

國立臺灣師範大學運動與休閒學院運動競技學系

碩士論文

Department of Athletic Performance

College of Sports and Recreation

National Taiwan Normal University

Master's Thesis

慣性阻力訓練對於競技體操選手

地板專項運動表現之影響

Effects of Flywheel Resistance Training on Floor Exercise

Athletic Performance of Artistic Gymnasts

唐嘉鴻

Tang, Chia-Hung

指導教授：翁士航 助理教授

Advisor : Asst. Prof. Weng, Shih-Hang

中華民國 112 年 7 月

July 2023

謝 誌

完成這篇論文，我深感由衷的感激與喜悅，我想在此向所有在我學術旅程中給予支持、鼓勵和指導的人致以最誠摯的謝意。

首先，我要感謝我的恩師兼指導教授，翁士航教授。您對我的耐心指導和無私分享的知識，對我在研究中的成長有著深遠的影響。您的專業知識、寶貴建議和悉心指導，讓我能夠克服困難，順利完成這篇論文。我對您的支持和鼓勵深感感激。

感謝口試委員林淵翔教授和相子元教授，他們在論文計劃和口試過程中的細心指導和詳盡檢閱，使得本篇論文更加臻於完美。我衷心感謝委員們提供的寶貴建議和指導。

我要感謝臺師大體操隊，你們的合作和友情使得整個研究過程充滿了歡笑和成就感。特別要感謝高裕軒學長，您的經驗分享和寶貴建議對我的研究起到了重要的幫助。同樣地，我要感謝我的家人和朋友，在我學術和個人生活中一直給予我無私的支持和鼓勵。您們的關心和愛意是我不斷前進的動力。我還要感謝國立臺灣師範大學給予的各種資源，提供了必要的設施和資料，使我的研究順利進行。

最後，我想向所有在背後默默付出的人表示感謝。雖然無法一一列舉，但你們的支持對我來說意義重大。謹以此論文謝誌，表達我最深的謝意。願我們的努力和付出能為學術界帶來一些微小的貢獻。謝謝大家！

唐嘉鴻 謹誌

中華民國 112 年 7 月

摘要

本研究協助教練和選手訓練，有效率提升專項技能，爭取更優質的運動表現。目的：探討六週漸進式核心慣性阻力訓練對體操選手後空翻轉體 720°運動表現、核心與下肢能力之影響。方法：招募 10 名男子甲組競技體操選手為本研究對象。使用穿戴感測器收集後空翻轉體 720°運動表現之軀幹加速度和轉體最大角速度之參數，核心能力及下肢能力利用慣性阻力訓練機收取平均功率、向心功率峰值、離心功率峰值、平均力量之數據。前測結束後，採隨機分配實驗設計分為實驗組和控制組，經 6 週漸進式核心慣性阻力訓練介入後，進行後測與資料收集。研究數據以混合設計二因子變異數分析，比較組內和組間之差異，顯著水準設為 $\alpha = .05$ 。結果：於後空翻轉體 720°運動表現發現，實驗組加速度之上背數值顯著提升（前測 $14.591\text{m/s}^2 \rightarrow$ 後測 18.162m/s^2 ），轉體最大角速度皆未達顯著差異，控制組皆未達顯著差異；於核心能力發現，實驗組於正面之平均功率（前測 $42.4\text{W} \rightarrow$ 後測 55.5W ）與向心功率峰值（前測 $88\text{W} \rightarrow$ 後測 105.4W ）達顯著差異，以及背面之平均功率（前測 $43.7\text{W} \rightarrow$ 後測 61.3W ）、離心功率峰值（前測 $105.3\text{W} \rightarrow$ 後測 135.9W ）以及平均力量（前測 $49.5\text{W} \rightarrow$ 後測 60.2W ）達顯著差異，而控制組皆未達顯著差異；下肢能力兩組皆未達顯著差異。結論：漸進式核心慣性阻力訓練介入於競技體操選手後發現能有效提升後空翻轉體 720°運動表現之加速度以及核心能力之相關功率，而對下肢能力則沒有影響，未來可以結合下肢訓練與核心訓練，探討競技體操選手的黃金課表。

關鍵詞：競技體操、後空翻轉體 720°、穿戴裝置、慣性阻力訓練、運動表現

Abstract

This study aids coaches and athletes in training, effectively enhancing specific skills to strive for superior athletic performance. **Objective:** To investigate the impact of a six-week progressive core inertial resistance training on the performance of the backward somersault with 2/1, and the abilities of the core and lower limbs of gymnasts. **Method:** 10 male A-team competitive gymnasts were recruited for this study. Wearable sensors were used to collect parameters such as the trunk acceleration and maximum angular velocity during the backward somersault with 2/1 performance. Core and lower limb abilities were measured using inertial resistance training machines to gather data on average power, centripetal power peak, centrifugal power peak, and average force. After the pre-test, participants were randomly assigned into experimental and control groups. Following a six-week progressive core inertial resistance training intervention, post-tests and data collection were conducted. The research data was analyzed using a mixed-design two-factor ANOVA to compare intra-group and inter-group differences, with a significance level set at $\alpha = .05$. **Results:** For the backward somersault with 2/1 performance, the experimental group showed a significant increase in upper-back acceleration (pre-test $14.591 \text{ m/s}^2 \rightarrow$ post-test 18.162 m/s^2). However, the maximum angular velocity did not show significant differences, and the control group also showed no significant differences.

Regarding core abilities, the experimental group showed significant differences in the average power on the front side (pre-test 42.4W→post-test 55.5W) and the peak centripetal power (pre-test 88W→post-test 105.4W), as well as the average power on the back side (pre-test 43.7W→post-test 61.3W), centrifugal power peak (pre-test 105.3W→post-test 135.9W), and average force (pre-test 49.5W→post-test 60.2W). The control group showed no significant differences. No significant differences were observed in lower limb abilities for either group.

Conclusion: Progressive core inertial resistance training intervention in competitive gymnasts has been found to effectively enhance the acceleration performance of the backward somersault with 2/1 and the related power of core abilities. However, it had no impact on the abilities of the lower limbs. Future research can integrate lower limb training with core training to explore the optimal training regimen for competitive gymnasts.

Keywords : artistic gymnastic, backward somersault with 2/1, wearable device, flywheel resistance training, sports performance

目次

謝誌	i
摘要	ii
Abstract.....	iii
目次	v
表次	vii
圖次	viii
第壹章 緒論	1
第一節 研究背景	1
第二節 研究目的	9
第三節 研究假設	9
第四節 研究範圍與限制	10
第貳章 文獻探討	11
第一節 男子競技體操地板項目發展趨勢	11
第二節 穿戴裝置於專項運動之研究探討	13
第三節 慣性式阻力訓練效益之探討	16
第四節 文獻總結	22
第參章 研究方法	24
第一節 研究對象	24

第二節	研究日期與地點	24
第三節	研究器材	25
第四節	研究流程	26
第五節	資料收集與處理	34
第六節	統計分析	37
第肆章	結果與討論	38
第一節	後空翻轉體 720°運動表現分析與討論	38
第二節	核心能力分析與討論	43
第三節	下肢能力分析與討論	49
第四節	綜合討論	53
第伍章	結論與建議	55
第一節	結論	55
第二節	建議	55
參考文獻	57

表 次

表 1	與落地有關之扣分重點.....	2
表 2	與空翻轉體和姿態有關之扣分重點	4
表 3	慣性阻力訓練對運動表現影響之研究整理	21
表 4	漸進式核心慣性阻力訓練課表	27
表 5	後空翻轉體 720°軀幹加速度峰值.....	38
表 6	後空翻轉體 720°轉體最大角速度峰值.....	39
表 7	後空翻轉體 720°運動表現結果簡述表.....	40
表 8	核心能力平均功率	43
表 9	核心能力向心功率峰值.....	44
表 10	核心能力離心功率峰值.....	44
表 11	核心能力平均力量	45
表 12	核心能力結果簡述表.....	46
表 13	下肢能力平均功率	49
表 14	下肢能力向心功率峰值.....	49
表 15	下肢能力離心功率峰值.....	50
表 16	下肢能力平均力量	50
表 17	下肢能力結果簡述表.....	51

圖 次

圖 1	慣性式阻力訓練機.....	25
圖 2	感測器.....	26
圖 3	實驗流程圖.....	28
圖 4	坐姿訓練動作示意圖 (側面).....	29
圖 5	訓練動作示意圖 (正面).....	29
圖 6	俯臥訓練動作示意圖 (側面).....	30
圖 7	訓練動作示意圖 (背面).....	30
圖 8	感測器放置部位圖.....	31
圖 9	後空翻轉體 720°分段示意圖.....	31
圖 10	下肢測驗動作標準姿勢.....	32
圖 11	下肢測驗動作流程圖.....	33
圖 12	Exxentric 應用程式.....	33
圖 13	感測器參數與動作對照示意圖.....	35
圖 14	Exxentric 應用程式介面.....	36

第壹章 緒論

第一節 研究背景

隨著體操國手唐嘉鴻等人在 2020 東京奧運的亮眼表現，競技體操在國內的討論熱度逐漸熱絡。競技體操被許多人認為是世界上最難的運動項目之一，也是奧、亞運會等多項賽事中較熱門的比賽項目，競技體操比賽中所展現出的驚險、優美、力量、藝術性、變化性等皆為欣賞的因素。隨著時間、科技的推移與進步，讓科學結合運動，運用大數據分析運動表現，能使選手更清楚自身狀況，並使技術更上一層樓 (湯文慈，2020)，而競技體操比賽也在各國競爭的進步氛圍下，不斷突破人類極限，發展出各式各樣高難度的困難動作，從以前最低 A 難度動作至最高僅有 D 難度動作，到至今已新增至有 J 難度動作出現，這發展過程明顯看得出技術水準之落差。

綜觀男女子競技體操項目，可為地板、鞍馬、吊環、跳馬、雙槓、單槓、高低槓及平衡木，這些項目分別有不同組別的動作分類，而每個組別中又細分好多種不同動作，從以前動作規則簿內容僅有 12 頁，到如今有將近一百多頁的動作內容可供選擇 (International Gymnastics Federation, 2021)，這讓體操觀賞時較為複雜，卻也增加了體操表演的精彩程度、變化性和藝術性。儘管這八個項目不盡相同，卻擁有一個共通點，就是「結束動作」(Dismount)，意指從器材上下來，做為結束的最後一個動作，而

每個項目的結束動作是作為體操表演中最重要的一部分、且攸關勝負成敗關鍵的其中因素之一，尤其體操規則中對於落地的水準有著相當高的要求（表 1），因此若想要提高成績表現，結束動作的落地穩定性和完成度是相當重要（Marinsek, & Cuk, 2010）。

結束動作在空中時動能的好壞，與落地穩定性和完成度有著密切的關係。在空翻時，旋轉速度、初始落地的高度、落地前展體的時間及轉體圈數多寡對於落地失誤有很大的影響（Marinšek & Čuk, 2013），若旋轉動能不足或是轉體速度過慢，會導致落地時身體角度過於偏差，導致落地時膝關節及踝關節的角度過大，而可能造成下肢的急性傷害（Hao et al., 2017）。因此，在空中時的動作表現對於落地極為重要，若想提升結束動作的完成度及落地穩定性，空翻的轉體速度為重要任務之一（Prassas, 1999），而核心肌群能力則對於體操空翻又有著重要關係（Marinšek, 2008）。

表 1

與落地有關之扣分重點（續下頁）

Error	Small -0.10	Medium -0.30	Large -0.50
錯誤	小錯 -0.1	中錯 -0.3	大錯 -0.5
Deductions for aesthetic and execution errors		對於藝術和完成錯誤的扣分	
Legs apart on landing.	≤ shoulder	> shoulder	
落地時分腿	width ≤ 肩寬	width > 肩寬	
Unsteadiness, minor adjustment of feet, or excessive arm swings on landing. 落地時不穩，腳部			

有小調整或者落地時手臂擺動 過大			
Loss of balance during any landing with no fall or hand support. (Maximum -1.0 total for steps and hops). 落地時失去平衡 (各種步與跳的總扣分最多 1.0)	Slight imbalance, small step or hop, 0.1 per step 輕微不平衡一 小步或一小 跳，扣0.1	Large step or hop or touching the mat with 1 or 2 hands 單、雙手觸墊 子或一大步或 一大跳	
Fall or support with 1 or 2 hands during any landing. 落地時摔倒或用一隻或兩隻手 支撐			-1.0
Fall during any landing without feet contacting mat first. 落地時摔倒，並且腳沒有首先 觸地			-1.0 and non-recognition by the “D” Jury -1.0 及 裁判不予承認動 作
Lack of extension in preparation for landing. 落地準備缺少伸展	+	+	

資料來源：2022~2024 *Code of points for men’s artistic gymnastics competitions* (p. 33), by FIG Executive Committee, 2021, Lausanne, Switzerland : International Gymnastics Federation.

核心肌群是指腰椎與骨盆之間的肌肉群，整體穩定性肌群較大、較淺的肌肉，包括：腹直肌 (rectus abdominus)、腹外斜肌 (external oblique)、肋間肌 (iliocostalis) 以及後方的豎脊肌 (erector spinae)，主要能讓脊椎能產生像是軀幹屈曲、旋轉、側彎等較大的關節角度動作。局部穩定性肌群

較小、較深的肌肉，含多裂肌 (multifidi)、腰大肌 (psoas major)、腹橫肌 (transversus abdominus)、腰方肌 (quadratus lumborum)、腹內斜肌 (internal oblique)、棘間突肌 (interspinalis) 等，不會因動作方向而產生反應 (王顯智、黃美雪、鄭婷文，2013)，他們提供脊椎每一節動態支撐並協助維持在穩定的位置上，才不會造成非收縮性組織在動作極限處承受過大的壓力 (劉怡廷、張家豪、林惠婷，2014)。

表 2

與空翻轉體和姿態有關之扣分重點 (續下頁)

Error	Small -0.10	Medium -0.30	Large -0.50
錯誤	小錯 -0.1	中錯 -0.3	大錯 -0.5
Deductions for aesthetic and execution errors 對於藝術和完成錯誤的扣分			
Non-distinct positions (tuck, pike, straight). 沒有明顯姿勢 (團身、屈體、直體)	+	+	
Bent arms, bent legs, legs apart. 屈臂、屈腿、分腿	+	+	+
Poor posture or body position or postural corrections in end positions. 在動作結束時，身體姿態或姿勢不好或糾正姿勢	+	+	
Saltos with knees or legs apart. 空翻時分腿、分膝	≤ shoulder width ≤ 肩寬	> shoulder width > 肩寬	
Incomplete twists. 轉體度數不夠	up to 30° 30° 以下	31°- 60°	61°- 90° , > 90° and non- recognition 61°- 90° ,

> 90°不被承認動作

Lack of height or amplitude on salto
and flight elements.

+ +

空翻和飛行動作的高度或幅度不夠

資料來源：2022~2024 *Code of points for men's artistic gymnastics competitions* (p. 34), by FIG Executive Committee, 2021, Lausanne, Switzerland : International Gymnastics Federation.

因競技體操項目為全身性運動，除了上、下肢訓練，鍛鍊核心肌群也是體操選手的訓練計畫之一，其因是為了讓身體素質提升到可負荷或挑戰更高難度的動作，從國際體操規則可看出，有關空翻轉體類型的動作，只要轉體圈數越多，難度也越高，由於規則並沒有限制轉體圈數（難度）的上限，所以若想提升難度，轉體圈數（難度）的增加也勢必要突破。另外，規則也提到，依空翻姿勢型態，由難度分數低至高可分為團、屈、直體動作，並且許多特定動作在實施過程中必須全程保持身體的直立（即身體不能前彎或後彎，亦不能屈身），否則規則會將其判定為屈身、團身使得難度下降，或是動作不承認，且被裁判扣分（表 2）。

以地板項目為例，動作包含手翻、湯瑪斯、空翻所組成，而空翻類型占為居多，轉體型態更是眾多選手所採用，例如直體後空翻轉體 720°，動作過程大致為：側翻內轉體彈地板、後空翻、轉體、落地。在側翻內轉體彈地板時，利用側翻內轉體的加速度和下肢力量去用力彈向地板，使地板產生反彈的作用力，此時若擁有強大的核心肌群使身體保持直立，反彈力量將會由下肢、核心在傳達到上肢，在配合向上拉手的技術，可以使反彈

力量垂直向上提升，而提升後空翻高度；在轉體時，是由上肢往轉體方向抱緊、且將手臂夾緊身體的技術，以增加轉體速度，並藉由核心肌群帶動下半身轉體，使全身可以照著同一個方向轉體，若核心肌群虛弱，可能會造成轉體時上、下半身不協調而減少轉體速度。由此可知，核心肌群在空翻轉體動作所扮演得角色為一個能量傳遞途徑 (Bassett & Leach, 2011)。轉體表現也有研究提出，在運動過程中，上、下肢之間的力矩和角速度，可透過核心肌群來誘發轉移 (王顯智等人, 2013)。強大的核心肌群能力可增加運動時身體轉動方向之能力，換句話說，越強大的核心能力越能增加轉體的速度 (Sweeney, 2019)。不論是以下肢反彈能量傳遞到上肢而提升高度，還是以上肢帶動下肢轉體速度，皆需透過核心肌群來傳遞動能。因此，核心肌群除了能提升空翻高度，亦能提升轉體速度，對於空翻轉體類型的動作至關重要。

在空翻轉體完成後，最後的落地為決定成敗的關鍵之一，落地不穩導致的失敗，將會嚴重影響最後得分，為能穩定著地，競技體操選手在落地時，身體姿勢需保持直立，利用核心肌群穩定軀幹，使身體不前傾或後倒，並使雙腳與肩同寬，做出類似半蹲的動作，並將身體重心壓低 (Marinsek & Cuk, 2010)。除此之外，核心肌群位於人體軀幹的中心，四肢透過核心肌群產生和傳遞力量，也就是維持近端 (核心) 的穩定來執行遠端 (四肢) 的活動，若核心肌群能力得到提升，身體落地時的平衡能力及穩定性也會隨之增加 (Wei, Fan, Ren, Li, & Niu, 2023)。因此，若核心肌群較為強韌，除了

能保持在空中飛行時的高度及動能，讓身體有時間反應落地瞬間，亦能使落地時軀幹及下肢穩定，藉此減少因核心肌群能力不足而導致落地不穩定和扣分。相關文獻指出，巴西武術 (Capoeira) 是一項結合了舞蹈、跳躍和空轉轉體的運動，其中的空翻轉體作近似於體操的地板動作，同樣需要以落地來做為結束動作，並且透過六週的核心肌群訓練和使用測力板進行數據分析，發現到只要提升軀幹的核心肌群能力和穩定性，就能提升選手在空翻轉體完成後，實施落地時下肢的負荷能力和平衡感，並減少因落地而導致下肢受傷的情況 (Assunção, 2004)。綜上所述，核心肌群能力的好壞對於體操選手相當重要，因此除了平時會透過專項技術訓練來加強核心能力以外，也會額外再透過不同的體能訓練來加強核心肌群能力。

競技體操運動對於選手早期從基礎體操動作扎根，逐漸邁向高難度動作的發展過程中，體能訓練就一直扮演著極為重要的角色，而阻力訓練就是用來加強核心肌群能力的一種體能訓練方式。且近年來，隨著科技的迅速發展，為了迎合不同客群的需求，已陸續創造出多種類型的訓練器材，例如彈性帶/繩、油壓式或氣壓式器材等，其中慣性阻力訓練器材是一種獨特的形式，它不需要依賴重力或運動產生動力，必然包含向心-離心收縮的特點，並且更強調在肌肉離心收縮階段的特殊性 (Vicens-Bordas, Esteve, Fort-Vanmeerhaeghe, Bandholm, & Thorborg, 2018)。從 20 年代開始就有此訓練概念運用在太空人於無重力狀態下的肌力訓練，而過往的研究就已證實具有提升運動表現、增加動作穩定度和協調性、加速傷後復健，但卻一

直無法普及在市面上或運動場上，其因過去的訓練器材有著無法調控訓練強度的缺陷及設備上的限制 (de Hoyo et al., 2015; Vicens-Bordas et al., 2018)。但隨著科技的進步，已經克服了許多限制和不足，推陳出新，創造出能夠有效實現慣性阻力訓練原理的訓練器材，這種訓練器材的優勢在於它可以通過不同的角度、方法以及創新的訓練思維，來擴展不同的訓練區域和多樣化的訓練方法。因此，這種設備在運動訓練中得到了廣泛應用，能夠提升運動表現，無論是對於普通人還是專業運動員或教練，都能夠滿足他們的體能訓練需求，在訓練過程中，主要是通過反復拉力繩和調整不同重量的槓片來增加旋轉時的離心力，從而產生所需的阻力，以提升肌肉力量，實現更好的訓練效果 (de Hoyo et al., 2015; Vicens-Bordas et al., 2018)，同時慣性阻力訓練器材也包含感測科技的技術在內，透過科技的幫助，它能提供即時的數據量化，讓使用者更能「量化自我」，一般民眾在訓練過程中獲得自我認知的成就與快樂，運動員及教練也可有效知道自我的體能狀況和疲勞程度。

所謂科技始終來自於人性，以人為出發點來進行科技的研發和創新，都是為了「解決問題、提供需求」(吳淑真、陳美燕，2020)。奧運會為國家間最高層級之競技運動賽事，也是各國較勁比拚軟、硬體科技實力的舞台，為了爭取更高奧運榮譽的問題，國家科學及技術委員會也首次發起「精準運動科學研究專案計畫」，期望整合體育界、工程界、商業界等各相關領域專家，組成運動科學團隊來進行競技運動支援，並強調理論與實務應

用的結合；也期望精準化與科學化的競技運動訓練能夠讓教練和選手懂得應用和落實以科學證據為導向的練習和選材 (evidence-based practice)，而不再是用土法煉鋼的方法來產出奧運選手 (吳昇光，2021)。而目前透過精準計畫所產出的研發成果概如：智能桌球拍、無線壓力鞋墊、投打診斷系統、指壓棒球、動作飛行軌跡追蹤系統、創新 AI 科技輔助標記 (球路分析)、物聯網多功能發球機、減振減噪防護地墊及減阻自由車衣等發明，並且發現感測科技應用於運動越來越普遍，目前感測科技以功能性可分類為運動感測器、生物感測器、環境感測器 (陳鴻仁，2019)。

第二節 研究目的

- 一、探討慣性阻力訓練介入後，對於實驗組前後測比較競技體操選手後空翻轉體 720°運動表現、核心與下肢能力之差異。
- 二、分別探討慣性阻力訓練實驗組與控制組，比較競技體操選手後空翻轉體 720°運動表現、核心與下肢能力之後測差異。

第三節 研究假設

- 一、實驗組後空翻轉體 720°運動表現、核心與下肢能力前後測達顯著差異。
- 二、實驗組空翻轉體 720°運動表現、核心與下肢能力前後測顯著優於控制組。

第四節 研究範圍與限制

一、研究範圍

本研究以男子競技體操選手為主要研究對象，探討後空翻轉體 720° 運動表現、核心與下肢能力之參數，將所收集資料做為主要研究範疇。

二、研究限制

(一) 每位受試者皆為現役選手，體操術科專長訓練除了必須配合教練和受試者們每週的訓練時間、課表以及相關比賽週期之考量，故在專項訓練後的時間、身體疲勞等有所不同之因素無法控制。

(二) 受試者於研究期間，亦有其他個人休閒活動時間，因此會以口頭提醒減少外出活動，以將影響研究結果之因素降低。

(三) 受試者於檢測與訓練過程中，因皆是現役選手，生理與心理等因素無法控制，僅能口頭鼓勵受試者盡力完成各項訓練以及測驗，以提升本研究之完成度。

(四) 因競技體操專項的特殊性，且用於核心之慣性阻力訓練文獻甚少，故此研究可能較無法用於其他運動項目，僅提供參考。

第貳章 文獻探討

第一節 男子競技體操地板項目發展趨勢

臺灣競技體操發展持續成長，在國際上成績近年來也是愈來愈亮眼，國內男子競技體操選手們的專項技術已達國際競技體操強國水準（林高正，2020）。2017年我國選手唐嘉鴻在競技體操世界盃系列賽（FIG Artistic Individual Apparatus World Cup）奪得金牌（黃淑貞，2018），也在2018年亞運會地板項目奪得銀牌，從2017年開始至今我國選手在地板項目持續取得國際賽事佳績，由此可知地板項目為我國奪牌重點項目。在地板項目類群分為非技巧、向前系列、向後系列（International Gymnastics Federation, 2021），新制度對於技術難度價值的要求、扣分更加明顯、整套動作的要求更注重高難度、高品質的動作表現方向發展；依規則評分最後得分（final score）的高低，為難度分加上實施分，而難度分無上限加分，因此關鍵在於難度動作的技術施展（黃淑貞，2018）。以現今世界地板項目動作之發展，雖有較多向後技巧發展，學者指出大多不選擇向前技巧動作進行編排，是因落地較難以穩定掌控，因此對於此類編排則較少（翁士航，2018）。有研究分析男子地板的表現內容，為在世界比賽中取得優異成績提供基礎材料，指出參加2014年世錦賽地板動作組比賽的1-12名隊伍採用任意抽樣法（convenience sampling）共抽取59名隊員，進行技術統計、頻率分析、單因素方差分析和事後分析。排名1到12的所有隊伍使用C難度頻率最高，F難

度則最低 (Kim & Lee, 2017)；也由研究提到現今世界地板項目動作之發展，有較多向後技巧類群動作發展，難度亦由過去A與B難度取代為C、D以上難度為主 (翁士航，2018)。在向後系列的動作難度中，8人中有7人實施了C難度的後空翻轉體720°，8人全部實施了D級難度的後空翻轉體900°和後空翻轉體1080°，在以往的研究中，後空翻轉體900°被作為連接向前系列的主要動作，此外C難度的後空翻轉體720°公認為最好運用的技術動作，可以最大限度地減少扣分並滿足難度分數，並且落地時不會造成太大的負擔 (Han, 2018)。在2020年東京奧運會和2021年世錦賽男子體操錦標賽的地板決賽中，許多體操運動員在比賽中採用了轉體技術，奧運地板決賽中，8名體操運動員中有3名選手完成了後空翻轉體720°，5名體操運動員完成了後空翻轉體1080°，而轉體空翻是高水平體操運動員的一項重要技術 (Harigai et al., 2022)。研究 2019年世界錦標賽男子地板決賽中所有成套動作 (n=8) 進行了統計在向後系列動作中執行後空翻轉體900°和後空翻轉體1080°使用頻率最高 (Han, 2020)。由上述研究可知在男子競技體操地板中，後空翻轉體動作為發展趨勢，而後空翻轉體720°在各大賽事中出現頻率甚高，並能作為日後發展後空翻轉體900°、1080°等更高難度之動作基礎。

第二節 穿戴裝置於專項運動之研究探討

相關研究指出，使用感測器辨識不同的走路型態，包含水平、斜坡下降行走、斜坡上升行走和上、下樓梯，30 名健康參與者，在上述五種不同狀態下進行行走，感測器則安裝在左腳鞋的外側，利用感測器提供的數據，結合後腳跟觸地和腳趾離地時的數據，可以清楚確定斜坡上升、下降行走時斜坡的斜率，水平行走和下樓行走的判別準確度為 86.7-96.7%，而上樓行走準確度只有 60.0% (Chen et al., 2020)。另一項研究也表示，確認感測器要安裝於身體哪個部位，更能檢測羽毛球運動員的訓練負荷，12 名大專運羽毛球運動員，使用心率傳輸帶，並將感測器安裝於雙手、雙腿及下背位置，進行三分鐘的反手發球、網前放小球、步法訓練和跳躍扣殺四個動作。結果顯示，下背是安裝感測器最理想的位置，若同時結合下背和持球拍的手，即可以測量 88% 的訓練負荷變化 (Liu et al., 2021)。另有感測器在跑步上的研究，實驗招募 15 名男性，在 30 分鐘的高強度跑步機訓練中，使用感測器安裝於腳背以觀察足部的力學變化。結果顯示，腳踝關節活動範圍 (ROM) 隨著時間而顯著增加，相對加速度峰值也跟著增加，此外，數據也顯示，加速度峰值也與 ROM、感知發力率和心跳率有顯著相關，進而推論，基於足部在加速度峰值和力學變化，得知與跑步傷害相關的警示 (Shih & Shiang, 2014)。也有對田徑及自行車的相關研究提到，感測器可以辨識田徑選手的跑步姿勢，使選手了解自身動作缺點，並加以改善，同時感測器也能提供選手跑步加速度的數據，可以與優秀選

手的加速度進行分析以了解差異為何；在自行車運動中，傳感器可以提供運動時的功率、耗氧率、心率等數據，也可以估算腳踏板的力量和力學（例如運動期間膝蓋和腳的角度），以便在訓練中修正腳步位置、腳踏板的力學、方向等技術動作 (Mendes Jr, Vieira, Pires, & Stevan Jr, 2016)。運動感測器配戴在運動員並分析其數據的重要性在於，它可以幫助教練、體能訓練師評估運動員的自身運動表現，並朝正確的方向發展，以實現運動員目標 (Mendes Jr et al., 2016)。

體操相關的研究通常普遍在實驗室的環境中進行 (Farana, Jandacka, Uchytíl, Zahradník, & Irwin, 2017a; Farana, Jandacka, Uchytíl, Zahradník, & Irwin, 2017b; McNitt-Gray, Hester, Mathiyakom, & Munkasy, 2001; Perez-Soriano et al., 2010; Christoforidou et al., 2017)，意味著與體操運選手在平常專業訓練上有所不同，雖然在受到控制的環境使用力學實驗儀器會產生準確的結果，但在真實且多變的訓練環境中並不是一個可行的選項，力學相關儀器價格昂貴，安裝設定耗時難以安全融入體操器械中，且需要體操選手著地在固定的位置上。因此，需要找尋替代方法來測量體操運動中的負荷，而運動感測器（如加速規和陀螺儀）克服了上述缺點。運動感測器重量輕、價格較為便宜，配戴於體操選手身上較不妨礙運動，並且可測量全身負荷（上、下肢）。因此多項研究運用感測器測量了實施體操技能時，身體不同部位之加速度 (Campbell, Bradshaw, Ball, Hunter, & Spratford, 2020; Bradshaw, Grech, Hume, Joseph, & Calton, 2016)。國家級

女子體操選手從高台 (90 公分) 實施後空翻落地時，上背峰值加速度為 9.1 g 至 17.2 g (Bradshaw et al., 2016)。另有研究使用感測器測量在實施基礎體操動作時上下肢的負荷，並確認其可靠性，實驗招募 16 名競技體操運動員 (男、女性各 8 名) 將感測器安裝於上背部、下背部、前臂及遠端脛骨後，進行前手翻、後手翻、抱腿跳、側翻內轉、90 公分高台後空翻、90 公分高台前空翻及 90 公分高台垂直跳等七項測驗，每項測驗需成功執行 3 次，研究結果發現，使用感測器和測力板所測量的數據相近，代表其準確度高，且感測器更為便利 (Campbell, Bradshaw, Ball, Hunter, & Spratford, 2021)。另一項研究目的為利用特定感測器服裝，分析體操運動員在後空翻轉體一圈的過程中，頭部的運動方向和眼睛的注視方向，實驗招募 15 名彈翻床體操選手，在彈翻床上進行後空翻轉體一圈，研究結果顯示，能力較差的體操選手需要依靠視線來定位身體位置，因而提早抬頭，使頭部旋轉角度過大，導致動作完成度較差；而能力較好的選手，儘管身體開始往後旋轉，但視線一樣保持穩定向前，在進入轉體時會將視線迅速轉移到轉體方向並夾頭，進而穩定空翻結構和準備落地 (Natrup, Lussanet, Boström, Lappe, & Wagner, 2021)。此外，測量體操選手落地和跳躍時的負荷，實驗招募 12 名體操運動員，在背部安裝感測器，並進行連續跳躍和落地，研究結果顯示，若將感測器安裝於上背部，能更精準的測量連續跳躍時的負荷，同時也能精確測量選手從 57.5 公分的高台落地時的負荷 (Simons & Bradshaw, 2016)。有研究招募 3 名專業體操運動員，

將感測器安裝於單槓上，並進行單槓特卡切夫動作，依據執行特卡切夫的完成能力弱到強分為 1、2 和 3 號體操選手，1 號選手又具有 50% 的成功率，2 號選手已大致掌握動作結構，並可以在練習中將特卡切夫放入整套中，3 號選手則是完全掌握了特卡切夫的技術，並在比賽中實施成功過。研究結果顯示，在特卡切夫沉浪，將身體推遠時，選手 2、3 號身體已經接近彎曲，而 1 號選手則慢了一些，在 1 號選手身體彎曲時，2、3 號選手已開始準備擺腳使動作加速，為後面的飛行做準備，而在擺腳後到脫手時間這段時間，選手 3 所花的時間最短 (0.38 秒)，而選手 2 (0.387 秒) 和選手 1 (0.398 秒) 則慢了一些 (Kalichová, 2019)。從相關研究可發現，低成本和穿戴方便的感測科技裝置未來在競技運動上，應用上可非常多元，勢必會是未來發展的科技方向。尤其對於講究高技術、高體能狀態的競技體操項目，如能有效搭配科學數據的量化，並且即時回饋運動員所需的技術要點或是監控訓練強度或疲勞，勢必能有效提升體操選手的運動表現。

第三節 慣性式阻力訓練效益之探討

在運動科學發展快速的時代，對於專業競技運動員根據專項的不同，有非常多種類的阻力訓練可以選擇用於提升運動表現，而慣性式阻力訓練相較於其他阻力訓練，特別的是無需依靠重力，並且強調離心收縮階段的一項特殊性阻力訓練器材。透過收集國內外的慣性阻力訓練相關研究發現，O'Brien, Browne 與 Earls (2020) 研究表示，將 20 名成年業餘女性籃

球運動員分為慣性阻力訓練組 (n=11) 及離心阻力訓練組 (n=9)，兩組皆進行每週兩次，為期四週，每次訓練至少間隔 48 小時，慣性阻力訓練強度為 $0.075 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ ，訓練量為每組 10 下，做四組，組間休息兩分鐘，而離心阻力訓練組負荷為 65% 1RM，訓練量為每組 8 下，做四組，組間休息兩分鐘，實驗結果顯示，慣性阻力訓練組顯著提升了下肢最大肌力 (1RM)、下蹲跳 (CMJ) 及 10 公尺衝刺，而離心阻力訓練組則顯著提升下肢最大肌力 (1RM) 及坐姿體前彎。慣性阻力訓練和離心阻力訓練皆能刺激肌肉力量，而慣性阻力訓練在爆發力和速度表現的提升能有更好的適應性。Maroto-Izquierdo, García-López 與 de Paz (2020) 的研究目的是探討兩種非傳統的阻力訓練方式，以評估肌肉結構和功能性表現。研究共招募了 18 名職業手球運動員，並將他們分成兩個訓練組分別為慣性阻力訓練組和氣壓阻力訓練組，這兩個組進行了為期六週的訓練，其中慣性阻力訓練組的訓練強度設定為 $0.025 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ ，而研究結果表示兩組在所有肩部的力量、爆發力和投擲速度均顯示出顯著進步，但在肌肉結構上，相較氣動阻力訓練組 (三角肌前束 14% 和中束 7%)，慣性阻力訓練組 (前束 20% 和中束 22%) 的肌肉肥大增加的厚度變化更大。Maroto-Izquierdo 等人 (2017) 研究的目的是分析慣性阻力訓練和傳統阻力訓練分別進行 6 週對職業手球運動員運動表現及肌肉結構變化之影響，實驗招募 29 名職業手球運動員，分為實驗組以及對照組，實驗組的訓練強度為 $0.145 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ ，進行了六週訓練後，研究結果發現慣性阻力訓練顯著提升下肢最大力量、爆發力、衝刺、敏捷表現，

並且顯著提高肌肉肥大，所有結果都顯著高於傳統式阻力訓練的訓練效果，研究驗證慣性阻力訓練可以誘發更快的肌肉型態和適應性，使肌肉能力更適合快速且要具爆發力型的運動項目，亦在建議提到可運用不同的訓練次數或慣量，以將肌肉肥大、爆發力、速度、最大力量更為顯著之影響。

Sabido, Hernández-Davó, Botella, Navarro 與 Tous-Fajardo (2017) 的研究目的是探討 7 週，每週 1 次慣性阻力訓練對於手球運動員的運動表現相關變量之影響，實驗招募 18 位，分別為慣性阻力訓練組及對照組，訓練組的強度為 $0.05 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$ ，而研究結果發現訓練組在爆發力、速度、最大力量表現上都有顯著進步，並在專項表現上的左右腳三級跳也有顯著進步，以及半蹲和弓步動作的離心階段和向心階段之功率輸出均有明顯的進步。

Stojanović 等人 (2021) 研究指出將 36 名男子青少年籃球運動員分為慣性阻力訓練組 ($n=12$)、傳統阻力訓練組 ($n=12$) 及控制組 ($n=12$)，三組皆進行每週 1 至 2 次的訓練，為期八週，慣性阻力訓練組及傳統阻力訓練組每次訓練至少間隔 48 小時，傳統阻力訓練負荷為 $85\% 1\text{RM}$ ，慣性阻力訓練強度為 $0.075 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$ ，實驗結果顯示，慣性阻力訓練組於下肢等長肌力顯著高於控制組 ($18.7\% \text{ vs. } 2.9\%$)，與傳統阻力訓練組相比則無 (16.6%)；下蹲跳顯著高於傳統阻力訓練組及控制組 ($11.7\% \text{ vs. } 6.8\% \text{ vs. } 0.3\%$)，傳統阻力訓練組也顯著高於控制組；5 公尺衝刺顯著高於傳統阻力訓練組及控制組 ($10.3\% \text{ vs. } 5.9\%$)；T 字測驗顯著高於傳統阻力訓練組及控制組 ($2.4\% \text{ vs. } 1.4\% \text{ vs. } 0.6\%$)，傳統阻力訓練組也顯著高於控制組；而 20 公尺衝刺於


兩組皆無達顯著差異。因此，可建議教練採用慣性阻力訓練來培養男子籃球運動員的運動表現。Núñez 等人 (2018) 學者研究表示讓 27 名團隊運動的男青少年進行每週兩次，為期六週的慣性阻力訓練，每次訓練至少間隔 48 小時，並分為單腳弓箭步組 (n=14) 及雙腳下蹲組 (n=13)，雙腳下蹲組訓練強度為 $0.10 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$ 、單腳弓箭步組訓練強度為 $0.05 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$ ，訓練量為每組 7 下，做四組，組間休息三分鐘，實驗結果顯示，兩組皆顯著提升下蹲跳及下肢最大力量之表現。因此，可建議團隊運動項目的男性青少年選手透過慣性阻力訓練來提升下肢爆發力。Fiorilli 等人 (2020) 研究表示，將 34 名青少年足球運動員分為慣性阻力訓練組 (n=18) 及增強式阻力訓練組 (n=16)，兩組除了足球訓練外，慣性阻力訓練組額外增加每週 2 次、每次 4 組、每組 7 下的慣性阻力訓練、組間休息 120-180 秒、每次訓練至少間隔 48 小時，而增強式阻力訓練組額外增加每週 2 次、每次 3-4 組，每組 7-10 下的增強式阻力訓練、每次訓練至少間隔 72 小時，為期六週的及增強式阻力訓練，訓練結果顯示，兩組皆顯著提升跳躍高度，而慣性阻力訓練組的進步幅度較佳。因此，可建議青少年足球運動員可透過慣性阻力訓練，提升下肢爆發力。Madruga-Parera 等人 (2020) 研究目的為目的是比較 8 週的慣性阻力訓練和繩索阻力訓練對運動技術表現和四肢不對稱狀況的影響，實驗招募了 34 名男性手球運動員，並分為慣性阻力組及繩索阻力組，前者使用慣性阻力訓練機，後者使用繩索阻力裝置。測驗項目包括單腳反向跳躍 (UCMJ)、單腳側面跳躍 (ULJ)、單腳跳遠 (UBJ)、手球投









擲 (HT)、180 度方位轉向 (COD180)、直線衝刺 (S20)、V-CUT 測試和反覆方位轉向 (RCOD)，實驗時優勢肢及非優勢肢皆須測試。在經過 8 週，每週 3 次 (一次 8~12 下，3 組，RPE6-9) 後，兩組實驗結果顯示，在優勢腿反覆方位轉向 (慣性阻力組 21.35s vs. 繩索阻力組 20.22s)、手球投擲 (慣性阻力組 0.88 km·h⁻¹ vs. 繩索阻力組 0.00 km·h⁻¹)、擁有四肢不對稱狀況的單腳反向跳躍 (慣性阻力組 20.70% vs. 繩索阻力組 20.32%) 的測驗中，慣性阻力組的訓練成果都大於繩索阻力組，並且慣性阻力在非優勢腿單腳側面跳躍、V-CUT 測試中有顯著的提升，由此可知慣性阻力裝置比一般阻力訓練更能提升運動表現。Maroto-Izquierdo 等人 (2020) 的研究目的是探討使用兩種非受重力影響的訓練方法，以評估肌肉型態與功能表現。研究招募了 18 名職業手球運動員，分為慣性式阻力訓練組和氣壓阻力訓練組，進行為期六週的訓練，其中，慣性式阻力訓練組的訓練強度為 0.025 kg·m²，研究結果顯示，在所有角速度下，兩組的投擲速度、內外旋轉峰值扭矩、平均功率和峰值功率均呈現顯著增加，相對於氣壓阻力訓練組 (分別增加了 14% 和 7%)，慣性式阻力訓練組的前三角肌和中三角肌厚度變化更為明顯 (分別增加了 20% 和 22%)。慣性式阻力訓練除了能更能刺激神經肌肉的激活以外，還能有效產生離心收縮的負荷高於向心收縮，即是所謂的離心過負荷 (eccentric overload; EO) 現象，因此帶有 EO 現象的慣性式阻力訓練能有效發展肌肉質量、誘導肌肉肥大、增進肌肉力量以及促進運動表現的增加 (Maroto-Izquierdo et al., 2017)。Suarez-Arrones 等人 (2018) 招募

14 名男性職業足球運動員，球員每週參加 5-6 次足球專項訓練，透過漸進式慣性阻力訓練計劃強化足球專項訓練，分為三個階段，熟悉階段 (3 週)、進階階段 1 (5 週、每週訓練 1 次)、進階階段 2 (19 週、每週訓練 2 次)，分別使用慣量 ($0.05 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$ 和 $0.10 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$) 進行不同動作訓練，但強度固定，研究發現身體組成、爆發力、衝刺表現顯著提升。根據先前的文獻發現，除了慣性式阻力訓練，近年來也逐漸開始在專項運動訓練中進行相關驗證性研究探討，也還未發現有相關驗證性研究是針對體操選手藉由不同訓練強度的慣性式阻力訓練介入於運動表現或肌肉神經與肌肉型態之文章可提供參考，因此，將探討帶有 EO 現象的慣性式阻力訓練是否能提升體操選手下肢的空翻和落地運動表現之影響。綜上文獻整理，目前已可知相較於其它體能訓練方式，慣性阻力訓練對於運動員下肢之運動表現有較佳的訓練效果，但從近期研究也發現慣性阻力訓練探討在鍛鍊核心肌群和上肢肌群，還未有學者做相關驗證性研究，因此，本研究希望能透過慣性阻力訓練運用在核心肌群訓練和上肢肌群上，來探討對於體操選手運動表現之影響，總研究統整之效益如表 3 所示。

表 3

慣性阻力訓練對運動表現影響之研究整理 (續下頁)

研究文獻	訓練強度	訓練頻率	組數	反覆次數	組間休息	效果
O Brien et al. (2020)	$0.075 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$	4 週/2 次	4	10	2 分	

Maroto-Izquierdo, García-López, & De Paz (2017)	0.145 kg·m ²	6 週/2-3 次	4	7	3 分	
Maroto-Izquierdo et al. (2020)	0.025 kg·m ²	6 週/2 次	4	7	2 分	
Sabido et al. (2017)	0.05 kg·m ²	7 週/1 次	4	8	2 分	
Stojanović et al. (2021)	0.075 kg·m ²	8 週/1-2 次	2-3	8	2 分	
Núñez et al. (2018)	0.05-0.10 kg·m ²	6 週/2 次	4	7	3 分	
Fiorilli et al. (2020)	-	6 週/2 次	4	7	2-3 分	
Madruga-Parera et al. (2020)	-	8 週/3 次	3	8-12	-	
Suarez-Arrones et al. (2018)	0.05-0.10 kg·m ²	27 週/1-2 次	1-2	10	1 分	

註：研究者自行整理

第四節 文獻總結

- 一、國內競技體操選手成績日益提升，研究指出地板項目為臺灣選手重點奪牌項目，而向後系列為國內外選手選擇實施比例最高的類群，其中後空翻轉體 720° 為使用最頻繁之動作，且該動作為日後需發展至更高難度後空翻轉體動作之基礎。

二、穿戴式科技近年來發展迅速，穿戴裝置的量化自我、傳輸功能以及微小型等功能性提升，愈來愈多應用於專業運動員身上，而過往研究大多於實驗室環境內執行、但競技體操器材與環境之特殊性，實驗室內所收集之數據會與實際實務訓練環境上有所落差，而穿戴式裝置可解決場地限制之問題，能在實務訓練上即時且量化的回饋教練與運動員作提升運動表現之參考數據。

三、透過整理相關研究得知，慣性式阻力訓練的原理是，當達到最大向心功率時，會藉由拉動輪軸產生高於向心階段的轉動慣量，使得離心功率階段能夠承受更大的負荷，以達到離心過負荷 (eccentric overload) 之現象，已證實離心過負荷現象之慣性式阻力訓練有助於運動表現的提升，且能顯著提升爆發力。而目前相關驗證性研究中僅運用在其他運動項目，還未用於競技體操選手族群上，且目前還未有設計在核心肌群鍛鍊之驗證性文獻，並且通常僅固定一種訓練強度來設計課表，未利用漸進性訓練原則。因此，想藉由本研究採漸進訓練原則，將訓練強度由低至高 ($0.010-0.025 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$) 並用於鍛鍊核心肌群上。

第參章 研究方法

第一節 研究對象

本研究受試對象為 10 名競技體操選手，研究對象條件如下：

一、收納條件

- (一) 十八歲以上身體健康成年者。
- (二) 接受八年以上競技體操訓練經驗者。
- (三) 能熟練實施內轉後空翻轉體 720°動作者。
- (四) 曾參與過全國性各大賽事者。

二、排除條件

- (一) 有運動傷害且影響動作實施者。
- (二) 有酗酒及抽煙者。
- (三) 半年內有下肢骨骼肌肉疾病、中樞或周邊神經病變問題者。
- (四) 有服用提升運動表現之禁藥者。

第二節 研究日期與地點

一、研究日期

中華民國 112 年 02 月至 112 年 04 月期間進行。

二、研究地點

國立臺灣師範大學和平校區體操館進行。

第三節 研究器材

一、慣性阻力訓練機 (kBox4, Exxentric, Sweden)，如圖 1 所示

- (一) 器材尺寸 98cm * 63cm * 23 cm，重量 14.8kg。
- (二) 飛輪槓片共分四種：S 號 0.010 kgm²，M 號 0.025 kgm²，L 號 0.050 kgm²，XL 號 0.070 kgm²。
- (三) 可隨時連線手機 APP 程式，做訓練即時監控和回饋。

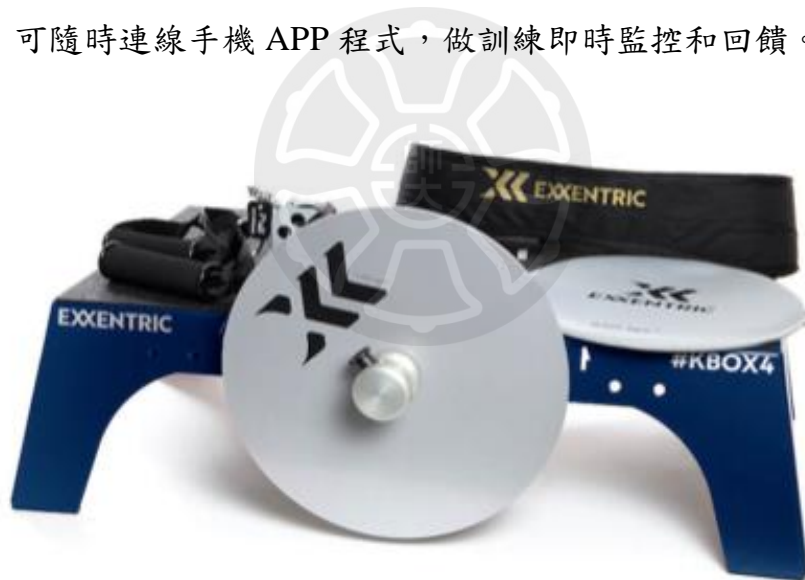


圖 1 慣性阻力訓練機

二、感測器 (Xsens DOT 無線動作感測器)，如圖 2

- (一) 器材尺寸：長 3.6 公分；寬 3 分；高 1 公分。
- (二) 加速度計設定為 16g；陀螺儀設定為 2000 °/s。
- (三) 擷取頻率定為 1000Hz。

(四) 可連線手機 APP 程式進行同步操控。



圖 2 感測器

第四節 研究流程

一、研究流程描述

- (一) 開始實驗前，會進行說明會，發給每位受試者一份受試者知情同意書，並說明有關研究目的、流程及回答相關問題，當受試者理解研究性質及內容與願意配合參與本研究，會請受試者在同意書上填寫基本資料與簽名，研究期間受試者皆可隨時選擇退出研究。
- (二) 實驗當天，先於臺師大和平校區體操館進行前測，研究器材架設完成後，會進行 20 分鐘的關節熱身，每位受試者開始進行前測，項目為後空翻轉體 720°、核心能力、下肢能力測驗，每項測驗會進行動作講解，讓受試者了解動作內容和練習，再開始測驗；測驗結束後皆休息十分鐘後，才能進行下一項測驗。
- (三) 前測結束後，經隔日休息後，受試者會分成慣性阻力訓練+專項訓練組與專項訓練組，兩組各 5 人，皆會進行平常的體操專項訓練，

但慣性阻力訓練+專項訓練組會額外進行 6 週的漸進式核心慣性阻力訓練，訓練課表如表 4 所示，則專項訓練組在實驗過程中不參與任何相關阻力訓練。

(四) 訓練課表完成後，經 48 小時休息後，會進行後測流程與資料收集處理，上述測驗皆會取最佳數值來進行後續的統計分析處理。

表 4

漸進式核心慣性阻力訓練課表

週期	訓練強度	訓練頻率 (週/次)	組數 (組)	反覆次數 (次)	組間休息 (分)
1~3 週	0.010 kg-m ²	週/2 次	4 組	7 次	2 分
4~6 週	0.025 kg-m ²	週/2 次	4 組	7 次	2 分

註：研究者自行設計

二、研究流程圖

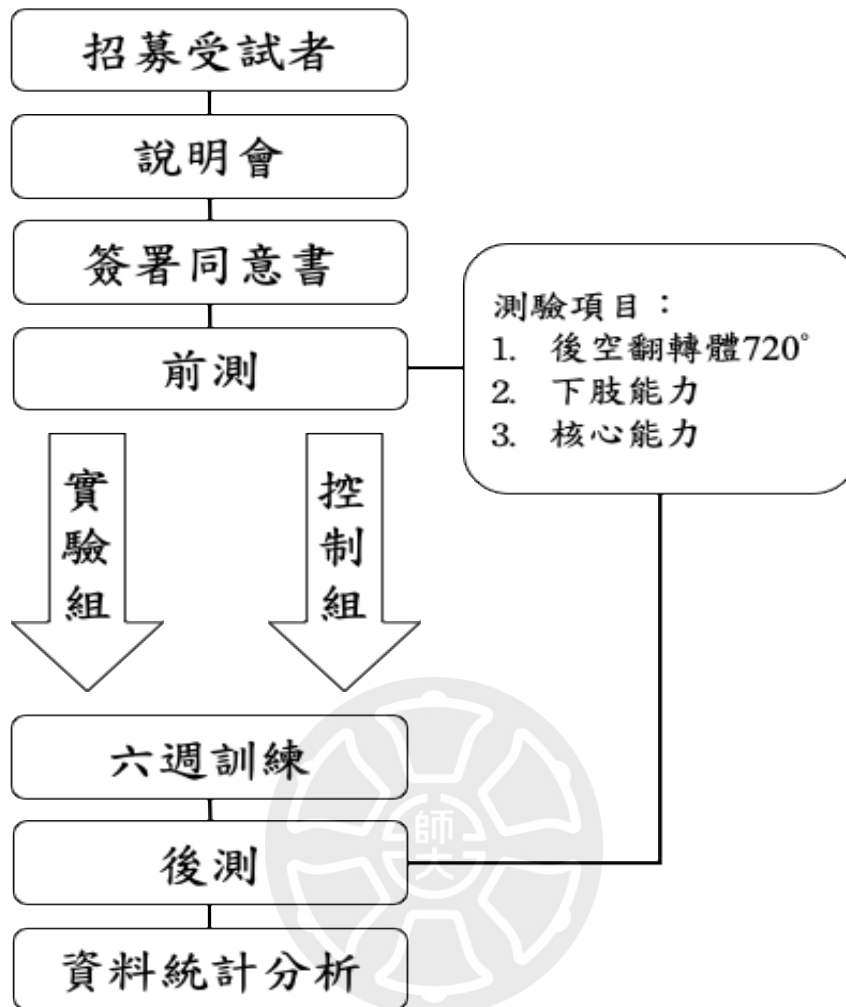


圖 3 研究流程圖

三、訓練介紹

- (一) 受試者坐於佈置完成之墊子上，預備姿勢身體與地板呈 45° ，需一位輔助人員固定腿部位置 (圖 4)，慣性式阻力訓練機擺放位置於受試者慣用轉體方向的另一側，把手位置於靠近慣性式阻力訓練機為開始位置，運用核心肌群能力轉動配合手部，向心與離心轉動方向 (圖 5)，反覆執行 7 次，組間休息 2 分鐘。

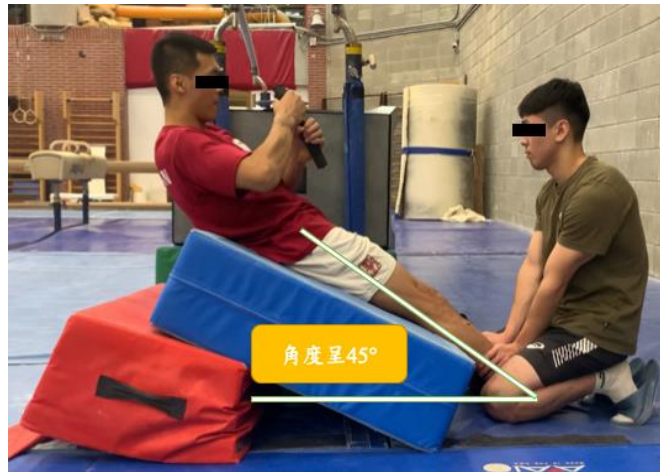


圖 4 坐姿訓練動作示意圖 (側面)

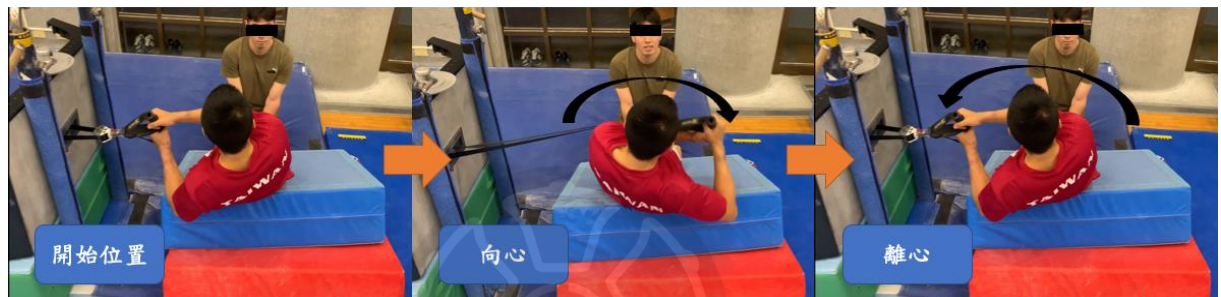


圖 5 訓練動作示意圖 (正面)

- (二) 受試者俯臥於佈置完成之墊子上，預備姿勢身體與地板呈 45° ，需一位輔助人員固定腿部位置 (圖 6)，慣性式阻力訓練機擺放位置於受試者慣用轉體方向的另一側，把手位置於靠近慣性式阻力訓練機為開始位置，運用核心肌群能力轉動配合手部，向心與離心轉動方向 (圖 7)，反覆執行 7 次，組間休息 2 分鐘。



圖 6 俯臥訓練動作示意圖 (側面)

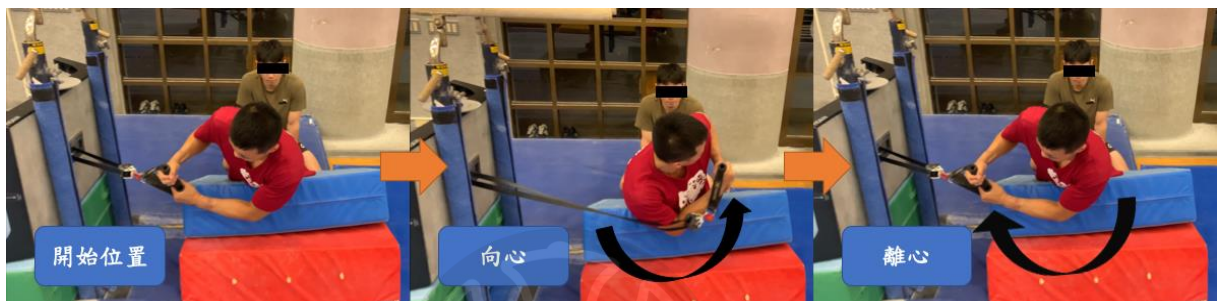


圖 7 訓練動作示意圖 (背面)

四、測驗項目介紹

(一) 後空翻轉體 720°測驗

測驗前，受試者將感測器分別置於上背、下背、脛骨前側位置 (圖 8)，開始實施動作前，將感測器開啟收集資料，需原地跳一下來讓資料達到同步效果。即開始測驗動作，動作流程如圖 9 所示，落地時，依照體操規則，受試者於落地時未移動，即為標準落地，若落地時出現雙腳走步、手觸地、動作未達轉體角度的標準，則算失敗，需成功 3 次，會紀錄成功與失敗次數。

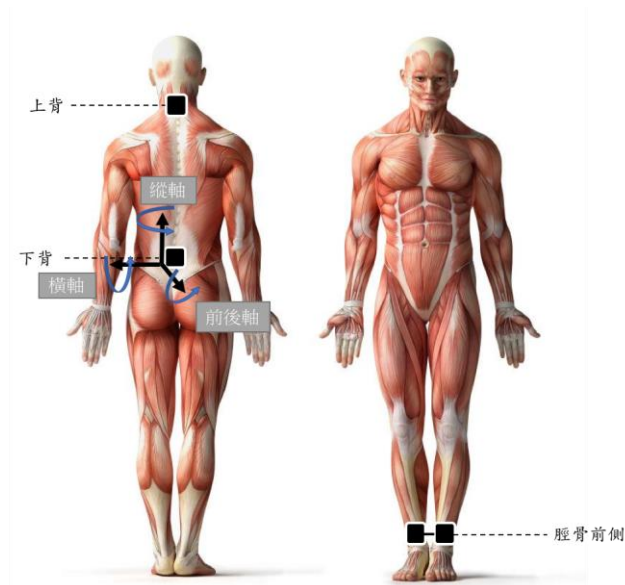


圖 8 感測器放置部位圖

資料來源：Konrad, P. (2005). *The abc of emg. A practical introduction to kinesiological electromyography, 1* (2005), 30-5.



圖 9 後空翻轉體 720°分段示意圖

(二) 下肢能力測驗

解說測驗的正確姿勢和流程時，我們會要求受試者穿上訓練背心，然後站在慣性阻力訓練機上。受試者需要保持雙腳與肩同寬，腳

趾朝向前方。膝蓋應微微彎曲，大約 15 度角度。實驗人員會根據受試者的需要，調整訓練繩子的長度，在準備階段，膝蓋不應完全伸直，以避免在訓練過程中受傷。調整完成後，受試者需要在預備姿勢下，膝蓋彎曲角度達到 90 度 (圖 10)，在整個訓練過程中，受試者的雙手應呈彎曲狀態，保持在身體軀幹前方 (圖 11)。在正式開始前，會有一次準備階段。準備階段結束後，正式進行 7 次的訓練。訓練的動作包括：向心上拉臀部肌群出力，使膝蓋伸展到 15 度角，然後離心下蹲，使大腿前側和股四頭肌群出力，將膝蓋屈曲到 90 度角。在整個訓練過程中，受試者的膝蓋彎曲角度需要保持在 90 度，這是正確的動作形式。如果動作未達到標準，則該次訓練不予計算。接著正式進行 7 次，並且使用 Exxentric 應用程式來收取資料 (圖 12)。

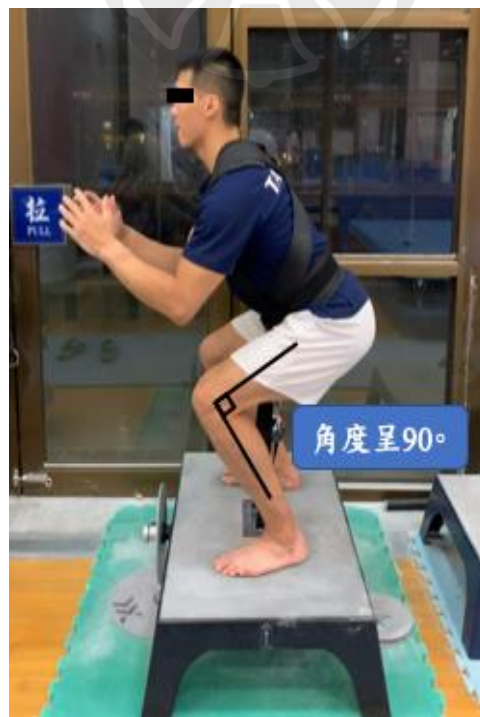


圖 10 下肢測驗動作標準姿勢



圖 11 下肢測驗動作流程圖

(三) 核心能力測驗

受試者先於坐姿預備，雙手握法將依照受試者轉體慣用邊做調整，例如：轉體慣用邊為左邊時，握法呈右手上、左手下姿勢，相對的慣用邊為右邊，握法則相反，桿子握置於胸口前下巴處，由輔助人員固定受試者雙腳，受試者軀幹傾斜至 45° ，聽到開始口令後將依照兩種訓練動作流程（圖 5、圖 7），全力實施 7 下，並且使用 APP 應用程式來收取資料（圖 12）。



圖 12 Exxentric 應用程式

第五節 資料收集與處理

一、資料收集

- (一) 後空翻轉體 720°測驗：軀幹加速度、轉體最大角速度
- (二) 下肢能力測驗：平均功率、向心功率峰值、離心功率峰值、平均力量
- (三) 核心能力測驗：平均功率、向心功率峰值、離心功率峰值、平均力量

二、資料處理

(一) 後空翻轉體 720°測驗

藉由HD Workbench軟體匯出感測器參數，並運用AcqKnowledge 4.1 軟體將加速度和角速度原始訊號作分析運算，原始資料利用低通濾波處理 (low pass filter 10Hz)，再透過右腳前後軸的加速度時間軸來判斷動作時間點和分期，時間點分為開始、觸地、落地，開始到觸地為側翻內轉期，觸地到落地為空中轉體期 (圖 13)；從觸地點之後，擷取上背和下背前後軸的加速度峰值定義為軀幹加速度，以及空中轉體期之上背、下背、左腳、右腳縱軸的角速度峰值定義為轉體最大角速度。

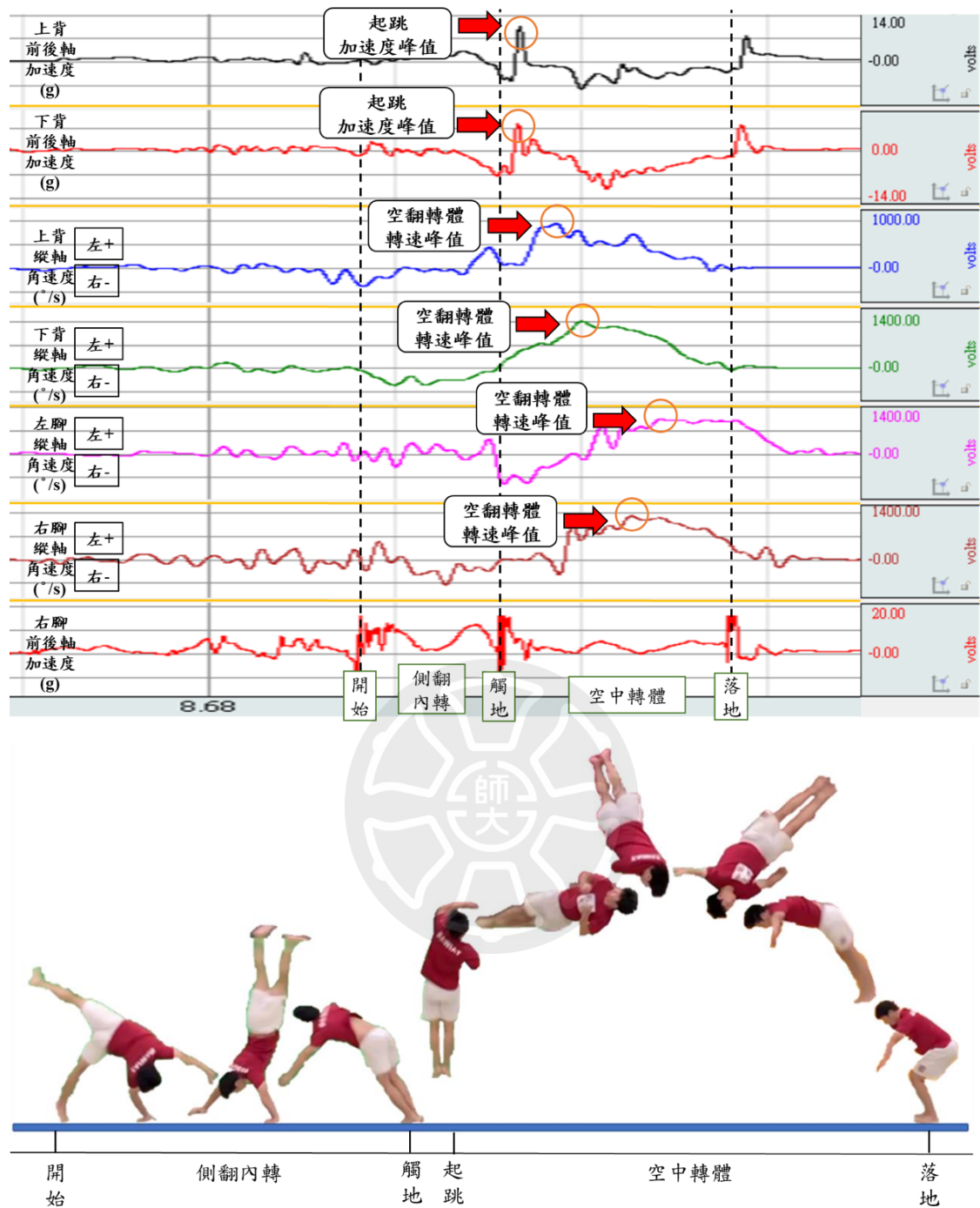


圖 13 感測器參數與動作對照示意圖

(二) 下肢能力測驗

受試者會透過慣性阻力訓練機來進行測驗，藉由手機 app 應用程式 (圖 12) 來收取該組測驗的數據，分別會收取下肢能力的平均

功率、向心功率峰值、離心功率峰值以及平均力量 (圖 14)，作為收集資料的項目。

(三) 核心能力測驗

受試者會透過慣性阻力訓練機來進行測驗，藉由手機 app 應用程式 (圖 12) 來收取該組測驗的數據，分別會收取核心能力的平均功率、向心功率峰值、離心功率峰值以及平均力量 (圖 14)，作為收集資料的項目。

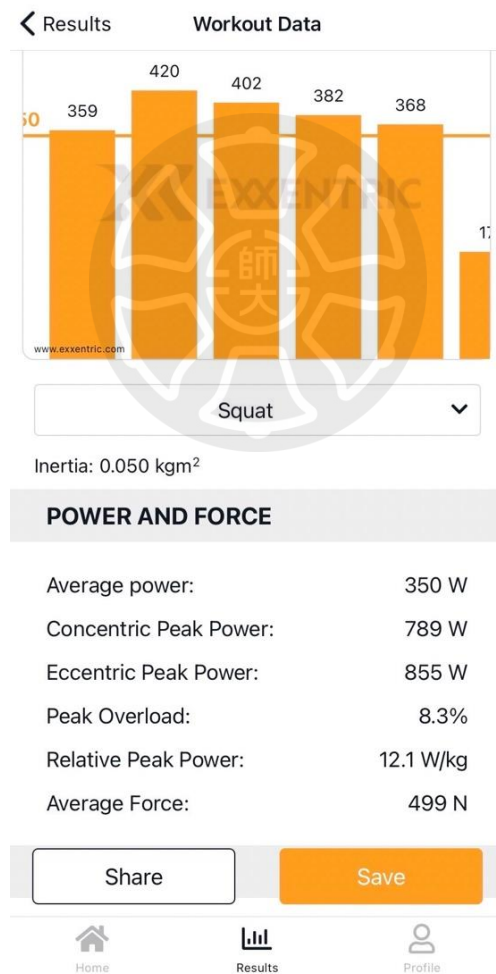
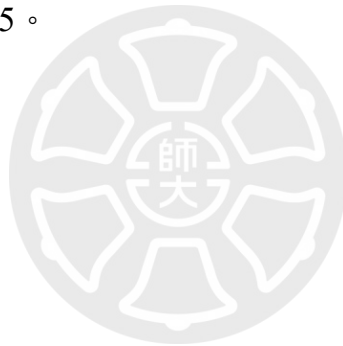


圖 14 Exxentric 應用程式介面

第六節 統計分析

- 一、以 SPSS 23.0 版統計軟體進行混合設計二因子變異數分析考驗受試者各依變項之差異。交互作用達顯著時，會使用獨立因子之單純主要效果檢定進行組間的比較，以及分割檔案後用相依因子之單純主要效果檢定，分別進行組內比較；如交互作用不顯著，則個別進行單因子變異數分析。
- 二、所有分析過後之數據將以描述性統計（平均數 ± 標準差）來呈現。
- 三、顯著水準採用 $\alpha = .05$ 。



第肆章 結果與討論

本章將對競技體操選手經六週漸進式慣性阻力訓練後，實驗組 (n=5) 與控制組 (n=5) 後空翻轉體720°運動表現、核心及下肢能力的影響進行結果統計分析與討論，共分為四個小節：第一節、空翻轉體720°運動表現分析與討論 (軀幹加速度、轉體最大角速度)；第二節、核心能力分析與討論 (平均功率、向心功率峰值、離心功率峰值、平均力量)；第三節、下肢能力分析與討論 (平均功率、向心功率峰值、離心功率峰值、平均力量)；第四節、綜合討論。分析與討論後進行相互關連性討論。本研究為第一篇慣性阻力訓練用於核心肌群訓練之研究。本研究前後測未達顯著差異時，誤差值設定為 $\pm 1\%$ ，判定進步、維持及退步。

第一節 空翻轉體 720°運動表現分析與討論

一、後空翻轉體 720°運動表現分析受試者的軀幹加速度、轉體最大角速度並進行統計分析描述。

表 5

後空翻轉體 720°軀幹加速度峰值

		前測	後測
實驗組	上背	14.591 \pm 3.631	18.162 \pm 2.436*
	下背	14.885 \pm 2.565	15.992 \pm 1.758
控制組	上背	18.301 \pm 2.354	18.275 \pm 2.272
	下背	16.609 \pm 1.539	16.189 \pm 0.994

註：單位：m/s²，* $p < .05$

後空翻轉體 720°運動表現之軀幹加速度於上背之數據進行混和設計二因子變異數分析，顯示交互作用達顯著差異 ($p = .005 < .05$)。爾後，進行單純因子主要效果比較，發現實驗組達顯著差異 ($p = .030 < .05$)，而控制組則未達顯著差異 ($p = .085 > .05$)。

後空翻轉體 720°運動表現之軀幹加速度於下背之數據進行混和設計二因子變異數分析，顯示交互作用達顯著差異 ($p = .030 < .05$)。爾後，進行單純因子主要效果比較，發現實驗組與控制組皆未達顯著差異 (實驗組： $p = .092 > .05$ ，控制組： $p = .268 > .05$)。

表 6

後空翻轉體 720°轉體最大角速度峰值

		前測	後測
實驗組	上背	1476.770 ± 345.562	1504.272 ± 313.380
	下背	1378.835 ± 317.604	1434.928 ± 330.375
	右腳	1379.921 ± 380.860	1279.248 ± 372.596
	左腳	1296.935 ± 347.722	1197.059 ± 387.047
控制組	上背	1483.107 ± 276.273	1472.810 ± 230.753
	下背	1451.659 ± 232.243	1409.128 ± 258.568
	右腳	1308.347 ± 462.911	1142.268 ± 408.904
	左腳	1045.439 ± 237.893	965.687 ± 134.895

註：單位：rad/s，* $p < .05$

後空翻轉體 720°測驗轉體最大角速度於上背之數據進行混和設計二因子變異數分析，顯示交互作用未達顯著差異 ($p = .681 > .05$)。爾後，

進行主要效果單因子變異數分析，發現組內與組間皆未達顯著差異（組內： $p = .851 > .05$ ，組間： $p = .943 > .05$ ）。

後空翻轉體 720°測驗轉體最大角速度於下背之數據進行混和設計二因子變異數分析，顯示交互作用未達顯著差異 ($p = .185 > .05$)。爾後，進行主要效果單因子變異數分析，發現組內與組間皆未達顯著差異（組內： $p = .848 > .05$ ，組間： $p = .892 > .05$ ）。

後空翻轉體 720°測驗轉體最大角速度於右腳之數據進行混和設計二因子變異數分析，顯示交互作用未達顯著差異 ($p = .721 > .05$)。爾後，進行主要效果單因子變異數分析，發現組內與組間皆未達顯著差異（組內： $p = .241 > .05$ ，組間： $p = .672 > .05$ ）。

後空翻轉體 720°測驗轉體最大角速度於左腳之數據進行混和設計二因子變異數分析，顯示交互作用未達顯著差異 ($p = .900 > .05$)。爾後，進行主要效果單因子變異數分析，發現組內與組間皆未達顯著差異（組內： $p = .279 > .05$ ，組間： $p = .150 > .05$ ）。

二、後空翻轉體 720°運動表現討論

表 7

後空翻轉體 720°運動表現結果簡述表

	上背加速度	下背加速度	上背轉體	下背轉體	右腳轉體	左腳轉體
實驗組	*	+	+	+	-	-
控制組	-	-	-	-	-	-

註：* = 顯著；+ = 進步；0 = 維持；- = 退步

本研究實驗組經訓練後的上背加速度顯著提升，下背加速度則有進步的趨勢，於轉體最大角速度運動表現經訓練後發現，實驗組的上背與下背最大轉體速度呈現進步的趨勢，右腳與左腳的最大轉體速度有些微退步的跡象，而控制組在軀幹加速度與轉體最大角速度之運動表現皆呈現退步。

Manchado 等人 (2017) 研究 30 名男性手球運動員十週的專項訓練結合漸進式核心訓練計畫，以不同型態投擲速度作為運動表現參考，結果發現實驗組的所有投擲速度皆達顯著差異，而單純進行專項訓練的控制組前後測並無明顯差異，有些顯示些微退步的趨勢，此研究表明專項運動結合漸進式核心訓練的課表對於手球運動員之運動表現有顯著提升的效果，也討論到研究的結果和上述結果證實了手球和其他類似運動的力量訓練，以及加強和提高核心肌肉穩定性的特定練習，因為有證據表明這與影響比賽表現的因素的改善有關；Patil 等人 (2014) 的研究對年輕競技游泳運動員進行六週的專項訓練結合漸進的核心訓練課表，運動表現測試項目包括 5 米自由泳衝刺時間、劃水率、劃水長度、游泳速度和劃水指數，控制組只進行專項訓練，發現在實驗組六週的訓練後在 50 米自由泳衝刺時間、游泳速度和劃水指數上的表現顯著提升，也顯著優於控制組，然而，而在游泳速度的劃水率和劃水長度皆未達顯著差異，可以發現部分數值有明顯改善的效果，亦有部分未達顯著差異，研究也表明，游泳特定運動可以改善游泳時間的表現，並通過核心肌肉力量測試評估核心力量的提高；Şahiner 與 Koca (2021) 研究探討到 8 週的專項訓練結合漸進式核心訓練對於 16-

18 歲籃球運動員的運動表現之影響，主要分析運動員的罰球及垂直跳躍表現，結果發現罰球的部分未達顯著差異，而垂直跳躍表現達到顯著提升，由於此研究之罰球測驗，除了精准度須提升外作者也談論到心理因素，因此不在探討範圍內，研究認為籃球運用漸進的核心訓練能對運動員的垂直跳躍技能有效提升，並且將核心訓練納入籃球訓練計劃可能是有益的。

而本研究於研究設計與以上幾篇研究相似，在結果看來實驗組在上背與下背的軀幹加速度與轉體最大角速度都是有進步效果的，在左、右腳的轉體最大角速度未提升的原因，可能在於訓練動作的差異，而上述幾篇文獻大多採用與專項運動無相關之核心訓練課表，但是在動作設計上種類更多，包括核心帶動上肢與下肢甚是有同步活動的訓練動作設計，使核心肌群的訓練更加多元化。

由於本研究訓練動作為單一設計，且下肢為固定的狀態，主要核心肌群帶動上、下背的活動較高，因此推測在漸進式核心慣性阻力訓練訓練的介入下，對於後空翻轉體 720° 的軀幹加速度有顯著的效果，上、下背轉體最大角速度也有提升的效果，證實慣性阻力訓練亦能作為對於競技體操選手的核心訓練手段，而在訓練動作的部分建議可帶入下肢與核心同步訓練模式，增加訓練動作的多元化，觀察是否能在下肢的轉體最大角速度獲得更好的效果。

第二節 核心能力分析與討論

一、核心能力分析受試者的平均功率、向心功率峰值、離心功率峰值、平均力量並進行統計結果描述。

表 8

核心能力平均功率

		前測	後測
實驗組	腹肌	42.400 ± 14.976	55.500 ± 20.468*
	背肌	43.700 ± 9.581	61.300 ± 16.573*
控制組	腹肌	53.818 ± 43.067	46.727 ± 26.885
	背肌	56.636 ± 40.332	71.455 ± 45.203

註：單位：W，* $p < .05$

核心能力腹肌平均功率之數據進行混和設計二因子變異數分析，顯示交互作用達顯著差異 ($p = .038 < .05$)。爾後，進行單純因子主要效果比較，發現實驗組達顯著差異 ($p = .031 < .05$)，而控制組則未達顯著差異 ($p = .351 > .05$)。

核心能力背肌平均功率之數據進行混和設計二因子變異數分析，顯示交互作用未達顯著差異 ($p = .811 > .05$)。爾後，進行主要效果單因子變異數分析，發現組內達顯著差異 ($p = .011 < .05$)，而組間則未達顯著差異 ($p = .384 > .05$)。

表 9

核心能力向心功率峰值

		前測	後測
實驗組	腹肌	88.000 ± 33.240	105.400 ± 47.414*
	背肌	100.800 ± 22.837	121.100 ± 39.433
控制組	腹肌	123.909 ± 82.881	101.636 ± 55.594
	背肌	140.364 ± 95.572	154.818 ± 93.980

註：單位：W，* $p < .05$

核心能力腹肌向心功率峰值之數據進行混和設計二因子變異數分析，顯示交互作用達顯著差異 ($p = .023 < .05$)。爾後，進行單純因子主要效果比較發現實驗組達顯著差異 ($p = .038 < .05$)，而控制組則未達顯著差異 ($p = .137 > .05$)。

核心能力背肌向心功率峰值之數據進行混和設計二因子變異數分析，顯示交互作用未達顯著差異 ($p = .804 > .05$)。爾後，進行主要效果單因子變異數分析，發現組內與組間皆未達顯著差異 (實驗組： $p = .151 > .05$ ，控制組： $p = .227 > .05$)。

表 10

核心能力離心功率峰值

		前測	後測
實驗組	腹肌	95.400 ± 44.712	112.400 ± 49.061
	背肌	105.300 ± 44.769	135.900 ± 39.145*
控制組	腹肌	129.545 ± 102.007	106.091 ± 61.981
	背肌	140.091 ± 92.631	161.455 ± 91.603

註：單位：W，* $p < .05$

核心能力腹肌離心功率峰值之數據進行混和設計二因子變異數分析顯示交互作用未達顯著差異 ($p = .062 > .05$)。爾後，進行主要效果單因子變異數分析，發現組內與組間皆未達顯著差異 (組內： $p = .755 > .05$ ，組間： $p = .631 > .05$)。

核心能力背肌離心功率峰值之數據進行混和設計二因子變異數分析，顯示交互作用未達顯著差異 ($p = .680 > .05$)。爾後，進行單純因子主要效果比較發現組內達顯著差異 ($p = .029 < .05$)，而組間則未達顯著差異 ($p = .325 > .05$)。

表 11

核心能力平均力量

		前測	後測
實驗組	腹肌	50.900 ± 11.210	57.200 ± 14.266
	背肌	49.500 ± 5.798	60.200 ± 14.786*
控制組	腹肌	53.455 ± 29.760	50.456 ± 21.045
	背肌	53.909 ± 25.292	62.455 ± 25.801

註：單位：N，* $p < .05$

核心能力腹肌平均力量之數據進行混和設計二因子變異數分析，顯示交互作用未達顯著差異 ($p = .118 > .05$)。爾後，進行主要效果單因子變異數分析，發現組內與組間皆未達顯著差異 (組內： $p = .568 > .05$ ，組間： $p = .810 > .05$)。

核心能力背肌平均力量之數據進行混和設計二因子變異數分析，顯示交互作用未達顯著差異 ($p = .742 > .05$)。爾後，進行單純因子主要效果比

較，發現組內達顯著差異 ($p = .008 < .05$)，而組間則未達顯著差異 ($p = .688 > .05$)。

二、核心能力討論

表 12

核心能力結果簡述表

	平均功率	向心	離心	平均力量
腹肌				
實驗組	*	*	+	+
控制組	-	-	-	-
背肌				
實驗組	*	+	*	*
控制組	+	+	+	+

註：* = 顯著；+ = 進步；0 = 維持；- = 退步

本研究於核心能力之數據發現，實驗組腹肌的平均功率峰值與向心功率峰值顯著提升，背肌的平均功率峰值、離心功率峰值與平均力量顯著提升，而腹肌的離心功率峰值與平均力量以及背肌的向心功率峰值皆呈現進步的趨勢；而控制組在腹肌能力皆有退步的跡象，背肌皆呈現進步的趨勢。

Bollinger 等人 (2020) 的慣性阻力訓練之信效度研究中，12 名接受過阻力訓練之受試者進行彎腰划船、羅馬尼亞硬舉、二頭肌彎舉的 Excentric kbox 4 Pro 慣性阻力訓練，使用強度分別為 0.050、0.075 和 0.100 kg·m² 的轉動慣量，每組 5 次，組間休息三分鐘，收取平均功率、向心和離心功率峰值、平均力量、平均速度和總功率等數據，作者討論到平均功率、平均速度和總功率這三個數據都是非常好的參考依據；就向心功率而言，慣性

阻力訓練提供了測量更多功能性動作的有效方法，而離心功率先前已有文獻表示與運動表現有關，但等速肌力訓練儀僅能測驗單關節的離心肌肉力量，慣性阻力訓練機提供了一種可靠的方法來測量不受關節限制的離心功率，平均力量的部分也提到，獲得的數據可能會低估真實的力量產生和肌肉力量。

功率亦為爆發力同義詞，爆發力 (Power) 是一種快速產生的肌肉收縮力量，肌肉力量輸出表現 (Force) 與肌肉收縮速度 (Velocity) 的乘積，也就是說能夠在短時間內，有達到高力量輸出的能力，是決定功率大小的重要因素。由於核心肌群屬於扁平肌 (flat muscles) 的穩定肌群，相對較難完成肌肥大的訓練目標，主要還是以刺激神經肌肉系統為主要訓練目的，也能應證在核心肌群肥大程度有限，力量提升有限的情況下，以速度的提升，提高功率峰值為主要目的 (Chan et al. 2017)。Maroto-Izquierdo 等人 (2020) 也提到使用較低慣性負荷的慣性阻力運動會產生高速運動，這被認為有利於快速和爆發性的肌肉相關適應，而使用較高慣性負荷的運動會產生較低的速度，並被建議有利於更大的力量產生和最大力量適應；Sabido, Pombero 與 Hernández-Davó (2019) 研究 15 名橄欖球運動員分為低轉動慣量 $0.025 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$ 和高轉動慣量 $0.075 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$ 強度進行訓練，進行七週，每週進行兩次訓練，測驗項目為下蹲最大重複次數 (1RM)、反向運動跳躍 (CMJ)、40 m 線性衝刺、改良敏捷性 T 字跑以及慣性阻力機深蹲，結果發現兩組 1RM 和 CMJ 改善程度相似，但在爆發力測驗的 40m 衝刺及敏捷性 T 字跑在表

現上在低轉動慣量強度組比高轉動慣量組更能有效提升運動表現，因此作者也建議在慣性式阻力訓練使用低轉動動慣量強度能提升敏捷性的身體能力；O'Brien 等人 (2020) 將 20 名女性業餘籃球運動員隨機分為慣性阻力訓練組 (FIT) 與節奏訓練組 (TET)，進行四週的訓練，檢測項目為 1RM 下蹲、反向運動跳躍 (CMJ)、深蹲跳 (SJ)、10M 衝刺、505 敏捷測驗 (COD) 以及坐姿和伸展靈活性，結果發現 FIT 組肌肉的適應與增加的趨勢都優於 TET 組，而作者也判斷，這些力量的改善可能是肌肉神經的激活而不是肌肥大，所以慣性阻力訓練的效果可提升更適合用於運動員身上，而結果也與本實驗相符。以此推論本研究屬於低慣性 ($0.01-0.025 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$) 負荷高速的運動，有利於快速即爆發性肌肉適應。

綜上文獻來推測在進行核心訓練時，應使用低強度慣性阻力訓練，使其有效刺激核心肌群之神經肌肉，以更好的提升平均功率、向心和離心功率峰值、平均速度及總攻率，而本研究核心能力測驗結果數據看到實驗組皆優於控制組，甚至許多參數達到統計上的顯著效果，由此得以判斷漸進式核心慣性阻力訓練能有效提升競技體操選手之核心能力，由於本研究為首篇漸進式核心慣性阻力訓練，且使用慣性阻力訓練機做為測驗的文獻甚少，未來進行更多相關研究應證此論點。

第三節 下肢能力分析與討論

一、核心能力分析受試者的平均功率、向心功率峰值、離心功率峰值、平均力量並進行描述。

表 13

下肢能力平均功率

	前測	後測
實驗組	165.500 ± 77.040	166.200 ± 55.271
控制組	169.818 ± 120.925	165.545 ± 108.087

註：單位：W，* $p < .05$

下肢能力平均功率之數據進行混和設計二因子變異數分析，顯示交互作用未達顯著差異 ($p = .839 > .05$)。爾後，進行主要效果單因子變異數分析，發現組內與組間皆未達顯著差異 (組內： $p = .890 > .05$ ，組間： $p = .964 > .05$)。

表 14

下肢能力向心功率峰值

	前測	後測
實驗組	399.400 ± 174.977	388.000 ± 202.491
控制組	435.727 ± 355.916	411.091 ± 259.668

註：單位：W，* $p < .05$

下肢能力向心功率峰值之數據進行混和設計二因子變異數分析，顯示交互作用未達顯著差異 ($p = .876 > .05$)。爾後，進行主要效果單因子變異數分析，發現組內與組間皆未達顯著差異 (組內： $p = .672 > .05$ ，組間： $p = .775 > .05$)。

表 15

下肢能力離心功率峰值

	前測	後測
實驗組	370.000 ± 141.844	363.200 ± 173.065
控制組	471.727 ± 341.387	418.091 ± 246.672

註：單位：W，* $p < .05$

下肢能力離心功率峰值之數據進行混和設計二因子變異數分析，顯示交互作用未達顯著差異 ($p = .474 > .05$)。爾後，進行主要效果單因子變異數分析，發現組內與組間皆未達顯著差異 (組內： $p = .427 > .05$ ，組間： $p = .454 > .05$)。

表 16

下肢能力平均力量

	前測	後測
實驗組	254.100 ± 93.231	230.200 ± 92.790
控制組	198.909 ± 112.737	183.273 ± 101.349

註：單位：N

下肢能力平均力量之數據進行混和設計二因子變異數分析，顯示交互作用未達顯著差異 ($p = .839 > .05$)。爾後，進行主要效果單因子變異數分析，發現組內與組間皆未達顯著差異 (組內： $p = .338 > .05$ ，組間： $p = .208 > .05$)。

二、下肢能力討論

表 17

下肢能力結果簡述表

	平均功率	向心	離心	平均力量
實驗組	0	-	-	-
控制組	-	-	-	-

註：+= 進步；0= 維持；-= 退步

本研究在下肢能力之數據發現，實驗組的平均功率峰值呈現進步的趨勢，向心、離心功率峰值及平均力量皆呈現退步的跡象，而控制組則皆為退步。

Pintar, Learman 與 Rogers (2009) 進行每週進行 3 次和 6 次無負重腹部鍛煉並沒有改善通過等速測力法測量的向心或離心力，在第 11 週時，控制組的最大離心力甚至顯著下降，他也表示在訓練強度、頻率不足的情況下，除了很難維持甚至提升核心肌群能力，在離心功率甚至會有下降的情況發生，在進行核心訓練時，向心與離心功率峰值會受到不同的影響。具體而言，核心肌肉的向心峰值主要受到腹肌、腰肌和背肌的影響，而離心峰值主要受到髂肌和腿部肌肉的影響；Junker 與 Stöggl (2019) 比較 8 週的滾筒腿部伸展與核心訓練對於腿部肌肉力量及平衡的影響，發現核心訓練組在橫向、背向的肌肉力量以及站立伸展測試顯著的提升，但在下肢的測驗立定跳遠與單腿等距離三次跳躍皆顯示沒有沒有影響，討論到滾筒伸展及核心訓練對於平衡及穩定性有幫助，但對於下肢的功能性及爆發力沒有影響；Stanton, Reaburn 與 Humphries (2004) 6 週的抗力球核心穩

定訓練中發現，核心穩定性得到提升，但在跑步功能性測驗的運動表現上卻未達統計學上的影響，也討論到單獨使用抗力球訓練或將其作為其他身體訓練的輔助手段能夠增強核心穩定性。然而，通過這種訓練獲得的核心穩定性的提高是否會轉化為增強的身體表現仍有待證明。

Cabrejas 等人 (2023) 的研究招募 44 名女性藝術體操選手進行 8 週的核心增強式訓練 (CPT)，測驗項目為反向運動跳躍 (CMJ) 和單腿 CMJ (SLCMJ) 及藝術體操技術跳躍 (RG)，結果發現在訓練後三項檢測皆達顯著提升，也討論出在 CPT 訓練有助於提升藝術體操選手下肢爆發力的效果；AKBULUT, ÇINAR, SÖVER 與 KARAMAN (2020) 招募 23 名男性運動員進行 4 週的核心訓練計畫，進行測驗包括體重、BMI、慣用手握力、背部和腿部力量、垂直彈跳和 20m 衝刺，訓練組在慣用手握力、背腿力量、縱向跳躍等方面存在顯著差異，結果表明，每週進行 4 週、每週 3 天的核心訓練可以顯著提高背部和腿部力量、垂直跳躍和握力值。

綜合上述文獻表明，核心訓練有助於提升下肢能力，大部分文獻使用的下肢能力測驗項目多為反向跳躍、衝刺等等功能性能力測驗。而本研究下肢能力測驗採用慣性阻力訓練機的測驗方式，而測驗動作核心、上肢為訓練為固定狀態，在測驗時，可能也較難探討出核心肌群對下肢的幫助，未來研究應設計採用與專項相關之功能性動作與核心肌群同步帶動之下肢能力測驗，盼能探討出漸進式核心慣性阻力對於下肢能力之影響。

第四節 綜合討論

本章將對競技體操選手經六週漸進式慣性阻力訓練後對後空翻轉體720°運動表現、核心及下肢能力進行討論相關性探討。

本研究為第一篇針對競技體操選手後空翻轉體720°運動表現之研究設計，由於漸進式核心慣性阻力訓練本為針對空中轉體階段提升最大轉體角速度為主要目的，在研究結果發現核心能力的提升，軀幹加速度達到顯著提升，而轉體最大角速度雖有進步，但仍未達顯著差異，本研究設計未探討空翻高度，因此下肢能力未達顯著差異無法探討與其相關性。

Marinšek (2008) 提到競技體操地板項目從觸地、起跳、騰空、空翻或轉體到落地，每個階段環環相扣，相互皆有影響關係，而本研究雖然無探討空翻高度，但是測驗設計上加入了標準落地之因素，因此推論當選手在需達到標準落地的狀況下，實施後空翻轉體720°時，空中轉體階段會盡可能加速進入轉體的時間（軀幹加速度），而控制轉體的速度（轉體最大角速度），以達到標準落地的方向為目標，如全力實施最大轉速，會導致不容易控制標準落地，因此，未來如需探討漸進式核心慣性阻力訓練對於轉體最大角速度之影響，建議標準化測驗流程設計上需不要求標準落地，推測應能觀察到是否能提升空中轉體階段之轉體最大角速度。

翁士航 (2015) 提出在競技體操中，騰空高度是選手所追求的關鍵訓練目標，僅有在足夠的跳躍高度下，才有足夠的時間在空中完成複雜的轉體和空翻動作。因此，下肢能力成為達到理想騰空高度的主要關鍵要素，

Čuk 與 Marinšek (2013) 也提到一個較佳落地基礎，除本體核心能力外，須要有更高之高度使空翻完整後準備落地，因本研究未探討騰空高度，下肢能力未獲得改善亦無法得知與後空翻轉體 720°運動表現之相關性，因此未來建議可透過感測器，觀察起跳至落地之時間差，加以探討騰空高度與時間之關係。



第五章 結論與建議

透過本研究競技體操選手經六週漸進式慣性阻力訓練後對後空翻轉體 720°運動表現、核心及下肢能力分析結果後，獲得以下結論和建議。

第一節 結論

- 一、漸進式核心慣性阻力訓練對競技體操選手的後空翻轉體 720°運動表現可以發現，能明顯幫助軀幹加速度之表現，而對於上、下背轉體最大角速度些微增加，左、右腳些微減少。
- 二、漸進式核心慣性阻力訓練對競技體操選手的核心能力有明顯提升效果。
- 三、漸進式核心慣性阻力訓練對下肢能力並未有正向的影響。

第二節 建議

- 一、慣性阻力訓練能作為幫助提升競技體操選手的核心能力之手段，而在未來訓練動作的部分建議可以帶入下肢與核心同步訓練模式，增加訓練動作的多元化，觀察是否能在下肢的轉體最大角速度獲得更好的效果。

- 二、未來若持續以慣性阻力訓練機做資料收取，建議針對平均功率、平均速度和總功率三個數值，除了獲得更有參考價值之結果，亦能作為監控訓練的重要指標。
- 三、儘管核心訓練對下肢能力沒有正向影響，未來可以針對測驗動作更多元化的方向作調整，以專項相關動作或與核心肌群相關之功能性動作為測驗項目。
- 四、漸進式核心慣性阻力訓練對轉體最大角速度之影響，建議以不加入標準落地之測驗設計，讓選手在空中轉體能以最大的轉體速度實施，而若探討下肢能力與運動表現之相關性，建議加入騰空高度之分析。



參考文獻

- 王顯智、黃美雪、鄭婷文 (2013)。核心肌群之介紹。中華體育季刊, 27(1), 61-66。
- 吳昇光 (2021)。臺灣運動科學界更要講求「精準」。大專體育學刊, 23(2), i-iv。doi: 10.5297/ser.202106_23(2).0000
- 吳淑真、陳美燕 (2020)。2019未來科技展-精準運動科學展示專區報導。人文與社會科學簡訊, 21(2), 6-15。
- 林高正, 陳智郁, & 陳光輝. (2017). 我國男子選手參加 2014 與 2015 年二次世界競技體操錦賽單項成績分值表現比較分析. 運動教練科學, (47), 39-46.
- 翁士航, 俞智贏, & 謝富秀. (2015). 複合式訓練對改善競技體操表現之應用. 大專體育, (135), 45-52
- 翁士航, 何采容, & 柯耀雲. (2018). 2009-2015 世界體操錦標賽男子地板決賽動作發展趨勢. 文化體育學刊, 47-58.
- 陳鴻仁 (2019)。未來科技不可或缺的感測器與其應用。光連：光電產業與技術情報, (139), 7-12。
- 湯文慈 (2020)。以運動生物力學評斷與改善選手動作的新發展。大專體育學刊, 22(2), i-iv。doi: 10.5297/ser.202006_22(2).
- 黃淑貞 (2018)。競技體操個人單項決賽之國際趨勢與策略。大專體育, (146), 40-53.

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。doi:10.6223/qcpe.2802.201406.1004

Assunção, M. R. (2004). *Capoeira : The history of an Afro-Brazilian martial art*. Routledge.

AKBULUT, T., ÇINAR, V., SÖVER, C., & KARAMAN, M. (2020). Investigation of effects four-week core training program on some physical parameters. *Gaziantep Üniversitesi Spor Bilimleri Dergisi*, 5(1), 47-56.

Bassett, S. H., & Leach, L. L. (2011). The effect of an eight-week training programme on core stability in junior female elite gymnasts, *African Journal for Physical, Health Education, Recreation and Dance*, 17 : suppl (Supplement) pp. 9-19. *African Journal for Physical Health Education, Recreation and Dance*, 17 (3), 567.

Bollinger, L. M., Brantley, J. T., Tarlton, J. K., Baker, P. A., Seay, R. F., & Abel, M. G. (2020). Construct validity, test-retest reliability, and repeatability of performance variables using a flywheel resistance training device. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 34 (11), 3149-3156.

Bradshaw, E. J., Grech, K., Hume, P. A., Joseph, C. W., & Calton, M. (2016, November). How safe are the code of points landing technical requirements in artistic gymnastics? Preliminary results. In *ISBS-conference proceedings archive*.

Cabrejas, C., Solana-Tramunt, M., Morales, J., Nieto, A., Bofill, A., Carballeira, E., & Pierantozzi, E. (2023). The Effects of an Eight-Week Integrated Functional Core and Plyometric Training Program on Young Rhythmic Gymnasts' Explosive Strength. *International journal of environmental research and public health*, 20(2), 1041.

- Campbell, R. A., Bradshaw, E. J., Ball, N., Hunter, A., & Spratford, W. (2020). Effects of digital filtering on peak acceleration and force measurements for artistic gymnastics skills. *Journal of sports sciences*, 38 (16), 1859-1868.
- Campbell, R. A., Bradshaw, E. J., Ball, N., Hunter, A., & Spratford, W. (2021). Inertial measurement units are ‘all g’ : Inter-trial reliability when assessing upper and lower body impact loading in artistic gymnastics. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 16 (2), 380-390.
- Chan, M. K., Chow, K. W., Lai, A., Mak, N. K., Sze, J. C., & Tsang, S. M. (2017). The effects of therapeutic hip exercise with abdominal core activation on recruitment of the hip muscles. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 18 (1), 1-11.
- Chen, W. H., Lee, Y. S., Yang, C. J., Chang, S. Y., Shih, Y., Sui, J. D., ... & Shiang, T. Y. (2020). Determining motions with an IMU during level walking and slope and stair walking. *Journal of sports sciences*, 38 (1), 62-69.
- Christoforidou, A., Patikas, D. A., Bassa, E., Paraschos, I., Lazaridis, S., Christoforidis, C., & Kotzamanidis, C. (2017). Landing from different heights : Biomechanical and neuromuscular strategies in trained gymnasts and untrained prepubescent girls. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 32, 1-8.
- Čuk, I., & Marinšek, M. (2013). Landing quality in artistic gymnastics is related to landing symmetry. *Biology of sport*, 30 (1), 29.
- de Hoyo, M., Sañudo, B., Carrasco, L., Domínguez-Cobo, S., Mateo-Cortes, J., Cadenas-Sánchez, M. M., & Nimphius, S. (2015). Effects of traditional

versus horizontal inertial flywheel power training on common sport-related tasks. *Journal of human kinetics*, 47 (1), 155-167.

Farana, R., Jandacka, D., Uchytíl, J., Zahradník, D., & Irwin, G. (2017a). Technique selection ‘the coaches challenge’ influencing injury risk during the first contact hand of the round off skill in female gymnastics. *Journal of human kinetics*, 56, 51.

Farana, R., Jandacka, D., Uchytíl, J., Zahradník, D., & Irwin, G. (2017b). The influence of hand positions on biomechanical injury risk factors at the wrist joint during the round-off skills in female gymnastics. *Journal of sports sciences*, 35 (2), 124-129.

Fiorilli, G., Mariano, I., Iuliano, E., Giombini, A., Ciccarelli, A., Buonsenso, A., ... & di Cagno, A. (2020). Isoinertial eccentric-overload training in young soccer players : Effects on strength, sprint, change of direction, agility and soccer shooting precision. *Journal of sports science & medicine*, 19 (1), 213.

Han, Y. S. (2020). The Trend Analysis of Exercise Content on the Men’s Floor Exercise Final in the 2019 World Gymnastics Championship. *Journal of the Korean Society of Sports Science*, 29 (2), 1205-1213.

Han, Y. S. (2018). Trend Analysis of Men's Gymnastics on Floor Exercise in the 2018 Asian Games through Digital Video Materials. *Journal of digital convergence*, 16 (12), 619-624.

Hao, W. Y., Xiao, X. F., Wu, C. L., Li, X. H., & Lou, Y. T. (2017). Effect of Stiffness of Knee and Ankle Alignment on the Impact Loads During Landing in Gymnastic Floor Exercise. *ISBS Proceedings Archive*, 35 (1), 177.

Harigai, R., Ae, M., Ae, K., Seo, K., Hatakeda, Y., & Ariei, S. (2022). A CASE STUDY OF THE GENERATION OF ANGULAR MOMENTUM AND ANGULAR VELOCITY IN SOMERSAULT BACKWARD STRETCHED WITH 2/1 AND 3/1 TWISTS PERFORMED BY A SINGLE VARSITY MALE GYMNAST. *ISBS Proceedings Archive*, 40 (1), 267.

International Gymnastics Federation. (2016). *2017~2020 Code of points for men's artistic gymnastics competitions*. Lausanne, Switzerland : Author.

Junker, D., & Stöggl, T. (2019). The training effects of foam rolling on core strength endurance, balance, muscle performance and range of motion : a randomized controlled trial. *Journal of sports science & medicine*, 18 (2), 229.

Kalichová, M. (2019). Suitability of preparation exercises for training of Tkachev on high bar. In *6th International Scientific Conference of Slovenian Gymnastics Federation* (p. 113).

Kim, D. H., & Lee, S. K. (2017). Analysis of exercise content on the men's floor exercise in the artistic gymnastics world championships : 1 to 12 team center to the group qualification game. *Korean Journal of Sport Science*, 28 (4), 1073-1082.

Liu, T. H., Chen, W. H., Shih, Y., Lin, Y. C., Yu, C., & Shiang, T. Y. (2021). Better position for the wearable sensor to monitor badminton sport training loads. *Sports Biomechanics*, 1-13.

Madruga-Parera, M., Bishop, C., Fort-Vanmeerhaeghe, A., Beato, M., Gonzalo-Skok, O., & Romero-Rodríguez, D. (2022). Effects of 8 weeks of isoinertial vs. cable-resistance training on motor skills performance and interlimb

- asymmetries. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 36 (5), 1200-1208.
- Marinšek, M. (2010). Basic Landing Characteristics and Their Application in Artistic Gymnastics. *Science of Gymnastics Journal*, 2 (2).
- Manchado, C., García-Ruiz, J., Cortell-Tormo, J. M., & Tortosa-Martínez, J. (2017). Effect of core training on male handball players' throwing velocity. *Journal of human kinetics*, 56, 177.
- Marinsek, M., & Cuk, I. (2010). Landing Errors in the Men's Floor Exercise Are Caused by flight characteristics. *Biology of sport*, 27 (2).
- Marinšek, M. (2008). LANDING ERRORS IN MEN'S FLOOR EXERCISE. *Acta Universitatis Palackianae Olomucensis. Gymnica*, 38(3).
- Marinšek, M., & Čuk, I. (2013). The influence of different twists in the forward and backward somersault on increased landing asymmetries. *Kinesiology*, 45 (1), 73-81.
- Maroto-Izquierdo, S., García-López, D., & de Paz, J. A. (2017). Functional and muscle-size effects of flywheel resistance training with eccentric-overload in professional handball players. *Journal of human kinetics*, 60, 133.
- Maroto-Izquierdo, S., McBride, J. M., Gonzalez-Diez, N., García-López, D., González-Gallego, J., & de Paz, J. A. (2020). Comparison of Flywheel and Pneumatic Training on Hypertrophy, Strength, and Power in Professional Handball Players. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 1-15.
- McNitt-Gray, J. L., Hester, D. M. E., Mathiyakom, W., & Munkasy, B. A. (2001). Mechanical demand and multijoint control during landing depend on orientation of the body segments relative to the reaction force. *Journal of biomechanics*, 34 (11), 1471-1482.

- Mendes Jr, J. J. A., Vieira, M. E. M., Pires, M. B., & Stevan Jr, S. L. (2016). Sensor fusion and smart sensor in sports and biomedical applications. *Sensors, 16* (10), 1569.
- Natrup, J., de Lussanet, M. H., Boström, K. J., Lappe, M., & Wagner, H. (2021). Gaze, head and eye movements during somersaults with full twists. *Human Movement Science, 75*, 102740.
- Núñez, F. J., Santalla, A., Carrasquila, I., Asian, J. A., Reina, J. I., & Suarez-Arrones, L. J. (2018). The effects of unilateral and bilateral eccentric overload training on hypertrophy, muscle power and COD performance, and its determinants, in team sport players. *PloS one, 13* (3), e0193841.
- O'Brien, J., Browne, D., & Earls, D. (2020). The Effects of Different Types of Eccentric Overload Training on Strength, Speed, Power and Change of Direction in Female Basketball Players. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology, 5* (3), 50.
- Patil, D., Salian, S. C., & Yardi, S. (2014). The effect of core strengthening on performance of young competitive swimmers. *International Journal of Science and Research, 3* (6), 2470-2477.
- Perez-Soriano, P., Llana-Belloch, S., Morey-Klapsing, G., Perez-Turpin, J. A., Cortell-Tormo, J. M., & van den Tillaar, R. (2010). Effects of mat characteristics on plantar pressure patterns and perceived mat properties during landing in gymnastics. *Sports Biomechanics, 9* (4), 245-257.
- Pintar, J. A., Learman, K. E., & Rogers, R. (2009). Traditional exercises do not have a significant impact on abdominal peak force in healthy young adults. *The Journal of Strength & Conditioning Research, 23* (7), 2083-2089.

- Prassas, S. (1999). *Biomechanical research in gymnastics : What is done, what is needed*. In Applied Proceedings of the XVII International Symposium on Biomechanics in Sports : Acrobatics (pp. 1-10).
- Sabido, R., Hernández-Davó, J. L., Botella, J., Navarro, A., & Tous-Fajardo, J. (2017). Effects of adding a weekly eccentric-overload training session on strength and athletic performance in team-handball players. *European journal of sport science*, 17 (5), 530-538.
- Sabido, R., Pombero, L., & Hernández-Davó, J. L. (2019). Differential effects of low vs. high inertial loads during an eccentric-overload training intervention in rugby union players: a preliminary study. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 59(11), 1805-1811.
- Şahiner, V., & Koca, F. (2021). Investigation of the effect of 8 weeks core training program on free shooting and vertical jump performance in basketball players aged 16-18. *European Journal of Physical Education and Sport Science*, 7 (2).
- Shih, Y., Ho, C. S., & Shiang, T. Y. (2014). Measuring kinematic changes of the foot using a gyro sensor during intense running. *Journal of sports sciences*, 32 (6), 550-556.
- Simons, C., & Bradshaw, E. J. (2016). Do accelerometers mounted on the back provide a good estimate of impact loads in jumping and landing tasks?. *Sports biomechanics*, 15 (1), 76-88.
- Stanton, R., Reaburn, P. R., & Humphries, B. (2004). The effect of short-term Swiss ball training on core stability and running economy. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 18 (3), 522-528.

Stojanović, M. D., Mikić, M., Drid, P., Calleja-González, J., Maksimović, N., Belegišanin, B., & Sekulović, V. (2021). Greater Power but Not Strength Gains Using Flywheel Versus Equivolumed Traditional Strength Training in Junior Basketball Players. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18 (3), 1181.

Suarez-Arrones, L., Saez de Villarreal, E., Núñez, F. J., Di Salvo, V., Petri, C., Buccolini, A., ... & Mendez-Villanueva, A. (2018). In-season eccentric-overload training in elite soccer players : Effects on body composition, strength and sprint performance. *PloS one*, 13 (10), e0205332.

Sweeney, E. (Ed.). (2019). *Gymnastics Medicine : Evaluation, Management and Rehabilitation*. Switzerland : Springer Nature.

Vicens-Bordas, J., Esteve, E., Fort-Vanmeerhaeghe, A., Bandholm, T., & Thorborg, K. (2018). Is inertial flywheel resistance training superior to gravity-dependent resistance training in improving muscle strength? A systematic review with meta-analyses. *Journal of science and medicine in sport*, 21 (1), 75-83.

Wei, M., Fan, Y., Ren, H., Li, K., & Niu, X. (2023). Correlation between core stability and the landing kinetics of elite aerial skiing athletes. *Scientific Reports*, 13(1), 11239.