

探討不同深蹲下肢動作對訓練效益與傷害的影響

陳昇揚/蔡虔祿

國立臺灣師範大學

摘要

深蹲是健身運動中熱門的項目之一。在動作過程中，不論膝蓋屈曲角度、下肢站立寬度或腳尖站立角度，其中一因素改變，皆會影響訓練效益，甚至可能造成運動傷害。本文彙整過去相關文獻，首先介紹常用之深蹲動作，接著針對膝蓋屈曲角度、站立寬度與腳尖站立角度，此三種因素探討對人體下肢的影響，並提出具體訓練效益與傷害風險，供健身愛好者們訓練之參考。經文獻彙整後得知，在訓練效益部分，隨著膝蓋屈曲角度增加，可提高臀大肌效益；而較寬的站立姿勢，提高股外側、股內側與豎脊肌的效益；腳尖不論是向前或向外，較無明顯差異。而在傷害部分，膝蓋若外旋或內旋過大可能造成髕骨疼痛與十字韌帶的傷害，且若刻意不超過腳尖，可能造成壓力過度集中於髕部，增加髕關節傷害機率。而以較寬的姿勢可降低髕骨和脛骨壓力，窄姿勢可能導致膝關節外旋，影響膝關節穩定，導致豎脊肌活化與腰部剪力過大，產生背部傷害。另外，腳尖站立角度向外時，可減少膝關節內收力矩，進而減輕內側脛股關節負荷，降低運動傷害機率。因此健身愛好者們可針對自身需求搭配適合自身的深蹲訓練模式。

關鍵詞：閉鎖式動力鏈、肌力訓練、運動生物力學

通訊作者：蔡虔祿

E-mail:cltsai@ntnu.edu.tw

一、前言

近年來台灣健身風盛行，許多人在忙碌之餘皆會到健身房健身，在諸多健身動作中，深蹲(squat)為最受歡迎的健身項目之一。從事深蹲動作時，會因不同深蹲方式而影響訓練效益 (Escamilla, Fleisig, Zheng, Lander, Barrentine, Andrews, Bergemann, & Moorman, 2001)，然而不適合自身的深蹲訓練，除了可能影響訓練效益外，更可能導致傷害的發生。種類包含肌肉韌帶扭傷、椎間盤破裂、脊椎、下肢受傷與脊椎前移等(Vakos, Nitz, Threlkeld, Shapiro, & Horn, 1994)，因此瞭解不同深蹲訓練所造成的影響，方能提高訓練效益與降低運動傷害。

深蹲依不同的膝蓋屈曲角度分為淺蹲(Partial squat)、平行蹲(Parallel squat)、全蹲(Full squat)，為需要大量肌肉群來維持穩定及協調的肌力訓練動作之一(Sean flanagan, George, Wang, Serena & Gail, 2003)。舉凡全蹲的動作須從膝蓋與臀部直立到臀部、膝蓋與腳踝彎曲至全蹲狀態，此過程徵召了大部分的下肢肌肉來進行，包含股四頭肌、臀大肌、股二頭肌、股外、股內側肌等。而在維持動作穩定的肌群包含，腹肌、背肌、豎脊肌，斜方肌、菱形肌等，因此屬於全身性運動(Escamilla et al., 2001; Caterisano, Moss, Pellingier, Woodruff, Lewis, Booth, & Khadra, 2002)，深蹲被廣泛運用於醫學的傷害評估、復健與運動員的訓練等，目的皆為增進下肢肌力。然而此動作可能依下肢站立的寬度、速度、負重率、負重位置、膝蓋屈曲程度、腳尖站立角度等，而產生不同的訓練效果(Escamilla et al., 2001)。

健身愛好者們在從事深蹲時，通常依據個人喜好選擇關節屈曲角度、站立的寬度與腳尖站立角度，有些運動員喜歡將腳尖朝前，有些則微朝外。另外，有些人喜歡在訓練時，以槓片墊於腳後跟使重心向前等。這些依個人喜好調整的動作，能讓健身愛好者們以自身最舒適的方式進行訓練，但這些個人喜好在從事深蹲時，皆可能因為徵召的肌群不同，而產生不同的訓練效益與潛在的傷害 (Escamilla et al., 2001)。

過去在深蹲相關研究針對訓練效益的探討中，多半以肌電訊號來瞭解肌肉在動作過程中的活化狀態。肌電訊號，是肌肉動作電位的綜合信號，可瞭解肌群參與動作順序、特定動作的肌肉收縮強度與不同肌群參與程度，以評估肌肉的興奮性、協調性、訓練的效果以及肌肉的疲勞等，在生理學上的意義則被用來表示運動單位的徵召情形(Escamilla et al., 2001；Caterisano et al., 2002)。而本文以過去針對深蹲動作探討下肢肌肉活化的程度，作為訓練效益的評估依據。

在不同膝蓋屈曲角度方面，過去探討三種不同深蹲膝蓋屈曲角度的比較中，認為隨著蹲的動作越深，股二頭肌的肌肉活化越不明顯，而臀大肌變得較明顯 (Caterisano et al., 2002)，且在不同姿勢深蹲對髖關節與膝關節肌群在上升時，股二頭肌活化最高，不同站立寬度對股內側與外側肌群有顯著差異，而股四頭肌則未有太大差異(Mccaw, & Melrose, 1999)。且站立寬度比肩寬、與肩同寬和比肩窄的姿

勢從事深蹲時，寬姿態可降低15%髖股和脛股壓力，而窄姿態可能導致膝關節外翻，進而影響膝關節穩定，提高傷害的機率(Escamilla et al., 2001)。另外，腳尖站立角度亦會影響核心肌群肌、下肢股外側與股內側肌肉活化之差異，但不論腳尖朝哪個方向，對核心肌群與下肢肌群肌肉活化皆未達顯著差異，因此腳尖站立角度的改變，並不會影響訓練的效益(Singorile, Kwiatoski, Caruso, & Robertson, 1995)。

從上述文獻可得知，不同深蹲模式會影響訓練效益與潛在的傷害，因此瞭解影響深蹲的各種因素，便能以自身需求實施針對性的訓練，以利提升訓練效益。本研究針對影響深蹲訓練之膝蓋不同屈曲角度、下肢站立寬度與腳尖腳站立角度等三個因素進行探討，透過彙整過去相關實證性研究，提出具體訓練效益與傷害風險，期望藉由本研究讓健身愛好者們，瞭解如何針對自身需求搭配適合自身的深蹲訓練模式。

二、膝蓋屈曲角度與腳尖方位的關係對訓練效益與傷害的影響

深蹲訓練被認為可有效的增進下肢肌力、爆發力、跳躍能力等，且可依不同的膝蓋屈曲角度定義運動強度，常見的深蹲動作分為 30-60°膝蓋屈曲角度的淺蹲、70-100°平行蹲與全蹲 (Sean flanagan et al., 2003)，而平行蹲又分為盒子蹲(Box squat)和椅子蹲(chair squat)，此兩種方式被認為膝蓋屈曲時，是不得超過腳尖的，訓練到的肌群會隨著膝蓋屈曲程度多寡而有所差異(Swinton, Lloyd, Keogh, Agouris, & Stewart, 2012)。

在訓練效益的部分，過去探討三種不同深蹲膝蓋屈曲角度的比較中，認為隨著蹲動作越深，股二頭肌肌肉活化越不明顯，而臀大肌則較明顯(Caterisano et al., 2002)。另外，股內側和外側肌肌肉活化，也會因屈曲角度而有顯著差異，但半腱肌則無顯著差異，且股內側與外側肌肌肉活化較半腱肌大(Ninos, Lrrgang, Burdett, & Weiss, 1997)。另研究探討坐姿推蹬與槓鈴深蹲之動力學差異，認為坐姿推蹬當膝蓋接近完全伸展時肌肉活化最大，槓鈴深蹲膝蓋接近完全屈曲時，股四頭肌肌肉活化最大(Escamilla, Fleisig, Zheng, Barrentine, Wilk, & Andrews, 1998)。

在傷害方面，研究探討不同性別深蹲時膝蓋外旋程度的差異，發現女性相較於男性在深蹲時，膝蓋較容易產生內旋動作且左右晃動較大，因此女性相較於男性，容易造成髖骨與前十字韌帶的傷害(Tina, Charles, Varsha, & Danny, 2006)。另研究探討三種不同深蹲膝蓋屈曲程度，在膝關節朝前、外旋與內旋之股內側與股外側肌活化的比值差異，發現在淺蹲時，膝蓋不會因為朝不同的方向而有所差異，但在平行蹲與全蹲時則達顯著差異，因此深蹲時的膝蓋方向為誘發髖骨疼痛的重要因素之一(Jaberzadeh, Yeo, & Zoghi, 2015)。

對於深蹲時，膝蓋屈曲前傾的角度與腳尖之間的關係，許多健身房的教練在教學時，多半提及深蹲時膝蓋盡量不要超過腳尖，強調膝蓋超過腳尖會導致膝關節壓

力過大，間接延伸出下肢的傷害等。然而過去研究探討不同深蹲姿勢與腳尖的關係中，以傳統式(Traditional)、健力式(Powerlifting)以及箱式深蹲(Box squat)等三種深蹲技巧，認為當膝蓋被限制不超過腳尖時，髖關節壓力變大且身體中心(center of pressure)會向後移，當重量增加時可能導致姿勢不穩定，而間接影響訓練效益甚至造成腰部與髖關節傷害。因此在訓練時，膝蓋若不超過腳尖，則須以寬站姿或髖部與股骨外旋進行調整，維持直立的上半身與穩定下肢(Swinton et al., 2012)，降低髖關節壓力。另外研究發現限制膝關節向前位移，的確能減少膝關節負荷，但相對增加髖關節力矩，對於下背可能產生傷害。因此在從事深蹲時，因著重在身體重心的調整，將重心保持在身體中心(center of pressure)，而非限制膝蓋前傾使重心向後，導致所有壓力集中至髖關節(Stüssi, 2012；Fry, Smith, & Schilling, 2003)。

綜合上述，深蹲時運動強度與膝蓋的屈曲角度成正比，然而隨著下蹲的動作越深，股二頭肌的肌肉活化越不明顯，臀大肌則變得較明顯。此外，膝蓋若刻意不超過腳尖，則會造成壓力過度集中於髖關節，增加髖關節傷害的機率，而腳尖的方向與前傾的程度皆會影響髖股與髖關節的壓力，亦可能導致傷害的產生。

三、下肢不同站立寬度對訓練效益與傷害的影響

在從事深蹲時，下肢站立寬度被認為是影響身體穩定及安全的重要因素，不同寬度可能造成軀幹與下肢關節力矩、肌肉活化而有所差異，間接影響訓練效益，甚至導致傷害的產生。因此過去研究多半將下肢站立寬度，以比肩寬寬的姿勢、與肩同寬和比肩寬窄的姿勢，與自身股骨大轉子間距百分比等方式區分，探討訓練的效益與傷害(Sogabe, Iwasaki, Gallager, Edinger & Fry, 2010；Lee, Kim, Han, Kim, Hasan, Kim, & Kwon, 2015；Escamilla et al., 2001；Paoli, Marcolin, & Petrone, 2009)。

在訓練效益的部分，探討深蹲在不同下肢寬度對膝關節力矩的影響，以60%之受試者最大肌力(maximal voluntary isometric contraction, MVIC)，分別以50%、100%、150%與200%自身肩膀寬度，發現在150%力矩最大，其次為100%、200%與50%，得知不同下肢站立寬度會影響身體的力矩，導致訓練力效益有所不同(Sogabe et al., 2010)。張怡雯、梁凱涵、王信淵與吳鴻文(2015)以肩寬的1.07、1.42、1.69倍，探討不同站立寬度對蹲舉膝關節動力學的影響中發現，在蹲舉動作不同站立寬度會顯著影響膝關節向內力量、壓力和外旋力矩。蹲舉運動膝關節力量主要為向後力量，在腳尖朝外寬站立位置下有較小的向內力量與外旋力矩，但會產生較高的膝關節壓力。另外，使用啞鈴負荷會增加膝關節向後力量、壓力和伸直力矩，顯示啞鈴蹲舉運動為有效的股四頭肌訓練方式，但也伴隨著提高了膝關節壓力及向後的剪力。

Almosnino, Kingston, & Graham(2013) 分析在體重負荷下，以兩種不同寬度(100% 與 140% 肩寬)，利用主成分分析(principal component analysis) 模式探

討蹲舉時外在膝關節力矩曲線 (moment waveform) 的變異，發現寬站立位置會呈現較大的膝關節內收力矩，腳尖外旋位置會呈現較大的膝關節屈曲力矩，且寬站姿腳尖外旋站立位置會呈現較小的內旋力矩。另研究以 75%最大肌，分別以 75%、100%與 140%肩寬，探討髖關節、膝關節與踝關節之關節力矩，發現寬度與角度交互作用達顯著差異，且 100%肩寬與 140%肩寬之髖關節與膝關節力矩顯著大於踝關節力矩(Lee et al., 2015)。另研究以不同寬度(大轉子間距 100、150 和 200%)，探討下肢肌肉活化的差異發現，不同寬度在臀大肌活化達顯著差異，股直肌、股內側肌、股外側肌、半腱肌、股二頭肌、臀中肌與內收肌未達顯著差異(Paoli, et al, 2009)。

在傷害方面，研究探討三種不同寬度(比肩寬寬的姿勢、與肩同寬和比肩寬窄的姿勢)深蹲時的運動學和動力學。發現比肩寬窄的姿勢在肌肉活化部分，股直肌、半腱肌與肥腸肌活化較高，且寬姿態可降低 15%髖股和脛股壓力，而比肩寬窄的姿勢可能導致膝關節外翻，進而影響膝關節的穩定提高受傷的機率，且過窄的站姿會使豎脊肌活化變大與腰部剪力過大，而導致背部的傷害(Escamilla et al., 2001)。

另外，在軀幹的部分，過去研究認為從事深蹲時，站立寬度變化可能直接影響軀幹運動，並可能改變腰部組織的協調作用，而導致下背痛。當站立變寬時，膝蓋屈曲角度增加，且髖關節外展角度亦增加。過去研究以三種不同站姿寬度，分別為併腳、與肩同寬與 150%肩寬寬度，探討豎脊肌之肌肉活化差異，發現隨著寬度增加在下背肌群活化亦增加，因此認為當站立寬度增加時，下肢外展角度增加導致穩定度下降，而身體為了保持平穩，此時軀幹除了必須承受槓鈴施予的重量外，亦會施予更多的力量來維持身體的穩定，因此活化相對較高且容易產生傷害(Hu, Shan, Jie, & Ning, 2014)。

綜合上述文獻，下肢寬度被認為在深蹲時扮演著穩定全身的角色，且寬度的不同可能會導致訓練效益的不同，而過寬或過窄的站姿可能導致膝關節外旋，與穩定度的下降，而間接影響訓練效益與傷害的產生。

四、不同腳尖站立角度對訓練效益與傷害的影響

影響深蹲訓練效益的因素中，過去多半著重於下肢膝蓋屈曲角度或站立的寬度，探討運動學與動力學對人體訓練效益與傷害的影響，然而也有研究針對人體小關節的部分，探討腳尖站立角度等，可能影響訓練效益與傷害的機率因素(Ninos et al., 1997；Escamilla et al., 2001；Almosnino et al., 2013)。

在訓練效益部分，研究以坐姿推蹬探討不同腳尖外旋角度，在腳尖放置推蹬板上方與下方中，以腳尖向前與腳尖向外 30 度，探討慣用腳股直肌、股二頭肌、股內側、半腱肌、股外側與腓腸肌之肌肉活化，發現在肌肉活化部分皆未達顯著差異(Escamilla et al., 2001)。研究探討不同腳尖站立角度中，以 65 和 75%最大自主收

縮，以腳尖向內 10 度、向前（0 度）、向外 10 度與向外 20 度之四種角度，探討下肢肌肉活化差異，發現腳尖朝外不影響股內側肌、股外側肌與股直肌肌肉的活化(Boyden, Kingman, & Dyson, 2000)。研究探討腳尖朝前、腳尖朝外與腳尖朝內之核心肌群肌、下肢股外側與股內側肌肉活化差異，發現不論腳尖朝哪個方向，對核心肌群與下肢肌群肌肉活化皆未達顯著差異，因此腳尖方向改變，並不會影響訓練效益(Singorile et al., 1995)。

在傷害方面，Almosnino et al.(2013)分析在體重負荷下，使用 4 個不同腳尖站立角度，包括 2 個不同寬度（100% 與 140% 肩寬）與 2 個不同腳尖旋轉方向（腳尖向前與向外 30 度），利用主成分分析(principal component analysis)模式，探討蹲舉時，外在膝關節力矩(moment waveform)的變異，發現寬站立位置會呈現較大膝關節內收力矩，但若將姿勢調整成腳尖向外則會產生較小膝關節內收力矩，因此較寬的站立姿勢搭配腳尖朝外站立，則會呈現較小的內旋力矩，以避免傷害的產生。

另研究探討不同腳尖站立位置與啞鈴負荷，對蹲舉的膝關節三維動力學的影響並使用四種不同足部站立位置包含，窄站立位置、腳尖朝外窄站立、腳尖向前、腳尖向外站立與腳尖向外寬站，發現腳尖外旋相較於向前，膝關節外旋力矩較小（張怡雯等，2015）。Teichtahl, Morris, Wluka, Baker, Wolfe, Davis, & Cicuttini (2006) 探討走路時腳尖旋轉和膝關節力矩的影響，發現在步態站立期，若出現較多的腳尖向外角度，會顯著減少膝關節內收力矩，進而減輕內側脛股關節的負荷，發現不同腳尖站立角度和膝關節冠狀面負荷有關。

綜合上述可得知，在深蹲時腳尖不論朝前、朝外或朝內下肢肌肉活化皆沒有顯著差異，因此對於訓練的效益不會因為腳尖站立角度而有所差異，但腳尖朝前會產生較大的膝關節內收力矩可能導致傷害的產生，若將腳尖調整為朝外，則可減少膝關節內收力矩來預防傷害的產生。不同深蹲動作之訓練效益與傷害風險如表一與表二。

五、結論

在從事深蹲時，下肢扮演著控制強度與穩定整體動作的角色，不論膝蓋屈曲的角度、下肢站立的寬度或腳尖站立角度，其中一因素改變，皆會影響身體動作控制，導致訓練效益不同，甚至可能造成下肢關節肌肉的傷害。若要針對臀大肌肌群進行訓練，則可採較深的膝關節角度進行，而若要訓練股外側、股內側或豎脊肌，則可以較寬的站立姿勢進行。然而膝關節若外旋或內旋過大可能造成髌骨疼痛，且刻意不超過腳尖，則可能造成壓力過度集中於髌關節，增加髌關節傷害機率，因此因著重在身體重心的調整，將重心保持在身體中心，而非限制膝蓋前傾使重心向後，導致所有壓力集中至髌關節。而以寬姿勢站立可降低 15% 髌股和脛股壓力，而比肩寬窄的姿勢可能導致膝關節外翻，進而影響膝關節穩定，提高受傷機率，且過窄的

站姿則會導致豎脊肌活化變大與腰部剪力過大，造成背部傷害。腳尖部分，不論是向前或向外，相較於膝關節屈曲角度與不同肩寬站立，在訓練效益上較無明顯差異，但在腳尖向外（10 至 30 度）時，可減少膝關節內收力矩，進而減輕內側脛骨關節的負荷，降低運動傷害機率，因此健身愛好者在從事深蹲時，可按照自身需求來設定深蹲動作之限制，來提升訓練效益與降低傷害產生。

表一

不同深蹲動作之訓練效益表

作者	動作	影響因素	運動強度	訓練效益
Caterisano et al. (2002)	淺蹲、平行蹲與全蹲	無	100-125%最大肌力	肌肉活化總量淺蹲(16.9%)平行蹲(28.0%)和全蹲(35.4%)且隨著膝蓋屈曲角度增加，臀大肌肌活化增加，股內側、股外側與股二頭肌肌肉活化無顯著差異。
Ninos et al. (1997)	淺蹲(30 度)	無	25%最大肌力	在股內側和外側肌之肌肉活化會因屈曲角度而有顯著差異，但股二頭與半腱肌則無顯著差異。
Escamilla et al. (1998)		坐姿推蹬	以可完成 12RM 的自選重量	完全屈曲時，股四頭肌肌肉活化最大。脛骨與股骨壓力在閉鎖式接近完全屈曲時最大，開放式時則是完全擴展時。在壓力部分，閉鎖式近完全屈曲和中等程度最大，開放式則是伸直時。
Paoli, et al. (2009)	平行蹲	不同寬度(大轉子間距 100、150 和 200 %)	0、30 與 70% 最大肌力	不同寬度在臀大肌活化達顯著差異，骨直肌、股內側肌、股外側肌、半腱肌、股二頭肌、臀中肌與內收肌未達顯著差異。
Sogabe et Al. (2010)		肩膀寬度 50、100、150 與 200%	60%最大肌	150%自身肩膀寬度力矩最大，其次為 100%、200%與 50%。
Boyden, et al. (2000)	平行蹲	腳尖向內 10、向前、向外 10 與向外 20 度	65 和 75% 最大肌力	內側肌，股外側肌或股直肌肌肉活化未達顯著差異。
Singorile et al. (1995)		腳尖向內 30°、平行和向外 80°)	8 到 10-RM	腹內斜肌、腹外斜肌、股內側肌與股外側肌肌肉活化未達顯著差異。
Escamilla et al. (2001)		腳尖不同方向(平行與 30°)	以可完成 12RM 的最大重量	骨直肌、股外側肌、股內側肌、股二頭肌與肥腸肌未達顯著差異。

註：作者自行整理。

表二
不同深蹲動作之傷害風險表

作者	動作	傷害風險
Shapour et al. (2015) Swinton et al. (2012) Stüssi(2012)	淺蹲、平行蹲全蹲 與膝蓋不超過腳尖	淺蹲時肌肉活化不會因膝蓋朝不同方向而有所異，但在平行蹲與全蹲則達顯著差異，因此膝蓋方向為誘發髌骨疼痛的重要因素之一。當膝蓋不超過腳尖時，能減少膝關節負荷，但相增加了髌關節的力矩，可能誘發髌骨疼痛與下背痛。
張怡雯等(2015) Almosnino, et al. (2013) Lee et al. (2015) Escamilla et al. (2001) Hu et al. (2014)	不同站立寬度	寬站立向內力量與外旋力矩較小，內收力矩較大，有較高的膝關節壓力，且膝關節大於踝關節，但可降低 15% 髌股和脛股壓力。比肩寬窄豎脊肌、股直肌、半腱肌與腓腸肌活化較高，腰部剪力較大，可能導致膝關節外翻，影響膝關節的穩定。
張怡雯等(2015) Almosnino et al. (2013) Teichtahl et al. (2006)	腳尖向前、向外 與向內	腳尖朝前會產生較大的膝關節內收力矩可能導致傷害的產生，若將腳尖調整為朝外，則可減少膝關節內收力矩來預防傷害的產生。

註：作者自行整理。

引用文獻

- 張怡雯、梁凱涵、王信淵、吳鴻文 (2015)。不同站立位置與啞鈴負荷對蹲舉時膝關節動力學的影響。《大專體育學刊》，17 (3)，317-331。
- Almosnino, S., Kingston, D., & Graham, R. B. (2013). Three-dimensional knee joint moments during performance of the bodyweight squat: Effects of stance width and foot rotation. *Journal of Applied Biomechanics*, 29(1), 33-43.
- Boyden, G., Kingman, J., & Dyson, R. A. (2000). Comparison of quadriceps electromyographic activity with the position of the foot during the parallel squat. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 14, 379-382.
- Caterisano, A., Moss R. F., Pellingier, T. K., Woodruff, K., Lewis V. C., Booth W., & Khadra T. (2002). The effect of back squat depth on the EMG activity of 4 superficial hip and thigh muscles. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 16(3), 428-32.
- Escamilla, R. F., Fleisig G. S., Zheng, N., Barrentine S. W., Wilk K. E., Andrews J. R. (1998). Biomechanics of the knee during closed kinetic chain and open kinetic chain exercises. *American Sports Medicine Institute*, 30(4), 556-569.
- Escamilla, R. F., Fleisig, G. S., Zheng N, Lander J. E., Barrentine S. W., Andrews J. R., Bergemann B. W., & Moorman, C. T. (2001). Effects of technique variations on knee biomechanics during the squat and leg press. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33(9), 1552-1566.
- Fry, A. C., Smith, C., & Schilling, B. K. (2003). Effect of knee position on hip and knee torques during the barbell squat. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 17(4), 629-633.
- Hu, B., Shan, X., Jie, Z., & Ning, X. (2014). The effects of stance width and foot posture on lumbar muscle flexion-relaxation phenomenon. *Clinical Biomechanics*, 29, 311-316.
- Jaberzadeh, S., Yeo, D., Zoghi, M. (2015). The Effect of Altering Knee Position and Squat Depth on VMO : VL EMG Ratio During Squat Exercises. *Physiotherapy Research International*, 21(3), 164-173.
- Lee S., Kim J., Han K. H., Kim, D., Hasan, M., Kim, J., & Kwon, Y. H., (2015). Effects of foot placement on resultant joint moments of lower extremity joints during squat. 33rd International Conference on Biomechanics in Sports, Poitiers, France, Floren Colloud, Mathieu Domalain & Tony Monnet (Editors). *Coaching and Sports Activities*, 1050-1053.
- McCaw, S. T., & Melrose, D. R. (1999). Stance width and bar load effects on leg muscle

- activity during the parallel squat. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 31(3), 428-436.
- Ninos, J. C., Irrgang, J. J., Berdett, R., Weiss, J. R. (1997). Electromyographic analysis of the squat performed in self-selected lower extremity neutral rotation and 30 degrees of lower extremity turn-out from self-selected neutral position. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 25, 307-315.
- Paoli, A., Marcolin, G., & Petrone, N. (2009). The Effect of Stance Width on the Electromyographical Activity of Eight Superficial Thigh Muscles During Back Squat With Different Bar Loads. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 23(1), 246-50.
- Stüssi. (2012). Comparison of the Angles and Corresponding Moments in the Knee and Hip During Restricted and Unrestricted Squats. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(10), 2829-2836.
- Sogabe, A, Iwasaki, S, Gallager, P. M., Edinger, S., & Fry, A. C. (2010). Influence of Stance Width on Power Production During the Barbell Squat. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(1), 153-162.
- Swinton, P. A., Lloyd, R., Keogh, J. W. L., Agouris, I., & Stewart, A. D. (2012). A Biomechanical Comparison of the Traditional Squat, Powerlifting Squat, and Box Squat. *The Journal of Strength and Conditioning*, 26(7), 1805-1816.
- Singorile, J. F., Kwiatoski, K., Caruso, J. F., & Robertson, B. (1995). Effect of foot position on the electromyographical activity of the superficial quadriceps muscles during the parallel squat and knee extension. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 9, 182-187.
- Sean flanagan, George, Wang, Serena & Gail. (2003). Squatting Exercises in Older Adults: Kinematic and Kinetic Comparisons. *Med Sci Sports Exerc*. 35(4), 635-643.
- Tina, L. C., Charles, W. A., Varsha G., & Danny, M. P. (2006). Relationship between Hip and Knee Strength and Knee Valgus during a Single Leg Squat. *Human Kinetics Journals*, 22(1), 41-50.
- Teichtahl, A. J., Morris, M. E., Wluka, A. E., Baker, R., Wolfe, R., Davis, S. R., & Cicuttini, F. M. (2006). Foot rotation-A potential target to modify the knee adduction moment. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 9(1-2), 67-71.
- Vakos, J. P., Nitz, A. J., Threlkeld, A. J., Shapiro, R., & Horn, T. (1994). Electromyographic activity of selected trunk and hip muscles during a squat lift. Effect of varying the lumbar posture. *Spine*, 19, 687-695.