究精神伙伴。在大學部就讀時，常見其專著發表於體育刊物上。在研究所時，更見其研究論文擴及到國外學術研討會的發表刊登，論文均關係到運動科學領域的研究，涉及運動科學知識領域廣博而實用。如今，在修讀博士班、任教大學之雙重壓力下，仍不時發表專文外，更整理撰寫「運動技術分析」乙書，內容新穎豐富，適時彌補運動訓練科學的不足，對運動訓練具有很大的影響和貢獻。

在專著出版之際，得能先覽為快，不禁佩服專著的堂奧實用，故樂於書誌敦言，共勉激勵，繼續為體育運動學術盡一己之力。

許樹淵

中華民國體育學會理事長

1996.12.25.

林 序

一位優秀運動員的培養，除了運動員的運動天份以外，身體的、心理的與技能的適當訓練，才是運動表現進步的不二法門。而且，在現今運動競技場激烈的競爭環境下，如何應用運動訓練科學知識來突破運動成績、獲取比賽勝利？已是每一位運動員與運動教練努力探究的焦點。

競技體能的訓練、運動技術的分析與臨場比賽的心理調適，都是運動科學訓練的主要研究領域。順正君於「運動技術分析—運動生物力學研究」一書中，有關運動技術定性與定量分析的詳細說明，不僅是國內對運動技術分析方法介紹的創舉，而且，書中有關定量分析運動技術鉅細靡遺的敘述，正是目前國內體育運動界應用最少的運動訓練科學領域。相信藉由這本書的出版，一定可以提供國內體育運動界相當有效的運動技術分析步驟，進而建立各運動項目技術的豐富資料。

順正君於師大體育系所就讀期間，其著作與研究內容皆以運動科學訓練的實際應用為主，包括運動生理學、運動生物力學與運動傷害等方面，如今在專研運動生理學之餘，將以往發表過的運動技術分析相關著作編輯成冊，相信對國內運動科學訓練知識具有長足的幫助。付梓前夕，應邀為序，除感榮幸外，亦盼望以此共勉，繼續為運動科學研究盡力。

林正常
國立台灣師範大學
1996.12.

自序

有幸走入體育界這條路，至今已進入第十三個年頭。有計畫的寫這本書，則是在六年多前就讀師大體育研究所碩士班時。在整個計畫、寫作與出版的過程中，雖然經過了重重波折，甚至在接近完成前停筆多年，終究還是完成了多年前「寫一本運動生物力學專書」的心願。

回想起六年前計畫寫這本書的動機，主要還是在於國內「運動訓練科學的專業書籍太少」之原因。記得在師大體育研究所碩士班就讀時，由於國內有關運動生物力學的相關研究論文與專業書籍都相當地缺乏，因此在學習過程中，不是要花很多的時間到各體育專科學校收集相關的文獻資料，就是必須花上很長的時間去查英文單字，有時還須為了一篇論文，花一個月以上的時間透過圖書館的國際館際合作取得；當時，除了許樹淵教授所寫的「人體運動力學」與「運動技術指導原理」兩本專著以外，國內實在很難再找到有關如何研究運動技術的中文專業書籍。筆者有鑑於國內有關「運動生物力學研究」相關資料的缺乏，自民國七十九年十二月起，陸續將個人的學習內容發表於中華民國體育學會出版的中華體育季刊中，連續十篇有關運動生物力學研究方法的探討，也算是特別值得一提的成就。後來，任教於國立臺北師範學院體育學系時，在收集「運動生物力學」教材資料與教學的雙重壓力下，方才有積極完成此書的目標。但是，後來由於個人研究領域的調整與研究能力的限制，自民國八十三年起，即未曾發表有關運動生物力學相關領域的研究論文。如今回想起來，筆者也覺得相當可惜，因此才會有積極完成這本書的想法。

一年半前，來到國立中正大學以後，在專業學科教學壓力解除的情況下，方才擁有較充裕的時間來編寫「運動生物力學研究」這本書。但是，由於筆者的學術專長與主要鑽研主題，還是以人體運動技術的定性(qualitative)分析與攝影(cinematography)分析進行研究，少部份使用到測力板(force plate)分析進行探討，其他有關肌電圖(electromyography)分

析、加速度測量 (accelerometry) 分析以及人體模型分析等運動生物力學研究分析方法，都不是筆者的主要研究範圍與內容。因此，筆者才將本書的書名界定為「運動技術分析 -- 運動生物力學研究」，用以說明本書的內容為「專門用於人體運動技術分析的運動生物力學研究方法」。筆者相信，利用這些有關運動技術的定性與定量研究方法之探討，絕對可以讓每一位運動科學研究者，獲得最正確且具效率的運動技術分析。

事實上，「運動成就」並無法與優異的「運動技術分析」或「運動技術教學」能力劃上等號，因此，一位優異的運動員還是需要適當的運動技術分析與教學能力訓練，才能夠成為一位優秀的體育老師或運動教練。從另一方面來說，「運動技術分析」或「運動技術教學」能力與「運動成就」亦無法劃上等號，因此，除了坐下來分析運動技術的內涵以外，實際地去實踐與體驗，才是學習運動技術最真實有效的步驟。無論如何，透過本書有關運動技術的定性或定量分析方法之敘述，絕對可以讓每一位具有運動技術專長的體育老師或運動教練去編寫出一份自己專長項目的教學資料與訓練教材。暨時，在運動技術教學與訓練資料充足的條件下，絕對可以讓運動訓練科學的理論與實際密切連結，國內的運動成績自然就會有顯著的進步。

本書的內容主要分為四個部份。第一部份是有關運動與物理現象的探討，也是目前國內體育運動界最常接觸到的「運動生物力學」內容。第二部份是有關如何進行定性分析運動技術的探討，並且進一步探討如何確實精要的說明運動技術。第三部份是有關如何進行定量分析運動技術的探討，內容包括有運動技術分析實驗的注意事項、人體肢體分段資料的建立、身體記號位置的設定、直接線性轉換的動作攝影分析原理、空間三軸轉換的動作攝影分析原理、不同數據平滑方式的探討、關節活動的絕對與相對角度、關節活動的瞬時旋轉中心以及人體平衡能力的評估等。第四部份則是介紹棒球投手投球臂動作的量化分析、垂直跳的生物力學分析與地面反作用力的進一步分析等。最後，本書於附錄中列出「三度空間運動技術分析系統」的系統說明與電腦程式，讓有興趣進行運動技術的量化分析研究者，擁有運動技術分析的有效量化處理工具。因此，本書不僅可以用

來作為「運動技術分析」、「運動生物力學」、「運動生物力學實驗」或「運動生物力學研究」課程的教科書，而且，更可以提供作為運動技術分析實驗進行時的有效參考資料。

近年來，國家對於體育運動的投資不斷的增加，體育相關系所與專科學院也陸續增設，甚至職業運動也在這幾年間蓬勃發展，但是，我國在國際體壇的成就，並沒有成比例的增加。追根究底地探討原因，大概就是不重視運動科學研究以及運動科學研究結果無法落實在運動訓練上。無論如何，透過本書對於運動技術定性與定量分析方法的詳細說明，希望可以彌補目前國內有關運動訓練科學內涵的不足，進而達成提昇運動技術成就的最終目標。同時，也希望藉由本書的出版，能夠讓國內各項運動的專業教練們，樂於將自己多年教授運動技術的知識與經驗發表出來，在大公無私地公開運動技術分析結果的條件下，共同為提昇國內運動技術水準而努力。

本書出版的同時，要特別感謝許樹淵教授與林正常教授的提序。兩位師長的長期提攜與照顧，一直是筆者能夠持續積極研究與努力學習的導師與支柱。同時，也要感謝國北師院盧瑞龍的辛苦校對。

運動生物力學的研究範圍極為廣泛，不僅只用於運動技術的分析。筆者個人人才疏學淺、所學有限，疏漏之處，希諸同好先進不吝賜教。

王順正 序於
國立中正大學
1996.12.

國家圖書館出版品預行編目資料

運動技術分析；運動生物力學研究 / 王順正著
． -- 初版． -- 高雄市：高雄復文，1997[民
86]
面；公分
含索引
ISBN 957-555-301-2(平裝)

1. 運動力學

398.73

86002372

運動技術分析——運動生物力學研究

目 次

許 序	1
林 序	2
自 序	3
壹、運動生物力學概說	1
一、什麼是運動生物力學	4
二、運動生物力學的發展	5
三、運動生物力學的研究方法	7
四、運動生物力學的功能	11
五、運動生物力學的努力方向	12
六、如何加強國內運動生物力學的水準	14
七、如何學習運動生物力學	16
貳、運動與物理定律	21
一、力學的基本概念	23
二、運動的基本概念	24
三、移動與拋射	26
四、物體運動的因素	29
五、力的進一步說明	31
六、旋轉	33
七、能量	37
八、碰撞	39
九、拖曳力	42
十、昇力	44
參、運動技術的定性分析	47
一、定性分析運動技術	50
二、定性分析運動技術的科學要求	58
三、定性分析運動技術的必要性	59
四、定性分析運動技術的限制	60

五、定性分析在高爾夫球揮桿動作分析上的應用	61
肆、運動技術的說明原則	67
一、人體的基本解剖學	69
二、基本解剖上的活動名稱與定義	73
三、人體運動技術的說明原則	74
四、結語	77
伍、運動技術的定量分析	79
一、運動科學實驗數據處理的基本認識	81
(一)、運動科學實驗與誤差	81
(二)、誤差的來源	82
(三)、誤差的種類	83
(四)、誤差的傳遞	84
(五)、實驗數據處理	85
(六)、結語	86
二、人體肢體分段資料的建立	88
(一)、人體肢體分段資料的內容	88
(二)、屍體解剖建立肢體分段資料	89
(三)、反應力板法建立肢體分段資料	93
(四)、浸水法建立肢體分段資料	96
(五)、 γ 射線掃描技術建立肢體分段資料	97
(六)、其他測量人體肢體分段資料的方法	98
(七)、結語	100
三、人體動作攝影分析之記號位置設定	103
(一)、身體記號的意義	104
(二)、設定身體記號的注意事項	105
(三)、結語	107
四、直接線性轉換—動作攝影分析原理	109
(一)、直接線性轉換的原理	109
(二)、有關直接線性轉換的研究	114
(三)、結語	116
五、空間三軸轉換—動作攝影分析原理	119
(一)、空間三軸轉換的原理	120
(二)、有關空間三軸轉換的研究	123
(三)、結語	124
六、不同數據平滑方式的比較	126

(一)、方法	127
(二)、結果	128
(三)、討論	131
七、人體活動時的絕對與相對角度探討	134
(一)、平面分析時的絕對與相對角度	135
(二)、立體分析時的絕對與相對角度	137
(三)、結語	140
八、人體關節活動的瞬時旋轉中心	142
(一)、關節瞬時旋轉中心——以膝關節為例	143
(二)、決定關節瞬時旋轉中心的方法	144
(三)、決定瞬時旋轉中心時的誤差	148
(四)、結語	150
九、人體平衡能力的測量	153
(一)、平衡的生理解剖	154
(二)、平衡能力的測量	156
(三)、結語	161
陸、棒球投手不同投球動作加速期的投球臂運動學分析	165
一、研究背景	167
二、研究方法與步驟	169
三、結果與討論	173
四、結論	182
柒、垂直跳起跳的生物力學分析	187
一、研究背景	189
二、研究方法與步驟	190
三、結果與討論	193
四、結論	196
捌、諧和分析垂直跳的地面反作用力	199
一、研究背景	201
二、研究目的	203
三、研究方法與步驟	203
四、結果與討論	205
五、結論	210
附錄、三度空間人體運動技術分析系統	213
索引	257

壹、運動生物力學概説

運動生物力學(sport biomechanics)，是國內體育學術領域近來熱衷的新興科目。在高科技的硬體與軟體，陸續被使用在運動生物力學研究之後，使得原本繁瑣的運動生物力學研究資料處理工作，變得更有效率，再加上近來對於研究效度問題的進一步分析，使得有關運動生物力學的研究報告數倍的增加。

生物力學是研究生物體機械運動規律的科學。自 1967 年於瑞士舉行第一屆國際生物力學會議以來，生物力學已發展成一門有系統、有組織與世界性的學問。馮元楨(1991)即指出，目前全美國及加拿大的大學中，合計生物工程教授約佔全美國教授的 1.6 %，大學生則佔全美大學生的 1.3 %，研究生佔 2.2 %，估計於公元二千年時，全世界生物工程的商品總量可能達一千億元，顯示生物力學受到國際上的普遍重視。運動生物力學則是生物力學的一個分支，是研究體育運動中，人體機械運動規律的科學(中國體育學院教材委員會，1993)。

1973 年在美國舉行的第四屆國際生物力學研討會中，則成立了國際生物力學學會(International Society Biomechanics，簡稱 ISB)。1982 年更成立了國際運動生物力學學會(International Society for Biomechanics in Sport，簡稱 ISBS)。在中國大陸，則是在 1980 年 12 月成立中國運動生物力學學會。在臺灣，生物力學學會成立於 1993 年；中華民國體育學會之下，亦設有運動生物力學委員會。

事實上，有越來越多的教練、運動員、訓練員與體育教師，應用運動生物力學的知識在實際的人體活動分析上，藉以達成瞭解人體運動現象、改進人體運動表現、甚至進一步突破人類運動極限的目的。

由此可見，運動生物力學是相當重要且受到重視的一門應用科學。由於，人體的任何跑、跳、投、擲、踢或游泳等動作，都受到基本力學因素的影響，因此，在人體的活動過程中，如果能夠盡可能的遵循力學原理，進行人體肢體的適當活動，自然可以獲得較為優異的運動成就。但是，由於人體是活體，因此人體的運動表現也同時受到人的思想、反應、情緒或環境等的影響。也就是說，在探究人體的運動表現時，必須依據力學(mechanics)與生物學(biology)的共同觀點，來探究人體運動的規律性與

特殊性，如此，才能產生最佳的身體活動模式。特別是在進行較高難度的身體動作時，運動員必須事先進行多次的身體特定活動方式練習，使得身體能夠在意識下，執行最符合力學與生物學的最佳效益活動。

一、什麼是運動生物力學

運動生物力學，原是指人體運動力學(kinesiology)，其內容主要在於肌肉骨骼系統的機械原理研究，並無法完全含蓋所有影響人體活動的力學因素探討。許樹淵(1976)即指出，人體運動力學是解剖學、生理學與數學三科目構成的整合應用科學。蘇芳慶(1991)則認為人體運動生物力學乃綜合生理學、解剖學、運動神經控制學與生物力學之學問，主要的學術研究範圍，包含了運動學、動力學、肌肉及關節力學和肌電訊號學。但是，在探討人體活動的方法與技術時，如果深入考慮到肌肉骨骼系統的變因，將使研究的問題複雜化，進而使得研究人體活動的工作無法進行下去，因此，使得運動生物力學的研究領域慢慢走向生物力學上。

人體運動力學與運動生物力學之間，最主要的不同在於二者的領域與範圍，並且使用的研究方法也不同。人體運動力學著重於有關解剖學、力學及神經肌肉方面，而運動生物力學則更廣泛地包含人體系統的構造與功能，純以力學的方法應用在研究上(Atwater,1983)。

生物力學是生物學及力學整合而成的一門科學。目前，生物力學大致可分為生物固體力學、生物流體力學及生物材料力學等，原本是應用於醫學、復健、解剖及太空科學等科學研究上，由於研究病患走路的生物力學分析，獲得極為有效的結果，因此運動生物力學家將生物力學的觀念與研究方法，應用於人體運動分析上。如今，運動生物力學的主要研究內容在於探討肌力、各種運動中各關節的變化範圍與模式(pattern)、地面反作用力研究、運動分析(motion analysis)、步態分析(gait)、身體活動效率與最佳化的運動姿勢研究等(周有禮，1991)。

Brancazio(1984)指出，運動生物力學是將人體視為一部機器，屬於一種機械系統，並受到許多物理定律的限制。例如：將身體分解成許多片斷