

國立臺灣體育學院
National Taiwan College of Physical Education
運動健康科學學系碩士班
碩士學位論文

運動員前十字韌帶術後之下肢生物力學
THE LOWER LIMB BIOMECHANICS OF ATHLETES
WITH ANTERIOR CRUCIATE LIGAMENT
RECONSTRUCTION



研究生：陳超平

指導教授：吳鴻文 教授

中華民國 100 年 7 月

論文名稱: 運動員前十字韌帶術後之下肢生物力學

總頁數:57頁

院校所組別: 國立臺灣體育學院運動健康科學學系碩士班

畢業及題要別: 99學年度第2學期碩士學位論文題要

研究生: 陳超平

指導教授: 吳鴻文 博士

中文摘要

研究背景: 目前前十字韌帶重建手術臨床上以髌骨肌腱或膕旁肌腱自體移植最為常見。過去許多文獻針對術後膝關節功能、膝關節鬆弛度和局部膝關節肌力的評估, 藉以尋求最佳手術方式。然而, 很少有研究提供臨床的證據, 證實目前的手術方法可以成功的恢復膝關節運動學。過去研究顯示前十字韌帶是維持膝關節旋轉穩定重要的構造, 不過還不清楚目前前十字韌帶的重建技術是否可以恢復膝關節的旋轉穩定性。而且, 有關膕旁肌腱自體移植前十字韌帶重建術在不同強度之動作分析或膝關節旋轉方向之探討至今研究仍少。**目的:** 針對膕旁肌腱自體移植前十字韌帶重建術, 比較相關患者術後1年以上在不同強度之下肢動作分析, 尤其是膝關節進行探討。**研究方法:** 本研究共招募已接受膕旁肌腱自體移植前十字韌帶重建手術之病人共11位做為實驗組, 另外延攬下肢無任何膝痛病史的台灣體院學生共15位做為健康對照組, 進行基本資料、膝功能問卷評估、下肢物理性檢查、KT-2000之前十字韌帶鬆弛度檢測、大腿周徑測量、膝關節活動度之動作分析測量。之後分別以獨立樣本 t 考驗比較健康對照組與手術患者健側腳之組間差異; 另外, 以配對樣本 t 考驗比較重建組兩腳間之差異。**結果:** 本研究結果顯示, 在膝關節功能問卷方面, 膕旁肌腱移植組之患側腳顯著低於其健側腳

及健康對照組 ($p < 0.05$)。在KT-2000量測方面，顯示膕旁肌腱移植組比起健康對照組呈現顯著鬆弛現象 ($p < 0.05$)。在膝關節外旋活動度方面，膕旁肌腱移植組之患側腳大於其健側腳，這個結果符合預期，因患側腳取部分膕旁肌可能會導致膝內旋無力。然而，在膝關節旋轉活動角度比較上，膕旁肌腱移植組的患側腳與健側腳之間並無顯著差異。結論：本研究發現前十字韌帶重建患者於術後1年雖然已於臨床上常見的客觀性檢查與評估方面已恢復至幾近正常，而且在膝關節冠狀面活動角度的比較未呈現顯著差異，然而，膕旁肌腱移植組的健側或患側腳之膝關節外翻角度都有增加的趨勢，這一點是值得關注的。另一方面，我們發現前十字韌帶重建後，脛骨之膝關節總旋轉活動角度比較上，三組彼此之間並無顯著差異。採取此種膕旁肌腱自體移植前十字韌帶重建技術的膝關節總旋轉活動角度似乎不受到影響。但是，此結果或許需要更多的樣本數來證實。總之本研究於不同強度之動作方面，對膝關節旋轉的發現將有助於降低前十字韌帶再損傷的機率。

關鍵字：前十字韌帶重建術、膕旁肌腱自體移植、膝關節運動分析、膝關節旋轉。

英文摘要

Background: At present, the anterior cruciate ligament reconstruction with patellar tendon or hamstring tendon autograft is most popular. In past, many papers made an attempt to find the best surgical advice with the evaluation of knee function, knee laxity, and knee muscle strength. Studies have shown that the anterior cruciate ligament knee is the important structure to maintain rotation stability. However, it is unclear at present whether the anterior cruciate ligament reconstruction can restore knee rotation stability. Besides, the hamstring tendon autograft surgery in the different intensity of knee motion analysis or direction of rotation is still far less studied. **Purpose:** To evaluate the lower limb motion analysis in different intensity, especial in the rotation motion of the knee joint after ACL reconstruction with hamstring using Transfix technique was restored. **Methods:** The study recruited 11 ACL reconstruction subjects and 15 healthy control subjects for the lower extremity physical check, the evaluation of IKDC score, Lyshom score, ACL laxity, the circumference of thigh and the biomechanical analysis of lower limb. Independent *t*-tests was conducted to examine the difference among the healthy group and the contralateral side of reconstructed leg. Paired *t* tests was used to perform bilateral comparison between the reconstructed leg and the uninvolved leg. **Results:** The result of this study showed that the reconstruction of the affected group was significantly lower than the healthy side and the healthy control group in knee function questionnaire ($p < 0.05$). In the KT-2000 measurements, the reconstructed group showed a significant relaxation than the healthy control group ($p < 0.05$). In external rotation of the knee joint, the reconstructed leg was greater than the contralateral side. This

result was an expectation, because the harvesting hamstring muscle led to lower internal rotation force of knee. However, there was no significant difference between the reconstructed leg and the uninvolved leg in total rotation of the knee joint.

Conclusion: This study found that patient with anterior cruciate ligament reconstruction, although the common clinically assessment has been restored to almost normal and the activity in the frontal plane of knee angle did not show significant comparative difference, however, the knee valgus angle of the reconstructed group had an increasing trend. On the other hand, we found that the total rotation angle of the reconstructed group revealed no significant difference between them. The total rotation of knee joint did not seem to be affected in such anterior cruciate ligament reconstruction with hamstring using the Transfix system. However, this result should need more samples to confirm. Our study made an attempt to explore the importance of knee rotation and also provided for the purpose of decreasing the incidence of anterior cruciate ligament re-injury.

Key Words: Anterior cruciate ligament reconstruction, hamstring tendon autograft, knee motion analysis, knee rotation.

誌謝

終於到了寫下碩士畢業感謝函的這一刻，回想初入學時對研究方法的一竅不通，到完成此論文，其中辛苦實非筆墨能夠形容。我特別要感謝幾位老師的提攜及指導，特別是我的指導教授吳鴻文老師和張怡雯老師，以及許弘昌教授、羅世忠教授和呂欣善教授。沒有你們像燈塔般指引我研究方向，我注定要迷失在汪洋大海，遑論畢業了。

身為公立醫學中心的臨床醫師，平時要應付醫療與行政上的煩瑣事務，已經令我有左支右絀分身乏術。但是現今醫療環境的激烈競爭，卻又驅使我不得不投入這場學位大戰中。所幸過去兩年來，我犧牲有限的與家人相處及運動休閒的時光，全心投入研究的領域中。如今看來，實在是一項值得的投資。它帶給我的絕非只是一張碩士文憑，而是未來會影響我一生的真正的寶物！經過這些時間的薰陶，毫無疑問的師父已經把我帶入門，其它就看日後的修行了。

感謝實驗室的夥伴們，尤其是張世緯和梁凱涵，多虧你們包容及無私地傳授一些作實驗的技巧，讓我能順利完成實驗。感謝骨科部黃揆洲主任本著栽培後進的好意，大力支持我在公餘之暇投入研究。如今有初步的結果，我要特別感謝他在我無法兼顧公務時的寬容以對。

最後我要感謝我太太，對於我在家庭的時間付出如

此的少，卻鮮有抱怨，無法有較多的時間協助太太照顧小孩更讓我感到內疚。如今畢業在即，我深刻體會到，那是因為我周遭充滿了許多的愛與關懷才能帶領我走到這裡。絕非我一人之功！

感謝那些曾經給我協助，而我沒在這裡提到名字的親友及師長們。衷心感謝你們的協助，謹以此論文代表我最崇高的敬意獻給你們！

目錄

中文摘要	I
英文摘要	III
誌謝	V
目錄	VII
表目錄	IX
圖目錄	X
第壹章 簡介	1
第一節 前言	1
第二節 研究動機	2
第三節 研究假設	3
第四節 研究目的	3
第貳章 文獻回顧	5
第一節 前十字韌帶重建	5
第二節 髌骨肌腱	5
第三節 膕旁肌腱	6
第四節 臨床與動作分析試驗	7
第五節 膕旁肌腱固定強度	8
第參章 研究方法與步驟	9
第一節 研究對象	9
第二節 實驗儀器及設備	11
第三節 實驗流程與步驟	16
第肆章 結果	21
第一節 受試者基本資料	21
第二節 膝關節功能問卷評估	21

第三節	兩側大腿周徑差值	22
第四節	前十字韌帶鬆弛度比較	22
第五節	膝關節矢狀面活動度	23
第六節	膝關節冠狀面活動度	27
第七節	膝關節橫斷面活動度	31
第伍章	討論	35
第一節	基本資料	35
第二節	膝關節功能問卷評估之比較	35
第三節	大腿周徑之比較	36
第四節	前十字韌帶鬆弛度比較	36
第五節	膝關節矢狀面活動度比較	37
第六節	膝關節冠狀面活動度比較	37
第七節	膝關節橫斷面活動度比較	38
第八節	研究限制	40
第九節	臨床貢獻	41
第陸章	結論	42
參考文獻	43

表目錄

表 4.1	受試者的基本資料	21
表 4.2	膝關節功能性量表	22
表 4.3	兩側大腿周徑差值	22
表 4.4	前十字韌帶鬆弛度	23

圖目錄

圖 3.1	十字韌帶穩定度檢測儀及操作	12
圖 3.2	高速攝影機	13
圖 3.3	VICON NEXUS 系統軟體	13
圖 3.4	八台紅外線式攝影機	13
圖 3.5	反光球之定位	15
圖 4.1	矢狀面站立轉身比較	23
圖 4.2	矢狀面走路比較	24
圖 4.3	矢狀面走路轉身比較	25
圖 4.4	矢狀面垂直跳轉身比較	26
圖 4.5	冠狀面站立轉身比較	27
圖 4.6	冠狀面走路比較	28
圖 4.7	冠狀面走路轉身比較	29
圖 4.8	冠狀面垂直跳轉身比較	30
圖 4.9	橫斷面站立轉身比較	31
圖 4.10	橫斷面走路比較	32
圖 4.11	橫斷面走路轉身比較	33
圖 4.12	橫斷面垂直跳轉身比較	34

第壹章 簡介

第一節 前言

前十字韌帶是一個動態的結構，擁有獨特的解剖性能，它由兩束主要的結構組成，為前內側束和後外側束，分別提供膝關節在不同狀態下的穩定度 (Girgis, Marshall, & Monajem, 1975; Sakane, Fox, Woo, Livesay, Li, & Fu, 1997)。膝關節前十字韌帶重建旨在恢復這些獨特的結構特徵及其產生的生理的影響。

在過去的二十年，前十字韌帶重建最常使用髌骨肌腱和膕旁肌腱自體移植，主要是因為他們的高生物力學性、生物兼容性和少發病率。由於關節鏡技術的進步，這些移植已成為標準的前十字韌帶重建方式。直到 90 年代後期，因為許多臨床研究顯示使用髌骨肌腱自體移植的高成功率，髌骨肌腱自體移植被認為是前十字韌帶重建的黃金標準方式。然而，改善肌腱固定材料，增加了應用膕旁肌腱自體移植重建技術的成功率 (Aglietti, Giron, Buzzi, Biddau, & Sasso, 2004; Aune, Holm, Risberg, Jensen, & Steen, 2001; Beynnon et al., 2002; Freedman, D'Amato, Nedeff, Kaz, & Bach, 2003; Jansson, Linko, Sandelin, & Harilainen, 2003)。

然而，很少有研究提供了臨床的證據，證實目前的手術方法可以成功的恢復膝關節運動學。過去骨科醫生只能主觀地藉由靜態檢查測量臨床的穩定程度和脛骨前移距離 (KT-1000) 來判斷其臨床上的成功率 (Bach, Tradonsky, Bojchuk, Levy, Bush-Joseph, & Khan, 1998; Daniel, Malcom,

Losse, Stone, Sachs, & Burks, 1985; Fox, Sherman, & Markolf, 1985; Jonsson, Karrholm, & Elmqvist, 1993)。這些評估方式並沒有提供膝關節恢復動態水平旋轉穩定的信息；此外，這些評估方式並不能向我們保證，膝關節完全恢復動態功能 (Devita et al., 1997)。研究顯示前十字韌帶是維持膝關節旋轉穩定重要的構造 (Kanamori et al., 2000)，不過，還不清楚目前前十字韌帶重建技術是否可以恢復膝關節的旋轉穩定性 (Brandsson, Karlsson, Sward, Kartus, Eriksson, & Karrholm, 2002; Ristanis, Giakas, Papageorgiou, Moraiti, Stergiou, & Georgoulis, 2003)。

第二節 研究動機

雖然已有一些研究認為脛骨內旋會加重前十字韌帶的負擔 (Laxdal, Kartus, Hansson, Heidvall, Ejerhed, & Karlsson, 2005; Markolf, Burchfield, Shapiro, Shepard, Finerman, & Slauterbeck, 1995) 甚至加速內側脛股關節退化現象 (Andriacchi, Briant, Bevill, & Koo, 2006)，並提出慢性前十字韌帶損傷患者已然呈現脛外旋代償步態 (Zhang, Shiavi, Limbird, & Minorik, 2003)，且可能會增加髕股骨關節壓力而造成前側膝痛 (Li, DeFrate, Zayontz, Park, & Gill, 2004; Tibone, Antich, Fanton, Moynes, & Perry, 1986)。

先前也有研究顯示使用不管使用髕骨肌腱或脛旁肌腱自體移植重建前十字韌帶，都不能有效地減少脛骨旋轉 (Ristanis, Stergiou, Patras, Tsepis, Moraiti, & Georgoulis, 2006; Ristanis, Stergiou, Patras, Vasiliadis, Giakas, &

Georgoulis, 2005; Ristanis, Stergiou, Siarava, Ntoulia, Mitsionis, & Georgoulis, 2009; Scanlan, Chaudhari, Dyrby, & Andriacchi, 2010; Stergiou, Ristanis, Moraiti, & Georgoulis, 2007; Wang & Zheng 2010)。然而，回顧過去文獻，僅有少數研究提出脛旁肌腱自體移植術並使用 Endobutton 在股骨端的固定後不能有效地減少脛骨旋轉 (Chouliaras, Ristanis, Moraiti, Tzimas, Stergiou, & Georgoulis, 2009; Georgoulis, Ristanis, Chouliaras, Moraiti, & Stergiou, 2007)，但是至今卻沒有人研究過脛肌肌腱自體移植並使用 Bio-Tranfix 在股骨端的固定移植術患者是否也不能有效地減少脛骨旋轉。

第三節 研究假設

由於脛旁肌腱特定的力學性能（超高強度，剛度和圓形形態）更接近正常的前十字韌帶，和 Bio-Tranfix 在生物力學上的優勢 (Asik, Sen, Tuncay, Erdil, Avci, & Taser, 2007; Milano, Mulas, Ziranu, Piras, Manunta, & Fabbriciani, 2006; Monaco et al., 2010)，我們假設脛旁肌腱自體移植並且使用 Bio-Transfix 在股骨端的固定移植術將能夠恢復在脛骨旋轉的正常活動。

第四節 研究目的

本研究目的在針對脛旁肌腱並使用 Bio-Tranfix 前十字韌帶重建手術，調查並比較前十字韌帶重建術患者於術後在低強度的活動（如走路）和高強度的活動（如走路急轉和垂

直跳落地後急轉) 在脛骨旋轉的改變，期能為術後復原提供客觀的參考數據，進一步推導前十字韌帶損傷後產生退化性關節炎的機制，並期許能找出何種前十字韌帶重建手術的方式有較好的預後。

第貳章 文獻回顧

第一節 前十字韌帶重建

重建前十字韌帶兩個最常用的自體移植的是髌骨肌腱和四股的脛旁肌腱（半腱肌和股薄肌）。在過去，髌骨肌腱移植已被視為黃金標準。在 20 世紀初期使用脛旁肌腱移植比例增加，其中一個原因是先前研究顯示，取自體中間 1/3 的髌骨肌腱重建前十字韌帶的患者有相當高的比例會發生捐贈處的併發症。另一個原因是改善肌腱固定材料，增加了應用脛旁肌腱自體移植重建技術的成功率

第二節 髌骨肌腱

過去文獻指出使用髌骨肌腱自體移植重建術易於取髌骨肌腱處衍生術後膝關節問題 (Bonatus & Alexander 1991; Breitfuss, Frohlich, Povacz, Resch, & Wicker, 1996; Ejerhed, Kartus, Sernert, Kohler, & Karlsson, 2003; Jarvela, Kannus, & Jarvinen, 2000; Kartus, Magnusson, Stener, Brandsson, Eriksson, & Karlsson, 1999; Keays, S.L., Bullock-Saxton, & Keays, A.C., 2000; Kuo, Leong, & Wang, 2005, Sachs, Daniel, Stone, & Garfein, 1989; Sernert et al., 1999; Sherman & Banffy 2004), 諸如前側膝痛、股四頭肌肌力缺損、跪行能力變差、髌骨骨折、髌骨肌腱縮短、髌股骨關節問題，以及膝關節伸直活動度下降等後遺症。

第三節 脛旁肌腱

脛旁肌腱移植似乎比髌骨肌腱更具有特定的力學性能（超高強度，剛度和圓形形態）更接近正常的前十字韌帶（Chen, Cooley, & Rosenberg, 2003; Fu, Bennett, Lattermann, & Ma, 1999; Hamner, Brown, Steiner, Hecker, & Hayes, 1999; Laxdal et al, 2005; Rowden, Sher, Rogers, & Schindhelm, 1997），因此，近年來脛旁肌腱便逐漸成為前十字韌帶重建的另一個選擇。

雖然脛旁肌腱自體移植重建術或可避免部分髌骨肌腱自體移植重建術所造成的後遺症，相對地卻也衍生出其他膝關節問題（Anderson, Snyder, & Lipscomb, 2001; Beynnon et al., 2002; Ejerhed et al., 2003; Elmlinger, Nyland, Tillett, Elmlinger, Nyland & Tillett, 2006; Keays, S.L., Bullock-Saxton, Keays, A.C., & Newcombe, 2001; Nakamura et al., 2002; Sherman & Banffy 2004），包括術後膝關節鬆弛度增加、膝屈肌肌力缺損、膝屈曲活動度不足以及不易回到受傷前的運動層級等。

第四節 臨床與動作分析試驗

先前研究顯示，這兩種移植各有其優點和缺點。一些臨床試驗（Anderson, Snyder, & Lipscomb, 2001; Aune et al., 2001; Beynnon et al., 2002; Corry, Webb, Clingeffer, & Pinczewski, 1999; Ejerhed et al., 2003; Feller & Webster 2003; Ibrahim, Al-Kussary, Al-Misfer, Al-Mutairi, Ghafar, &

El-Noor, 2005; Jansson et al., 2003; Pinczewski, Deehan, Salmon, Russell, & Clingeleffer, 2002; Shaieb, Kan, Chang, Marumoto, & Richardson, 2002), 以及回朔分析(Fu et al., 1999; Sherman & Banffy 2004; Spindler, Kuhn, Freedman, Matthews, Dittus, & Harrell, 2004; Yunes, Richmond, Engels, & Pinczewski, 2001), 都顯示這兩種移植在臨床結果是不相上下的。

這種情況似乎需藉由實驗分析, 來解決這個問題內部細節的部分。之前的研究著重在比較兩種移植體在進行日常生活活動的步態模式, 結果發現, 兩種都會影響膝關節伸屈運動(Wang, Cui, Zhao, Li, Liu, & Yang, 2010; Webster, Wittwer, O'Brien, & Feller, 2005); 但是, 在其他平面的運動模式都未被評估, 尤其是脛骨旋轉量的測量。然而, 評估脛骨旋轉非常重要, 因為過去學者利用大體研究發現, 即使兩種移植可以成功的限制脛骨的前移, 但都不能有效地減少脛骨旋轉(Woo, Kanamori, Zeminski, Yagi, Papageorgiou, & Fu, 2002)。

先前曾有研究顯示, 使用髌骨肌腱重建前十字韌帶者在走路的活動, 可以恢復脛骨旋轉(Georgoulis, Papadonikolakis, Papageorgiou, Mitsou, & Stergiou, 2003), 然而, 其他的實驗發現更高的活動要求, 髌骨肌腱移植並不能防止脛骨過度旋轉(Ristanis et al., 2003)。

然而, 最近研究也顯示使用膕旁肌腱重建前十字韌帶者可以成功的防止脛骨的前移(Kanamori, Zeminski, Rudi, Li, Fu, & Woo, 2002; Loh, Fukuda, Tsuda, Steadman, Fu, & Woo, 2003; Ristanis et al., 2005), 但也不能有效地減少脛骨旋轉(Georgoulis et al., 2003; Ristanis et al., 2005)。

第五節 膕旁肌腱固定強度

前十字韌帶重建手術中，關於韌帶固定的強度，對於手術後的早期復健扮演了很重要的角色。然而，在股骨端的固定仍然有很大的爭議。儘管目前臨床研究顯示，不管何種股骨端的固定方式，包括Bio-TransFix; Rigidfix cross-pin; BioScrew interference screw和Endobutton等，臨床結果無明顯差異 (Espejo-Baena, Ezquerro, de la Blanca, Serrano-Fernandez, Nadal, & Montanez-Heredia, 2006; Harilainen, Sandelin, & Jansson, 2005; Price, Stoney, & Brown, 2010; Rose, Hepp, Venus, Stockmar, Josten, & Lill, 2006)。但是，目前最新的生物力學研究顯示，Transfix在防止脛骨前移的表現明顯優於Endobutton，並且更適合術後早期積極性復健 (Asik et al., 2007; Monaco et al., 2010)。

第參章 研究方法與步驟

第一節 研究對象

一、 招募對象

本研究配合台中榮民總醫院骨科，招募已接受膕旁肌腱自體移植前十字韌帶重建手術之病人共 11 位做為實驗組，另外延攬下肢無任何膝痛病史的台灣體院學生共 15 位做為健康對照組。所有受試者均接受由同一骨科醫生執行手術。該手術是用關節鏡輔助進行。

二、 手術方法

手術方法如下所述：首先在脛骨結節內側約 2 厘米處，劃一個 4-5 厘米縱向皮膚切口，近端開始在鵝足肌腱內側並向下延伸至鵝足肌腱附著處。半腱肌和股薄肌的肌腱分別使用肌腱剝離器取獲；兩條肌腱再彼此縫合形成四股移植體。接著在膝蓋彎曲 90 度時鑽出脛骨隧道。藉由脛骨隧道導向系統，外面入口點選擇為靠近內側副韌帶前緣，而脛骨隧道關節內的中心選在脛骨髁間略靠內側，也就是在外側半月板前角的內邊緣和內側脛骨棘的連接線上。再用膝關節過度伸張，來檢查這一點是否在正確的位置，主要是要避免移植體的屋頂衝擊現象。隨後，股骨隧道中心是通過內側關節鏡入口放置股骨隧道導向系統在過度的頂位置前 7 毫米處，然後，導針插入在 10 點鐘位置（右膝蓋）或在 2 點鐘位置（左膝），留下 2-3 毫米股骨後皮層。用一個 9 毫米空心鉸刀，鑽出 35 毫米深度的股骨隧道。通常情況下，移植插入股骨隧道的長

度為 2 到 2.5 厘米，股骨隧道會比移植物插入長度多 5 至 10 毫米的深度用於允許“Transfix 螺絲”刺穿系統（刺穿螺絲長度 70 毫米）的通過。最後一步是使用 Transfix 導遊系統通過隧道來嫁接和固定移植物，確定移植物在股骨遠端外側皮層的 Transfix 螺絲上後，在膝蓋彎曲 30 度時使用生物可吸收螺釘（通常小於 1 毫米直徑的隧道）固定在脛骨隧道。然後視察移植無論膝蓋在完全屈曲和充分伸展的情況下都不會衝擊到屋頂和後十字韌帶。

三、復健計劃

前十字韌帶重建手術後會使用冰敷及壓迫以減少術後的腫脹，並以護具鎖定於膝全伸直姿勢。每天一次，去除護具或放鬆鎖定，練習彎膝至九十度（連續被動式運動器輔助），兩週後開始漸進全體重支撐，負重行走及睡覺時，都要使用護具保護。肌力訓練方面術後即可進行股四頭肌等長收縮及直抬腿訓練，兩週左右可踩固定式腳踏車，六週後加強肌肉訓練，支架保護下，彎膝及加強肌肉訓練，並以閉合動力式肌肉強化運動如腳踏車、梯階上下、靠牆滑動、平衡滑板等較為合理有效。半年後可一般人可正常運動，運動選手九至十二個月可安全的回競技場。

關節活動的計劃如下：第零週：被動活動 0-90 度；第一週：被動及主動活動 0-30 度；第二週：被動及主動活動 0-60 度；第三週：被動及主動活動 0-90 度；第五週：被動及主動活動 0-120 度；第六週：全關節伸展，屈曲活動。

本研究健康對照組則是隨意徵召台灣體院學生沒有任何下肢手術或外傷以及膝痛病史之學生。

本研究所有受試者均需能夠執行正常跑步並轉向、雙腳垂直跳躍測試且於測試時下肢無任何疼痛情形。

第二節 實驗儀器及設備

一、十字韌帶穩定度檢測儀

此檢測儀(KT2000 - MEDmetric Corp., San Diego, Calif.) (圖 3.1) 主要是利用人工拉力來檢測十字韌帶鬆弛度，並予以量化。方法如下所述：首先請受測者放鬆，利用墊高器置放於大腿下方讓受測者膝部自然屈曲 30 度，且在腳跟處放固定器讓腳底板不往外展，維持在中間位置，接著將檢測儀的髌骨感測墊(patellar sensor pad)放置在受測腳的髌骨處，然後脛骨感測墊(tibial sensor pad)放置在受測腳的脛骨粗隆處(tibial tuberosity)，再上下調整並將關節線箭頭(joint line arrow)對準膝關節線，利用兩處的魔鬼粘綁帶將檢測儀穩固在小腿端。在測量前，必須先將顯示器歸零，再施以使脛骨向前方向的力量，以測量前十字韌帶的鬆弛度。通常於施力過程時先後聽到兩個聲響，即當施力 15 磅時，檢測儀會響第一聲；第二聲則是當施力 20 磅時。



圖 3.1 十字韌帶穩定度檢測儀

二、三維動作分析系統(VICON NEXUS 1.4.116 動作分析系統)

本研究使用 VICON 公司之高速攝影機(圖 3.2), 以 100 赫茲取樣頻率擷取反光標記於空間中運動之軌跡, 經由 VICON NEXUS 系統軟體(圖 3.3), 依序標定(label)所收集之人體所貼反光標記(marker)名稱位置, 完成原始的資料處理並輸出。

三維動作分析系統包含八台紅外線式攝影機(圖 3.4) 以及訊號處理的主機(motion capture data station), 並配合使用 VICON NEXUS 動作分析系統(VICON NEXUS motion analysis system, Oxford Metrics LID. UK) 操作三維動作分析系統以及資料處理與儲存。此系統主要是將攝影機外框的紅外線照射貼在受試者身上的反光球(將於測量方法說明反光球貼法與位置), 反光球因紅外線照射而發光且經由攝影機接收後, 將影像訊號傳到主機, 主機匯集六台攝影機的影像訊號傳到個人電腦, 利用 VICON NEXUS 系統軟體執行 2D 轉 3D 重建程序以得知貼在身上的每一顆反光球於三維空間的位置, 並將資料儲存於個人電腦。



圖 3.2 高速攝影機



圖 3.3 VICON NEXUS 系統軟體

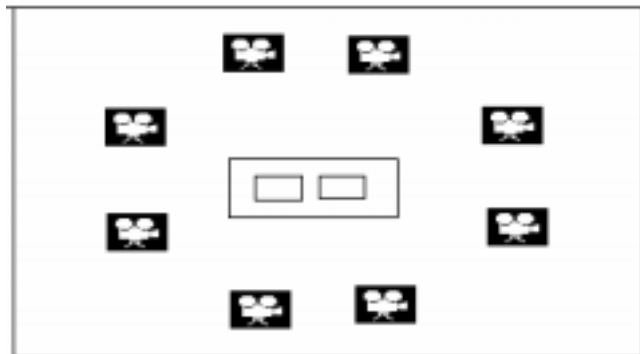


圖 3.4 八台紅外線式攝影機

在使用系統收取資料前，必須先進行以下步驟：

1. 將六台攝影機擺設於適當位置使反光球在人體做動作時都能被攝影機接收，攝影機適當位置依據本研究所需測量動作的範圍來設定，每次測量都放置於固定位置。
2. 校正作業：
 - (1) 動態校正：此步驟用意主要是建立 2D 轉 3D 重建過程的參數。使用動態校正器 (wand) 於量測空間中移動，再經由 VICON 軟體計算出動態校正的數據，校正各攝影機擷取之可能影像誤差。
 - (2) 靜態校正：此步驟主要是建立三維動作分析系統的地板座標系 (globalsystem)。以 L 型靜態校正器 (L-frame) 定義實驗室座標系。將靜態校正器放置在測力板的邊緣，靜態校正器中其中一臂有三顆反光球則視為地板座標系的 X 軸方向，放置方向則與測力板本身座標系的 X 軸同方向，靜態校正器的直角位置則視為地板座標系的原點，且與測力板其中一角對齊。

三、三維測力板

本研究使用 KISTLER 三維測力板系統 (KISTLER force plate, Type 9260AA6)，以採樣頻率 1000 赫茲擷取受試者於不同動作中地面反作用力資料。藉由數位類比轉換器 (A/D converter) 與 VICON 動作分析系統進行同步的資料收集。

四、 反光球之定位

反光球的位置是參考 Davis 等學者所建議的位置 (Davis, Ounpuu, Tyburski, & Gage, 1991), 如下所述 (圖 3.5)。反光球主要固定在下肢重要骨頭凸起處, 利用雙面膠與透氣膠帶將反光球穩固於皮膚上以盡量減少皮膚滑動所造成的誤差。

1. 左右側前上髌脊 (anterior superior iliac spine)
2. 左右側後上髌脊 (posterior superior iliac spine)
3. 左右腳的內外側股骨上髁 (femoral epicondyle)
4. 左右腳的內外側踝 (malleolus)
5. 左右腳的第二根蹠骨頭 (metatarsal head)
6. 左右腳的腳跟 (heel)
7. 左右腳的大腿肢段與小腿肢段, 反光球盡量固定在大、小腿側邊較無肌肉位置以避免肌肉收縮影響到反光球位置的變動。固定的高度約在大小腿末端三分之一處。

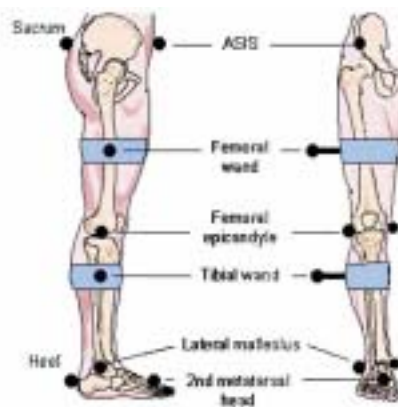


圖 3.5 反光球之定位

資料來源: 修改自 “ Follow-up evaluation 2 years after ACL reconstruction with bone-patellar tendon-bone graft shows that excessive tibial rotation persists,” by Ristanis, S., 2006, *Clinical Journal of Sport Medicine*, 16(2), p. 112.

第三節 實驗流程與步驟

研究之初，協助受試者了解本研究之目的與測量項目並取得受試者同意簽署同意書。之後取得受試者基本資料，包括年齡、身高、體重、慣用腳、與膝關節病史詢問，包括前十字韌帶斷裂的日期與原因、前十字韌帶重建術的日期與手術方法、其他膝關節受傷或手術的相關病史以及下肢受傷或手術的相關病史詢問、Lyshom 活動層級評估、膝關節功能問卷評估以及進行前十字韌帶穩定度檢測。接下來利用動作分析系統進行兩側之膝關節旋轉活動度之動作分析(包括站立轉身、走路、走路轉身和垂直跳轉身五種不同強度之動作)。動作測量順序：健康對照組採非慣用腳優先；實驗組順序則採健側腳優先。

一、評估方法

(一) Lyshom 活動層級評估

藉由 Lyshom 活動層級量表來分級 (Tegner & Lysholm 1985)。在實驗組方面，分別評估健側腳及患側腳最近半年內活動層級，在對照組方面，只評估慣用腳最近半年內的活動層級，層級的判定是採取受試者主觀認定之活動層級。

(二) 膝關節功能問卷評估

本研究採用國際膝關節文獻委員會 2000 年修訂版之主觀性膝關節評估問卷 (International Knee Documentation Committee Subjective Knee Evaluation Form, IKDC)作為評估前十字韌帶重建術後膝關節功能之工具 (Irrgang et al.,

2001)。此評估問卷是以病人為導向的問卷，總共有 10 個問題，此問卷經常用於評估前十字韌帶重建術後的膝關節功能評估之常用問卷。由於將症狀、日常活動與運動的功能、目前膝功能狀況與活動層級均作為評估項目，因此能有效評估膝關節的整體功能且信效度頗高。

(三) 前十字韌帶穩定度測量

前十字韌帶穩定度測量是藉由十字韌帶穩定度檢測儀對脛骨施予向前力量所測量出脛骨向前位移大小 (Daniel et al.,1985; Steiner, Brown, Zarins, Brownstein, Koval, & Stone, 1990)。對脛骨施予向前 20 磅的力量，也就是當儀器聲響第二聲時，此時顯示器顯示的數值便是脛骨向前位移的距離。此項測量兩側皆會測量，此項測量實驗組順序採健側腳優先 (實驗組)，健康對照組則採非慣用腳優先 (健康對照組)。之後以將兩腳測量數值之差值計為前十字韌帶鬆弛度，並進一步做統計分析。

二、實驗室場地配置(儀器架設)

於跑道周圍架設八台 VICON 高速攝影機，調整攝影機位置與視角，使所有反光標記皆能至少被三台攝影機擷取到。

三、系統校正

首先，使用動態校正器於量測空間中移動，校正各攝影機擷取之可能影像誤差；再以 L 型靜態校正器定義實驗室座標系。

四、受試者預先熱身

接受測試前需先進行 5-10 分鐘之暖身運動(心肺運動或伸展運動)，以減低因高強度動作所產生之運動傷害風險。

五、黏貼反光標記

使用球型被動式反光標記，攝影機藉由黏貼於身體特定位置之反光標記所反射的紅光記錄身體肢段於三維空間中的運動軌跡。

六、靜態資料收集

攝影機擷取靜態解剖學姿勢資料，取得各肢段反光標記間的相對位置及各關節中心；其主要目的在於取得受試者各關節的起始角度(關節零度位置)，作為動態資料分析的基準。

七、動態資料收集

本研究所進行之動作包括：站立轉身、走路、走路轉身和垂直跳轉身四種不同強度之動作。每位受試者皆須依序完成五種動作共十五次(各動作包括前測 1 次；後測 2 次)。

動作定義及資料收集範圍如下：

(一) 站立轉身：

1. 動作定義：定點(雙腳平行並與肩同寬)，健側腳作最大外轉後，再向前步行三步、患側腳定點做最大外轉後，再向前步行三步。
2. 資料收集範圍：從開始轉身，對側腳腳跟離開力板起，至受測腳完全離開力板為止。

(二) 走路：

1. 動作定義：按正常習慣速度步行。
2. 資料收集範圍：從受測腳之腳跟接觸力板起，至受測腳完全離開力板為止，以站立期(stand phase)為主。

(三) 走路轉身：

1. 動作定義：健側腳按正常習慣速度步行並於定點(力板)處外轉九十度轉向後再向前步行三步、患側腳按正常習慣速度步行並定點外轉九十度轉向後再向前步行三步。
2. 資料收集範圍：從受測腳之腳跟接觸力板起，至受測腳完全離開力板為止，以站立期(stand phase)為主。

(四) 垂直跳轉身：

1. 動作定義：雙腳平行並與肩同寬，用力垂直跳(高度須超過 40 公分)，雙腳落地後，健側腳(或患側腳)外轉九十度轉向，再向前步行一步。
2. 資料收集範圍：從受測腳接觸力板起，至受測腳完全離開力板為止，以站立期(stand phase)為主。

八、資料處理與分析

本研究假設人體為剛性多體系統，使用攝影機擷取反光標記於空間座標系中位置，定義出各肢段座標系。反光球軌跡以 6 赫茲低通濾波使資料平滑，並過濾雜訊。關節運動學部分，本研究主要分析膝關節活動角度旋轉角度。

統計分析以平均值 ± 標準差呈現，並以套裝統計軟體 SPSS 12.0 進行統計分析；以獨立 t 考驗(independent t-test) 檢測健康對照組膝蓋和前十字韌帶重建組健康的膝蓋，以配

對 t 考驗 (paired t-test) 檢驗前十字韌帶重建組對側健康的膝蓋和重建側的膝蓋之間的差異，並將顯著水準訂於 $p < 0.05$ 。

第肆章 結果

第一節 受試者基本資料

本研究前後共延攬前十字韌帶膕旁肌腱移植重建術患者 11 人。另外也延攬健康對照組 15 人，以茲比較。受試者基本資料詳見表 4.1，所有受試者皆為男性。

表 4.1 受試者基本資料（以平均值 ± 標準差表示）

	健康對照組	膕旁肌腱移植組
年齡(歲)	21.7±1.2	25.5±2.9
身高(公分)	173.3±4.4	174.9±6.1
體重(公斤)	71.2±12.0	83.8±13.2
受傷腳(右側/左側)	-	8/3
開刀至今時間(月)	-	22

第二節 膝關節功能問卷評估

所有受試者在膕旁肌腱移植組都滿意手術的結果和恢復受傷前的運動水平。只有 1 例患者描述輕度的限制，特別是在長時間運動。

膝關節功能問卷結果顯示於表 4.2。膕旁肌腱移植組患側腳之膝關節功能問卷分數均呈現顯著低於健側腳以及健康對照組。

表 4.2 膝關節功能性量表 (以平均值 ± 標準差表示)

	健康對照組	重建組健側腳	重建組患側腳
IKDC	99.2±1.3	99.0±0.7	94.6±3.5*
Lyshom score	99.7±1.3	99.0±1.4	94.7±3.2*

*重建組患側腳與健側腳組間呈現顯著差異， $p < 0.05$

第三節 兩側大腿周徑差值

兩側大腿周徑差值結果顯示於表 4.3。膕旁肌腱移植組之髓骨上緣 10 公分兩側大腿周徑差值顯著大於健康對照組，代表此組之患側萎縮程度顯著大於健康對照組。

表 4.3、兩側大腿周徑差值 (以平均值 ± 標準差表示)

	健康對照組	膕旁肌腱移植組
大腿圍周徑差值(公分)	0.2±1.6	1±1.2*

*重建組與健康對照組間呈現顯著差異， $p < 0.05$

第四節 前十字韌帶鬆弛度差值比較

就 KT-2000 所測得差值 (side-to-side difference) 結果顯示於表 4.4 (膕旁肌腱移植組相較於健康對照組呈現顯著鬆弛的現象 ($p < 0.05$))。

表 4.4 前十字韌帶鬆弛度 (以平均值 \pm 標準差表示)

	健康對照組	膕旁肌腱移植組
KT-2000 (公厘)	1 ± 1.7	$2.0 \pm 0.9^*$

*重建組與健康對照組間呈現顯著差異, $p < 0.05$

第五節 膝關節矢狀面活動度

一、矢狀面站立轉身比較 (圖 4.1)

獨立 t 檢定的統計結果顯示健康對照組與膕旁肌腱移植組健側腳之膝關節矢狀面活動角度和活動範圍, 在站立轉身比較上未呈現顯著差異。配對 t 檢定的統計結果顯示膕旁肌腱移植組患側腳與健側腳亦未呈現顯著差異。

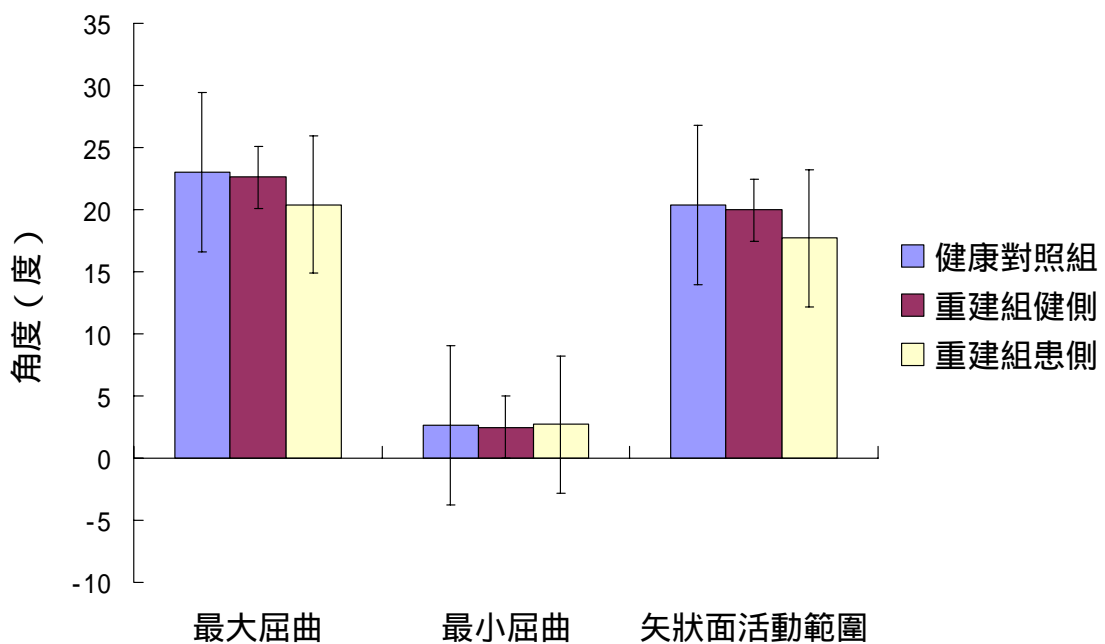


圖 4.1 膝關節在矢狀面站立轉身角度和活動範圍

二、矢狀面走路比較 (圖 4.2)

獨立 t 檢定的統計結果顯示健康對照組與脛旁肌腱移植組健側腳之膝關節矢狀面活動角度和活動範圍，在走路比較上未呈現顯著差異。配對 t 檢定的統計結果顯示脛旁肌腱移植組患側腳與健側腳亦未呈現顯著差異。

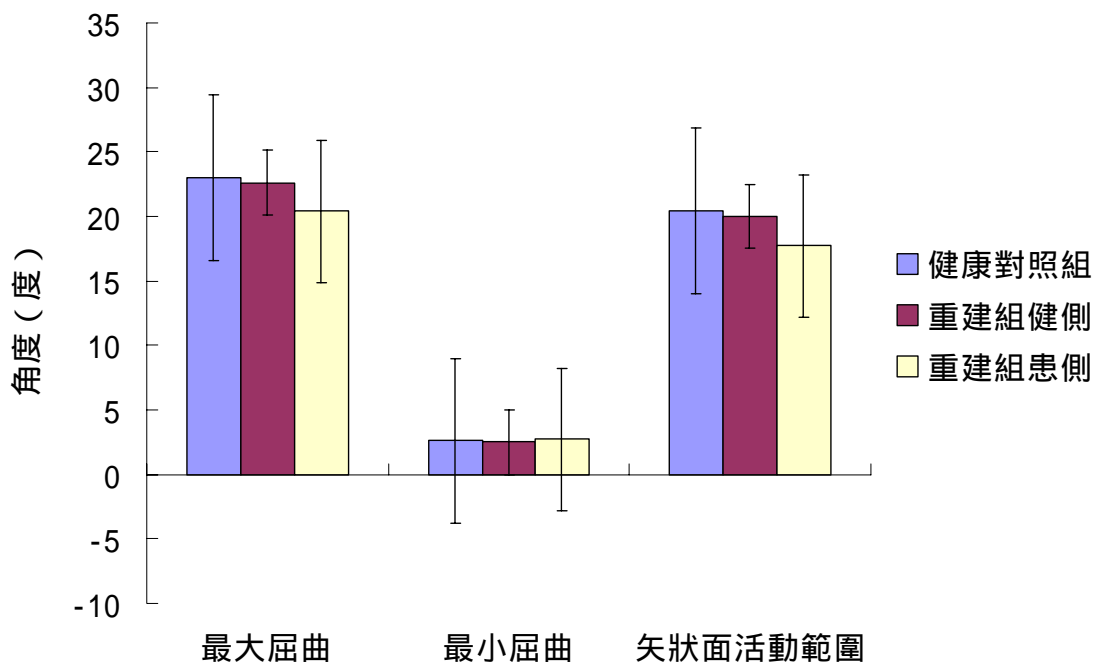


圖 4.2 膝關節在矢狀面走路角度和活動範圍

三、矢狀面走路轉身比較 (圖 4.3)

獨立 t 檢定的統計結果顯示健康對照組與脛旁肌腱移植組健側腳之膝關節矢狀面活動角度和活動範圍，在走路轉身比較上未呈現顯著差異。配對 t 檢定的統計結果顯示脛旁肌腱移植組患側腳與健側腳亦未呈現顯著差異。

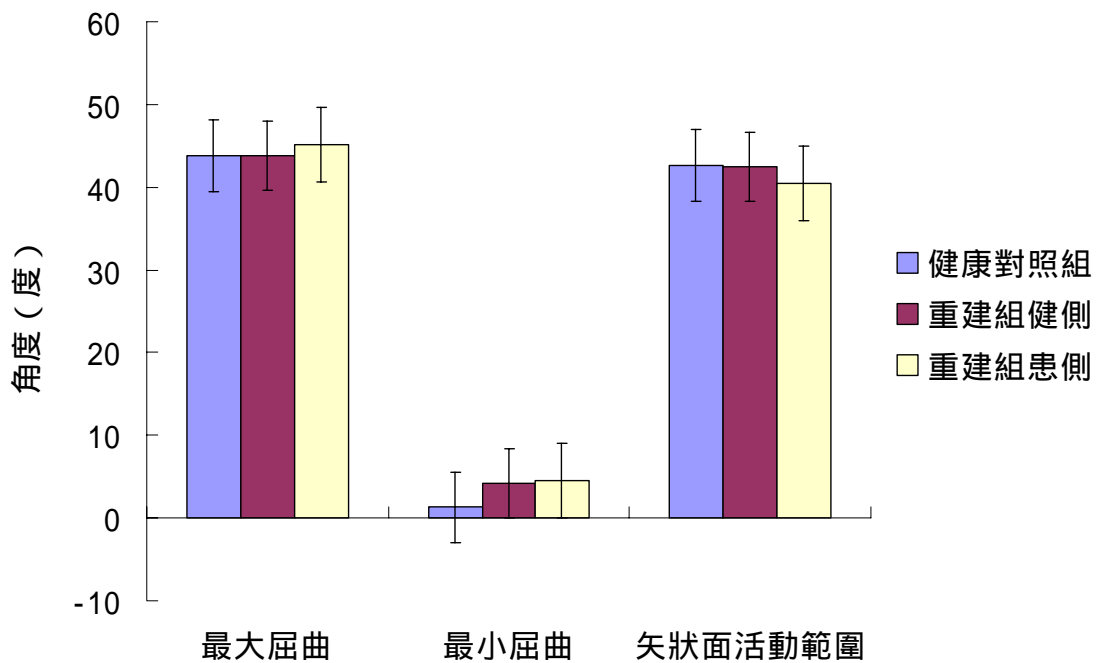


圖 4.3 膝關節在矢狀面走路轉身角度和活動範圍

四、矢狀面垂直跳轉身比較 (圖 4.4)

獨立 t 檢定的統計結果顯示健康對照組與膕旁肌腱移植組健側腳之膝關節矢狀面活動角度和活動範圍，在垂直跳轉身比較上未呈現顯著差異。配對 t 檢定的統計結果顯示膕旁肌腱移植組患側腳與健側腳亦未呈現顯著差異。

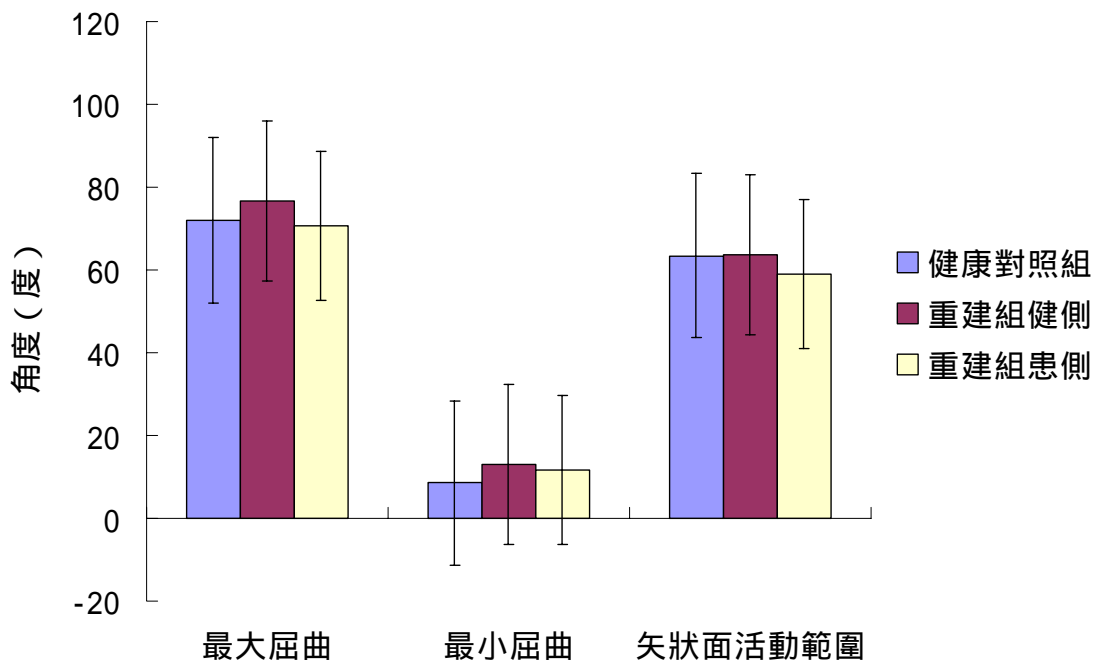


圖 4.4 膝關節在矢狀面垂直跳轉身角度和活動範圍

第六節 膝關節冠狀面活動度

一、冠狀面站立轉身比較 (圖 4.5)

獨立 t 檢定的統計結果顯示健康對照組與脛旁肌腱移植組健側腳之膝關節冠狀面活動角度和活動範圍，在站立轉身比較上未呈現顯著差異。配對 t 檢定的統計結果顯示脛旁肌腱移植組患側腳與健側腳亦未呈現顯著差異。

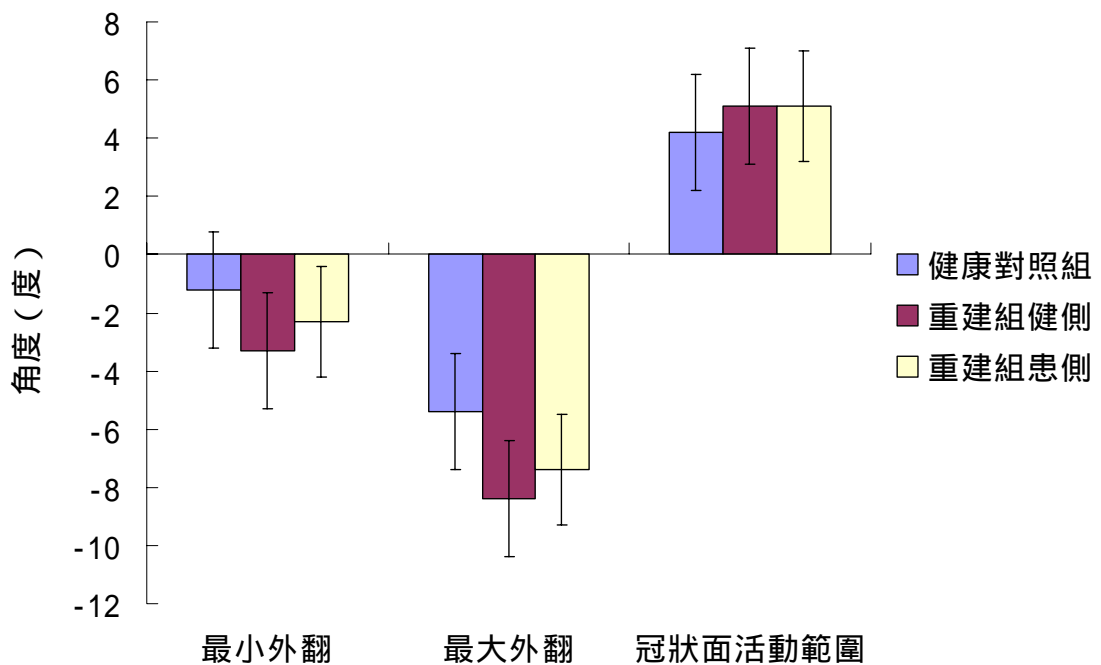


圖 4.5 膝關節在冠狀面站立轉身角度和活動範圍

二、冠狀面走路比較 (圖 4.6)

獨立 t 檢定的統計結果顯示健康對照組與脛旁肌腱移植組健側腳之膝關節冠狀面活動角度和活動範圍，在走路比較上未呈現顯著差異。配對 t 檢定的統計結果顯示脛旁肌腱移植組患側腳與健側腳亦未呈現顯著差異。

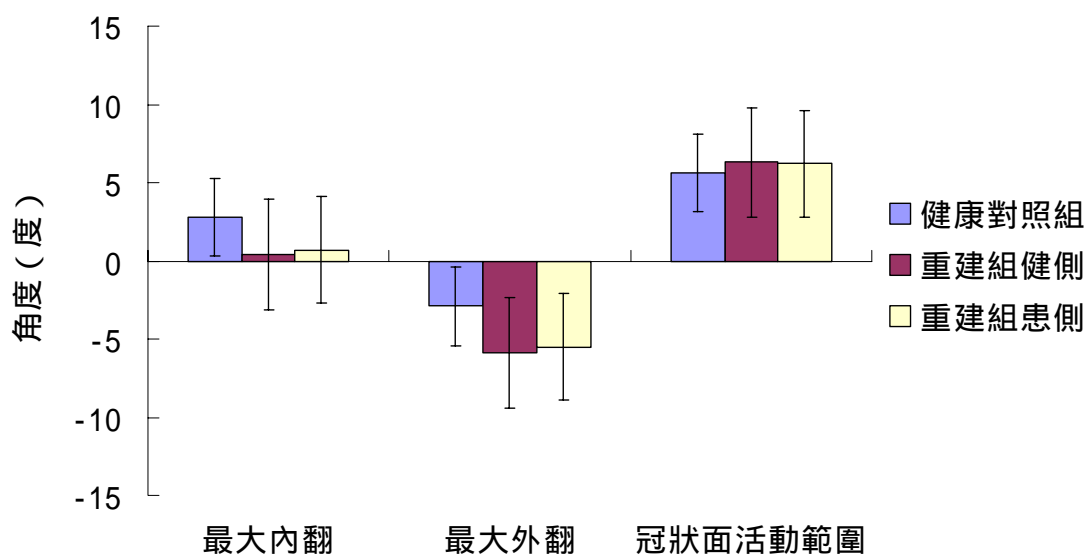


圖 4.6 膝關節在冠狀面走路角度和活動範圍

三、冠狀面走路轉身比較 (圖 4.7)

獨立 t 檢定的統計結果顯示健康對照組與脛旁肌腱移植組健側腳之膝關節冠狀面活動角度和活動範圍，在走路轉身比較上未呈現顯著差異。配對 t 檢定的統計結果顯示脛旁肌腱移植組患側腳與健側腳亦未呈現顯著差異。

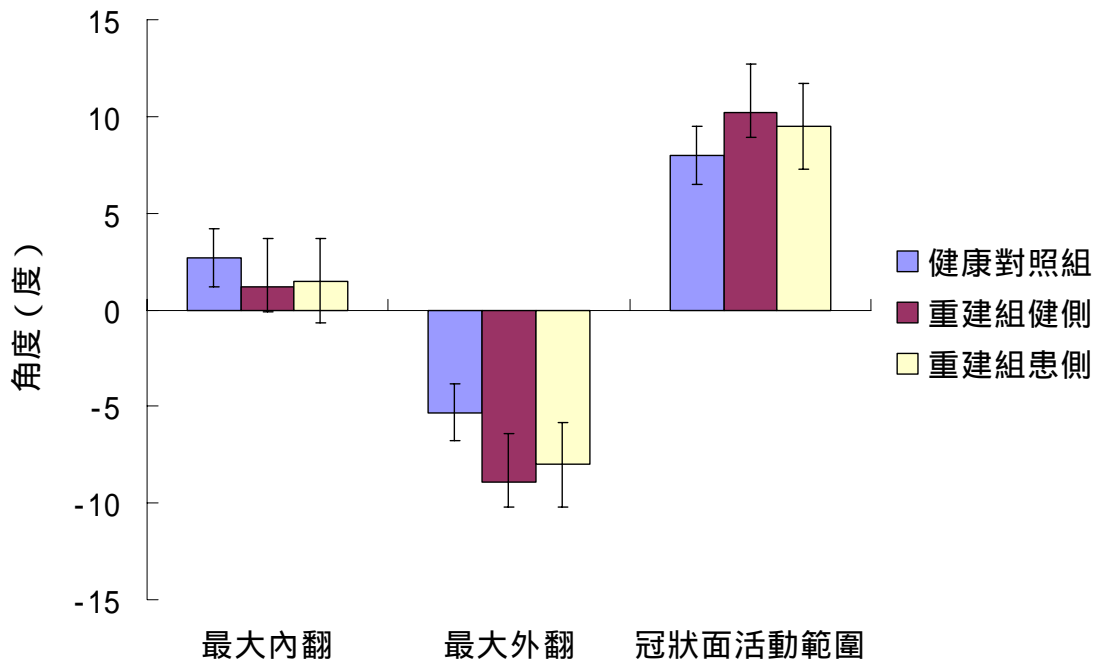


圖 4.7 膝關節在冠狀面走路轉身角度和活動範圍

四、冠狀面垂直跳轉身比較 (圖 4.8)

獨立 t 檢定的統計結果顯示健康對照組與膕旁肌腱移植組健側腳之膝關節冠狀面活動角度和活動範圍，在垂直跳轉身比較上未呈現顯著差異。配對 t 檢定的統計結果顯示膕旁肌腱移植組患側腳與健側腳亦未呈現顯著差異。

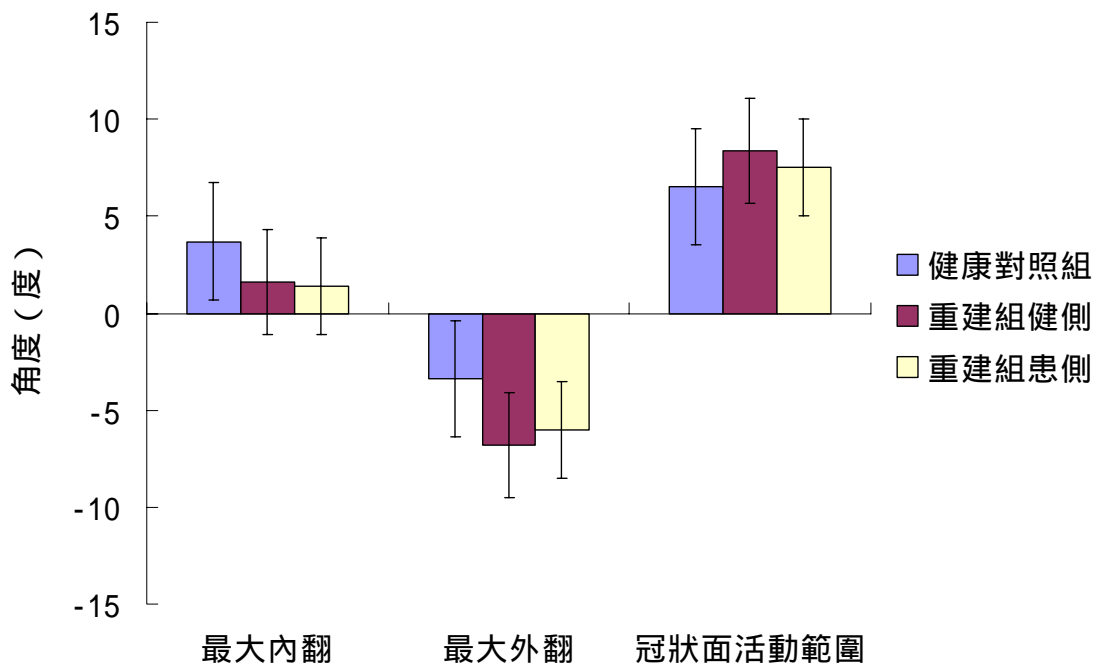


圖 4.8 膝關節在冠狀面垂直跳轉身角度和活動範圍

第七節 膝關節橫斷面活動度

一、橫斷面站立轉身比較 (圖 4.9)

獨立 t 檢定的統計結果顯示膕旁肌腱移植組健側腳之膝內旋關節活動角度和膝關節旋轉活動範圍大於健康對照組，但並無統計顯著差異。

配對 t 檢定顯示膕旁肌腱移植組患側腳之膝內旋關節活動角度顯著小於健側腳；膝關節旋轉活動範圍亦顯著小於健側腳 ($p < 0.05$)。

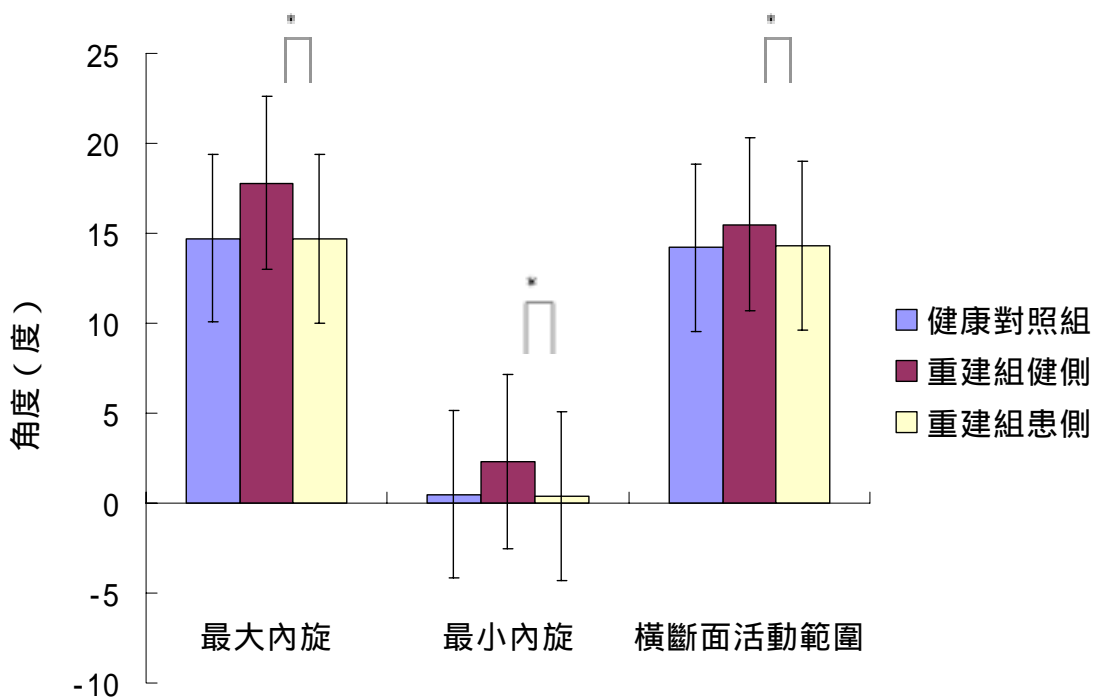


圖 4.9 膝關節在橫斷面站立轉身角度和活動範圍

*重建組患側腳與健側腳組間呈現顯著差異， $p < 0.05$

二、橫斷面走路比較 (圖 4.10)

獨立 t 檢定的統計結果顯示脛旁肌腱移植組健側腳之膝關節旋轉活動角度和活動範圍與健康對照組並無顯著差異。

配對 t 檢定顯示脛旁肌腱移植組患側腳之膝關節外旋活動角度大於健側腳，但並無顯著差異；膝關節之旋轉活動範圍則無顯著差異。

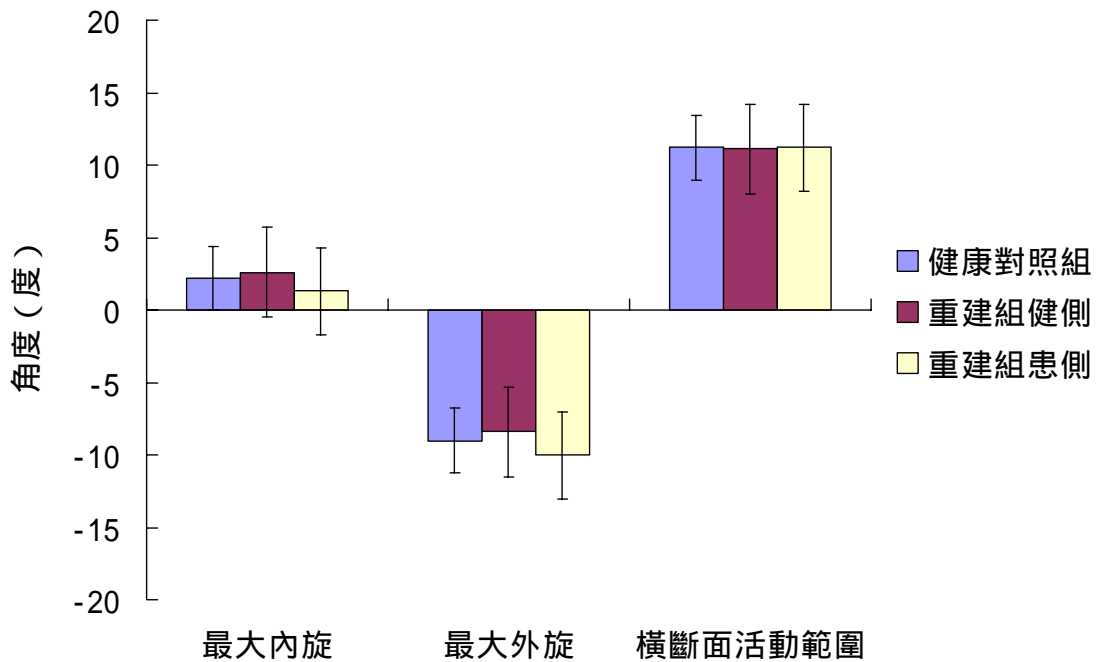


圖 4.10 膝關節在橫斷面走路角度和活動範圍

三、橫斷面走路轉身比較 (圖 4.11)

獨立 t 檢定的統計結果顯示脛旁肌腱移植組健側腳之膝關節旋轉活動角度和活動範圍與健康對照組並無顯著差異。

配對 t 檢定顯示脛旁肌腱移植組患側腳之膝關節外旋活動角度大於健側腳，但並無顯著差異；膝關節之旋轉活動範圍則無顯著差異。

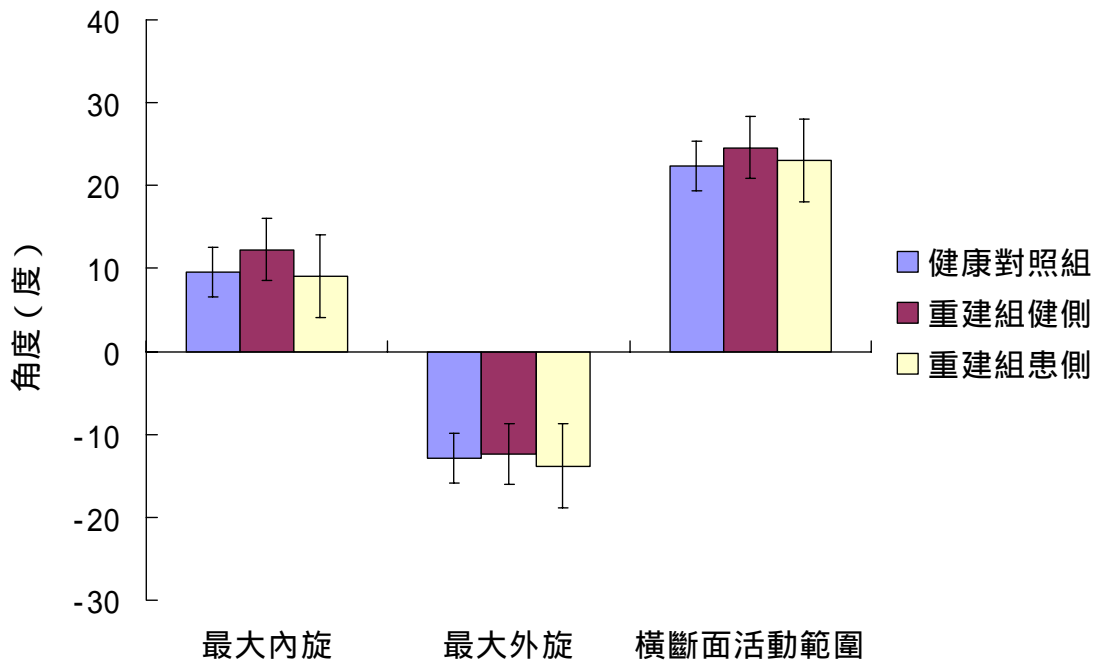


圖 4.11 膝關節在橫斷面走路轉身角度和活動範圍

四、橫斷面垂直跳轉身比較 (圖 4.12)

獨立 t 檢定的統計結果顯示脛旁肌腱移植組健側腳之膝關節旋轉活動角度和活動範圍與健康對照組並無顯著差異。

配對 t 檢定顯示脛旁肌腱移植組患側腳之膝關節外旋活動角度雖然大於脛旁肌腱移植組健側腳，但無統計顯著差異。在膝關節旋轉活動範圍比較上，脛旁肌腱移植組患側腳與健側腳並無顯著差異。

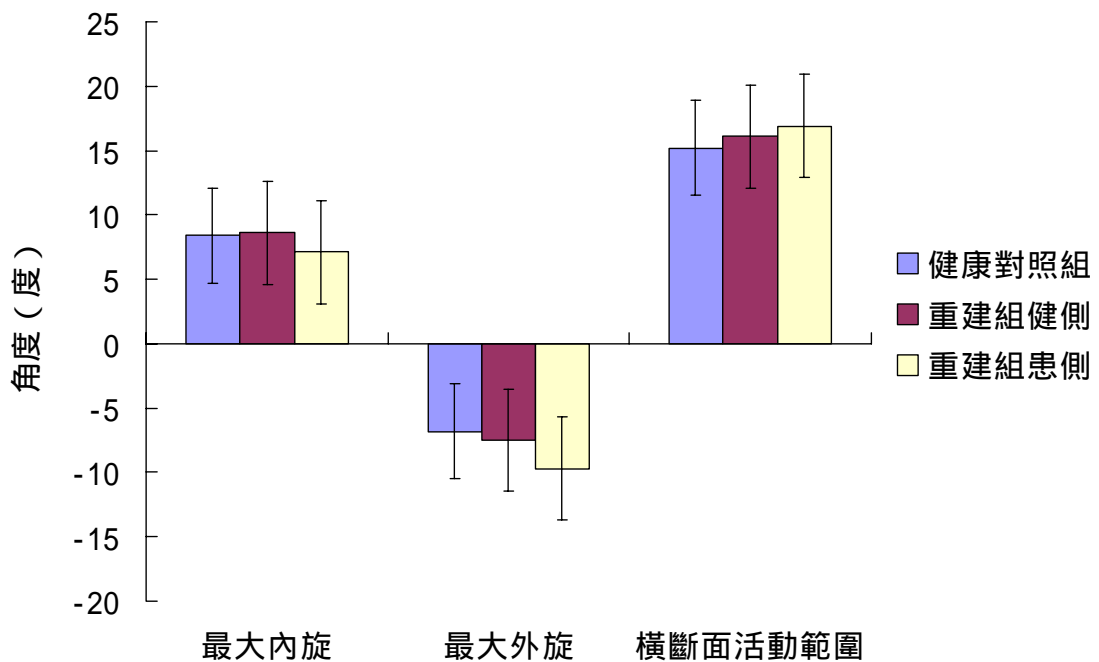


圖 4.12 膝關節在橫斷面垂直跳轉身角度和活動範圍

第五章 討論

第一節 基本資料

本研究有關受試者基本資料(表 4.1)，主要是在年齡與體重方面呈現顯著的組間差異。雖兩組間平均年齡差約四歲，但在運動水平方面並未呈現顯著的差異，對研究結果年齡因素應不至於造成太大的影響。就體重因素而言，前十字韌帶膕旁肌腱移植重建組之體重顯著重於健康對照組（健康對照組： 71.2 ± 12.0 公斤；膕旁肌腱移植重建組： 83.8 ± 13.2 公斤， $p<0.05$ ）。本研究所有受試者在膕旁肌腱移植組都恢復受傷前的運動水平，因此體重因素亦應不至於對研究結果的判讀造成太大的影響。

另外，重建術後時間長短方面，均為開刀至少一年後接受評估，之前有關前十字韌帶重建術後長期追蹤研究曾指出術後 6 至 12 個月之膝部肌力會恢復正常(Gobbi, Tuy, Mahajan, & Panuncialman, 2003)，所以此因素之影響應亦屬不大，應不至於對研究結果造成影響，可以暫時忽略。

第二節 膝關節功能問卷評估之比較

本研究膝關節功能問卷結果(表 4.2)，就 IKDC 膝關節功能問卷而言，膕旁肌腱移植組患側腳之分數呈現顯著低於健側腳以及健康對照組（健康對照組： 99.2 ± 1.3 ；膕旁肌腱移植組健側腳： 99.0 ± 0.7 ；患側腳： 94.6 ± 3.5 ， $p<0.05$ ）。在 Lyshom score 方面也發現相同結果（健康對照組： 99.7 ± 1.3 ；膕旁肌

腱移植組健側腳：99.0±1.4；患側腳：94.7±3.2， $p<0.05$ ）。然而膕旁肌腱移植組健側腳及健康對照組於膝功能問卷分數未呈現顯著的組間差異。所有受試者在膕旁肌腱移植組都恢復受傷前的運動水平和滿意手術的結果。只有1例患者描述輕度的限制，特別是在長時間運動。此發現與符合過去文獻報告(Chen et al., 2003; Fu et al., 1999; Hamner et al., 1999; Laxdal et al., 2005; Rowden et al., 1997)。大體上來說，本研究相較於過去文獻於術後膝功能指數明顯偏高，顯示此種重建技術相當成功。

第三節 大腿周徑之比較

兩側大腿周徑差值的術後追蹤方面(表4.3)。膕旁肌腱移植組之髓骨上緣10公分兩側大腿周徑差值顯著大於健康對照組，代表此組之患側萎縮程度顯著大於健康對照組(健康對照組：0.2±1.6；膕旁肌腱移植組：1±1.2， $p<0.05$)。然而膕旁肌腱移植者運動水平並未顯示較差，或許萎縮程度可能只是脂肪層厚度減少或部分肌群萎縮所致；另外，人為測量的誤差也可會影響結果。

第四節 前十字韌帶鬆弛度比較

本研究分別藉由KT-2000測量前十字韌帶鬆弛度。就KT2000所測得前十字韌帶鬆弛度而言(表4.4)，僅膕旁肌腱移植組相較於健康對照組呈現顯著鬆弛的現象(健康對照組：1±1.7公厘；膕旁肌腱移植組：2.0±0.9公厘， $p<0.05$)。

此發現與過去文獻報告有關脛旁肌移植術容易產生較大的鬆弛度略同 (Anderson et al., 2001; Ejerhed et al., 2003; Elmlinger et al., 2006; Keays et al., 2000; Nakamura et al., 2002; Spindler et al., 2004)。但本研究在前十字韌帶鬆弛度檢定的結果均小於過去研究，再度顯示手術之成功。

第五節 膝關節矢狀面活動度比較

過去學者利用等速肌力儀測試脛旁肌腱移植手術後膝關節的屈曲活動度，結果發現會有不足現象 ($8.2 \pm 5^\circ$) (Elmlinger et al., 2006)；然而，本研究三維動作分析系統測試所測得膝關節在矢狀面活動角度和活動範圍，結果顯示在健康對照組與脛旁肌腱移植組健側腳或脛旁肌腱移植組患側腳與健側腳比較，不管是在站立轉身比較、走路比較、走路轉身和垂直跳轉身比較上均未呈現顯著差異，此研究結果和過去結果發現不同。但是，或許是因為手術方式及測試方法不同，因此產生差異。

第六節 膝關節冠狀面活動度比較

過去文獻發現，增加膝蓋冠狀面的移動會促進膝蓋的內側脛股關節的退化，而且一直被視為是一個重要的預測膝蓋產生退化性關節炎的指標。過去已經證實最大膝蓋外翻活動和退化性關節炎的進展有相關，也有可能是一個在前十字韌帶斷裂後增加膝蓋外翻活動，造成早發性膝關節炎潛在的機制 (Kaufman, Hughes, Morrey, Morrey, & An, 2001)。

步態分析的使用已被確立為一個成功評估進展的膝關節炎的方法，可能也是用來檢查前十字韌帶破裂後產生早發性膝關節炎的機制的一個工具 (Butler, Minick, Ferber, & Underwood, 2009)。

本研究在三維動作分析系統測試所測得膝關節在冠狀面活動角度和活動範圍，結果顯示在健康對照組與膕旁肌腱移植組健側腳或膕旁肌腱移植組患側腳與健側腳比較，不管是在站立轉身比較、走路比較、走路轉身和垂直跳轉身比較上，亦是均未呈現顯著差異。然而，膕旁肌腱移植組健側腳或患側腳之膝關節外翻角度都有增加的趨勢，這一點是值得關注的，手術後的復健計劃要考慮如何長期維持關節的完整性。

第七節 膝關節橫斷面活動度比較

前十字韌帶重建從體外研究中的生物力學結果的有效性受到了質疑。這些研究表明，前十字韌帶重建成功在反應脛骨向前負荷時限制脛骨前位移，但不足以控制結合內旋轉和外翻扭矩的旋轉負荷。然而，在體外研究是有限制的，因為他們無法重現神經肌肉活動。正如文獻報導，神經肌肉的適應能顯著影響動態的功能，前十字韌帶重建患者使用這種適應性表現在步態和其他活動。因此步態分析是被廣泛接受，是目前被認為是有效的、可靠的方法。

一、健康對照組與重建組健側腳比較

獨立 t 檢定的統計結果顯示膕旁肌腱移植組健側腳與健康對照組之膝關節在橫狀面活動角度和活動範圍，不管在站

立轉身比較、走路比較、走路轉身比較或垂直跳轉身比較上，都未呈現顯著差異。這個結果是意料之中的，因為這些健側腳膝蓋並沒有呈現任何結構上的改動。

二、橫斷面站立轉身比較

配對腦旁肌腱移植組患側腳之膝內旋關節活動度顯著小於健側腳；膝關節旋轉活動範圍亦顯著小於健側腳（ $p < 0.05$ ）。這個結果符合預期患側腳取部分腦旁肌可能會導致膝內旋無力；然而，膝關節外旋活動度的降低，推測是重建之前十字韌帶對受試者的過度限制。

三、橫斷面走路比較

配對t檢定顯示腦旁肌腱移植組患側腳之膝關節外旋活動度大於健側腳，此結果符合預期於取部分腦旁肌可能會導致膝內旋無力與膝關節外旋活動度增加。但是膝關節之旋轉活動範圍則無顯著差異。

四、橫斷面走路轉身比較

配對t檢定結果顯示和走路比較組一樣，患側腳之膝關節外旋活動度大於健側腳；膝關節之旋轉活動範圍亦無顯著差異。

五、橫斷面垂直跳轉身比較

過去文獻報告有關腦旁肌腱自體移植前十字韌帶重建術測試，患者在從40公分高的平台上落地並轉身，發現患側腳之膝關節旋轉活動範圍比健側腳顯著增加 (Chouliaras et al., 2009; Georgoulis et al., 2007)。但是，本研究配對t檢定顯示腦旁

肌腱移植組患側腳之膝關節外旋活動度雖然大於膕旁肌腱移植組健側腳，但無統計顯著差異。在膝關節旋轉活動範圍比較上，膕旁肌腱移植組患側腳與健側腳亦無顯著差異。然而，由於手術方式不同，測試動作也不一樣，故無法比較結果的差異。比較這兩種不同手術方式彼此之間在各種客觀條件相同下的差異，是未來研究的一個方向。

此結果也許和股骨隧道的方向有關(Scopp, Jasper, Belkoff, & Moorman, 2004)；或許和樣本數偏小導致各測量值標準差頗大，而未能呈現顯著差異之主因。研究股骨隧道的方向和增加樣本數來證實是未來研究的目標。

第八節 研究限制

在本研究主要的局限性是涉及到步態分析，特別是關於皮膚標誌物的移動和預測骨骼位置的能力。也許更重要的是，步態分析或許可以反映刻板運動，可能反映不了運動時膝關節微小的活動範圍。然而，步態分析是被廣泛接受，是目前被認為是有效的、可靠的方法。

本研究由於經費不足，目前共徵召 11 位前十字韌帶膕旁肌腱自體移植重建術的患者以及 15 位健康對照組，以致於樣本數偏小導致各測量值標準差頗大。這或許是相關參數呈現趨勢而未能呈現顯著差異之主因。

另外，跳躍轉身動作對於膝關節而言是一個高強度的活動，雖然在收取資料前已盡力提供受試者適當的暖身與練習，但是前十字韌帶重建術後患者或許因恐懼或體重太重而無法全力跳躍，因此影響垂直跳轉身結果。

第九節 臨床貢獻

本研究的結果可提供術後不同強度的活動提供客觀的參考數據，藉以訂定更合適的復健運動，來尋求降低前十字韌帶重建後再度受傷、或避免退化性膝關節炎的產生。本研究結果發現，接受過前十字韌帶重建術患者，於術後雖然在臨床上常見的客觀性評估方面已恢復至幾近於正常的狀態，然而其仍存在一些膝關節動作異常之隱憂，長期下來仍可能增加前十字韌帶再度損傷或斷裂機率或增加易罹患退化性膝關節炎的困擾。

本研究結果除提供完整的系統評估驗證前十字韌帶重建術後之表現外，更針對不同強度動作對膝關節運動學的影響，提出具體的發現，將有助於深入了解術後動作表現以預防膝關節併發症的發生。

第陸章 結論

本研究結果顯示，前十字韌帶重建組患側腳術後的IKDC和Lyshom score問卷分數均顯著低於健側腳與健康對照組；重建組在前十字韌帶鬆弛度方面亦顯著低於健康對照組，不過整體上重建組於所有測得的前十字韌帶鬆弛度屬正常範圍內。

有關膝關節矢狀面活動角度和活動範圍，前十字韌帶重建術後的膝關節在患側腳與健側腳比較上未呈現顯著差異。另外，在膝關節冠狀面活動角度和活動範圍的比較雖未呈現顯著差異，然而，膕旁肌腱移植組健側腳或患側腳之膝關節外翻角度都有增加的趨勢，這一點是值得關注的。

有關膝關節旋轉測量結果發現，患側腳之膝關節外旋活動度大於健側腳，此結果符合預期於取部分膕旁肌可能會導致膝內旋無力與膝關節外旋活動度增加。然而，我們發現，十字韌帶重建後，脛骨之膝關節旋轉活動範圍比較上並無顯著差異。採取此種膕旁肌腱自體移植前十字韌帶的重建技術，在不同需求的動作之膝關節總旋轉活動角度是不受影響的。另外，研究股骨隧道的方向和增加樣本數來證實是未來研究的目標。

參考文獻

- Aglietti, P., Giron, F., Buzzi, R., Biddau F., & Sasso, F. (2004). Anterior cruciate ligament reconstruction: bone-patellar tendon-bone compared with double semitendinosus and gracilis tendon grafts. *Journal of Bone and Joint Surgery (American volume)*, 86-A(10); 2143-55.
- Anderson, A.F., Snyder, R.B., & Lipscomb, A.B. Jr. (2001). Anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective randomized study of three surgical methods. *American Journal of Sports Medicine*, 29(3), 272-279.
- Andriacchi, T.P., Briant, P.L., Bevill, S.L., & Koo, S. (2006). Rotational changes at the knee after ACL injury cause cartilage thinning. *Clinical Orthopaedics & Related Research*, 442, 39-44.
- Anderson, A.F., Snyder, R.B., & Lipscomb, B.A. (2001). Anterior cruciate ligament reconstruction. A prospective randomized study of three surgical methods. *American Journal of Sports Medicine*, 29, 272-279.
- Asik, M., Sen, C., Tuncay, I., Erdil, M., Avci, C., & Taser, O.F. (2007). The mid- to long-term results of the anterior cruciate ligament reconstruction with hamstring tendons using Transfix technique. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 15(8), 965-72.
- Aune, A.K., Holm, I., Risberg, M.A., Jensen, H.K., & Steen, H.

- (2001). Four-strand hamstring tendon autograft compared with patellar tendon-bone autograft for anterior cruciate ligament reconstruction. *American Journal of Sports Medicine*, 29(6), 722-728
- Bach, B.R.J., Tradonsky, S., Bojchuk, J., Levy, M.E., Bush-Joseph, C.A., & Khan, N.H. (1998). Arthroscopically assisted anterior cruciate ligament reconstruction using patellar tendon autograft. Five- to nine-year follow-up evaluation. *American Journal of Sports Medicine*, 26, 20-29.
- Beynnon, B.D., Johnson, R.J., Fleming, B.C., Kannus, P., Kaplan, M., Samani, J., & Renström, P. (2002). Anterior cruciate ligament replacement: comparison of bone-patellar tendon-bone grafts with two-strand hamstring grafts : A prospective, randomized study. *Journal of Bone and Joint Surgery (American volume)*, 84(9), 1503-1513.
- Bonatus, T.J., & Alexander, A.H. (1991). Patellar fracture and avulsion of the patellar ligament complicating arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction. *Orthopaedic Review*, 20(9), 770-774.
- Brandsson, S., Karlsson, J., Swärd, L., Kartus, J., Eriksson, B.I., & Kärrholm, J. (2002). Kinematics and laxity of the knee joint after ACL reconstruction: pre- and postoperative radiostereometric studies. *American Journal of Sports Medicine*, 30, 361-367.

- Breitfuss, H., Frohlich, R., Povacz, P., Resch, H., & Wicker, A. (1996). The tendon defect after anterior cruciate ligament reconstruction using the midthird patellar tendon? A problem for the patellofemoral joint? *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 3(4), 194-198.
- Butler, R.J., Minick, K.I., Ferber, R., & Underwood, F. (2009). Gait mechanics after ACL reconstruction: implications for the early onset of knee osteoarthritis. *British Journal of Sports Medicine*, 43(5), 366-70..
- Chen, L., Cooley, V., & Rosenberg, T. (2003). ACL reconstruction with hamstring tendon. *Orthopedic Clinics of North America*, 34, 9-18.
- Chouliaras, V., Ristanis, S., Moraiti, C., Tzimas, V., Stergiou, N., & Georgoulis, A.D. (2009). Anterior cruciate ligament reconstruction with a quadrupled hamstrings tendon autograft does not restore tibial rotation to normative levels during landing from a jump and subsequent pivoting. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 49(1), 64-70
- Corry, I.S., Webb, J.M., Clingeleffer, A.J., & Pinczewski, L.A. (1999). Arthroscopic reconstruction of the anterior cruciate ligament: a comparison of patellar tendon autograft and four-strand hamstring tendon autograft. *American Journal of Sports Medicine*, 27, 444-454.
- Daniel, D.M., Malcom, L.L., Losse, G., Stone, M.L., Sachs,

- R., & Burks, R. (1985). Instrumented measurement of anterior laxity of the knee. *Journal of Bone and Joint Surgery (American volume)*, 67, 720–726.
- Davis, R., Ounpuu, S., Tyburski, D., & Gage, J. (1991). A gait analysis data collection and reduction technique. *Human Move Science*, 10, 575–587
- Devita, P., Hortobagyi, T., Barrier, J., Torry, M., Glover, K.L., Speroni, D.L., Money, J., & Mahar, M.T. (1997). Gait adaptations before and after anterior cruciate ligament reconstruction surgery. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 29, 853-859.
- Ejerhed, L., Kartus, J., Sernert, N., Kohler, K., & Karlsson, J. (2003). Patellar tendon or semitendinosus tendon autografts for anterior cruciate ligament reconstruction? A prospective randomized study with a two-year follow-up. *American Journal of Sports Medicine*, 31, 19-25.
- Elmlinger, B.S., Nyland, J.A., Tillett, E.D., Elmlinger, B.S., Nyland, J.A., & Tillett, E.D. (2006). Knee flexor function 2 years after anterior cruciate ligament reconstruction with semitendinosus-gracilis autografts. *Arthroscopy*, 22(6), 650-655.
- Espejo-Baena, A., Ezquerro, F, de la Blanca, A.P., Serrano-Fernandez, J., Nadal, F., & Montanez-Heredia, E. (2006). Comparison of initial mechanical properties of 4 hamstring graft femoral fixation systems using

- nonpermanent hardware for anterior cruciate ligament reconstruction: an in vitro animal study. *Arthroscopy*, 22(4), 433-40.
- Feller, J.A., & Webster, K.E. (2003). A randomized comparison of patellar tendon and hamstring tendon anterior cruciate ligament reconstruction. *American Journal of Sports Medicine*, 31, 564-573.
- Fox, J.M., Sherman, O.H., & Markolf, K. (1985). Arthroscopic anterior cruciate ligament repair: Preliminary results and instrumented testing for anterior stability. *Arthroscopy*, 1, 175-181.
- Freedman, K.B., D'Amato, M.Y., Nedeff, D.D., Kaz, A., & Bach, B.R. Jr. (2003) Arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction: a meta-analysis comparing patellar tendon and hamstring tendon autografts. *American Journal of Sports Medicine*, 31(1), 2-7
- Fu, F.H., Bennett, C.H., Lattermann, C., & Ma, C.B. (1999). Current trends in anterior cruciate ligament reconstruction: part I, biology and biomechanics of reconstruction. *American Journal of Sports Medicine*, 27, 821-830.
- Georgoulis, A.D., Papadonikolakis, A., Papageorgiou, C.D., Mitsou, A., & Stergiou, N. (2003). Three-dimensional tibiofemoral kinematics of the anterior cruciate deficient and reconstructed knee during walking. *American Journal of Sports Medicine*, 31, 75-79.

- Georgoulis, A.D., Ristanis, S., Chouliaras, V., Moraiti, C., & Stergiou, N. (2007). Tibial rotation is not restored after ACL reconstruction with a hamstring graft. *Clinical Orthopaedics & Related Research*, 454, 89-94.
- Girgis, F.G., Marshall, .JL., & Monajem, A. (1975). The cruciate ligaments of the knee joint. Anatomical, functional and experimental analysis. *Clinical Orthopaedics & Related Research*, 106, 216-231.
- Gobbi, A., Tuy, B., Mahajan, S., & Panuncialman, I. (2003). Quadrupled bone-semitendinosus anterior cruciate ligament reconstruction: a clinical investigation in a group of athletes. *Arthroscopy*, 19(7), 691-699
- Hamner, D.L., Brown, C.H., Steiner, M.E., Hecker, A.T., & Hayes, W.C. (1999). Hamstring tendon grafts for reconstruction of the anterior cruciate ligament: biomechanical evaluation of the use of multiple strands and tensioning techniques. *Journal of Bone and Joint Surgery (American volume)*, 81, 549-557.
- Harilainen, A., Sandelin, J., & Jansson, K.A. (2005). Cross-pin femoral fixation versus metal interference screw fixation in anterior cruciate ligament reconstruction with hamstring tendons: results of a controlled prospective randomized study with 2-year follow-up. *Arthroscopy*, 21(1), 25-33.
- Ibrahim, S., Al-Kussary, I., Al-Misfer, A., Al-Mutairi, H.Q., Ghafar, S.A., & El-Noor, T.A. (2005). Clinical

- evaluation of arthroscopically assisted ACL reconstruction: patellar tendon versus gracilis and semitendinosus autograft. *Arthroscopy*, 21, 412-417.
- Irrgang, J.J., Anderson, A.F., Boland, A.L., Harner, C.D., Kurosaka, M., Neyret, P., Richmond, J.C., & Shelborne, K.D. (2001). Development and validation of the International Knee Documentation Committee subjective knee form. *American Journal of Sports Medicine*, 29, 600-613
- Jansson, K.A., Linko, E., Sandelin, J., & Harilainen, A. (2003). A prospective randomized study of patellar versus hamstring tendon autografts for anterior cruciate ligament reconstruction. *American Journal of Sports Medicine*, 31, 12-18.
- Jarvela, T., Kannus, P., & Jarvinen, M. (2000). Anterior knee pain 7 years after an anterior cruciate ligament reconstruction with a bone-patellar tendon-bone autograft. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 10(4), 221-227.
- Jonsson, H., Karrholm, J., & Elmqvist, L.G. (1993). Laxity after cruciate ligament injury in 94 knees. The KT-1000 arthrometer versus roentgen stereophotogrammetry. *Acta Orthopaedica Scand*, 64, 567-570.
- Kanamori, A., Woo, S.L., Ma, C.B., Zeminski, J., Rudy, T.W., Li, G., & Livesay, G.A. (2000). The forces in the anterior cruciate ligament and knee kinematics during a

- simulated pivot shift test: a human cadaveric study using robotic technology. *Arthroscopy*, *16*, 633–639.
- Kanamori, A., Zeminski, J., Rudi, T.W., Li, G., Fu, F.H., & Woo, S.L. (2002). The effect of axial tibial torque on the function of the anterior cruciate ligament: a biomechanical study of a simulated pivot shift test. *Arthroscopy*, *18*, 394–398.
- Kartus, J., Magnusson, L., Stener, S., Brandsson, S., Eriksson, B.I., & Karlsson, J. (1999). Complications following arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction A 2-5-year follow-up of 604 patients with special emphasis on anterior knee pain. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, *7*(1), 2-8.
- Kaufman, K.R., Hughes, C., Morrey, B.F., Morrey, M., & An, K.N. (2001). Gait characteristics of patients with knee osteoarthritis. *Journal of Biomechanics*, *34*, 907-15.
- Keays, S.L., Bullock-Saxton, J., & Keays, A.C. (2000). Strength and function before and after anterior cruciate ligament reconstruction. *Clinical Orthopaedics & Related Research*, *373*, 174-183.
- Keays, S.L., Bullock-Saxton, J., Keays, A.C., & Newcombe, P. (2001). Muscle strength and function before and after anterior cruciate ligament reconstruction using semitendinosus and gracilis. *Knee*, *8*(3):229-234.
- Kuo, M.-H., Leong, C.-P., & Wang, C.-J.. (2003). Simultaneous patellar fracture and patellar tendon

- avulsion following arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction: a case report and literature review. *Chang Gung Medical Journal*, 26(8), 592-597.
- Laxdal, G., Kartus, J., Hansson, L., Heidvall, M., Ejerhed, L., & Karlsson, J. (2005). A prospective randomized comparison of bone-patellar tendon-bone and hamstring grafts for anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*, 21(1), 34-42.
- Li, G., DeFrate, L.E., Zayontz, S., Park, S.E., & Gill, T.J. (2004). The effect of tibiofemoral joint kinematics on patellofemoral contact pressures under simulated muscle loads. *Journal of Orthopaedic Research*, 22(4), 801-806.
- Loh, J.C., Fukuda, Y., Tsuda, E., Steadman, R.J., Fu, F.H., & Woo, S.L. (2003). Knee stability and graft function following anterior cruciate ligament reconstruction: comparison between 11 o'clock and 10 o'clock femoral tunnel placement. *Arthroscopy*, 19, 297-304.
- Markolf, K.L., Burchfield, D.M., Shapiro, M.M., Shepard, M.F., Finerman, G.A., & Slauterbeck, J.L. (1995). Combined knee loading states that generate high anterior cruciate ligament forces. *Journal of Orthopaedic Research*, 13(6), 930-935.
- Milano, G., Mulas, P.D., Ziranu, F., Piras, S., Manunta, A., & Fabbriciani, C. (2006). Comparison between different femoral fixation devices for ACL reconstruction with

- doubled hamstring tendon graft: a biomechanical analysis. *Arthroscopy*, 22(6), 660-8.
- Monaco, E., Labianca, L., Speranza, A., Agro, A.M., Camillieri, G., D'Arrigo, C., & Ferretti, A. (2010). Biomechanical evaluation of different anterior cruciate ligament fixation techniques for hamstring graft. *Journal of Orthopaedic Science*, 15(1), 125-31.
- Nakamura, N., Horibe, S., Sasaki, S., Kitaguchi, T., Tagami, M., Mitsuoka, T., Toritsuka, Y., Hamada, M., & Shino, K. (2002). Evaluation of active knee flexion and hamstring strength after anterior cruciate ligament reconstruction using hamstring tendons. *Arthroscopy*, 18(6), 598-602.
- Pinczewski, L.A., Deehan, D.J., Salmon, L.J., Russell, V.J., & Clingeleffer, A. (2002). A five-year comparison patellar tendon versus four-strand hamstring tendon autograft for arthroscopic reconstruction of the anterior cruciate ligament. *American Journal of Sports Medicine*, 30, 523-536.
- Price, R., Stoney, J., & Brown, G. (2010). Prospective randomized comparison of endobutton versus cross-pin femoral fixation in hamstring anterior cruciate ligament reconstruction with 2-year follow-up. *ANZ Journal of Surgery*, 80(3), 162-5.
- Ristanis, S., Giakas, G., Papageorgiou, C.D., Moraiti, T., Stergiou, N., & Georgoulis, A.D. (2003). The effects of anterior cruciate ligament reconstruction on tibial

- rotation during pivoting after descending stairs. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 11, 360–365.
- Ristanis, S., Stergiou, N., Patras, K., Tsepis, E., Moraiti, C., & Georgoulis, A.D. (2006). Follow-up evaluation 2 years after ACL reconstruction with bone-patellar tendon-bone graft shows that excessive tibial rotation persists. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 16(2), 111-6.
- Ristanis, S., Stergiou, N., Patras, K., Vasiliadis, H.S., Giakas, G., & Georgoulis, A.D. (2005). Excessive tibial rotation during high-demand activities is not restored by anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy*, 21(11), 1323-9.
- Ristanis, S., Stergiou, N., Siarava, E., Ntoulia, A., Mitsionis, G., & Georgoulis, A.D. (2009). Effect of femoral tunnel placement for reconstruction of the anterior cruciate ligament on tibial rotation. *Journal of Bone and Joint Surgery (American volume)*, 91(9), 2151-8.
- Rose, T., Hepp, P., Venus, J., Stockmar, C., Josten, C., & Lill, H. (2006). Prospective randomized clinical comparison of femoral transfixation versus bioscrew fixation in hamstring tendon ACL reconstruction--a preliminary report. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 14(8):730-8.
- Rowden, N., Sher, D., Rogers, G., & Schindhelm, K. (1997).

- Anterior cruciate ligament graft fixation: initial comparison of patellar tendon and semitendinosus autografts in young fresh cadavers. *American Journal of Sports Medicine*, 25, 472-478.
- Rudolph, K., Axe, M., & Snyder-Mackler, L. (2000). Dynamic stability after ACL injury: Who can hop? *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 8, 262-269.
- Sachs, R.A., Daniel, D.M., Stone, M.L., & Garfein, R.F. (1989). Patellofemoral problems after anterior cruciate ligament reconstruction. *American Journal of Sports Medicine*, 17(6), 760-765.
- Sakane, M., Fox, R.J., Woo, S.L., Livesay, G.A., Li, G., & Fu, F.H. (1997). In situ forces in the anterior cruciate ligament and its bundles in response to anterior tibial loads. *Journal of Orthopaedic Research*, 15, 285-293.
- Scanlan, S.F., Chaudhari, A.M., Dyrby, C.O., & Andriacchi, T.P. (2010). Differences in tibial rotation during walking in ACL reconstructed and healthy contralateral knees. *Journal of Biomechanics*, 43(9):1817-22.
- Scopp, J.M., Jasper, L.E., Belkoff, S.M., & Moorman, C.T. 3rd. (2004). The effect of oblique femoral tunnel placement on rotational constraint of the knee reconstructed using patellar tendon autografts. *Arthroscopy*, 20, 294-299.
- Sernert, N., Kartus, J., Köhler, K., Stener, S., Larsson, J., Eriksson, B.I., & Karlsson, J. (1999). Analysis of

subjective, objective and functional examination tests after anterior cruciate ligament reconstruction. A follow-up of 527 patients. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 7(3), 160-165.

Shaieb, M.D., Kan, D.M., Chang, S.K., Marumoto, J.M., & Richardson, A.B. (2002). A prospective randomized comparison of patellar tendon versus semitendinosus and gracilis tendon autografts for anterior cruciate ligament reconstruction. *The American Journal of Sports Medicine*, 30, 214-220.

Sherman, O.H., & Banffy, M.B. (2004). Anterior cruciate ligament reconstruction. Which graft is best? Current concepts. *Arthroscopy*, 20, 974-980.

Spindler, K.P., Kuhn, J.E., Freedman, K.B., Matthews, C.E., Dittus, R.S., & Harrell, F.E. Jr. (2004). Anterior cruciate ligament reconstruction autograft choice: bone-tendon-bone versus hamstring. Does it really matter? A systematic review. *The American Journal of Sports Medicine*, 32, 1986-1995.

Steiner, M.E., Brown, C., Zarins, B., Brownstein, B., Koval, P.S., & Stone, P. (1990). Measurement of anterior-posterior displacement of the knee: a comparison of the results with instrumented devices and with clinical examination. *Journal of Bone and Joint Surgery (American volume)*, 72, 1307-1315.

Stergiou, N., Ristanis, S., Moraiti, C., & Georgoulis, A.D.

- (2007) Tibial rotation in anterior cruciate ligament (ACL)-deficient and ACL-reconstructed knees: a theoretical proposition for the development of osteoarthritis. *Sports Medicine*, 37(7), 601-13. Review.
- Tegner, Y., & Lysholm, J. (1985). Rating systems in the evaluation of knee ligament injuries. *Clinical Orthopaedics & Related Research*, 198, 42-49.
- Tibone, J.E., Antich, T.J., Fanton, G.S., Moynes, D.R., & Perry, J. (1986). Functional analysis of anterior cruciate ligament instability. *American Journal of Sports Medicine*, 14(4), 276-84.
- Wang, H., & Zheng, N. (2010). Knee rotation and loading during spin and step turn. *Internal Journal of Sports Medicine*, 31(10), 742-6.
- Wang, W.M., Cui, D.P., Zhao, D.W., Li, R.X., Liu, Y.P., & Yang, S. (2010). Gait analysis after anterior cruciate ligament reconstruction with different methods. *Zhonghua Yi Xue Za Zhi*, 5, 90(1), 10-4. [Article in Chinese]
- Webster, K.E., Wittwer, J.E., O'Brien, J., & Feller, J.A. (2005). Gait patterns after anterior cruciate ligament reconstruction are related to graft type. *American Journal of Sports Medicine*, 33, 247-254.
- Woo, S.L., Kanamori, A., Zeminski, J., Yagi, M., Papageorgiou, C., & Fu, F.H. (2002). The effectiveness of reconstruction of the anterior cruciate ligament with

hamstrings and patellar tendon. A cadaveric study comparing anterior tibial and rotational loads. *Journal of Bone and Joint Surgery (American volume)*, 84, 907-914.

Yunes, M., Richmond, J.C., Engels, E.A., & Pinczewski, L.A. (2001). Patellar versus hamstring tendons in anterior cruciate ligament reconstruction: a meta-analysis. *Arthroscopy*, 17, 248-257.

Zhang, L.Q., Shiavi, R.G., Limbird, T.J., & Minorik, J.M. (2003). Six degrees-of-freedom kinematics of ACL deficient knees during locomotion-compensatory mechanism. *Gait & Posture*, 17(1), 34-42.