

第貳章 理論基礎與文獻探討

蒐集並整理分析本研究相關文獻後，本章將分成五部份進行文獻探討：第一節為跆拳道踢擊動作的力學基礎；第二節為跆拳道起跳動作的理論基礎；第三節為動力鏈在運動表現上之應用；第四節為跆拳道運動生物力學之研究文獻；第五節為跆拳道比賽攻擊動作型態之研究；第六節為文獻總結。

第一節 跆拳道踢擊動作的力學基礎

一、踢擊動作技術流程

任何動作之瞭解應先從基本動作著手研究，再組合基本動作而成為應用動作。各階段動作經組合後，成為動作流程，再施以生物力學原理說明，將使動作技術分析更為快速有效。在雙人對戰的比賽中，不論是進攻或防守時，每一個踢擊動作力求準確而有力地擊中對手，這是戰勝對手的主要關鍵因素之一。因此運動員如果沒有正確而紮實的基本踢擊技術，將會影響踢擊的準確性、速度、力量及控制身體動作等能力。蔡葉榮、許志耀（2002）指出：跆拳道踢擊的基本技術，一般可分為正面踢擊動作及轉身踢擊動作兩大類，其動作技術流程分述如下：1.正面踢擊動作：包括旋踢、下壓踢、前踢、前踩等踢法；2.轉身踢擊動作：包括後踢、後旋踢等動作。正面踢擊動作與轉身踢擊動作之技術流程，其先後依序為預備踢擊動作、轉身動作（轉身踢擊）、蹬地提腿動作、踢出動作、收腿動作與完成動作。預備踢擊姿勢是跆拳道競技實戰中最為重要的基本方法，正確之預備踢擊姿勢在對戰中較能發揮有利之攻守動作，一般而言，正面踢擊動作為有利於左、右腳的攻擊，通常採用自然步站法（雙足略成三七步），而轉身踢擊動作則採用側身站法（雙足接近平行）。轉身動作是身體方位變化的具體表現，支撐部位大小，決定旋轉的速度，而繞縱軸的轉身動

作，有利於左、右的攻擊。蹬地提腿動作為踢出動作之前導動作，兩種踢擊動作主要差異在於正面踢擊動作強調正面向前屈膝抬腿，而轉身踢擊則是先向背後轉身再蹬地屈膝勾腿，轉身踢擊動作踢出時為背向對手，對目標較不易掌握，同時攻擊時間較長，因此通常應用在反攻擊、或是連續攻擊之時機。收腿動成與完成動作為下一波攻擊或防守的關鍵環節，必須確實而迅速完成。

二、 踢擊動作的力學參數

跆拳道是以腿部踢擊動作為主，從踢擊的基本動作蛻變衍生成各種踢法。

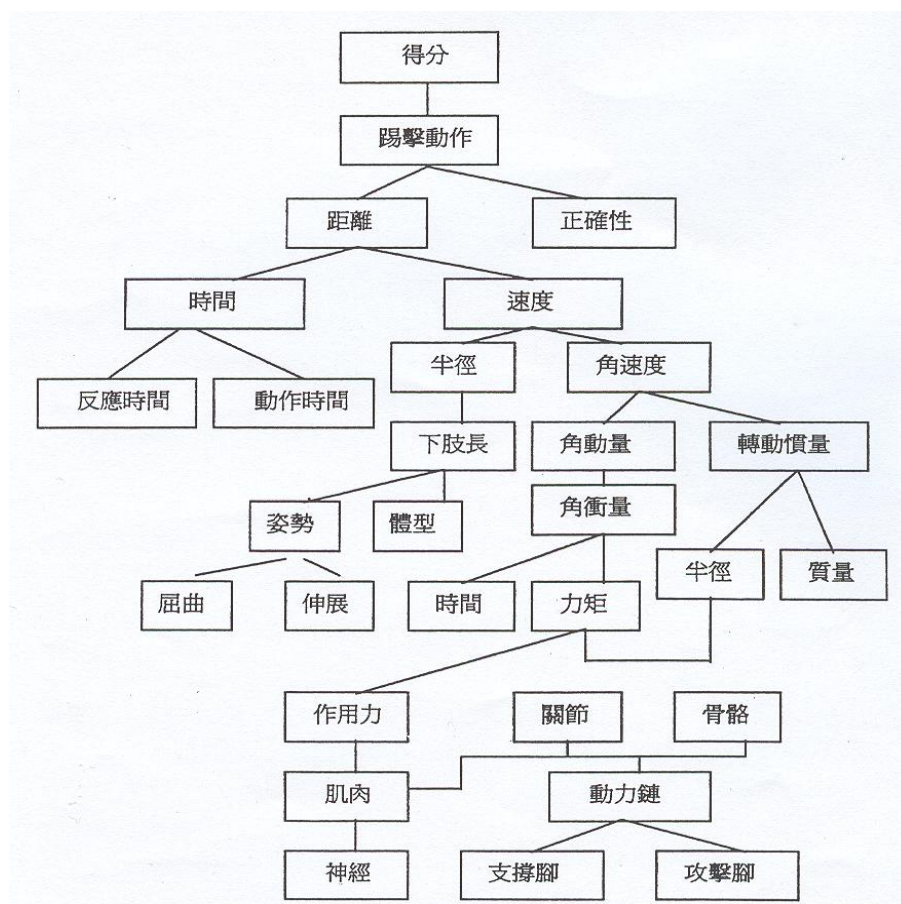


圖 2-1 跆拳道踢擊動作生物力學模式圖

蔡葉榮、許志耀（2002）建議根據跆拳道比賽的競賽特性，應重視時間參數的重要性，因此根據許樹淵 1991 年所發展的力學模式圖，將時間參數再細分為反應時間與動作時間，而發展出跆拳道踢擊動作生物力學模式圖，如圖 2-1 所示。

三、 踢擊動作之力學原理

跆拳道踢擊動作所涉及的技術層面雖因不同踢法而有差異，但其共同的變數仍離不開生物力學的範疇。林建發（1990）以功率、衝量-動量等式、槓桿原理、關節活動順序原理、擺動動作原理、相向動作原理、鞭打活動原理以及緩衝動作原理等九個面向來加以說明。

（一） 功率 (power)

功率為單位時間內所完成的功，即 $P = w / t$ ， $= F \times v$ 由此功率的公式可以瞭解，功率為力量與速度的乘積。另外，功率又可以用另一名詞“爆發力”來說明，亦即爆發力為最大力量與最快速度的乘積。一個攻擊的動作要成功而有效，就須具有快速步伐移動與快速的踢腿。而加快移動速度與踢腿速度，就足以使對方無法及時防禦，自然就能掌握攻擊的優勢。

（二） 衝量-動量定律

衝量＝動量等式， $F \Delta t = m \Delta v$ 。力量與速度的有效配合能夠達成有效的攻擊，故如何產生最大力量與最大加速度和兩者因素之配合為研究攻擊爆發力的重要課題。因此欲產生肌肉收縮的最大功率，即產生最大的爆發力，除了對肌肉從事最大肌力的重量訓練之外，還得訓練肌肉收縮的速度；除此之外，還必須練習肌肉收縮用力程度與動作產生的過程以及速度相互間的配合。

（三） 動量不減定律

有效的攻擊乃是攻擊者的攻擊動作有效地擊中對方身體，所以基本上，攻擊實為兩碰撞物體的研究，依據動量不減定律，及碰撞前之動量和等於碰撞後之動量和。當兩位選手攻擊時發生的撞擊，因為兩者的質量為固定的常數，作用力 F（力道或殺傷力）的大小就取決於兩者移動的速度與方向，兩者移動速度愈快而且速度的方向相反，因此兩者碰撞的作用時間減少，作用力就增加，攻擊至對手的殺傷力也就很大了。反之，兩者碰撞時的速度慢而且移動方向相同，則兩者碰撞的作用時間就拉長，產生的作用力（力道或殺傷力）就減少了。

（四）槓桿原理

人體的活動就像是一部複雜的機器，骨骼、肌肉為人體的架構。人類一切身體的運動都是靠肌肉的收縮而活動，肌肉為力量的來源，骨骼為槓桿，關節為支點。整體的活動就是以槓桿原理為基礎，若是以力矩的公式來表示，則為： $M(\text{力矩})=F(\text{力}) \times l(\text{力臂})$ 。

（五）關節活動順序性原理

跆拳道攻擊動作正是以槓桿原理來產生力量，就以整個攻擊動作來剖析是從身體軀幹脊柱為中心，一連串的槓桿結合，動作由中心傳出至末梢。傳動的過程由中心大的關節逐漸傳至末端較小的關節，逐漸加速至最大。

（六）鞭打活動原理

由轉矩等於轉動慣量乘以角加速度，又轉動慣量＝質量×半徑的平方。由此可知人體骨骼肢斷就是一個轉動慣量，通常愈接近人體中心的轉動慣量愈大，離中心愈遠的轉動慣量愈小。鞭打活動的原理就像是皮鞭抽動一般，由肢體較大的關節傳遞至末端較小的關節，經由整個過程不斷的加速，

最後產生最快的瞬間速度（李誠志，1994）。跆拳道任何攻擊動作都是依此原則來產生最快速的動作。

（七）擺動動作原理

擺動動作最主要的目的是為了提高或降低身體的重心，人體的重心的位置是隨著肢體的動作及姿勢而產生改變。以跆拳道的攻擊動作來舉例說明：例如，執行下壓的攻擊動作時，屈膝提腳上舉的同時，雙臂上舉以提高自己身體的重心，可以更容易提高踢腳高度，有效地擊中對方的頭部。另外，其他各種踢擊動作，手臂配合踢腳的自然擺動，也是為了調整重心與平衡動作。

（八）相向動作原理

就跆拳道踢擊動作而言，大部份的動作都是以軀幹為中心軸而旋轉的角運動，不是以順時針方向就是以反時針方向旋轉的運動。為了求取身體的平衡，一個順時針方向的角運動必然有另一反時針方向的角運動與之平衡。例如，一腿右旋踢，髖部隨踢腳方向繞軀幹以逆時針方向旋轉，而肩部以反方向繞軀幹順時針旋轉，同時手臂後擺，這也是為了身體的平衡。如此平衡的動作，對於快速的踢腳以及跳踢的動作更為重要，因為愈快速的動作與騰空的動作，身體是更容易重心不穩，因此平衡動作相形之下更加重要了。

（九）緩衝動作原理

在抵抗外力的過程中，下肢由伸展狀態轉為屈曲狀態的動作過程稱為下肢的緩衝動作。緩衝動作在跆拳道運動中的作用有：1.減少外力作用：踢腳、跳踢、飛踢以及步伐移位的落地動作，落地的瞬間，肌肉離心收縮以減少地面的反作用力。2.為連續動作技術的重要環節：緩衝動作藉肌肉的離心收縮，迅速收腿、移位時重心的收回以及攻擊後落地的緩衝等。

緩衝動作的好壞與下一個動作的連繫是息息相關的，所以它是連續動作的重要環節。3.非代謝能的利用：緩衝動作能夠將動作的動能轉變為位能（肌肉之張能）、並在後續的動作中轉換為動能。這個動能並非由肌肉中能量物質的消耗產生的，因此節省了人體的能量消耗。

第二節 跆拳道踢擊起跳動作的理論基礎

一、踢擊預備姿勢定性描述

在跆拳道競技實戰中預備姿勢為最重要的基本方法，正確之預備姿勢，踢擊中能保持平衡、臀腰部迴轉能圓滑、可做出最大速度之踢擊、充份發揮力量，並且控制容易。站的過寬或太窄都不好，都會影響到踢擊效果。但要能前後、左右、自由無阻礙之踢擊與移位，隨時得到圓滑之方向變化。站立的姿勢以雙腳寬度是來自於肩寬的距離為宜，即為最理想的姿勢。劉昭晴（1997）認為踢擊準備姿勢的良窳之與頭部、手部、上身與雙腿位置等有密切關係，茲將各部位動作要領介紹如表 2-1。

二、起跳動作的肌肉力學原理

近年來儘管運動科學對於跆拳道有許多的研究報告，包括運動生物力學、運動生理學及運動心理學的相關分析，對跆拳道運動發展而言，的確有許多的助益，但是對於跆拳道踢擊前相當重要的準備動作型態卻未曾有研究者關注過，也許是受限於實驗室的種種限制因素。對於跆拳道踢擊動作而言，不論是在原地踢擊或躍起踢擊前，其下肢皆會有彈動動作 (counter movement) 的現象發生，跆拳道起跳前的預備站姿所產生的彈性動作符合這樣的現象。彈動動作使肌肉於一般的動作表現中，有預先牽張 (pre-stretch) 的介入，而後伴隨著向心的收縮。肌肉的工作型態一般分為等長收縮、離心收縮和向心收縮，但是如此的分類法無法完全代表肌肉的自然工作型態，因為在許多運動中身體環節週期性地受到衝擊，例如在跑跳中肌肉受到外力的作用而被拉長，此時肌肉首先做離心收縮，隨即伴隨著向心收縮，這種離心收縮和向心收縮的結合，實際上完成了一種肌肉的自然機制，此種現象常被描述為牽張縮短循環 (stretch-shortening, SSC, Norman &

Komi,1979 ; Komi,1986)。

表 2-1 跆拳道踢擊預備姿勢定性描述表

部位	動作要領
頭部	踢擊動作頭部必須保持正直，並使下顎能夠稍微接近鎖骨，以減少受到攻擊的可能，因此除非是做閃避的動作，否則頭部盡量不要側偏，但是要避免使頸部過於僵硬死板，而陷於一種不自然的狀態，因而失去支持頭部的功用，破壞全身之正確姿勢，肩膀必須自然放鬆，不可聳起，造成手臂與肩部之疲勞，減少動作的靈活性。
前置手	前置手即踢擊時擺在身體前方的手臂，前置手隨個人之習慣而變，一般在攻擊前，必須使肩部放鬆才能做攻擊的動作，因此前置手之位置不能高過肩部，最好能與腰部同高，整個手臂必須完全放鬆，肘部彎曲的角度不能太大，在不使整個手臂完全伸直為原則。
後置手	後置手的手肘應微微沈置腰側，拳掌的位置至於下巴下方，約在前置手與身體之中央。
上身	就防禦而言，身體暴露的目標愈少愈好，因此，身體可以向左或向右轉身 45 度，如右腳在前則身體向左轉，如右腳在後則向右轉身，上身之姿勢視前腳之位置而定，若前腳的位置正確，則上身之姿勢自然適當，最重要的是上身必須微微向前傾，以保持最佳之移動性。
雙腿	自然步之站法，主要目的是予以出腳踢擊，重心移動較為順適輕快，而且踢擊亦佳。不論攻擊或轉為防守或者移動於前、後、左、右都極為有利方便出腳。側身之站法，則最利易於對側踢、後踢或轉身踢擊動作較強的選手。

三、牽張縮短循環的生理機制

彈動動作 (counter movement) 使肌肉於一般的動作表現中，有預先牽張 (pre-stretch) 的介入，而後伴隨著向心的收縮，許多研究指出肌肉在這樣的動作模式下，能有效的增進運動的表現。根據 Wilk 等 (1993) 指出，SSC 之所以能夠使力量增加、產生較大爆發力，進而增進運動表現之生理機制為彈性能的儲存 (storage of elastic energy) 及神經肌肉牽張反射共同作的結果 (Komi, 1986)。SSC 之生理機制分述如下：一、彈性能的儲存：向心收縮之前的牽張將使肌肉產生較大的功，其原因為肌肉牽張所儲存的彈性能所致；二、牽張反射：SSC 的另一個重要機制為牽張反射，當肌肉被拉長時，啟動肌纖維中肌梭，藉 Ia 神經纖維通過脊髓弧 (spinal-arc) 通知運動神經纖維，對該肌纖維進行收縮，以避免肌肉過度拉長。由於此種反射性機制結合肌肉自主性收縮力量，所以能夠產生更大的爆發力。

SSC 動作可分為三個階段，即離心期、償還期 (amortization) 和向心期。離心期始於運動員開始動作至開始償還，此期的作用是預先牽張肌肉以增加彈性能和肌梭活動，並為彈性能的償還和 α 運動神經激發最佳肌肉收縮狀態作準備 (Lundin, 1985)。SSC 的第二期為償還期，是指離心收縮逐漸結束至向心收縮開始，它是從克服外力轉變至身體動作加速的階段 (Voight & Dravitch, 1991)，此期所花費的時間稱為偶聯時間 (coupling time)。最後的階段為向心期，此期運動員專注於前兩期所留下的影響和為下一循環作準備，此期又稱支付期 (payoff)，因前兩期的表現影響第三期向心收縮的結果。

SSC 一般可分為兩種類型：第一類型為長 SSC，其特徵是下肢關節角度變化大，且支撐時間長於 250 ms，例如：排球的攔網起跳及籃球的投籃起跳動作；第二類型為短 SSC，其特徵是下肢關節角度變化較小，且支撐時間在 100~250 ms 之間，例如：跳遠的起跳及短距離跑支撐階段的動作 (Schmidtbleicher, 1986)。

四、牽張縮短循環對動作表現的影響

Schmidtbleicher and Buehrle (1987) 指出跳躍動作引起典型的牽張反射現象，沒有預先下蹲的跳躍動作很少，大多數跳躍都伴隨著預蹲動作。下蹲跳 (Counter Movement Jump, CMJ) 和蹲踞跳 (squat jump, SJ) 是 SSC 相關研究的典型動作。Bobbert, Gerriten, Litjens, & Soest, (1996) 認為，能量的儲存與再釋放並非使 CMJ 的跳躍高度高於 SJ 的主因，並主張主要的因素乃來自於肌肉能達到較高程度的收縮狀態。Voigt, Simonsen, Dyhre-Poulsen and Klausen (1995) 研究不同預先牽張的強度對最大努力垂直跳運動表現的影響，發現在較低的預先牽張強度下（下蹲跳與從 0.3 m 高度的跳深）比在較高的預先牽張強度（0.6 與 0.9 m 的跳深）具有較佳的運動表現，雖然此實驗中認為在預先的牽張中有可觀的能量（ $26\pm 3\%$ ）儲存於肌腱之中，但卻不能以推蹬期時彈性能量的釋放來解釋運動表現的增進，而在較低的預先牽張強度下避免了肌肉受到過度的牽張，而保留了其後肌肉收縮與肌腱釋放彈性能量的一致性，且肌腱若接受過高的強度刺激，進而會引發高爾氏腱器（GTO）產生對作用肌反射抑制的效果 (Vander, Sherman, & Luciano, 1994)。Bobbert 等 (1996) 認為，造成蹲踞跳 (SJ) 與下蹲跳 (CMJ) 跳躍高度差異的原因可能是：(一) CMJ 能以較佳的協調性來完成垂直跳；(二) CMJ 在向心收縮前能刺激肌肉達最大的主動狀態 (maximum active state)；(三) CMJ 能將肌肉彈性組織的能量加以儲存；(四) CMJ 預先對肌肉的牽張使肌肉能達較高的刺激水準，產生較大的力量與功；(五) CMJ 中預先對肌肉的牽張可改變肌肉收縮結構的條件。

認為預先的伸張（離心收縮）與隨後向心收縮的結合，在速度、最大力量、動力輸出等變項上比單純的向心收縮較大。Komi (1986) 亦認為此類反射性的運動能力的提高，乃是肌肉中非收縮組織的彈性與神經肌肉伸張反射共同作用的結果；王國慧、林正常 (2005) 發現

下蹲跳之跳躍高度與 $90^{\circ} \sim 60^{\circ}$ ROM 和 $90^{\circ} \sim 30^{\circ}$ ROM 呈顯著相關，其中以 $90^{\circ} \sim 60^{\circ}$ ROM 之相關係數最高，而造成此結果的原因，推論可能與收縮速度與之伸展幅度有關。即於下蹲跳時，下蹲角度過大會延長收縮時間而不利於肌肉中彈性能的儲存及應用（周立偉、蔚順華，1999），進而影響跳躍的表現，因此較小的動作範圍對跳躍動作而言較為有利。

林政東、劉宇、呂進宏（2000）指出，較短的牽張幅度能夠產生較佳的 SSC 機制，即產生較大的牽張反射與彈性能，同時也產生了較大的向心肌力和爆發力。Rack & Westbury (1974) 認為在 SSC 跳躍動作中，當牽張的肌肉超過短程彈性勁度 (short range elastic stiffness) 範圍時，則參與橫橋作用的肌凝蛋白和肌動蛋白將減少而使肌肉勁度下降，所以牽張幅度的大小應該對 SSC 動作會造成相當的影響。此外，在 SSC 跳躍動作研究中，發現小幅度角位移動作產生較高的機械效率，並能夠提高肌肉力量和爆發力 (Thys, Faraggiana & Margaria, 1975)。

五、不同起跳角度對動作表現的影響

蕭乃升（1994）曾以三維攝影分析十五位男性運動員與非運動員雙手插腰垂直跳起跳期，膝、踝關節聯合運動的現象。在相對時間比率上：膝關節開始彎曲時踝關節慢了 6 % 的膝總動作時間才開始彎曲；於 69 % 膝總動作時間時，膝關節彎曲達最小角度，踝關節則是在 70 % 膝總動作時間時彎曲達最小角度；最後在 100 % 膝總動作時間時腳尖離地。優秀運動員較非運動員在動作上具有較大的腳尖離地角度、較快的關節伸展速度及較一致的膝、踝關節屈、伸時間比率等特徵。

下肢關節是垂直跳的動力來源，而膝關節角度的活動對跳躍表現更是具關鍵性的影響，但是對歷年的國內外文獻中對膝關節角度對垂

直跳躍高度的研究出現較為分歧的結果。

孟站領、張慶來（2004）以 16 位體育學校學生為實驗組，15 位非體育學校中學生為對照組，進行髖、膝、踝關節的快速（2400 deg/s）和（600 deg/s）肌力測試。其結果得到體育學校學生膝關節彎曲角度在 132.67° 時有最大的角速度；非體育學校中學生膝關節彎曲角度在 128.11° 時有最大的角速度。且影響市業體校運動員「微蹲」或「直膝」的垂直跳高度的主要因素是膝關節最大角速度，其次是膝關節的快伸力矩；影響對照組中學生「微蹲」或「直膝」的垂直跳高度的主要因素是膝關節最大緩衝角度，其次是膝關節快伸肌力矩因素。

朱國生（2000）以淺蹲、半蹲、深蹲三種角度之測力板屈膝直跳的分析，結果發現深蹲屈膝垂直跳在跳躍高度、衝量及蹬伸的時間有最佳的表現；地面反作用力淺蹲具較佳表現，但未達顯著水準，因此，其認為要有好的跳躍高度在於肌肉彈性能量的獲得、儲存與利用。

黃志剛、王煜（2000）將膝關節角度控制在 75°、90°、105°、120°、135°、150°、165° 等作屈膝垂直跳（SJ），發現最大地面反作用隨角度增大而增大；135° ~ 150° 最大並在 150° 後降低，重心上升高度隨角度增大而降低，而決定跳躍高度的因素是力量與作用時間的乘積即衝量。對垂直跳在膝關節的活動上，並未獲得最佳起跳角度的共識，但最佳膝關節起跳角度應有一定範圍才是。

Henry（1984）分析 16 名大學男生垂直跳初速度的變化情形，結果發現：垂直跳過程當中，瞬發力和垂直跳成績有很高的正相關（相關值 $r=0.95$ ）。Malliou, Ispiridis, Beneka, Taxildaris, and Godolias（2003）亦曾以 18 名足球選手進行不同膝關節角速度（60 and 180°/s）之跳躍方式，探討等速肌力和跳躍高度的相關性，其發現膝關節角速度和跳躍具有高相關性。

王令儀（2004）以 10 名專項運動員，對受試者個別進行六次「蹲踞跳」（即屈膝垂直跳）與三次「束踝蹲踞跳」。其結果得到高表現的

蹲踞跳的髖、膝、踝關節之角速度 (557.2 deg、692.9 deg、589.0 deg) 都比低跳躍高度的角速度 (513.3 deg、632.9 deg、561.2 deg) 高。

Vanrenterghem, Lees, Lenoir, Aerts, and De Clercq (2004) 藉由直膝垂直跳的動作來瞭解跳躍的力量和動作，研究發現只要增加跳躍的角速度即可增加跳躍的高度，反向動作所增加的關節屈伸度為跳躍高度表現較佳的因素來源。

第三節 動力鏈在運動表現上的應用

一、動力鏈之分類及說明

如何有效的將身體的能量透過肢段傳給遠端的物體，是大部分投擲或是踢擊動作所要達成的目的。根據 Kibler 和 Chandler (1995) 指出，透過動力鏈 (kinetic chain, KC) 作用，可使運動員更有效率地產生連續性動作，藉由支段間動力鏈的力量產生及傳遞，將力量逐漸的由下肢末端累積至上半身，進而使上肢關節產生最大的力量輸出，而踢擊就如同投擲一樣，在動作型態上有某些相似程度。

動力鏈 (kinetic chain) 這個名詞最早的定義源自於機械工程用來分析連桿系統 (Linkage system)，由 Steindler (1955) 將此觀念應用在人體活動上，他將人體的每一個肢節視為一連桿，而每一連桿相接處即為關節，且每個連桿相接後成一個鏈狀物，他發現若是末端肢節受到阻力而無法自由移動，其肌肉的徵召與關節的活動方式會與末端肢節可自由活動的狀況有所不同，因此他將連桿系統末端受到一外來阻力而無法自由活動稱為閉鎖動力鏈系統 (closed kinetic chain system)，而連桿系統末端可自由活動則稱為開放動力鏈系統 (open kinetic chain system)。

近年來動力鏈被廣泛的應用在運動科學與復健醫學的運動訓練上，用來增進選手的運動表現、減少運動傷害和加速患者復健目標的達成。隨著動力鏈的概念被許多運動科研人員及醫學臨床專業人員所應用，對於動力鏈的定義也開始步入多元的論點。Rivera (1994) 年指出 closed kinetic chain (CKC) 運動是肢體末端固定在地面的運動，而 OKC 運動是肢體末端可自由活動的運動。Beynnon (1997) 則認為 CKC 運動是承重運動 (weight bearing exercise) 且下肢屈伸肌群在運動中會出現同時收縮 (co-contraction) 的特性，而 open kinetic chain system (OKC) 運動是非承重運動 (non-weight bearing exercise) 且下

肢屈伸肌群在運動中會出現單獨性收縮 (isolated contraction) 的特性。Fitzgerald (1997) 則認為 CKC 運動不但是承重運動，且有動作完成須移動數個關節，遠端肢段是固定在地面且阻力施在近端或遠端肢節等特色，OKC 運動也不只是非承重運動，還有動作完成只須移動一個關節，遠端肢段可自由移動，且阻力通常施在遠端肢節等特色。一般常被做為下肢 CKC 運動的動作有：蹲舉 (squatting)、壓牆 (Leg press)、上下階梯等動作，OKC 運動的下肢動作一般都是指單一關節的阻力運動如伸膝、屈膝等動作。

二、動力鏈對運動表現的影響

在人體運動上，所有關節皆均繞著身體內的中心作旋轉運動，而身體各肢段都是由肌肉、骨骼所組成，可藉由關節與韌帶的連結做像鎖鏈般作連結性移動，形成動力鏈的活動方式。陳五洲 (1999) 認為開放式動力鏈的概念常被應用於講求速度的動作，例如：排球的扣球、網球的發球、羽球的殺球等。閉鎖式動力鏈的概念則被應用於需要力量的運動上，例如：重量訓練、舉重等。動力鏈在運動技術運動上應用上有所不同主要是兩種動力鏈在特性上的差異。開放式動力鏈的特性包含序列旋轉與後擺，人體在運用開放性動力鏈的過程中肢體部位是逐漸將動力傳遞給下一個相連接的肢體，然後先前的肢體即進入固定或者減速的階段讓末端的肢體能發揮先前傳遞的動力。因此開放式動力鏈肢段移動的序列性正可以用來解釋發揮最大速度的動作。換句話說，如果要發揮肢體末端最大速度，就要讓肢段的序列移動更順利，使得能量在傳遞過程中沒有損耗(鍾祥賜、蕭秀萍，2004)。劉錦璋 (1998) 曾以動力學正過程與拉格朗日運動方程式建立兩肢段的簡化動作模式探討排球扣球的手臂揮擺動作中上肢的連結系統之間的二維平面交互作用的關係，研究發現此動作模式的過程是以漸進的形式，從能量觀點來說，是一種較有效率的過程，因此開放式動力

鏈之產生瞬發力，其速度重要性大於力量（許樹淵，1997）。而閉鎖式動力鏈運動則屬於多關節的活動，在活動時，肢體必須承受身體的重量，且末端關節必須固定在多重的平面上。在運動過程中末端關節迎合某些顯著的外在阻力的動力鏈，制止或抑制關節的自由運動。例如：舉重選手之推舉，槓鈴的重量很大能克服將它舉起，全靠近端關節的固定，而關節遠端動的結果，閉鎖式動力鏈產生瞬發力，唯力量比速度占的重要性為大（許樹淵，1997）。

對跆拳道踢擊動作型態而言，應屬於開放式動力鏈，然而根據研究指出並非所有的踢法均符合動力鏈之順序原理。洪彰岑（1997）之跆拳道後踢與李政霖、陳志文、黃長福（2006）之跳後踢的研究中，皆指出攻擊腳在踢擊階段，其攻擊腳是不符合動力鏈之理論，以攻擊腳關節線速度顯示，其傳遞時序為髖關節、踝關節至膝關節，由角線速度顯示，其傳遞時序為踝關節、膝關節至髖關節。中國武術之踢與蹬，也不符合動力鏈（劉宇、莊榮仁、連德亨，1995）。吳錫銘（2004）研究武術側踹腿及側踢動作與跆拳道後踢型態類似，其踢擊過程中也未符合動力鏈。柯玉貞（2002）針對後旋踢動作研究發現，並不是每位選手之攻擊腳符合動力鏈理論，但符合動力鏈理論之受試者，攻擊速度都較快。

第四節 跆拳道運動生物力學之研究文獻

一、運動學相關研究

運動學是研究人體在空間的線性及角位移、速度和加速度的一門學問，在跆拳道研究領域最常使用的儀器是高速攝影機和動作分析系統。從研究的文獻顯示，研究者通常會根據動作型態的不同而決定採取二度空間或三度空間的研究。對於正面踢擊動作（如前踢、下壓踢）一般以二度空間的研究，Ahn (1985) 對同一所大學中跆拳道選手的前踢 (Front-kicks) 及前刺踢 (Front-thrust kicks) 進行分析比較。結果發現：在選擇性的變數中（攻擊腳的線、角速度及加速度；髖關節及膝關節的肌肉力矩），兩者並沒有不同的地方。他推斷出前踢動作攻擊的主要機轉是利用大腿抬小腿通過垂直線且膝關節角度在最小時，肌群本身的彈性能以及之後的蹬伸過程所獲得。Park (1989) 對跆拳道前踢動作的三種踢法（身體前傾踢、身體垂直踢、身體後仰踢）進行運動學及動力學的分析比較。結果發現：（一）身體後仰踢因為其預備時間較短，所以其攻擊時間比身體垂直踢、身體前傾踢兩者都來的短。（二）在身體軀幹愈接近於挺直時，有更大的膝關節彎曲角度時，攻擊腿將可以產生更大的速度。（三）在踢的型態方面，發現身體後仰踢比身體前傾踢和身體垂直踢在腳的位置上有一個更低的高度。（四）腳和肢段的線速度、角速度和線加速度、角加速度（除了腳的角加速度），髖關節、膝關節及踝關節的肌肉轉矩及支撐腿的垂直地面反作用力，有類似的型態。Park 在結論中建議：在攻擊時應該強調更大的膝關節彎曲角度，以產生更大的合速度。林建發（2000）比較屈膝與直膝下壓踢的運動學參數，研究發現：（一）兩種踢法的重心位移最高點幾乎出現在攻擊腳抬至最高點 (E2) 附近而後開始下降；（二）重心速度最大值出現於攻擊腳離開地面之後（關鍵時相 E1），然後逐漸下降；（三）屈膝下壓踢膝關節的角位移顯然高於直膝

下壓踢，表示屈膝下壓踢的膝關節屈曲程度比較大。相反的是屈膝下壓踢髖關節最大角位移小於直膝下壓踢，那就表示直膝下壓踢抬腳高度比屈膝踢法來得高。由以上研究可以發現，二度空間的研究可提供動作型態方面的描述，但卻難免忽略了踢擊動作過程中軀幹旋轉所產生的效應；同時已發現前踢動作踢擊過程中屈膝角度越小則呈現出踢擊速度越大的趨勢。

Bae (1988) 使用三度空間攝影技術對後踢動作中的腳、小腿及大腿力學能量及功率的改變進行研究，結果指出：一、攻擊腳的最大功率出現在攻擊的早期，腳離開地面的瞬間；二、在攻擊腿膝關節呈最大彎曲時，發現小腿及大腿的最大正向功率；三、小腿與大腿的最大負向功率出現在碰撞時。Sung (1987) 以四名國家級的冠軍選手為受試對象在受測時呈站立的預備姿勢，伴隨著電子信號的出現來對兩個不同高度（上端及中端）的踢靶進行攻擊。結果指出：（一）六種不同踢法的攻擊時間介於 0.64~0.78 sec；（二）六種不同踢法的最大合速度介於 10.4~22.4 m/s；（三）六種不同踢法的衝量介於 413 Ns~1098 Ns；（四）腳背旋踢 (Round Kicks) 的攻擊時間最短 (0.64 sec)、但其衝量值 (1098 Ns) 卻是最大的；（五）在訓練過程中應該儘量強調減少攻擊時間中 63 % 的準備時間 (0.48 sec)。柯玉貞 (2002) 以兩台 Peak 高速攝影機 (120 Hz)，對跆拳道後旋踢動作進行同步拍攝。得到下列幾點結論：後旋踢有其特殊性，所有受試者之膝關節皆有兩個峰值出現在 (E2~E3) 階段，一次是腳離地時的大角度；另一次是經收縮之後，要踢擊目標時的第二次蹬伸；當踢擊到目標前踝關節會做一屈足背至屈蹠的動作，來加大攻擊的速度；踝角度的最大值出現在擊中目標時，會有較佳的攻擊效果；受試者攻擊腳的各關節速度最大值均出現在擊中目標前，且遠端大於近端。洪彰岑 (1997) 對影響跆拳道後踢動作之生物力學因素進行探討。得出下列結論：（一）重心速度最大值出現的時間愈接近於擊中目標物瞬間，攻擊的力量越大；

(二) 後踢動作型態具有其專項特點，因此不符合人體動力鏈的運動順序原理；(三) 攻擊力量主要取決於攻擊瞬時的速度與有效質量，因此當軀幹的旋轉速度愈快時，攻擊的力量也將愈大。在動作過程中攻擊腿與支撐腿的夾角及軀幹前傾角變化值愈小，動作時間越短。從以上文獻可以發現，三度空間的研究除了對動作型態進行描述外，對於踢中目標物時的衝量也被加以推導，而跆拳道踢擊動作因動作型態特性之差異，並非所有動作均符合人體動力鏈的運動順序原理。

整個踢擊過程中各階段時間及動作速度的分析也是研究者感興趣的探討範疇。周桂名（1996）針對男女共 19 位跆拳道選手進行旋踢、後踢、下壓踢、後旋踢等四個動作，作其反應時間、平均速度、攻擊力量等相關研究探討，結果如下：(一) 反應時間平均數快慢依序為下壓踢 0.422 sec、旋踢 0.440 sec、後旋踢 0.472 sec、後踢 0.492 sec；(二) 平均速度高低依序為旋踢 8.84 m/s、後踢 8.34 m/s、後旋踢 7.39 m/s、下壓踢 6.45 m/s。羅月英（2001）以跆拳道女子選手共計 22 名為受試者，並利用聲光反應器、BIOPAK SYSTEM 西蒐集所分析之資料。所得結果如下：(一) 在上端旋踢踢擊動作中，優秀組之反應時間、動作時間和平均速度都比一般組快；(二) 在下壓踢動作中，一般組之反應時間、動作時間比優秀組快，而優秀組之平均速度比一般組快。湯惠雯（2001）利用聲光反應器及多頻道擷取系統等儀器收集受試者五種旋踢動作之反應時間、攻擊速度獲致結果如下：(一) 五種不同類型旋踢動作在反應時間上具有差異，以滑步旋踢最快，最慢為 360°背轉旋踢；(二) 攻擊速度上具有差異，以前腳旋踢最快，最慢為上步旋踢。上述研究雖然對整個動作過程之時間系列進行探討，但對於其影響因素卻無進一步的分析。

二、動力學相關研究

踢擊效果的展現在於擊中踢靶瞬間的衝擊力，對於跆拳道而言力量對於對打 (free fighting)、型 (pattern) 以及擊破 (destructions) 有其重要性。然而，力量的測量遠比速度困難許多，在力量的測量方面有多位學者以力量量測儀器進行分析。林建發 (1999) 利用拉力感應器連接踢擊之沙袋，分析比較屈膝與直膝下壓踢打擊沙袋之相對力量，其結果可以歸納為下列幾點：屈膝下壓與直膝下壓踢的打擊力量沒有達顯著差異，其力量分別為 744.1 N、731.1 N。張榮三 (1997) 利用張力計和角度計測量旋踢攻擊動作在一般與屈膝角度時，其攻擊力量之差異的研究，其結論為：(一) 末端速度及攻擊力量，屈膝皆比一般踢擊方法得到較大的力量；(二) 旋踢攻擊動作時的收腿角度，踢中靶角度及踢動作完成之膝關節回收角度越小則產生較大的力量。周桂名 (1996) 以大專選手進行四種踢擊動作力量之探討，攻擊力量平均則為 545.1 N，平均力量大小依序為旋踢 596 N、後踢 520 N、後旋踢 520 N、下壓踢 257 N。洪彰岑 (1997) 以鞋底測力系統進行後踢力量分析，結果所得力量最大值為 113.3 N，力量平均值為 71.9 N。Pieter & Pieter (1995) 利用嵌裝力量感應器於水袋上進行側踢、旋踢、後踢的力量分析，結果發現旋踢力量最大，其力量值達 620 N，而力量的大小與體重及踢擊速度最大值有相關聯。Concel 等 (1998) 以類似足底壓力器之壓電片黏貼於踢靶上，進行前踢、旋踢、後踢動作之力量分析，結果顯示旋踢力量值最大高達 470 N。此外，有學者直接將加速規置於踢靶內進行相對力量分析 (湯惠雯，2001；羅月英，2001)。綜合以上踢擊力量之研究文獻發現，由於研究者選用不同的研究儀器、校正方法、踢靶尺寸大小和彈性的不同，因此造成研究數舉差異頗大，無法進行絕對力量的比較，但從相對力量可以看出旋踢之力量值皆是最大。

跆拳道在動力學方面的探討除了踢擊力量外，地面反作用力對於

運動表現應有一定程度的影響，但國內外針對此重要參數的研究並不多見。洪彰岑（1997）針對支撐腳力量的大小與攻擊力量關係進行探討，結果發現支撐腳蹬地的力量與攻擊力量最大值成顯著正相關。蔡葉榮（1999）研究指出，準備反應期攻擊腿垂直地面反作用力、衝量分別為 855.1 N、227.7 Ns；前後地面反作用力、衝量分別為、為 348.6 N、69.1 Ns；攻擊腳下壓踢攻擊腿前後地面反作用力出現時間稍早於垂直地面反作用力，前後地面反作用力越大，動作時間越短。

第五節 跆拳道比賽攻擊動作型態之研究文獻

Lee (1992) 探討 1991~1992 年韓國 160 位優秀跆拳道選手 8 場比賽中，得分動作的分析，各量級的攻擊技術型態結果為：(一) 各種攻擊動作頻數依序為：旋踢、後踢、下壓、後旋踢、前踢；(二) 各種攻擊動作的得分方面：依序為旋踢、後踢、下壓、後旋踢、前踢。

錢紀明 (1991) 記錄 1991 年世界盃跆拳道各場比賽其得分總數及如何攻擊得分，藉以瞭解選手常用動作及何種踢法較易得分。其研究結果如下：(一) 女子組得分動作高低依序為旋踢、下壓踢、後踢、後旋踢、前踢；(二) 男子組：得分動作高低依序為旋踢、後踢、下壓踢、後旋踢、前踢。

蔡明志 (1998) 探討 1997 年香港第六屆女子世界跆拳道錦標賽，以瞭解目前世界上各量級女子優秀選手技術、戰術的運用趨勢與比賽致勝的主要因素。其分析結果如下：(一) 攻擊率以旋踢最高，依次為後踢、下壓、後旋踢、前踢、側踢、正拳；(二) 得分率以旋踢最高，依次為後踢、下壓、後旋踢、前踢、側踢和正拳；(三) 成功率以旋踢最高，依次為後踢、下壓、後旋踢、前踢，最後為側踢和正拳。

黃志雄 (2001) 探討 2000 年雪梨奧運男子跆拳道第一級之主要技術，研究結果顯示：(一) 在該比賽中第一級的男子選手，主動攻擊以旋踢、兩段旋踢、滑步旋踢為主要技術；被動攻擊則以旋踢、後踢、兩段旋踢為主；(二) 經由灰色關聯分析法發現關聯度達 0.87 以上的技術動作為：主動攻擊依序為右旋踢、左滑步旋踢、左兩段旋踢、左旋踢、右兩段旋踢，被動攻擊依序為：右旋踢、右後踢、左後踢、左兩段旋踢、左旋踢。

黃秀蘭 (2003) 探討跆拳道規則修改後，國內選手攻擊上端得分之情況，以 2003 年全國運動大會跆拳道比賽，男、女各八個量級進入前十六強選手，共 538 場次為研究對象，研究結果如下：(一) 女

性選手上端得分數高於男性選手，女性選手平均數分數為 0.87 分，男性選手平均分數為 0.52 分；(二) 男、女優秀選手上端得分數高於一般選手。(三) 建議教練、選手們能加強中、上端動作組合練習、強化柔軟度的訓練及全方位選手的發展。

黃慶豐(2004)研究發現，前八強選手在主動攻擊成功率與被動攻擊成功率上無顯著差異。前四強選手與後四強選手比賽技術的運用均以旋踢為主要攻擊動作，由於旋踢的高攻擊率與高得分率遠超過另外六種的技術動作。

邱共鈺(2005)探討 2004 年雅典奧運會朱木炎於四場比賽中每一回合動作攻擊型態與攻擊數、得分數之分析研究，以瞭解朱木炎選手比賽中使用攻擊技術型態，瞭解其致勝的主要因素。其研究分析所獲得結論為：(一) 旋踢為主要攻擊技術動作，其攻擊數與得分數均占最高比例；(二) 攻擊動作以旋踢、前踩、後踢為主；(三) 成功率以下壓最高依序為後踢、旋踢；(四) 朱選手具有優異的上端攻擊能力是克敵致勝的主要因素。

宋玉麒(2005)以中華隊、韓國隊及中國隊參加 2005 年澳門東亞運動會男子跆拳道選手為研究對象，研究發現：三隊在本次比賽技術動作的發揮以旋踢為主；中國隊、韓國隊本次比賽成功率以旋踢最高，中華隊以後踢最高；韓國隊致勝原因為攻擊型態均衡，高成功率的踢擊，而中華隊與中國隊則較偏重單一攻擊型態。

第六節 文獻總結

綜合本章之文獻探討發現，近年來跆拳道比賽中各種攻擊作，不論在攻擊率、得分率及成功率方面，均以旋踢為主，此種踢法是跆拳道比賽獲勝的主要攻擊動作。後踢及跳後踢是反擊旋踢的主要踢擊動作之一，然而，目前有關跆拳道後踢之生物力學分析均以中端踢擊為研究範圍，規則的改變（上端踢擊加重計分）會牽動踢擊技術的變革及訓練方式，因此，本研究擬探討跳後踢中端及上端動作型態的特徵及差異，提供上端跳後踢訓練與指導的相關資訊。

本研究實驗設計以跳動站姿為主要操弄動作，並以過去大多數研究者所使用的預蹲站姿為對照動作，期能驗證下蹲跳準備動作在不同動作型態下，其下肢肌群牽張反射與彈性能儲存的機制，對跳後踢運動表現的影響。跆拳道生物力學之研究大多利用高速攝影機、撞擊力測力器、加速規、聲光反應器等儀器來探討其反應時間、動作時間、踢擊速度及踢擊力量。而一般對於跆拳道生物力學之研究，大多侷限在運動學參數的描述或攻擊力量的探討，而對於地面反作用力的探討寥寥無幾，在生物力學的研究上，地面反作用力的測量與瞭解對掌握運動技術的關鍵極為重要，因為人體或物體的動作變化皆由地面反作用力而來；只觀察運動體運動過程的外在變化（從運動學的角度），尚不足以讓研究者洞悉產生變化的真正原因，必須透過對動作過程中地面反作用力的分析（從動力學的角度），才能找出變化的根源。此外對於影響動作速度及踢擊力量的生物力學因素甚少加以探討。運動生物力學的研究，應該以完整的力學原理為基礎，再配合現有儀器與專項技術需求，方能使研究結果兼具學術性與價值性。因此，為了深入探討上述問題，本研究即透過測力板，並同步配合高速攝影機進行拍攝，來探討跆拳道跳後踢中端及上端踢擊動作之生物力學參數及影響踢擊表現之生物力學參數。