

核心肌群對於跳躍表現與落地之探討

Effects of Core Muscles on Jumping and Landing Performance

– A review

¹郭文杰 Wen-Chieh Kuo ¹陳佑 Yo Chen ²林惠婷 Hui-Ting Lin ¹張家豪 Jia-Hao Chang*

¹國立臺灣師範大學體育學系 National Taiwan Normal University*

²義守大學物理治療學系 I-Shou University

投稿日期：2014年5月；通過日期：2014年8月

摘要

跳躍運動常常伴隨著落地時傷害的發生，而身體姿勢在空中的控制對於即將落地顯得格外重要，核心肌群主要位於人體軀幹中央，其具穩定、平衡、能量傳遞、預防傷害等功能，在運動過程中扮演著重要的角色，當核心肌群的能力降低時會影響對軀幹的控制、改變運動型態，同時提高運動傷害的風險。跳躍運動主要是透過下肢力量來進行，而核心強度與穩定訓練能夠提高各肢體包括肩膀、上肢與下肢的使用效率，進而加強肢體的動作行為，而跳躍後落地型態會影響下肢各關節的負荷，核心肌群疲勞則會影響核心中的肌肉能力，改變軀幹在空中的穩定表現使落地型態不同，進而影響到下肢關節落地的負荷，故核心肌群的作用對跳躍運動的表現、軀幹的穩定與傷害的預防極為重要。

關鍵字：穩定性、運動表現、膝關節

壹、緒論

運動中有許多跳躍性運動技能，跳躍動作需要下肢的速度、力量與爆發力的產生來增加運動表現(石罕池、孫淑芬、吳佳慧、陳瑞蓮, 2005)，因此下肢訓練是訓練的重點之一，但也伴隨著下肢運動傷害的發生不斷地提高。當肌群達到疲勞狀態時，會使肌肉的控制力下降(Buttelli, Seck, Vandewalle, Jouanin, & Monod, 1996)，Bisseling, Hof, Bredeweg, Zwerver and Mulder (2008) 發現疲勞後身體執行動作較接近站立時的姿勢，下肢關節變化較小，使得跳躍後落地時的衝擊力，韌帶必須輔助支撐衝擊力，造成受傷的風險大增。在運動過程執行跳躍技能時，如何控制好身體姿勢來執行動作與落地是一大問題，如何減少運動員下肢關節傷害的發生，學者們開始重視到核心肌群對於身體平衡、力量傳遞等功能，Crommert, Ekblom and Thorstensson (2011) 研究發現當受外力而身體改變姿勢時，身體維持姿勢是透過穩定的腹內壓，腹直肌、腹橫肌與豎脊肌會共同維持腹壓，致使軀幹能夠在運動中維持穩定，另外核心肌群功能越好同時可以促進身體在動態下的平衡能力，Shariat, Asadmanesh and Mosavat (2013) 研究當排球員經過八週的核心訓

練後，透過 star excursion balance test (星狀平衡測試)，運動員的動態平衡能力皆有進步，此外核心肌群對於肢體力量傳遞也有效果，Hodges and Richardson (1997) 研究當身體透過移動時，腹直肌與腹橫肌等核心肌群會在下肢運動前先活化，然後再執行動作，Tarnanen et al. (2008) 也發現當進行上肢肩膀運動時，腹直肌與腹外斜肌均會同時活化共同完成動作，由此可知核心功能對於肢體協調和平衡的重要性，進而影響下肢落地型態所承受的負荷。本研究經由過去研究結果，瞭解核心功能對於競技運動表現及跳躍性運動落地的重要性，經由相關研究認為核心功能疲勞對於跳躍性運動落的負荷的影響。

貳、核心肌群穩定的重要性

核心肌群主要的功能是維持脊椎的穩定(Richardson, Jull, Hodges & Hides, 1999)，有學者將人體核心被比喻成一個箱子，就如同一塊束腰(corset)一樣，包括前壁的腹部肌群、後壁的脊柱旁肌群與臀部肌群、上壁的橫膈肌、下方的骨盆肌群，當四肢運動時可以穩定身體及脊柱(Akuthota & Nadler, 2004)，

*通訊作者：張家豪 Email: jhchang@ntnu.edu.tw

並擁有將脊柱從不穩定狀態中恢復的能力 (Pope & Panjabi, 1985), 其動力來自於脊柱旁的核心肌群的協同作用 (co-activation)。Bergmark (1989) 提出了一個模型來表示軀幹肌群對於核心穩定的貢獻, 包括深層局部 (local) 的肌群, 僅限在脊柱旁的肌群, 影響脊椎節與節間的控制, 另外為表層 (global) 的肌群, 這些肌群分別固定於骨盆部與髖部, 能夠控制脊柱的方向並且對抗外來施加於脊柱上的力量。Roetert (2001) 提出核心肌群穩定及平衡能力越好, 會有更好的運動能力與表現, 原因是大部分的運動過程是三維的運動, 運動員須要有良好軀幹及髖部肌肉強度維持核心穩定, 除此之外核心穩定可以同時增進軀體平衡、力量傳遞、身體協調。因此當運動員核心功能越穩定, 其於運動過程中對於身體姿勢的維持與控制能力就會提升, 執行動作也將更精準。

參、核心肌群對運動表現的影響

在過去研究核心肌群對運動表現的影響中, 進行基本運動能力、核心肌適能檢測與籃球跳投穩定度的相關性分析發現, 顯示腹部肌適能影響基本運動能力最大, 認為核心肌力訓練對跳投動作的穩定與力量傳導有很大的功用, 良好的核心肌力更可以增加動作協調性 (盛世慧、林晉利、劉鎧誠, 2010), 對於競技運動核心肌力藉由穩定脊柱並增加身體協調, 使身體姿勢控制能力也會變得更佳 (黃怡仁、劉宗德、李建毅, 2012)。而抗力球與阻力核心訓練對於軀幹肌群能力有顯著提升, 並且對腹部的動、靜肌耐力皆有提升 (張佳玲、張瀨文、吳慧君, 2008), 對於核心肌群對於力量的輸出、近端肢體穩定及遠端肢體運動能力都有密切的關係 (Kibler, Press & Sciascia, 2006), 核心肌群輸出力量時能夠有效地傳遞到肢體並執行各種運動技能, 因此核心訓練能夠提升核心肌肉作用與增進運動能力, 核心功能越好對於肢體的協調、平衡、運動表現都有正面的效果。從事任何運動的運動員需要不斷地控制自己的身體穩定來達到平衡的動作, 藉由核心訓練來提高核心穩定, 並利用身體軀幹來做為上肢與下肢動作的連結、力量的傳遞, 對於擁有跳躍技能的運動來說, 身體維持姿勢的協調性與確實執行各項運動技能所需的技巧, 核心肌群應扮演著重要的角色。

肆、核心肌群對於跳躍運動和落地的重要性

跳躍運動主要是透過下肢的力量來進行, Leetun, Ireland, Willson, Ballantyne and Davis (2004) 發現髖部

肌肉活化顯著地影響腿部上半肌肉產生力量的強度, 髖部肌群的活化與核心穩定與提升核心強度有關係, Elphinston (2004) 與 Willson, Dougherty, Ireland and Davis (2005) 發現臀大肌對於核心穩定及髖部控制扮演很重大的角色, 而在跳躍動作的執行, Haywood and Getchell (2001) 指一個發展至成熟階段的跳躍動作包括準備動作屈膝蹲, 起跳時髖、膝、踝關節全力伸展, 上臂同時擺動且落點區趨近於起跳位置, 此外, Spägle, Kistner and Gollhofer (1999) 研究指出整個跳躍的動作分成三個時期分別是起跳期、騰空期與落地期, 同時代表參其中有不同肌肉的參與, 根據各種肌群於跳躍中不同的活化時間, 得知起跳各個時期之使用肌群, 起跳期下肢各個關節主要是產生角加速度以增加垂直起跳的初速度, 主要作用的肌群是將下肢伸直為主, 是由小腿後側肌群包括腓腸肌與比目魚肌, 使得踝關節產生角速度, 同時還包括控制膝關節的股直肌與股前側肌群, 此外使髖關節伸展的臀大肌也同時活化參與起跳, 而騰空期並未有太多的肌群參與其中, 因此力矩最大是產生在落地期, 落地瞬間主要是股直肌與股前肌群產生離心收縮以減低下蹲的速度。當執行次最大垂直跳 (submaximal jump) 與最大垂直跳 (maximal jump) 主要產力的肌群也不盡相同, 前者小腿肌群為主要輸出, 而後者主要是由大腿肌群與髖部肌群為主要輸出 (Rodacki, Fowler & Bennett, 2002), 起跳時關節力矩產生關節角加速度, 在起跳瞬間有最大速度, 當選手於運動競技的過程中發揮最大的跳躍能力時, 將會用到髖部肌群, 進而也與核心強度相關, 另外 Butcher et al. (2007) 研究也發現在九周的核心訓練後, 可以有效的加強起跳的速度。核心肌群除了可以提供核心穩定, 核心強度與穩定訓練也能夠提高各個肢體包括肩膀、上肢與下肢的使用效率 (Lehman, 2006), 因此核心運動可以促進軀幹的穩定, 進而加強肢體的動作行為 (Rosenblum & Josman, 2003), 選手利用起跳動作於空中執行許多技能, 如排球的跳躍發球、攔網動作、扣球動作等, 這些專項運動技術皆需依靠肌肉之間的協調性和對快速運動過程中身體重心的控制能力, 每一項技術動作都需要核心肌力的支撐 (黃怡仁等, 2012)。在籃球運動中, 最常使用的得分技術是中、遠距離的跳投, 然而在跳投的過程中, 出手投籃時必須將身體的力量由下肢傳到軀幹, 此時就需要核心肌力來幫助軀幹的穩定, 進而控制投籃的重心及穩定性 (盛世慧等, 2010)。對於運動技能執行上, 從足球員在執行頭頂動作時, 必須利用起跳後由身體

脊椎的屈肌(腹直肌、腹外斜肌、胸鎖乳突肌)、伸肌(豎棘肌、頭夾肌等)及頸部周圍肌群與大腿肌群等做一個關節肌的鞭索作用,此作用是利用軀幹的反弓姿勢來產生於頂球時的作用力(郭堉圻, 2010),動作就如同排球的跳躍發球、攔網、扣球等作用類似,而研究顯示核心肌群訓練會提高沙灘排球最大扣球速度(趙亮、葛春林、陳小平, 2012),以瞭解跳躍運動動作的要求與核心肌群穩定性有很大的關係,在跳躍過程中身體姿勢維持與協調需要靠核心功能來維持。

當執行跳躍動作後即將面臨的問題就是落地動作,對於落地動作的研究就有許多學者針對不同高度、型態與性別的差異等,而研究中經常關注的就是落地型態的問題,不同的落地型態會使得下肢關節所受到的負荷有不同影響。過去的研究發現不論是男性或女性,跳躍後落地,膝關節是最主要的第一吸震關節(Decker, Torry, Wyland, Sterett & Richard, 2003), Iida, Kanehisa, Inaba and Nakazawa (2011) 研究將落地分為三個時期,觀察各個肌群於落地的活化程度,分別是接觸地面前期(preceding ground contact phase)、吸收期(absorption phase)、緩速期(braking phase),發現接觸地面前期腹直肌、腹外斜肌與內側腓腸肌均有活化,腹直肌在落地時活化原因是因為能夠防止軀幹在落下時產生的擾動,而增加腹內壓力(Cresswell, Oddsson & Thorstensson, 1994),因此核心肌群也有參與落地,以維持在落地的過程中軀幹的穩定,使重心能夠落在基底上不易跌倒,在落地前,膝關節與髖關節也做伸展,使得落地時較接近站立的狀態,此外,在吸收期與緩速期於脊柱旁的核心下背肌群也同樣有活化,因落下的過程中身體會下蹲以緩衝力量,並同時影響髖關節的屈曲程度,故在此時期軀幹的下背肌群因此會活化以減緩力量並且使軀幹可以恢復到原本狀態因此在落地過程中屬於核心肌群的腹直肌、腹外斜肌、下背肌群均會參與落地穩定軀幹的工作,而 Zhang, Bates and Dufek (2000) 亦指出核心肌群能夠控制軀幹的穩定來達到平衡的作用,若在肌肉的能力下降的狀態下,核心肌群的穩定性會下降,因而無法保持原有的下肢協調與平衡,使落地型態改變。落地型態的改變極有可能改變下肢關節的負荷,則有可能增加傷害發生的風險。

伍、肌肉疲勞對落地的影響

肌肉能力的維持對於運動表現則是一大關鍵,肌肉系統主要功能是收縮而產生力量的輸出,使肢體能

夠維持及相對運動,在一系統中單次的運作無法維持相同功率輸出則是疲勞,而肌肉疲勞是指神經肌肉系統產生力量的能力降低(Bigland-Ritchie & Woods, 1984)。對於肌肉疲勞的判定,過去研究中有不同方法來判別肌肉是否達到疲勞狀態,其中一個方法即採用肌電訊號(Electromyography)判定,相同強度反覆運動中,肌電訊號中位頻率下降(median frequency)且平均振幅(mean amplitude)上升為疲勞狀態(Masuda, Masuda, Sadoyama, Inaki & Katsuta, 1999),因此收集肌肉的肌電訊號能夠了解肌肉是否到達疲勞狀態,另外過去研究當肌肉疲勞時,肌纖維中的快肌會最先產生疲勞,快肌產生的肌電訊號屬於高頻率,當肌電訊號之頻率下降時代表肌肉為疲勞狀態(Merletti, Knaflitz & De Luca, 1990; Soderberg & Knutson, 2000),而亦有學者提出當股四頭肌肌力下降至最大自主肌力的 50%,及肌電訊號下降至 85%為疲勞(Beltman, Sargeant, Ball, Maganaris & De Haan, 2003; Bilodeau, Schindler-Ivens, Williams, Chandran & Sharma, 2003), Horita and Ishiko (1987) 也在等速伸膝測試中,進行股四頭肌的疲勞檢測,當肌肉肌電延遲(Electro mechanical delay, EMD)上升 30%時視為疲勞,此時中位頻率下降 41.66%,皆可做為肌肉疲勞的指標,也因此有許多疲勞對於運動表現的相關研究。在核心肌群疲勞方面,進行跑走、自行車等下肢關節的擺動與負荷狀態是影響運動表現的重要因素之一,當運動員的核心肌群面臨疲勞時,會發現其額狀面與矢狀面的膝關節角度增大以及矢狀面的踝關節角度變大,在此種狀態下運動會造成關節必需面臨更大的壓力而增加膝關節受傷的風險(Abt et al., 2007)。然而,在執行籃球跳投動作時,身體的穩定性是跳投表現的主要關鍵,當投籃選手於跳投時受到核心肌群控制身體平衡與力量傳遞的影響,而當肌群疲勞時會造成投籃穩定度的下降,其中腹部動態的肌耐力是最主要的影響原因(盛世慧等, 2010)。核心肌群疲勞會影響軀幹的穩定、改變運動型態進而影響到運動表現,亦極大可能使運動傷害的發生率提高(張博涵、黃長福、洪敏豪, 2014),尤其在跳躍的過程中,肌肉是否為疲勞狀態則會影響到運動表現,對於核心肌群在跳躍的功能上更為重要,當核心肌群腹直肌疲勞時,會使得身體執行下蹲跳動作後,以更接近站立的姿勢落下(黃膺喆, 2013),另外經由誘發性疲勞運動後,髖關節和膝關節的活動範圍明顯地變小,最大屈曲角度也有變小的趨勢,這也意味著,在下肢肌群疲勞後,身

體會採取一個較為僵硬的著地姿勢 (李育銘、李恆儒, 2013), Devita and Skelly (1992) 亦提出相對於較柔軟的著地動作, 僵硬的著地動作需要透過更多踝關節的肌肉組織和被動組織結構來吸收更多的能量, 當超過人體所能負荷受力後, 傷害就會發生, 因此跳躍落下時各個關節屈曲的角度, 會受到核心肌群疲勞影響, 因此核心功能下降, 也會影響到軀幹的穩定性、落地的型態、關節的負荷等方面, 故更應該重視到核心肌群的各項能力表現, 以增進跳躍技能的運動表現與降低運動傷害的風險。

陸、總結

競技運動除了著重在各專項技術的運用與精進, 運動員本身的體能、身體協調也相對地能夠提升運動表現, 而核心功能提升也日漸被重視, 核心肌群穩定可以提高肢體的協調與使用效率, 同時也能加強力量的傳遞, 尤其是在跳躍性的運動中, 核心功能的穩定性更重要, 能夠增加身體姿勢維持與協調性, 但當核心肌群疲勞時, 會降低肌肉系統的輸出, 對於執行跳躍動作的協調、平衡能力皆會下降, 進而改變跳躍與落地的運動型態, 影響到下肢關節落地時的負荷。而運動員應該重視核心肌群的肌力與肌耐力, 致使肌肉系統不易疲勞與延長運動中核心功能穩定的時間, 並能降低下肢關節所面臨的受傷風險。

柒、參考文獻

石罕池、孫淑芬、吳佳慧、陳瑞蓮 (2005)。我國女子團體球類選手下肢跳躍能力之分析探討。**北體學報**, 13, 160-168。

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。

黃怡仁、劉宗德、李建毅 (2012)。排球選手應用核心肌力訓練增強體能分析探討。**真理大學運動知識學報**, 9, 201-210。

黃膺喆 (2013)。**腹直肌疲勞對下肢跳躍表現與著地負荷的影響**(未出版之碩士論文)。臺灣師範大學運動科學研究所學位論文, 1-74。

盛世慧、林晉利、劉鎰誠 (2010)。基本運動能力與核心肌適能對大專籃球選手跳投穩定度之影響。**運動健康與休閒學刊**, 17, 49-58。

張佳玲、張靜文、吳慧君 (2008)。抗力球肌力訓練與器械式阻力訓練對大學生核心肌肉適能之比較

研究。**運動生理暨體能學報**, 7, 41-50。

張博涵、黃長福、洪敏豪 (2014)。急停跳動作之傷害機轉與預防-以生物力學觀點進行探討。**運動表現期刊**, 1(1), 25-28。

郭培圻 (2010)。足球頭頂動作的運動傷害之探討。**大專體育**, 106, 143-148。

趙亮、葛春林、陳小平 (2012)。高水平沙灘排球運動員核心穩定性與最大扣球速度的相关性研究。**中國體育科技**, 48(6), 25-29。

Abt, J. P., Smoliga, J. M., Brick, M. J., Jolly, J. T., Lephart, S. M., & Fu, F. H. (2007). Relationship between cycling mechanics and core stability. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 21(4), 1300-1304.

Akuthota, V., & Nadler, S. F. (2004). Core strengthening. *Archives. physical medicine and rehabilitation*, 85, 86-92.

Beltman, J. G. M., Sargeant, A. J., Ball, D., Maganaris, C. N., & De Haan, A. (2003). Effect of antagonist muscle fatigue on knee extension torque. *Pflügers Archiv*, 446(6), 735-741.

Bergmark, A. (1989). Stability of the lumbar spine: a study in mechanical engineering. *Acta Orthopaedica*, 60(S230), 1-54.

Bigland-Ritchie, B., & Woods, J. J. (1984). Changes in muscle contractile properties and neural control during human muscular fatigue. *Muscle & nerve*, 7(9), 691-699.

Bilodeau, M., Schindler-Ivens, S., Williams, D. M., Chandran, R., & Sharma, S. S. (2003). EMG frequency content changes with increasing force and during fatigue in the quadriceps femoris muscle of men and women. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 13(1), 83-92.

Bisseling, R. W., Hof, A. L., Bredeweg, S. W., Zwerver, J., & Mulder, T. (2008). Are the take-off and landing phase dynamics of the volleyball spike jump related to patellar tendinopathy?. *British journal of sports medicine*, 42(6), 483-489.

Butcher, S. J., Craven, B. R., Chilibeck, P. D., Spink, K. S., Grona, S. L., & Spriggins, E. J. (2007). The effect of trunk stability training on vertical takeoff

- velocity. *Journal of orthopaedic & sports physical therapy*, 37(5), 223-231.
- Buttelli, O., Seck, D., Vandewalle, H., Jouanin, J. C., & Monod, H. (1996). Effect of fatigue on maximal velocity and maximal torque during short exhausting cycling. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 73(1-2), 175-179.
- Cresswell AG, Oddsson L, Thorstensson A. (1994). The influence of sudden perturbations on trunk muscle-activity and intraabdominal pressure while standing. *Exp Brain Res* 98(2):336-41.
- Crommert, M. E., Ekblom, M. M., & Thorstensson, A. (2011). Activation of transversus abdominis varies with postural demand in standing. *Gait & posture*, 33(3), 473-477.
- Decker, M. J., Torry, M. R., Wyland, D. J., Sterett, W. I., & Richard Steadman, J. (2003). Gender differences in lower extremity kinematics, kinetics and energy absorption during landing. *Clinical Biomechanics*, 18(7), 662-669.
- Devita, P. A. U. L., & Skelly, W. A. (1992). Effect of landing stiffness on joint kinetics and energetics in the lower extremity. *MedSci Sports Exerc*, 24(1), 108-115.
- Elphinston, J. (2004). Getting to the bottom of things. *SportexDynam*, 2, 12-6.
- Haywood, K., & Getchell, N. (2009). Life span motor development. *Human Kinetics*.
- Hodges, P. W., & Richardson, C. A. (1997). Contraction of the abdominal muscles associated with movement of the lower limb. *Physical therapy*, 77(2), 132-142.
- Horita, T., & Ishiko, T. (1987). Relationships between muscle lactate accumulation and surface EMG activities during isokinetic contractions in man. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 56(1), 18-23.
- Iida, Y., Kanehisa, H., Inaba, Y., & Nakazawa, K. (2011). Activity modulations of trunk and lower limb muscles during impact-absorbing landing. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 21(4), 602-609.
- Kibler, W. B., Press, J., & Sciascia, A. (2006). The role of core stability in athletic function. *Sports medicine*, 36(3), 189-198.
- Leetun, D. T., Ireland, M. L., Willson, J. D., Ballantyne, B. T., & Davis, I. M. (2004). Core stability measures as risk factors for lower extremity injury in athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36(6), 926-934.
- Lehman, G. J. (2006). Resistance training for performance and injury prevention in golf. *Journal of the Canadian Chiropractic Association*, 50(1), 27.
- Masuda, K., Masuda, T., Sadoyama, T., Inaki, M., & Katsuta, S. (1999). Changes in surface EMG parameters during static and dynamic fatiguing contractions. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 9(1), 39-46.
- Merletti, R., Knaflitz, M., & De Luca, C. J. (1990). Myoelectric manifestations of fatigue in voluntary and electrically elicited contractions. *Journal of Applied Physiology*, 69(5), 1810-1820.
- Nadler, S. F., Wu, K. D., Galski, T., & Feinberg, J. H. (1998). Low back pain in college athletes: a prospective study correlating lower extremity overuse or acquired ligamentous laxity with low back pain. *Spine*, 23(7), 828-833.
- Pope, M. H., & Panjabi, M. A. N. O. H. A. R. (1985). Biomechanical definitions of spinal instability. *Spine*, 10(3), 255-256.
- Richards, D. P., Ajemian, S. V., Wiley, J. P., & Zernicke, R. F. (1996). Knee joint dynamics predict patellar tendinitis in elite volleyball players. *The American Journal of Sports Medicine*, 24(5), 676-683.
- Richardson, C. A., Jull, G. A., Hodges, P. W., & Hides, J. A. (1999). Therapeutic exercise for spinal segmental stabilization in low back pain: scientific basis and clinical approach. *Churchill Livingstone*.
- Rodacki ALF, Fowler NE, Bennett SJ (2002) Vertical jump coordination: fatigue effects. *Med Sci Sports Exerc*, 34, 105-116
- Roetert, P. E. (2001). *3D balance and core stability. High-performance sports conditioning: modern training for ultimate athletic development*. Champaign (IL): Human Kinetics.
- Rosenblum, S., & Josman, N. (2003). The relationship between postural control and fine manual dexterity. *Physical & occupational therapy in pediatrics*, 23(4),

47-60.

- Sadeghi, H., Shariat, A., Asadmanesh, E., & Mosavat, M. (2013). The Effects of core stability Exercise on the dynamic balance of volleyball players. *International Journal of Applied Exercise Physiology*, 2(2), 1-10.
- Soderberg, G. L., & Knutson, L. M. (2000). A guide for use and interpretation of kinesiologic electromyographic data. *Physical therapy*, 80(5), 485-498.
- Spägle, T., Kistner, A., & Gollhofer, A. (1999). Modelling, simulation and optimisation of a human vertical jump. *Journal of biomechanics*, 32(5), 521-530.
- Tarnanen, S. P., Ylinen, J. J., Siekkinen, K. M., Mälkiä, E. A., Kautiainen, H. J., & Häkkinen, A. H. (2008). Effect of isometric upper-extremity exercises on the activation of core stabilizing muscles. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 89(3), 513-521.
- Willson, J. D., Dougherty, C. P., Ireland, M. L., & Davis, I. M. (2005). Core stability and its relationship to lower extremity function and injury. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 13(5), 316-325.
- Zhang, S. N., Bates, B. T., & Dufek, J. S. (2000). Contributions of lower extremity joints to energy dissipation during landings. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(4), 812-819.