



運動生物力學之研究熱門與前瞻~以 2006~2015 為例

翁梓林

國立臺北教育大學體育學系

投稿日期：2018 年 03 月；通過日期：2018 年 06 月

摘要

緒論：運動生物力學是結合生物學和力學的科學，其主要目的是積極地提高運動表現，並在被動方面預防傷害。隨著新型先進儀器的不斷開發，運動生物力學研究方法不斷進展。然研究議題會隨年代與社會脈動更迭，形成國內體育運動學術人力組成有明顯變化，且國際學術在全球化議題上亦呈現巨大波動，鑑於此，實有必要對國內、外重要期刊及研究計畫，探討與分析運動生物力學領域發展趨勢及前瞻議題。**方法：**國際期刊係以 Thomson Reuters 的 ISI Web of Knowledge 文獻資料庫，搜尋運動生物力學次領域中隸屬於 SCI 範疇的 sport sciences 學門有關 運動綜合、運動醫學及運動生物力學有關期刊 37 本共 38369 篇；國內 TSSCI 收錄體育學報與大專體育學刊等 2 本共 869 篇；科技部核定計畫共 265 篇，分析期程皆從 2006 年至 2015 年共 10 年的文獻資料。利用大數據分析概念，使用 CATAR (Content Analysis Toolkit for Academic Research) 軟體，進行書目與共現字 (co-word) 分析；並同時進行專家問卷及座談會議審查 (quality assessment)，以取得運動生物力學領域之關鍵字出現頻率多寡，作為形成熱門與前瞻議題之依據。結果：熱門議題大致上可分為一、動作分析相關主題；二、運動表現相關主題；三、動作控制相關主題；四、復健醫療相關主題；五、儀器方法相關主題。前瞻議題方面則包括一、特殊需求 (高齡化、頂尖運動員、肌力訓練)；應用實務 (機能服飾、運動產業) 及創新科技 (穿戴式科技) 等主要議題。**結論：**運動生物力學從過去的體育教學及競技運動表現延伸至健身運動活動上，如儀器輔具的開發或日常身體活動等，進而發展成全人健康生物力學 (wellness biomechanics)。

關鍵字：大數據分析、創新科技、全人健康生物力學

壹、緒論

運動生物力學 (sports & exercise biomechanics) 是生物力學領域中不可或缺的一個重要分支，亦是運動科學範疇重要領域之一，早期大部份研究係透過動作分析 (motion analysis) 探討競技運動及體育教學為主要範圍 (陳婉菁、胡金龍、相子元, 2009; Davis, 1984; Hay, 1983)，並從簡單人體動作分析包括步態 (gait) 開始，發展成較為複雜運動技術分析，藉此動作分析提供競技運動 (sport) 與健身運動 (exercise)，達到增加運動表現及減少運動傷害之目的，此外動作分析亦能使體育教學更有效率 (Winter, 1990)；為了探討動作優劣之內在原因，運動生物力學也進一步探討人體之肌肉骨骼系統運動方式，再配合復健與傷害等相關醫學，希望能了解人體內部的生物力學原理對人體運動

造成之影響 (陳婉菁、胡金龍、相子元, 2009)。為生物力學領域尋求更完臻學術發展，瞭解過去、現在及追求未來卓越成為刻不容緩學術課題，其中期刊成為學術發展重要平台 (張育愷、洪聰敏, 2014)。近年來在國內外體育運動期刊論文越趨重視的氛圍下，其數目與種類亦推陳出新。此現象讓期刊論文呈現多樣化的風貌，然期刊數目與種類的愈加繁多，亦衍生出期刊間品質參差不齊的狀況。為此，國際間已有學者採用 Thomas Reuters 出版社所提供的科學引文索引 (Science Citation Index, SCI) 或社會科學引文索引 (Social Science Citation Index, SSCI) 作為期刊論文之評價方式，由於能進入 SCI 或 SSCI 資料庫系統的期刊論文具有嚴謹性，因此被視為高品質期刊的指標，

並將期刊納入該系統作為期許。期刊為提供學術研究之重要根基，進行期刊內容分析能更了解學術領域的研究趨勢，做為確實掌握現況及展望未來之科學依據。除國際期刊趨勢探討外，臺灣科技部人文社會科學研究中心進行《熱門及前瞻學術研究議題調查》，針對國內體育 6 個次領域包括運動生理、運動心理、運動生物力學、運動行政與管理、體育課程與教學、運動社會文史哲學等前瞻與熱門之議題探討，作為各領域重要研究議題規劃之參考 (王麗雲、楊志堅、相子元、柯皓仁, 2017)。然研究議題會隨年代與社會脈動更迭，形成國內體育運動學術人力組成有明顯變化，且國際學術在全球化議題上亦呈現巨大波動，鑑於此，實有必要再次對國內外重要期刊及研究計畫進行研究，透過整理、比較、反省及整合所有計畫藉以瞭解熱門及重要議題之趨勢，使國內研究能夠在理論上與實務上更具有意義之突破。

全球期刊數量迅速累積，文章數量遍布各領域範疇，唯有利用「大數據分析 (Big Data Analysis)」才能有效率地將無形的數字轉化為有形的資訊 (張簡旭芳、相子元, 2016)。目前大數據概念已經應用於不同領域，例如：2016 年歐盟強調大數據在各學術社群中的連結、新加坡藉由大數據制訂國家教育政策與學校發展 (侯彥竹、相子元, 2014；蔡明學、黃建翔, 2015)、2012 年美國以大數據分析做為國家經費分配依據、日本透過大數據提高生產效率與生活品質及韓國利用大數據監控中小學的教育質量，因此數據分析已具全球化之趨勢，而應用此分析方法，瞭解國內、外運動生物力學領域的研究趨勢與方向成為重要工具之一。利用科學的方法追求卓越的運動表現，是一門應用科學，也是門多學科整合應用科學 (陳全壽, 2014)。近年來生物力學領域會使用資料統整再分析 (Meta-analysis) 方法對各式各樣單一研究，使用較多期刊論文數目及變項進行統計分析，來瞭解對某一動作及其影響參數之間關聯度 (Cumps, Verhagen, Verschuere, & Meeusen, 2013; Zadpoor, & Nikooyam, 2011)，此概念與目前大數據分析應用觀念雷同，且此分析之技術已大量應用於運動員在訓練時參考依據，譬如網球比賽的 IBM SlamTracker 工具，使用視頻分析來追蹤足球或棒球比賽中每個球員的表現；另外在運動器材中的傳感器技術 (例如籃球或高爾夫俱樂部) 能立即獲得比賽數據以及提供如何改進依據。因此大數據在產業界推波助瀾下，已經成為一門顯學，國內體育學門也

有針對大數據進行討論，但仍屬於起步階段。基於此，本研究目的乃藉大數據分析針對國內重要期刊、科技部核定計畫及收錄於國際 SCI 期刊等為主要探討範圍，瞭解競技運動表現、健身運動表現甚至是運動醫學輔具研發之研究現況，以利國內專家學者更了解國內外學術研究及產業應用方向，做為運動訓練與運動推廣等重點研究之參考。

貳、方法

一、國際期刊資料選取系統 (study selection)

由國際期刊 Thomson Reuters 公司發展出的 ISI Web of Knowledge (簡稱 WOK) 文獻資料庫進行搜尋。ISI Web of Knowledge 是一個建基於網際網路的學術資源整合體系，將各種高品質的訊息資源整合在同一體系內，提供多種領域中的學術資訊，此體系兼具知識的檢索、存取、管理、分析與評價等多項功能。透過 ISI Web of Knowledge 應用於多種資料庫 (all databases)，可由同一界面一次檢索多個資料庫，節省時間，快速找到更多不同類型的相關文獻。另外此整合系統通過獨特的被引文獻檢索，可以用一篇文章及專利號等做為檢索詞，檢索這些文獻被引用的情況，瞭解引用這些文獻的論文所做的研究工作；可以回溯某一研究文獻的起源與歷史 (cited references) 或者追蹤其最新的進展 (citing articles)，在時間軸上既可以愈查愈舊，也可以愈查愈新，而整個內容廣度上亦可愈查愈深入。ISI 的引文索引資料庫 (citation indexes) 涵蓋多種學科，並可跨學科查詢，資料庫中收錄每個專業領域中最具影響力的期刊。

二、方法 (methodology)

(一) 國內、外期刊選取：國外期刊選取，蒐集隸屬運動科學 (sport sciences) 學門的 SCI 期刊 37 本共 38369 篇文獻。另，國內體育學術領域期刊方面，則選取 TSSCI (臺灣社會科學引文索引) 期刊包括體育學報 376 篇與大專體育學刊 493 篇；在科技部通過核定之計畫部份，在運動生物力學領域則選定 265 篇。

(二) 國內外期刊蒐集期程：2006 至 2015 年共 10 年。

(三) 資料處理：利用 CATAR (Content Analysis Toolkit for Academic Research) 軟體，進行書目與共現字 (co-word) 分析 (曾元顯, 2011)，依文獻資料內容包含論文篇名、摘要、作者、關鍵詞、出刊年代、引用文獻、出版期刊等，上述資料再利用文件記錄切割、分欄擷取、篩選重複或不完整資料等處理，確保資料的正確性及其完整度。並同時進行專家問卷及座談會議審查

(quality assessment)，以取得運動生物力學領域之關鍵字及形成熱門與前瞻議題之依據。

參、結果

熱門議題係指「流行」，意謂在短時間內興起潮流；前瞻議題所代表著為「趨勢」。為了瞭解運動生物力學近年之研究趨勢，將所有關鍵詞依出現次數做排序整理。

表一、SCI 期刊生物力學領域出現頻率之關鍵字

關鍵詞	出現次數	出現百分比	排序
Gait	378	19.26%	1
Biomechanics	266	13.48%	2
Kinematic	145	7.34%	3
Coordination	140	7.09%	4
Balance	131	6.63%	5
Electromyography	114	5.77%	6
Kinetic	92	4.66%	7
Motor control	89	4.51%	8
Variability	74	3.75%	9
Locomotion	72	3.64%	10
Postural control	71	3.59%	11
Walking	71	3.59%	11
Performance	70	3.54%	13
Posture	69	3.49%	14
Aging	54	2.73%	15
Motion analysis	51	2.58%	16
Rehabilitation	46	2.33%	17
Fatigue	40	2.02%	18

表二、Journal of Applied Biomechanics 出現頻率最高之前 15 個關鍵字 (2000 年至 2007 年)

關鍵詞	出現次數	出現百分比	排序
Model	35	10.78 %	1
Biomechanics	34	10.39 %	2
Gait	29	8.86 %	3
Kinematics	29	8.86 %	3
Simulation	29	8.86 %	3
Performance	22	6.72 %	6
Muscle	21	6.42 %	7
Coordination	19	5.81 %	8
force	18	5.5 %	9
Locomotion	17	5.19 %	10
Motion	16	4.89 %	11
Optimization	16	4.89 %	11
Walking	15	4.58 %	13
Strength	14	4.28 %	14
Kinetics	13	3.97 %	15

在 SCI 期刊生物力學領域統計及科技部核定計畫中 (表一與表三) 以 Gait (步態) 關鍵字為出現頻率最高，出現次數分別為 378 次與 19 次，分別在 SCI 生物力學領域及科技部生物力學領域出現占比為 19.26% 與 11.7%；排名第二高的關鍵字是 Biomechanics (生物力學) 及 Coordination (協調性)，出現次數分別為 226 次與 17 次，分別在 SCI 生物力學領域及科技部核定生物力學領域出現占比為 13.48% 與 10.4%，綜上述分析結果進一步發現 Gait、Biomechanics 及 Coordination 等相關主題成為近幾年所熱門的研究議題。

在表二中顯示在 Journal of Applied Biomechanics 期刊在 2000 年到 2007 年 Model 是最常出現的關鍵字，出現次數為 35 次，排名第一，占 15 關鍵字出現比例的 10.78%；排名第二高的關鍵字是 Biomechanics (生物力學)，出現次數為 34 次，占 15 關鍵字出現比例的 10.39% 不亞於排名第一關鍵字的 Model。

在表四中肌電圖出現次數為 20 次，出現頻率占 21%，排名第一高；排名第二高的是生物力學相關參數與名稱，出現次數為 18 次，出現頻率占 19%，從這些數字中可得知在 TSSCI 的生物力學領域中肌電圖和生物力學相關參數與名稱是較熱門的。

表三、科技部核定計畫生物力學領域依序出現頻率

關鍵詞	出現次數	出現百分比	排序
Gait	19	11.7%	1
Coordination	17	10.4%	2
Balance	16	9.8%	3
Electromyography	15	9.2%	4
Motor control	13	8.5%	5
Variability	12	7.4%	6
Locomotion	10	6.1%	7
Postural control	10	6.1%	7
Walking	9	5.5%	9
Performance	8	4.9%	10
Posture	6	3.7%	11
Aging	6	3.7%	11
Motion analysis	5	3.4%	13
Rehabilitation	4	2.4%	14
Cerebral palsy	3	1.8%	15
Dual task	3	1.8%	15
Children	2	1.2%	17
Fatigue	2	1.2%	17
Ground reaction force	1	0.6%	19
Center of pressure	1	0.6%	19

表四、TSSCI 期刊的生物力學領域出現頻率關鍵字

關鍵詞	出現次數	出現百分比
肌電圖	20	21%
生物力學相關參數與名稱	18	19%
能量學	14	15%
傷害	12	13%
棒壘高爾夫揮擊與投擲	12	13%
平衡穩定	6	6%
著地	5	5%
動作分析	4	4%
老化	3	3%
動作表現	1	1%
下肢	1	1%

肆、討論

熱門與前瞻議題概念有所差異，熱門議題係指過去學者熱衷從事研究議題，並探討相關研究概況後，整理出予以熱門與前瞻議題。兩者之間經研究結果發現，或有重覆性，然本研究具體而言對國內、外體育學術之期刊所刊登論文進行統計分析及彙整，並歸納當今國內、外有關運動生物力學領域所關注之熱門與前瞻議題。僅針對共現字出現頻率之排序之關鍵名詞加以釋義，並探討相關研究概況後，整理出予以熱門與前瞻議題。

步態

步行 (Gait) 是人類最基礎的動作之一，亦是行動最主要的方法，也是人體動作中重覆性最高的一種。其必須倚靠一連串地神經、肌肉及骨骼系統同時作用的複雜過程 (呂東武, 2001)。目前有關步態量測主要有四個方向，分別為臨床的步態研究，主要是希望能夠得到時間、距離和關節角度的量化資料；神經學專家則研究步態週期中肌電圖的變化情形；生理學專家則注重步行時能量消耗的探討；在生物力學方面的研究在於取得人體對地面反作用力和分析各關節受力的情形。因此，步態分析用在診斷與評估神經骨骼肌肉系統疾病上有其優點與必要性。

在生物力學中正常步行的步態週期 (Gait cycle)，也就是假設右腳為起始基線，右腳腳跟觸地 (heel contact) 至右腳腳尖離地；而後，左腳腳跟觸地至左腳腳尖離地，為一完整步態週期，也就是一步幅 (stride)。可將其分成站立期 (stance phase) 與擺動期 (swing phase)。一步幅又分為兩步 (step)，而一步也可分成制動期 (braking phase) 與推蹬期 (propulsive phase) (Perry & Davids, 1992; Vaughan, & O'Connor, 1999)。

一般在描述步態週期的時間與位移時，在生物力學研究範疇裡屬於時間與空間的研究，包含站立期、擺動期、單腳支撐期及雙腳支撐期等時間參數，並測量其步長 (Step length; SL) 與步寬 (Step width; SW) 等參數資料 (Winter, 1987)。針對老人步態的研究指出，介入不同變項包括步寬、步長和步速，發現在單一任務情境下，平均步長和步速呈現正比；而平均步寬和步速呈現反比。研究更調查年齡平均在 78 歲且生理上可獨立行走之老年人共 110 名，調查結果發現，一個月內沒有跌倒的老年人平均步長為 60.7 公分，平均步寬為 89 公厘，步伐時間是 58 毫秒；然而在一個月內發生過至少一次跌倒的老年人的平均步長為 60.1 公分，

平均步寬為 84 公厘，步伐時間為 57 毫秒，從調查結果推測出改變步寬、步長和步伐時間與跌倒風險是有關聯的 (Nordin, Moe-Nilssen, Ramnemark, & Lundin-Olsson, 2010)。

人體步行時，從擺動期至著地期的關節角度是由大至小；從足跟著地至腳尖離地時，踝關節的角度逐漸變大。而踝關節的背屈動作與膝關節的屈曲動作功能相似，主要是減緩地面反作用力的衝擊，而踝關節的蹠屈動作作為一推蹬作用，以增加身體向前推動的動力。步行中從擺盪期到著地期的踝關節角度變化是由大變小，而足跟著地後踝關節的背屈角度約 20 度，隨後經推蹬動作踝關節呈現蹠屈動作角度也隨之變大，且足尖離地時達到最大的蹠屈角度。

步態分析已被廣泛運用於神經骨骼肌肉系統疾病之診斷以及治療的規劃與評估。目前推廣臨床步態分析之限制，除了無法提供內力資料外，主要是因為其運動學量測的可靠度尚未臻圓滿，特別是在冠狀面與額狀面之量測值（比如關節之內轉及外展角等）誤差仍大。雖然矢狀面上的數據對臨床診斷與評估已証實有相當高的參考價值，然而，因為步態不正常之病人，如腦性麻痺患者，其異常處主要發生在冠狀面與額狀面上，故此限制之影響不容忽視（呂東武，2001）。

相對人類每天重要性活動功能主要為步行，且是重複頻率最高的動作。從幼兒時期開始學習走路起，隨著神經肌肉骨骼系統的成熟，步行成為一個不假思索的動作，一直到神經骨骼肌肉系統受損或病變，就會輕易表現在步態上（呂東武，2001）。在身體條件變化因素（如：環境）外在影響個體。然而，步行還要取決於內在因素，如身體形態的影響，使得身體依據外在環境條件，去修正個體的動作而加以調整適應，包括步態 (gait)、下階梯 (downward stepping) 及著地 (landing) 等動作

正常步行並不需要思考，然而步行的控制十分複雜，包括中樞命令，身體平衡和協調控制，涉及足、踝、膝、髖、軀幹、頸、肩、臂的肌肉和關節協同運動。任何環節的失調都可能影響步態，而某些異常也有可能被代償或掩蓋。臨床步態分析旨在通過生物力學和運動學手段，揭示步態異常的關鍵環節和影響因素，從而協助康復評估和治療，也有助於協助臨床診斷、療效評估、機理研究等。

協調性 (coordination)

協調是指組織動作中跨越、聯繫多個關節的各肌肉之協同作用 (synergy) 所以產生一功能性動作，即組織多個自由度 (degree of freedom) 的時間與順序 (Turvey, 1990; Zajac, Neptune, & Kautz, 2002)。而一個穩定的協調型態是功能性動作中的必要特性。

協調能力受遺傳的影響很大。由於神經系統對協調性的影響很大，而神經協調又主要是先天的，因此，遺傳對協調性好壞的影響很大。運動中的協調性可分為神經、肌肉和動作協調三部份。神經協調是在完成動作時神經過程的興奮和抑制的相互配合和協同；肌肉協調是指肌肉適宜而合理的用力，其中包括工作肌用力的程度和用力的時間程序，而用力的程度取決於參與工作的肌肉和肌纖維的數量，用力的時間程序則是指肌肉緊張和放鬆的相互配合。動作協調性是有機體各部份在空間和時間上的相互配合，取決於本體感受所提供的信息。

協調性雖受遺傳的影響很大，但經過後天的努力仍可提高，尤其是在肌肉和動覺的協調方面。近年來運動生物力學開始以動力系統理論 (dynamic system theory) (Gallahue & Ozmun, 1998)，探究步態運動中的協調問題。相關研究指出，在足跟著地階段與足尖離地階段的負荷轉換期，此時肢段間協調的偏差量較大、穩定度較低，且顯得較為異相 (out-of-phase)，而負荷最大的階段，肢段間連結的穩定度較高，肢段間協調的偏差量較小，且呈現較為的同相 (in-phase) (Dierks & Davis, 2007)。因此，透過動力系統理論分析步態運動過程中的協調特性，可應用於跑步傷害風險探究的議題中。

就人體一般步行方式作探究，肌電圖與動力學參數即可作為人體協調與動作控制的一項重要指標，如每個人肌肉對身體部位加速度的貢獻能力等。從肌肉協調理論依據可得知，人體肢體的活動相當彈性，通常透過各種神經機制，進行單關節 (single joint) 及多關節 (multiple joints) 的協調行為。但人體如何透過這些機制同時控制多條肌肉，形成肌肉之協同作用 (synergy) 是令研究者感興趣的。各肢段在運動中的角色界定相當重要，除了需了解動作本質的特徵外，更可將其形成的機制應用於臨床治療或是運動訓練指導當中。過去有研究指出，當人體在搬舉重物時，人體的動作控制系統 (motor control system) 會藉由提供軀幹肌肉某種程度的共同收縮作用 (co-contraction)，來增加脊柱的壓迫力，進而達到穩定腰椎的功能

(Hortobágyi, 2003)。除此之外不要從單一關節所傳遞力量的雙關節肌肉來推斷肌肉協調原則，因為肢段間能量的流動是一種鎖鍊式的連貫方式，即使與關節相關聯的相鄰段也不能單獨從關節功率和關節段角速度的計算推斷出。反之，使用動力學模擬來進行肌肉誘導的分段加速和功率分析。這樣的分析說明了，由肌肉引起的力或加速度引起的肢段能量的交換對於肌肉是縮短、延長或著兩者都不是根本不變的 (Zajac, Neptune, & Kautz, 2002)。

生物力學

有關人體運動的問題近年來漸漸受到科學家的重視，起始時，『人體運動學』(Kinesiology) 曾被用來代表有關人體運動時的學問，人體運動學將人體視為一機器來探討其動作之表現，其最主要之理基礎是架構在三個不同領域-動作表現 (movement science)、解剖學 (anatomy)、及工程學 (engineering)。但因為有關人體運動的研究領域不斷擴大，相關力學原理的需求也相繼提高，科學家覺得『人體運動學』(Kinesiology) 已不足以代表此學門學問，因此逐漸有一些複合名詞被提出，如生物力學 (BioKinetics、BioDynamics)、人類力學 (Anthropomechanics) 等等，但都被廣泛採用，最後科學家認為『生物力學』(BioMechanics) 最能代表此學門學問，從此就以『生物力學』來代表應用於生物體之力學 (相子元, 2005)，目前國際間有二個學術組織是以生物力學為主要研究領域，國際生物力學學會 (International Society of Biomechanics, ISB) 為第一個成立之正是國際學會，其涵蓋之領域也較廣泛如運動力學、醫學工程、組織工程、生物流體力學及人因工程學。國際運動生物力學學會 (International Society of Biomechanics in sports, ISBS) 是另一個國際學會，其涵蓋領域較專注於運動相關之生物力學如運動技術分析、運動器材科技、運動訓練及運動傷害等。

運動生物力學以生物學和力學的理論、方法研究人體從事各種運動、活動的動作技術，使複雜的人體動作技術奠基於最基本的生物學和力學規律之上，並以數學、力學、生物學以及動作技術原理的形式加以定量描述。運動生物力學的主要任務有以下幾點：研究人體形態、結構和機能的生物力學特徵；研究人體的各類動作技術，確立各類動作的技術原理，建立動作技術模式，用以指導教學、學習和訓練，結合個人身體形態、機能和素質等特點，研究適合個人的最佳運動和動作技術方案，並通過動作技術診斷使之逐步

完善，探索預防運動傷害和醫療復建為手段的生物力學依據。

運動表現

運動表現 (Sport Performance) 的好壞，廣義而言會受到能量輸出 (無氧、有氧能力)、神經肌肉功能 (肌力、爆發力、協調性及技巧)、關節活動度 (肌肉延展性) 及心理因素 (動機及戰術) 等條件所影響 (林正常、林貴福、徐臺閣、吳慧君, 2003)，因此瞭解運動表現之研究現況，掌握熱門議題之趨勢，使國內研究能夠在理論與實務上有更明確之方向，做為運動訓練推動重點研究之參考有其必要性。運動表現是運動科學非常重要議題，從過去研究以關鍵詞篩選出與運動表現相關議題包括有訓練 (training)、表現 (performance)、競技運動 (sport)、健身運動 (exercise)、肌力 (strength)。其中訓練介入成為影響運動表現主要應用主題。

水中增強式訓練可以藉著水的浮力減少離心落地所帶來的衝擊力量，減少肌肉損傷，又可因水的阻力提供足夠的刺激，增加肌力，且不會因水的浮力減少伸張反射及離心收縮落地的力量，而影響爆發力之表現，不僅達到與陸上訓練相同之訓練效果及運動表現且非常適合需要爆發力之運動項目的運動員訓練使用 (Hung, Tang, & Shiang, 2009; Martel et al., 2005; Wilkerson et al., 2004)。近年來核心訓練對運動員表現影響的研究甚多，劉怡廷、張家豪與林惠婷 (2014) 發現低強度核心訓練可提高動作效率，但未能將效果轉移至運動表現上，高強度核心訓練可能因增加核心肌群力量，以至於堤身運動員運動表現。陳怡汶 (2011) 研究結果發現，動態伸展較靜態伸展對爆發力運動表現有較佳的助益。

綜觀以運動表現的層面而言，除了仍以觀察競技運動員的表現為主，也拓展研究對象至休閒運動員、一般民眾與病人，透過多樣化的訓練策略，嶄新的運動科技與監測儀器，以及具目的性的運動檢測，來瞭解人體內在 (例如心率、心肺能力、乳酸濃度等) 與外在 (例如競技運動表現、健身運動表現、疲勞等) 反應的變化，儼然已成為一股研究新趨勢。

疲勞

肌肉疲勞是人體在隨著運動時間的拉長而出現體力下滑的現象時首先產生的反應，而肌肉疲勞會帶來較大的傷害風險，因此人體會產生較薄弱的神經肌肉

控制系統，將不利於姿勢的控制關節的穩定 (李育銘、李恆儒，2013)。近年來在耐力跑的研究亦發現，疲勞後會降低肌肉的功能 (Khassetarash, Hassannejad, Etefagh, & Sari-Sarraf, 2015)。而流行病學的調查也指出，運動者在比賽的後期會有較高的傷害發生機率 (Price, Hawkins, Hulse, & Hodson, 2004)。因此，疲勞對耐力跑運動的影響被探究。

疲勞後著地動作的下肢運動學特性改變，是為了要在肌肉疲勞的狀態下仍能緩衝著地後的衝擊力而出現的代償性的改變，但過去關於疲勞後下落著地的地面反作用力研究之結果並不一致 (李育銘、李恆儒，2013)，有研究指出，下肢段群疲勞後會降低著地的垂直地面反作用力 (Coventry et al., 2006; Kellis & Kouvelioti, 2009; Madigan & Pidcoe, 2003)；但亦有研究發現，下肢肌肉疲勞後反會增大著地的垂直地面反作用力 (Wikstrom, Powers, & Tillman, 2004；李育銘、李恆儒，2013)。動作分析與控制是運動生物力學不可或缺的重要研究工具之一。

疲勞可分為中樞疲勞和周邊疲勞兩種，中樞疲勞是由於運動神經元的控制衰減，導致動作指令由大腦皮質下傳至脊髓路徑中傳遞失敗；而周邊疲勞是指神經肌肉傳導產生障礙，使脊髓傳出至肌肉收縮過程傳遞失敗 (黃奕銘，2012)，無論是哪一種形態的疲勞都會直接對肌肉與動作的控制能力造成影響。人體在肌肉疲勞狀態下，控制肌肉的能力便會下降，尤其以最大肌力、爆發力和動作速度的影響最大 (杜宜憲、陳五洲，2008)。莊恆澤、曹家銘、鄭旭峰與祁業榮 (2004) 指出，肌肉疲勞是運動選手的主要困擾之一，也會使運動選手技術的表現下降，影響運動成績，甚至發生運動傷害。張曉昀與蔚順華 (1999) 認為，肌肉疲勞會造成肌力表現降低、神經系統協調性降低，並連帶影響肌肉收縮成分，使肌肉關節內接受器無法精準的偵測張力、長度等等的變化，使肌肉骨骼傷害的機率增加，影響運動選手的運動表現與成績；而張庭嘉 (2008) 也認為，肌肉疲勞除了直接影響肌肉、關節等的本體感覺接受器外，也間接影響動作的控制。平衡能力的表現除了會影響選手擊球的動作協調性與效率外，在運動技術的訓練與學習上也需要良好的平衡能力來輔助，當選手在進行訓練或是比賽時，都會因為身體肌肉長期在高強度的運動情境下，所流失許多的能量進一步的產生疲勞，使得動、靜態平衡能力逐漸下降，最後導致增加運動傷害發生的機率。不論競技或是體適能測驗，肌肉疲勞是限制運動表現的一個重要影響

因素，肌肉疲勞產生的機轉目前仍無確切的定論，事實上，疲勞是一個漸進發生的過程，大多數的運動生理學研究利用肌肉整合性的外在表現來定義疲勞，而肌肉疲勞對功能的表現直接的影響莫過於肌力下降 (郭啟迪，2009)。

動作分析

動作分析藉由動作分析系統，在人體肢段上黏貼標記並記錄其運動軌跡及人體數學模型，計算出人體運動之運動學與力學行為。此一技術已應用在量測正常人及各種病人之各種日常生活動作包括步行、上下樓梯、坐到站、跨越障礙物、平衡等功能性動作，同時探討受試者動作之間的差異性，並給予受試者適當的臨床評估。人體動作表現與動作分析舉凡牽涉競技運動表現及健身運動之生物力學分析、正常與病理動作控制之機轉、動作發展評估、動作學習之效果評估、動作障礙評估與治療與一般醫學治療 (如：物理治療方法、骨科手術與復健輔具使用等) 之於病理動作控制之效果評估皆可藉由實驗室之儀器設備來分析。然人體動作分析牽涉複雜之神經肌肉骨骼系統，也受心肺與其它系統，以及外在環境因素影響，故合理之實驗設計、實驗操作之確實，與實驗分析之經驗皆影響研究結果甚巨。另外，在實驗分析後，如何判讀各類動作分析參數資料，並從眾多之時間與空間參數、運動學參數、動力學參數與肌肉活動參數資料中，歸納出合理之解釋，來評估人體動作分析之可靠性。

現代的動作分析系統大多利用數個紅外線高速攝影機 (臨床用攝影機速度為每秒六十次)，在進行適當空間校正後，攝取貼於受試者身上特定位置之反光球於動作過程中之三度空間位置座標，再配合測力板測得之地面反作用力，計算出各關節之運動與受力情形 (呂東武，2001)。這套數學分析方法係由結合非侵入性的攝影量測資料與數學模型以計算關節受力。該方法主要是將量得之皮膚標記座標微分兩次得到該肢段的加速度，再配合肢段的質量、慣性矩等資料以及由測力板所測得地面反力，利用牛頓力學計算而得各關節之合力與合力矩。此法一般稱為逆向動力分析。目前步態分析軟體大致仍採用類似方法。現代化臨床步態分析是人體動作生物力學分析技術最直接的臨床應用。人體動作生物力學分析的應用非常廣泛，舉凡跟人的姿勢、動作、受力有關的領域都可以看到它的身影。例如，各項運動分析、鞋具設計、家具設計、輔具設計、人因工程、仿生機器人、電腦動畫等。目前最夯

的穿戴式裝置也都是人體動作生物力學分析的應用之一。

意謂人體在動作順序中利用特定記號標記出所執行的動作，並將動作過程圖示化，而觀察或記錄的方式常見的有高速攝影機及動作分析電腦軟體、慣性感測元件 (Inertial Measurement Unit, IMU) 等，透過動作分析系統的幫助，使用者可以看到 3D 人體肢段動作過程，包含人體重心轉移、各肢段的角度變化、整體活動 (移動及轉動) 速度及角速度等資訊，更可以用慢動作或不同角度觀察動作過程，藉以修正並達到高效率的運動技術。

平衡

物體或系統在外在干擾的作用下，偏離其運動後返回該運動的性質。若逐漸返回原運動則稱此運動是穩定。平衡，是指一種穩定的狀態，當受到多種對立的各方面，若每一部份都互相抵消，使整體無變化則稱為平衡。人體平衡包括靜態平衡及動態平衡，靜態平衡是指身體遠端對於重里之方向定位；動態平衡是指為因應如旋轉、加速及減速等突然之運動而產生維持身體位置之反應 (許世昌, 1992)。在運動生物力學上，若受力或力矩互相抵消，則也能形成平衡 (Berg, Wood-Dauphinee, Williams, & Maki, 1992; Mathias, Nayak, & Isaacs, 1986; Nordin, Moe-Nilssen, Rannemark, & Lundin-Olsson, 2010)。從事太極拳運動之老年人在步行時採取較為彎曲髖、膝關節的動作，並產生較高的膝關節伸展力矩，以獲得較好的步態平衡與穩定性，且能夠較有效地利用髖關節產生能量以及膝關節的蹬伸作用獲得較快的步行速度及較長的步長 (陳柏潔、黃長福, 2016)。

老化

老化 (aging) 的過程伴隨著人體肌肉功能 (如：肌力、肌肉收縮速率)、心肺適能下降等，進而影響執行日常活動的能力 (例如：走路速度、平衡)。過去研究發現老年人肌肉力量退化與步行速度變慢及步幅變短有顯著的相關性，其主要原因包括了在制動期髖關節伸展肌群肌力退化造成輸出功率減少，或是在推蹬期踝關節蹠屈力矩及功率降低 (DeVita & Hortobagyi, 2000; Fiatarone et al., 1990; Judge et al., 1996)。學者指出老年人因踝關節肌群的退化在行走時會重新分配力量的方式以調整步態動作，主要為減少遠端踝關節的作用並藉由較多肌纖維的大腿肌群及近端髖關節來進

行 (Berg, Wood-Dauphinee, Williams, & Maki, 1992; Monaco, Rinaldi, Macri, & Micera, 2009)。

此類型運動在動作時不需要其他關節同時動作，關節可單獨的活動。這一類動作的好處是可以單獨的訓練單一關節特定肌肉。但是這樣的訓練卻不是那麼實用的，因為大部分身體活動是多關節、同時涉及各肌肉群的，尤其是下肢的活動，如：腳踢球、羽球擊球動作。閉鎖性動力鍊運動是當運動時四肢的遠端是固定的狀態。在其中一關節運動時，會伴隨其他關節同時作用。這些運動的好處是可以多關節並包含多組肌群參與運動來完成一個多平面的動作，與大多數的身體活動、運動動作較為相似，如伏地挺身 (上肢)、深蹲 (下肢)、從坐著到站起來的動作 (Lutz, Palmitier, An, & Chao, 1993)。理解運動後，又可延伸至運動訓練的延伸議題包括專項訓練、肌力訓練、核心訓練、增強式訓練等，而這些議題可歸類出兩個範疇，分別為體重訓練及高強度間歇訓練。如今流行的體重訓練不僅侷限於以自身體重為重量，更以自由式重量等方便攜帶且便宜的器材輔助訓練，設計出多變化且功能性的系列動作，因此在成人與兒童的團體課程中非常受歡迎。高強度間歇訓練主要是以臨界個人最大運動強度進行數次短時間 (1-4 分鐘) 衝刺以及短恢復時間 (1-3 分鐘) 的訓練模式完成一組總時間 < 30 分鐘的運動訓練；由於該訓練成果突顯出運動效率與經濟性，與傳統訓練的成效相仿而備受矚目。阻力訓練可有效提升肌力，但也因為不同型態 (向心、離心、等長) 的訓練對肌力增長的效益也會不同。Hortobágyi 等人 (1997) 讓離心和向心組成年人進行 12 週下肢阻力訓練後，兩組肌力皆有顯著上升，但以離心組 (↑39%) 上升幅度較向心組 (↑22%) 大。

肌電圖

肌肉收縮過程中伴會隨電氣活動與肌纖維的顫動，若以電極儀器記錄肌肉收縮時的電位變化和肌纖維顫動的圖形模式，即為肌電圖 EMG (electromyography)。蔡宗晏、王進華 (2007) 其功能主要了解肌群參與動作的順序、特定動作時的肌肉收縮強度、不同肌群的參與程度、評估肌肉的興奮性、協調性、訓練的效果以及肌肉疲勞。Kornecki (1992) 認為當作用肌與拮抗肌產生共同作用時，此共同作用的優點可使關節更為固定，並且可以使動作較不受干擾。作用肌除以拮抗肌的方式計算腕關節之共同收縮比值 (劉強、龔榮堂、相子元, 2003)。Baratta 等人 (1988) 曾提出肢段起始

動作由作用肌群的活化來帶動，拮抗肌在同時間的共同作用則是主要幫助韌帶維持關節的穩定以及將關節及表面所承受的壓力作均衡的分佈。另有研究指出雙手肘關節與腕關節在進行快速擺臂動作時會產生共同收縮作用來穩定手臂的動作，即慣用手扮演了穩定與控制方向的角色 (王思婷、王思宜、湯文慈與黃長福，2004)。

著地

人類每天都依靠雙足進行行走、奔跑或跳躍等動作，因此人類在各種活動下的著地型態 (策略) 也廣受討論。討論內容包含著地過程涉及的不同動作 (走、跑、跳)、不同時序 (起始、騰空、落地) 時的各關節角度、各肌肉活化程度、活化順序，甚至造成雙足疲勞的關鍵指標等，都是運動生物力學當代持續鑽研的課題。前十字韌帶 (anterior cruciate ligament, ACL) 的傷害，基本上發生在非接觸性的運動所產生，而著地動作與前十字韌帶的傷害有密切的關係。研究指出有關前十字韌帶風險，為著地期間有最大地面反作用力值、達最大反作用力的時間愈短，及其兩者比率所得的負荷率 (loading rate) 愈高，皆會提升下肢傷害的風險，另在著地階段具有較大的地面反作用力、衡量，及較早出現的最大地面反作用力峰值，此與在著地期間髌與膝關節角度有關 (Williams, Davis, Scholz, Hamill, & Buchanan, 2004)，同時地面反作用力的大小也受到下肢關節的變化有所影響 (Yu, Lin, & Garrett, 2006)。從過去著地研究發現不同高度、性別、著地方式、軀幹彎曲角度、限制性踝關節膝背屈角度和單雙腳著地等因素皆會影響下肢著地動作生物力學參數之影響，可見著地動作不管在日常生活中及競技運動場上是常發生的身體活動，而這樣的動作也是造成膝關節韌帶損傷的風險因子。

前十字韌帶 (Anterior Cruciate Ligament, ACL) 耗損，基本上發生於非接觸性的運動，比如轉身、切入或這兩種動作的結合 (Hewett et al., 2005; Kirkendall & Garrett, 2000)。較小的背屈角位移跟較小膝關節角位移，較大膝外翻角位移及較大的垂直分力及向後分力，這都會增加前十字韌帶 (ACL) 的負荷並提高傷害風險。由此可知前十字韌帶傷害，通常在著地動作時發生，人體著地動作過程，下肢段肌肉之離心收縮 (eccentric contraction) 主要扮演吸收動能之角色 (Norcross et al., 2013)，迫使關節作伸展、屈曲以緩衝並減少著地的衝擊 (Aizawa, Ohji, Koga, Masuda, &

Yagishita, 2016; Decker, Torry, Wyland, Stereer, & Steadman, 2003; Norcross et al., 2013)，有研究指出硬著地相較於軟著地有較少的角位移變化，因此會導致人體下肢較大的反作用力 (Hewett et al., 2005)。同樣的，較大的地面反作用力，與較大的膝外翻角位移與力矩有關聯 (Griffin et al., 2006)。近年來，大部份研究傾向將實際運動狀態中著地動作過程加以簡化，分別以不同高度、軟硬著地策略、腳尖全腳掌著地型態等因子來探討其生物力學參數情形。

變異性 (variability)

對於不同的人進行同樣的強度運動，排除了測量時的理論背景等問題，所產生的效應絕對不會相同。而這樣的差異化，不僅僅是由於神經肌肉系統或測量出的結果有差異外，也可能是功能性的問題。這種功能可以是環境適應、提升運動表現或是減少傷害風險，並促進協調模式的改變。因此差異化與運動的控制和協調，以及對實踐技能的學習有很大的關係 (Fleisig, Chu, Weber, & Andrews, 2009)。

伍、結論與建議

過去十年熱門之關鍵詞依順序包括了訓練、肌力、老化、運動表現、生物力學、肌電圖等。進一步將生物力學熱門議題大致分為一、動作分析相關主題；二、運動表現相關主題；三、動作控制相關主題；四、復健醫療相關主題；五、儀器方法相關主題。另外在前瞻議題方面則包括一、特殊需求 (高齡化、頂尖運動員、肌力訓練)；應用實務 (機能服飾、運動產業) 及創新科技 (穿戴式科技) 等主要議題。

整體運動領域發展由傳統的以體育教學，延伸到競技運動 (sports)，進而發展成為健身運動 (exercise)，甚至到全人發展之運動 (wellness)；因此運動生物力學也由體育教學及競技運動生物力學 (sport biomechanics) 延伸到健身生物力學 (exercise biomechanics)，進而發展成到全人健身生物力學 (wellness biomechanics)。除了隨著整體運動領域發展外，也由於科技及電腦的進步，增加了運動生物力學研究的廣度與深度，更複雜的動作、更微觀的變化、更精密的分析及更及時的回饋，因此未來運動生物力學的研究將朝向以下已有的前瞻方向及議題發展。

陸、參考文獻

- 王麗雲、楊志堅、相子元、柯皓仁 (2017)。教育學門「熱門及前瞻學術研究議題調查」研究結果及建議。《人文及社會科學簡訊》，18(2)，39-63。
- 王思婷、王思宜、湯文慈、黃長福 (2004)。網球雙手反拍肌肉協調型態之探討：個案研究。《體育學報》，(36)，85-94。
- 呂東武 (2001)。步態分析技術發展現況與未來趨勢。《物醫學報導》，5，21-25。
- 林正常、林貴福、徐臺閣、吳慧君 (譯) (2003)。運動生理學：體適能與運動表現的理論與應用。臺北市：藝軒。(Powers, S. K., & Howley, E. T., 2001)。
- 杜宜憲、陳五洲 (2008)。肌力訓練的動作力學與肌肉疲勞之探討。《大專體育》，(95)，179-185。
- 李育銘、李恆儒 (2013)。在躍起著地時誘發疲勞運動對下肢關節和地面反作用力的影響。《華人運動生物力學期刊》，(8)，1-8。
- 相子元 (2005)。《生物力學儀器：理論與實務》。臺灣運動生物力學學會。
- 許世昌 (1992)。《最新實用解剖生理學》。台北市：永大書局。
- 郭啟迪 (2009)。《局部肌肉振動對於急性疲勞之效益探討》(未出版之碩士論文)。國立臺灣體育大學，桃園縣。
- 曾元顯 (2011)。文獻內容探勘工具。《圖書館學與資訊科學》，37(1)，31-49。
- 侯彥竹、相子元 (2014)。從 2015 年全球體適能調查探討未來趨勢。《運動表現期刊》，1(2)，33-37。
- 張曉昫、蔚順華 (1999)。肩關節內外轉肌群肌肉疲勞對肩關節本體感覺功能之影響。《大專體育學刊》，1(1)，85-96。
- 張庭嘉 (2008)。《肩關節疲勞後介入靜態伸展對本體感覺之影響》(未出版之碩士論文)。國立臺灣體育大學，桃園縣。
- 莊恆澤、曹家銘、鄭旭峰、祁業榮 (2004)。本體感覺訓練對運動傷害之重要性。《文化體育學刊》，(2)，12-21。
- 黃奕銘 (2012)。以神經肌肉觀點探討肌肉疲勞的機制。《中華體育季刊》，26(4)，427-430。
- 蔡明學、黃建翔 (2015)。大數據分析在我國教育發展應用上之探討。《教育脈動》，(4)，154-164。
- 蔡宗晏、王進華 (2007)。淺談肌電圖在運動科學中的應用。《大專體育》，(90)，155-161。
- 張簡旭芳、相子元 (2016)。運動表現之研究趨勢。《運動表現期刊》，3(2)，49-53。
- 張育愷、洪聰敏 (2014)。臺灣運動與體育領域學術期刊論文發表之現況分析。《體育學報》，47(1)，1-9。
- 陳全壽 (2014)。追求卓越運動表現。《運動表現期刊》，1(1)，1-5。
- 陳柏潔、黃長福 (2016)。太極拳運動對老年人步態平衡與下肢關節生物力學之影響。《大專體育學刊》，18(2)，101-113。
- 陳婉菁、胡金龍、相子元 (2009)。運動生物力學之趨勢。《華人運動生物力學期刊》，(1)，52-55。
- 陳怡汶 (2011)。比較不同的伸展模式對垂直跳運動表現的影響。《臺灣體育學術研究》，(51)，95-115。
- 劉強、龔榮堂、相子元 (2003)。棒球重量對肌肉活性之影響適當球棒重量之探討。《大專體育學刊》，5(2)，121-129。
- 劉怡廷、張家豪、林惠婷 (2014)。不同強度核心肌群訓練對運動表現的影響。《中華體育季刊》，28(2)，117-123。
- Aizawa, J., Ohji, S., Koga, H., Masuda, T., & Yagishita, K. (2016). Correlations between sagittal plane kinematics and landing impact force during single-leg lateral jump-landings. *Journal of Physical Therapy Science*, 28(8), 2316-2321.
- Berg, K. O., Wood-Dauphinee, S. L., Williams, J. I., & Maki, B. (1992). Measuring balance in the elderly: validation of an instrument. *Canadian Journal of Public Health Revue Canadienne de Sante Publique*, 83, S7-11.
- Baratta, R., Solomonow, M., Zhou, B. H., Letson, D., Chuinard, R., & D'ambrosia, R. (1988). Muscular coactivation: the role of the antagonist musculature in maintaining knee stability. *The American Journal of Sports Medicine*, 16(2), 113-122.
- Coventry, E., O'Connor, K. M., Hart, B. A., Earl, J. E., & Ebersole, K. T. (2006). The effect of lower extremity fatigue on shock attenuation during single-leg landing. *Clinical Biomechanics*, 21(10), 1090-1097.
- Cumps, A. E., Verhagen, E., Verschueren, J., & Meeusen, R. (2013). A systematic review of different jump-landing variables in relation to injuries. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 53(5), 509-519.

- Decker, M. J., Torry, M. R., Wyland, D. J., Stereer, W. I., & Steadman, J. R. (2003). Gender difference in lower extremity kinematics, kinetics and energy absorption during landing. *Clinical Biomechanics*, 18, 662-669.
- Davis, W. E. (1984). Motor ability assessment of populations with handicapping conditions: Challenging basic assumptions. *Adapted Physical Activity Quarterly*, 1, 125-140.
- DeVita, P., & Hortobágyi, T. (2000). Age causes a redistribution of joint torques and powers during gait. *Journal of Applied Physiology*, 88(5), 1804- 1811.
- Dierks, T. A., & Davis, I. (2007). Discrete and continuous joint coupling relationships in uninjured recreational runners. *Clinical Biomechanics*, 22(5), 581-591.
- Fiatarone, M. A., Marks, E. C., Ryan, N. D., Meredith, C. N., Lipsitz, L. A., & Evans, W. J. (1990). High-intensity strength training in nonagenarians: Effects on skeletal muscle. *The Journal of the American Medical Association*, 263(22), 3029- 3034.
- Fleisig, G., Chu, Y., Weber, A., & Andrews, J. (2009). Variability in baseball pitching biomechanics among various levels of competition. *Sports Biomechanics*, 8(1), 10-21.
- Griffin, L. Y., Albohm, M. J., Arendt, E. A., Bahr, R., Beynonn, B. D., DeMaio, M., ... & Hewett, T. E. (2006). Understanding and preventing noncontact anterior cruciate ligament injuries a review of the Hunt Valley II meeting. *The American Journal of Sports Medicine*, 34(9), 1512-1532.
- Gallahue, D. L., & Ozmun, J. C. (1998). *Understanding motor development. Infants, children, adolescents, adults* (4th ed.). Boston, MA: McGraw Hill.
- Hay, J. (1983). *A system for the qualitative analysis of a motor skill*. In G. A. Wood(Ed.). *Collected papers on sports biomechanics*. Perth: University of Western Australia Press, 97-116.
- Hewett, T. E., Myer, G. D., Ford, K. R., Heidt, R. S., Colosimo, A. J., McLean, S. G., ... & Succop, P. (2005). Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes a prospective study. *The American Journal of Sports Medicine*, 33(4), 492-501.
- Hortobágyi, T. (2003). The positives of negatives: Clinical implications of eccentric resistance exercise in old adults. *Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences*, 58(5), 417-418.
- Hortobágyi, T., Lambert, N. J., & Hill, J. P. (1997). Greater cross education following training with muscle lengthening than shortening. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29(1), 107-112.
- Hung, T. M., Tang, W. T., & Shiang, T. Y. (2009). A case study of integrated sport sciences for an Olympic archer. *Journal of Medical and Biological Engineering*, 29(4), 164-171.
- Judge, J. O., Davis, R. B., & Öunpuu, S. (1996). Step length reductions in advanced age: The role of ankle and hip kinetics. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 51(6), M303-M312.
- Kellis, E., & Kouvelioti, V. (2009). Agonist versus antagonist muscle fatigue effects on thigh muscle activity and vertical ground reaction during drop landing. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 19(1), 55-64.
- Kirkendall, D. T., & Garrett, W. E. (2000). The anterior cruciate ligament enigma: Injury mechanisms and prevention. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 372, 64-68.
- Khasstarash, A., Hassannejad, R., Etefagh, M. M., & Sari-Sarraf, V. (2015). Fatigue and soft tissue vibration during prolonged running. *Human Movement Science*, 44, 157-167.
- Kornecki, S. (1992). Mechanism of muscular stabilization process in joints. *Journal of biomechanics*, 25(3), 235-245.
- Lutz, G. E., Palmitier, R. A., An, K. N., & Chao, E. Y. (1993). Comparison of tibiofemoral joint forces during open-kinetic-chain and closed-kinetic-chain exercises. *JBJS*, 75(5), 732-739.
- Madigan, M. L., & Pidcoe, P. E. (2003). Changes in landing biomechanics during a fatiguing landing activity. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 13(5), 491-498.

- Martel, G. F., Harmer, M. L., Logan, J. M., & Parker, C. B. (2005). Aquatic plyometric training increases vertical jump in female volleyball players. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(10), 1814-1819.
- Mathias, S., Nayak, U. S., & Isaacs, B. (1986). Balance in elderly patients: the "get-up and go" test. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 67(6), 387-389.
- Monaco, V., Rinaldi, L. A., Macrì, G., & Micera, S. (2009). During walking elders increase efforts at proximal joints and keep low kinetics at the ankle. *Clinical Biomechanics*, 24(6), 493-498.
- Nordin, E., Moe-Nilssen, R., Rannemark, A., & Lundin-Olsson, L. (2010). Changes in step-width during dual-task walking predicts falls. *Gait and Posture*, 32(1), 92-97.
- Norcross, M. F., Lewek, M. D., Padua, D. A., Shultz, S. J., Weinhold, P. S., & Blackburn, J. T. (2013). Lower extremity energy absorption and biomechanics during landing, part I: Sagittal-plane energy absorption analyses. *Journal of Athletic Training*, 48(6), 748-756.
- Turvey, M. T. (1990). Coordination. *American Psychologist*, 45(8), 938-941.
- Perry, J., & Davids, J. R. (1992). Gait analysis: normal and pathological function. *Journal of Pediatric Orthopaedics*, 12(6), 815.
- Price, R. J., Hawkins, R. D., Hulse, M. A., & Hodson, A. (2004). The Football Association medical research program: an audit of injuries in academy youth football. *British Journal of Sports Medicine*, 38(4), 466-471.
- Winter, D. A. (1987). *The biomechanics and motor control of human gait*. Kinetics: Waterloo.
- Winter, D. A. (1990) *Biomechanics and Motor Control of Human Movement*. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Williams, D. S., Davis, I. M., Scholz, J. P., Hamill, J., & Buchanan, T. S. (2004). High-arched runners exhibit increased leg stiffness compared to low-arched runners. *Gait and Posture*, 19(3), 263-269.
- Wilkerson, G. B., Colston, M. A., Short, N. I., Neal, K. L., Hoewischer, P. E., & Pixley, J. J. (2004). Neuromuscular changes in female collegiate athletes resulting from a plyometric jump-training program. *Journal of Athletic Training*, 39(1), 17-23.
- Wikstrom, E. A., Powers, M. E., & Tillman, M. D. (2004). Dynamic stabilization time after isokinetic and functional fatigue. *Journal of Athletic Training*, 39(3), 247.
- Yu, B., Lin, C. F., & Garrett, W. E. (2006). Lower extremity biomechanics during the landing of a stop-jump task. *Clinical Biomechanics*, 21(3), 297-305.
- Vaughan, C. L., Davis, B. L., & O'Connor, J. C. (1999). Integration of anthropometry, displacements, and ground reaction forces. *Dynamics of Human Gait*, 15-131.
- Zajac, F. E., Neptune, R. R., & Kautz, S. A. (2002). Biomechanics and muscle coordination of human walking: Part I: Introduction to concepts, power transfer, dynamics and simulations. *Gait and Posture*, 16(3), 215-232.
- Zadpoor, A. A., & Nikooyam, A. A. (2011). The relationship between lower-extremity stress fracture and the ground reaction force: A systematic review. *Clinical Biomechanics*, 26, 23-28.



The Current and Development Trend of Sport Biomechanics

Tzu-Lin Wong

Department of Physical Education, National Taipei University of Education

Accepted : 2018/06

ABSTRACT

Introduction: Sport biomechanics is a combination science of biology and mechanics. The main purposes are, actively, to improve sport performance and, passively, to prevent injuries from happening. As research equipment constantly evolving, research methods of Biomechanics became more and more advanced. Biomechanical research topics change over the years because the change of social environment. It is not only affecting domestic sport related research, but also influencing global discussion. Under consideration of the observation, it is necessary to discuss and analyze the journals and research proposals (MOST approved) in the field biomechanics. **Methods:** Internationally, we searched SCI journals in Thomson Reuters and ISI Web of Knowledge databases, and found 21252 articles in 18 journals including Sports (in general), sport medicine, and biomechanics categories. Domestically, in journals, we chose Physical Education Journal and, Sport and Exercise Research; in research proposals (MOST approved), we found 869 articles and 265 research proposals. All the articles and research proposals were published within the period from 2006 to 2015. Then, we used CATAR software to proceed a co-word analysis. At the same time, we conducted questionnaire (for related experts) and quality assessments. To know the popularity of the research topic, it's determine by the frequency that biomechanics appears in the articles. **Results:** Popular topics can be group into five categories: First, motion analysis; Second, sport performance; Third, motion control; Forth, rehabilitation; Fifth, research equipment method. Proactive topics include special needs (elderly, elite athletes, conditioning); applications (functional clothe, sport industry) and innovated technologies (wearable technologies) etc. **Conclusion:** In the past, biomechanical researches focused physical education, sport performance, and extended to fitness exercise. For example, the development of assistive devices and equipment or daily physical activities. The goal is to establish holistic health biomechanics.

Keywords: big data analysis, innovative technology, wellness