

飛輪等慣性離心超負荷運動預處理對生理、肌肉功能及運動表現之探討

劉繼舉¹、翁明嘉²、邱志暉³、陳哲修^{4*}

摘要

飛輪等慣性離心超負荷運動模式已被使用誘發活化後增益作用及提升運動員表現之另一替代方式。本文係透過電子資料庫收集相關文獻，分別探討內容包含：1.飛輪等慣性離心超負荷原理及特色、2.飛輪等慣性離心超負荷運動模式對生理反應、肌肉收縮功能及肌肉損傷影響、3.不同飛輪等慣性離心超負荷熱身劑量與恢復時間對運動表現影響。綜觀文獻研究發現，運動表現提升之機制可能與招募更多快縮肌纖維、產生更大離心力、增加肌肉僵硬度等有關。一般飛輪等慣性離心阻力區分：低阻力：0.01–0.05 kg/m²、中阻力：0.05–0.075 kg/m²、高阻力：0.75 kg/m²以上。三種阻力皆增加心血管反應、血乳酸。此外，該運動模式以中、高負荷進行4組，每組反覆6下以上，會造成下肢肌肉損傷情形至少2天。然而，大部分研究則使用蹲舉動作進行熱身，並以低至高阻力進行2-3組，每組反覆進行6下，組間休息2–3分鐘。理想活化後增益作用時間為3–9分鐘，則顯著提升垂直跳、20公尺衝刺跑、變換方向能力、股四頭肌與腿後腱肌等速肌力。但是，目前有關搭配其他動作進行預處理或上肢研究仍缺乏，此議題須未來持續研究。

關鍵詞：熱身、肌力、損傷、訓練

Submitted for publication: August 22, 2023; Accepted for publication: May 10, 2024

DOI: 10.53106/1815638X2023120037002

¹ 國立臺灣體育運動大學球類運動學系。

² 中國文化大學體育學系。

³ 國立臺灣體育運動大學運動健康科學系。

⁴ 國立臺灣體育運動大學競技運動學系。

* Corresponding author: 陳哲修 jakic1114@ntus.edu.tw

Effects of Flywheel Iso-Inertial Eccentric Overload Exercise Preconditioning on Physiological, Muscle Function and Sport Performance

Chi-Chu Liu⁶, Ming-Chia Weng⁷, Chih-Hui Chiu⁸, Che-Hsiu Chen⁹

Abstract

Flywheel iso-inertial eccentric overload exercise (FIEO) modes can be used as an alternative postactivation potentiation (PAP) method to acutely potentiate athletic performance. This article collects relevant literature through electronic databases and introduces the possible mechanism, physiological response, muscle function and sports performance of this exercise mode. The mechanism of improved sports performance may be related to the recruitment of more fast-twitch muscle fibers, greater eccentric force, and increased muscle stiffness. Generally, FIEO inertial resistance is divided into: low resistance: 0.01~0.05 kg/m², medium resistance: 0.05~0.075 kg/m², high resistance: above 0.75 kg/m². All three types of resistance increased cardiovascular response and blood lactic concentration. In addition, the athletics performed more than 4 sets of 6 repetitions of FIEO with medium and high resistance, which will cause lower limb muscle damage for at least 2 days. However, most of the preconditioning exercise was use squat, and perform 2-3 sets of 6 repetitions with low to high resistance, interspersed by 2 min of passive recovery. FIEO preconditioning exercises acutely increase vertical jump, 20-meter sprint, ability to change direction, quadriceps and hamstring isokinetic muscle strength. The optimal time window for the PAP was found from 3 to 9 minutes. However, there is still a lack of research on preconditioning with other exercise or upper limbs research. Future studies is to address these issues.

Keywords: warm-up; strength; injury; training

⁶ Department of Ball Sports, National Taiwan University of Sport.

⁷ Department of Physical Education, Chinese Culture University.

⁸ Graduate Program in Department of Exercise Health Science, National Taiwan University of Sport.

⁹ Department of Sport Performance, National Taiwan University of Sport.

1. 前言

近年來飛輪等慣性離心超負荷運動模式 (flywheel iso-inertial eccentric overload, FIEO) 已逐漸被推薦應用在訓練前或比賽前之熱身預處理。因該動作模式肌肉須先處伸展位置 (離心收縮)，接著以快速進行向心收縮，隨即再進行離心收縮 (此符合許多牽張－縮短循環運動型態)。研究發現FIEO運動模式誘發運動後增益效益 (post-activation potentiation, PAP) 顯著優於傳統熱身模式 (1, 2)。因該運動模式使肌肉產生較大離心負荷與刺激，進而增加運動單元徵召程度與肌肉激活程度 (3-5)、招募更多快縮肌纖維、產生更大離心力量 (6-8)；且可能與適度增加肌肉僵硬度 (9, 10) 以及縮小肌肉結構中羽狀角度 (8) 有關。因適度提升僵硬度與縮小羽狀角度能提升運動經濟性與運動表現，並且肌肉一肌腱單元能更有效率的傳遞肌肉所產生的力量 (8, 11)。雖然，FIEO運動模式能增進運動表現，也可能會造成肌肉損傷情形 (12)。因此，如何規劃理想FIEO運動熱身模式則透過本文用文獻資料庫PubMed以及Google學術搜尋，以英文關鍵字Flywheel、Iso-Inertial、Inertial、Eccentric Overload、postactivation potentiation、warm-up等進行搜尋，並將文獻統整後依序以下內容進行介紹：一、飛輪等慣性離心超負荷原理及特色、二、飛輪等慣性離心超負荷運動模式對生理反應、肌肉收縮功能及肌肉損傷影響、三、不同飛輪等慣性離心超負荷熱身劑量與恢復時間對運動表現影響。

2. 飛輪等慣性離心超負荷運動模式原理及特色

慣性離心超負荷運動模式與傳統自由重量或機械式重量訓練方法不同，傳統自由重量或機械式重量訓練模式較強調向心收縮階段刺激 (離心階段刺激較小) (3, 4)。相對地，因慣性離心超負荷訓練設備特色，當運動員以最快速度進行向心階段動作時 (例如：進行蹲舉向上動作)，使飛輪設備旋轉並產生動能與儲存動能於設備系統中。由於慣性特性，當向心階段動作結束時，所儲存的動能會使飛輪向後旋轉，

迫使運動員進行離心動作 (例如：蹲舉向下動作)，使肌肉產生較大離心負荷與刺激，在此過程中運動員肌肉須進行離心收縮抵抗或煞車，進而增加運動單元徵召程度與肌肉激活程度增加 (此激活程度顯著大於僅向心收縮) (3-5)，如圖1所示。

再者，這種獨特訓練方式可以確保承受的阻力，並在整個向心動作內對於任意特定關節角度提供最大及最佳肌肉負荷。此外，FIEO運動模式在執行動作過程中不會涉及到障礙點 (sticking point)，因此產生的能量或功率超過使用自由重量動作訓練模式，透過該慣性系統進行訓練更符合運動過程中肌肉收縮型態 (5)。例如：研究發現，相較於傳統重量訓練機器或槓鈴進行肌力訓練，利用慣性離心超負荷訓練設備進行膝伸肌肌力訓練則誘發較大該肌肉電位活性反應 (4) 及較大肌肉機械壓力情形 (13)。

然而，不同訓練負荷及速度對肌肉產生不同適應及不同訓練效益 (例如：進行肌肥大或爆發力訓練所需的負荷及操作速度則有所不同)。研究顯示，高負荷阻力 (0.100 kg/m^2) 與中等負荷阻力 (0.075 kg/m^2) 兩者相比較，中等負荷阻力產生較高向心及離心階段平均速度，而高負荷阻力 (0.100 kg/m^2) 則產生較大困難及吃力程度 (約8.2分，10分表示極度困難與辛苦) (14)。

為瞭解不同負荷阻力在向心及離心輸出功率值差異情形，以及瞭解受試者進行慣性離心超負荷蹲舉運動過程中輸出功率穩定性。研究針對成人手球菁英運動員進行四種不同阻力慣性離心超負荷蹲舉運動 (0.025 、 0.050 、 0.075 與 0.100 kg/m^2 ，各種阻力需進行4組，每組反覆10下)，結果顯示，與其他阻力相比較，輕負荷阻力 (0.025 kg/m^2) 產生較大向心功率峰值。而阻力 0.025 以及 0.050 kg/m^2 產生離心功率峰值顯著高於較高負荷阻力 (0.075 與 0.100 kg/m^2)。但是，最理想離心/向心輸出功率比值則建議採用 0.075 kg/m^2 阻力。此外，受試者每組進行5-12下對輸出功率值無顯著下降情形，此建議可以作為訓練之參考，以提升訓練品質 (15)。因此，體能教練或運動愛好者使用FIEO運動模式時，須依照依據年度訓練計畫目標選擇



圖1. 飛輪等慣性離心超負荷運動模式（左圖為上肢訓練、右圖為下肢訓練）

適當的負荷阻力或者依據漸進負荷原則先從輕負荷阻力開始進行訓練與適應，逐漸調整至高負荷阻力用以發展肌力。

3. 飛輪等慣性離心超負荷運動模式對生理反應、肌肉收縮功能、肌肉損傷影響

3.1 對血壓、平均動脈壓、血氧飽和度、血乳酸、運動自覺量表影響

該研究針對健康成人（年齡層20–55歲）進行慣性離心超負荷蹲舉運動（共2組，每組反覆7下，組間休息2分鐘），並分別進行三種不同負荷阻力（低負荷0.025、中負荷0.05及高負荷0.075 kg/m²），並觀察對心血管影響。結果顯示，三種強度皆顯著增加心血管反應（包括：收縮壓、舒張壓、心跳率、平均動脈壓、心臟指數等數據），並且阻力越高則心血管反應越大，例如：在運動過程中平均收縮壓（高負荷 = 198 ± 5 mmHg、中負荷 = 187 ± 4 mmHg、低負荷 = 179 ± 3 mmHg），平均動脈壓（高負荷 = 162 ± 4 mmHg、中負荷 = 154 ± 4 mmHg、低負荷 = 146 ± 4 mmHg），但是研究發現，平均動脈壓反應不會隨著年齡增加而增加（16）。

此外，過去研究比較慣性離心超負荷蹲舉運動（共3組，每組反覆8下，組間休息3分鐘，負荷0.07

kg/m²）與傳統槓鈴蹲舉運動（強度75–80%最大肌力），對肌肉氧飽和濃度、心跳率、血乳酸、跳躍及最大等長肌力及運動自覺量表等影響。該研究發現，兩種運動型態皆顯著增加心跳率（約介於148.4–157.5下/分鐘）、血乳酸（約介於7.7–8.6 mmol/L）及運動自覺量表（約7.3分，10分表示極度困難與辛苦），及降低肌肉氧飽和濃度與總血紅蛋白，其中慣性離心超負荷蹲舉運動降低肌肉氧飽和濃度（降低約67–68%）情況顯著高於傳統槓鈴蹲舉運動（降低約53–55%）（17）。另一項研究則發現，使用慣性離心設備（VersaPulley; Heart Rate Inc, Costa Mesa, CA, USA）進行高拉肌力運動（6組，每組6下），造成血乳酸增加程度高於使用傳統槓鈴進行高拉動作（18）。

再者，研究比較不同強度（輕負荷阻力：0.025 kg/m² v.s. 高負荷阻力：0.075 kg/m²）及不同組間休息時間（1、2、或3分鐘）之慣性飛輪離心超負荷蹲舉運動對向心及離心功率值、乳酸值、運動自覺量表及運動後24小時延遲性肌肉痠痛值，每種介入模式皆須進行4組，每組反覆11下。結果顯示，在組間休息1分鐘，向心（低阻力時下降9.1%、高阻力時下降22.1%）及離心（高阻力時下降17.5%）峰值功率顯著下降。在高阻力及組間休息2分鐘時，僅向心峰值功率值顯著下降（11.1%）。運動自覺量表，在高阻力及組間休息1分鐘時顯著高於組間3分鐘。血乳酸，在低阻力組間休息2分鐘顯著高於組間3分鐘。而各組痠痛值有顯著增加，但各種處理之間並無差異。因此，建議進行該

運動型態組間休息3分鐘 (19)。

3.2 肌肉損傷方面

值得注意，初次進行慣性飛輪離心超負荷運動易造成肌肉損傷及增加代謝壓力情形 (19-21)。相較傳統蹲舉或跳躍運動模式，進行慣性飛輪蹲舉運動後（共4組，每組反覆6下，負荷阻力 0.07 kg/m^2 ），產生最高濃度乳酸值（約 $12.2 \pm 0.9 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ ），且降低跳躍表現至運動後48小時，而各種蹲舉或跳躍運動後所測得肌酸激酶（creatine kinase, CK）皆在運動後24小時達峰值，但在第48小時則與前測值無差異。因此，依據現有研究發現，進行4組，每組反覆6下（共24下）慣性離心蹲舉運動可能會使下肢肌肉疲勞延續2天 (12)。

另一項研究，相較於傳統蹲舉運動模式，進行慣性飛輪蹲舉運動後（共4組，每組反覆7下，負荷阻力 0.07 kg/m^2 ，組間休息1分鐘）立即所測得股直肌肌肉僵硬程度較低；然而，運動後1小時測得肌肉損傷生化指標方面（肌酸肌酶、肌紅蛋白及乳酸脫氫酶），無論慣性或傳統運動後皆顯著增加，但慣性飛輪蹲舉運動顯著高於傳統蹲舉運動 (21)。

3.3 肌肉僵硬與運動表現方面

該研究比較不同等慣性離心超負荷運動設備熱身〔包括：一、交叉步橫移搭配慣性conical pulley設備（阻力 0.194 kg/m^2 ）、二、慣性飛輪膝伸展（ 0.072 kg/m^2 ）、三、慣性飛輪yo-yo蹲踞運動（ 0.072 kg/m^2 ），各種設備皆進行共4組，每組反覆6下，熱身後休息4分鐘，組間休息1分鐘〕對改變方向運動表現及股四頭肌肌肉收縮功能影響。結果發現，3種慣性離心超負荷運動設備皆提升改變方向運動表現，以及增加肌肉僵硬（降低肌肉位移程度），該研究指出肌肉僵硬增加可能與提升運動表現有關，或許可以透過肌肉組織收縮功能、僵硬解釋誘發PAP效應之機制 (9, 10)。

此外，僵硬適當的增加或肌肉結構（縮小羽狀角度）能提升運動經濟性與運動表現，可能因適當僵

硬的肌肉—肌腱單元能更有效率的傳遞肌肉所產生的力量 (8, 11)。統整上述研究，進行慣性離心超負荷運動建議組間休息3分鐘，以降低疲勞及代謝壓力情形。

因此，統整上述文獻得知，FIEO運動模式如同進行傳統重量訓練，當增加負荷阻力時運動過程中會增加血壓情形，但不會隨著年齡增加而增加血壓情形。並且，FIEO運動模式引起較高乳酸程度與降低肌肉氧飽和濃度，訓練時務必留意心血管反應現象。再者，進行FIEO運動模式（例如：進行共4組，每組反覆6下以上訓練量，搭配負荷阻力 0.07 kg/m^2 ）後也會造成肌肉損傷與降低肌肉力量，建議進行該運動模式可以增加組間休息至3分鐘，每週進行該運動模式次與次之間需間隔至少48小時以上，以提升訓練品質以及降低訓練過程中肌肉損傷風險。

並且，上述文章提到透過進行FIEO運動模式熱身提升運動表現及增加肌肉僵硬，但是如何規劃理想FIEO運動模式熱身策略，則透過下段內容來詳細介紹。

4. 不同飛輪等慣性離心超負荷熱身劑量、恢復時間對運動表現影響

慣性離心超負荷運動熱身模式已被推薦在運動訓練前或比賽前使用 (22)。相較於傳統自由重量或自行車測功儀熱身，慣性離心超負荷熱身模式提升運動表現效益較佳 (1, 2)。最近一篇綜評性文章建議指出，慣性離心超負荷熱身模式使用蹲舉或弓箭步運動，熱身劑量為1–3組（每組約6下），搭配負荷阻力介於 $0.03 - 0.11 \text{ kg/m}^2$ ，熱身後休息至少3–4分鐘，則降低熱身所產生疲勞情形，以及提升後續運動表現。但是，理想慣性離心超負荷熱身劑量、恢復時間對下肢肌肉功能、運動表現及肌肉損傷之研究仍未定論 (1, 2, 6, 23)。

再者，慣性離心超負荷運動熱身模式依循SSC模式（尤其在離心收縮），該過程中能招募更多快縮肌纖維、產生較少的中樞與周邊疲勞、能產生更大程度離心力及爆發力，因此有助於提升需SSC運動模式之性

能，例如：跳躍、衝刺跑及變換方向等表現 (6-8)。

4.1 飛輪等慣性離心超負荷熱身模式之活化後增益作用機制

近年研究已發現，透過等慣性離心超負荷進行熱身後誘發PAP能顯著提升運動員 (22-24) 或健康族群運動表現 (1, 2)。並且，等慣性離心超負荷對PAP效益顯著優於傳統熱身模式 (1, 2)。該研究認為影響等慣性離心超負荷PAP效益因素包含：熱身量、強度、休息時間、介入模式（目前研究大部分以蹲舉作為介入動作）。理想慣性離心超負荷熱身模式對肌肉結構、肌肉力量、本體感覺，甚至預防下肢肌肉損傷效益為何仍不清楚 (22, 25)。

等慣性離心超負荷熱身誘發PAP效應的主要機制，因進行高強度熱身時肌球蛋白調節輕鏈的磷酸化增加、橫橋對鈣離子敏感性增加、增加橫橋附著率，以及增強肌肉收縮力量和速度發展 (8, 22, 26)。除此之外，因為該慣性離心超負荷動作模式包含向心收縮及離心收縮刺激，在離心收縮階段招募運動單元程度顯著高於向心收縮階段 (3-5)。

4.2 使用最大向心功率峰值之相對負荷阻力進行熱身之研究

與一般PAP熱身模式（下蹲跳）比較，該研究等慣性飛輪蹲舉熱身（以產生最大向心功率峰值之相對阻力，測得約 0.083 kg/m^2 ），兩組別皆進行1回合6下熱身。結果顯示慣性飛輪蹲舉熱身後第4、8、12、16及20分鐘顯著提升下蹲跳躍表現（高度、向心速度峰值及功率峰值），並顯著優於下蹲跳熱身 (6)。類似研究，以慣性飛輪蹲舉熱身（4組回合，每組反覆進行6下，以產生最大向心功率峰值之相對阻力，測得約 0.11 kg/m^2 ），則顯著提升下蹲跳、20公尺衝刺跑及變換方向能力 (27)。

Beato et al.研究中，相較於腳踏車測功儀熱身，當進行慣性飛輪蹲舉熱身（進行3組，每組反覆6下，該

項研究並未說明負荷阻力，僅說明使用最大輸出功率之相對阻力，組間休息2分鐘），於熱身後3至9分鐘顯著提升垂直跳高度、股四頭肌與腿後腱肌向心肌力、腿後腱肌等速離心（每秒60度角速度）肌力，以及熱身後1至9分鐘提升下蹲跳功率峰值 (2)。就Timon et al.研究而言，相較傳統蹲舉負重槓鈴熱身（強度約最大肌力 $68 \pm 5.7\%$ 能產生最大功率值），慣性飛輪離心超負荷蹲舉熱身（文中未表明負荷阻力，僅說明使用最大輸出功率之相對阻力）。兩種運動皆進行3組，每組反覆6下，組間休息3分鐘，該研究發現熱身後第4及8分鐘，慣性飛輪離心超負荷蹲舉熱身增進蹲跳表現顯著優於傳統蹲舉負重槓鈴熱身 (1)。

4.3. 不同負荷阻力進行熱身之研究

研究針對男性大專足球員進行比較不同組數（1、2或3組，每組反覆進行6下，負荷阻力約 0.029 kg/m^2 ）慣性離心超負荷蹲舉熱身，並於熱身後第3分鐘及6分鐘分別進行下蹲跳及立定跳表現測驗。結果顯示，最少2組熱身劑量以及熱身後6分鐘則顯著提升跳躍表現 (28)。該研究針對成人男性運動員進行慣性飛輪離心超負荷蹲舉以及硬舉熱身動作（各種運動皆進行3組，每組反覆6下，負荷阻力 0.029 kg/m^2 ）。結果顯示，兩種運動皆提升腿後腱肌離心等速（每秒60度角速度）肌力，但對股四頭及腿後腱向心肌力、傳統腿後腱肌向心與股四頭肌向心肌力比值、功能性腿後腱肌離心與股四頭肌向心肌力比值無顯著影響 (29)。然而，由於兩種慣性運動熱身僅顯著提升腿後腱肌離心肌力，倘若推測增加熱身負荷阻力（高於 0.029 kg/m^2 ），可能提升肌肉力量或運動表現 (29)，於上述研究已證實 (2)。

比較慣性飛輪蹲舉熱身（進行3組，每組反覆6下，負荷阻力 0.06 kg/m^2 ，向心階段產出向心輸出功率峰值約 1097 ± 341 瓦特）及傳統槓鈴蹲舉熱身（重量約57.7公斤，向心階段產出向心輸出功率峰值約 1030 ± 298 瓦特），兩種熱身強度於向心階段輸出功率值差異小於10%。該研究結果發現，兩種熱身後第3及第7分鐘皆顯著提升下蹲跳及立定跳遠能力，但兩種熱身效益

之間無差異，但對5公尺衝刺加速度則無影響，推測其因可能受到僅介入蹲舉熱身運動（進行垂直方向熱身），如透過其他熱身運動〔例如，臀推 (hip thrust) 動作〕，因臀推動作誘發臀大肌及腿後腓肌群活性反應顯著大於蹲舉動作 (30)，推判可能更具提升與水平輸出力量相關之衝刺跑表現 (23, 31)。

以現有文獻結果統整得知，目前FIEO運動模式熱身研究大都針對下肢議題，許多研究顯示透過FIEO運動模式熱身後能提升下肢肌肉功能與運動表現，並可能優於傳統一般熱身或傳統蹲舉中等強度熱身模式。建議熱身可使用0.03–0.11 kg/m²阻力強度或最大輸出功率之相對阻力、最少2組熱身劑量、每組反覆6下、組間休息組之間休息2–3分鐘、熱身後至少需休息3–9分鐘則能提升下肢運動表現。

5. 結語

統整截至目前與飛輪等慣性離心超負荷熱身相關研究結果，建議操作處方如下：一、輕負荷阻力 (0.025 kg/m²) 可產生較大向心功率峰值。而低至中等負荷阻力 (0.025以及0.050 kg/m²) 產生較大離心功率峰值。最理想離心/向心輸出功率比值則建議採用0.075 kg/m²阻力。二、組數：至少2–3組（每組反覆6下）(1, 2, 6)。三、每組之間休息2–3分鐘。四、負荷阻力或強度：搭配0.03–0.11 kg/m²阻力 (22) 或者使用最大輸出功率之相對負荷阻力進行熱身 (1, 2)。五、熱身後休息至少3–9分鐘 (1, 22)。六、針對健康人進行飛輪等慣性離心運動模式增加心血管壓力略低於傳統重量訓練 (16)。

然而，目前有關飛輪等慣性離心超負荷熱身主要以下肢蹲舉動作為主，其他熱身動作以及對上肢肌肉功能及運動表現影響之研究仍缺乏，該議題值得持續探討。

經費來源：無經費來源。

利益衝突聲明：本研究無任何利益衝突。

參考文獻

1. Timon R, Allemano S, Camacho-Cardenosa M, Camacho-Cardenosa A, Martinez-Guardado I, and Olcina G. Post-activation potentiation on squat jump following two different protocols: Traditional vs. inertial flywheel. *J Hum Kinet* 69: 271-281, 2019.
2. Beato M, Stiff A, and Coratella G. Effects of postactivation potentiation after an eccentric overload bout on countermovement jump and lower-limb muscle strength. *J Strength Cond Res* 35: 1825-1832, 2021.
3. Norrbrand L, Fluckey JD, Pozzo M, and Tesch PA. Resistance training using eccentric overload induces early adaptations in skeletal muscle size. *Eur J Appl Physiol* 102: 271-281, 2008.
4. Norrbrand L, Pozzo M, and Tesch PA. Flywheel resistance training calls for greater eccentric muscle activation than weight training. *Eur J Appl Physiol* 110: 997-1005, 2010.
5. Monajati A, Larumbe-Zabala E, Goss-Sampson M, and Naclerio F. Injury prevention programs based on flywheel vs. body weight resistance in recreational athletes. *J Strength Cond Res* 35: S188-S196, 2021.
6. Maroto-Izquierdo S, Bautista IJ, and Martin Rivera F. Post-activation performance enhancement (PAPE) after a single bout of high-intensity flywheel resistance training. *Biol Sport* 37: 343-350, 2020.
7. Maroto-Izquierdo S, Garcia-Lopez D, Fernandez-Gonzalo R, Moreira OC, Gonzalez-Gallego J, and de Paz JA. Skeletal muscle functional and structural adaptations after eccentric overload flywheel resistance training: A systematic review and meta-analysis. *J Sci Med Sport* 20: 943-951, 2017.
8. Tillin NA, and Bishop D. Factors modulating post-activation potentiation and its effect on performance of subsequent explosive activities. *Sports Med* 39: 147-166, 2009.
9. Beato M, Madruga-Parera M, Piqueras-Sanchiz F, Moreno-Perez V, and Romero-Rodriguez D. Acute effect of eccentric overload exercises on change of direction performance and lower-limb muscle contractile function. *J Strength Cond Res* 2019.
10. Zubac D, and Simunic B. Skeletal muscle contraction time and tone decrease after 8 weeks of plyometric training. *J Strength Cond Res* 31: 1610-1619, 2017.
11. Gleim GW, and McHugh MP. Flexibility and its effects on sports injury and performance. *Sports Med* 24: 289-299, 1997.
12. Raeder C, Wiewelhove T, Westphal-Martinez MP, Fernandez-Fernandez J, de Paula Simola RA, Kellmann M, Meyer T, Pfeiffer M, and Ferrauti A. Neuromuscular fatigue and physiological responses after five dynamic squat exercise protocols. *J Strength Cond Res* 30: 953-965, 2016.
13. Norrbrand L, Tous-Fajardo J, Vargas R, and Tesch PA.

- Quadriceps muscle use in the flywheel and barbell squat. *Aviat Space Environ Med* 82: 13-19, 2011.
14. **Piqueras-Sanchiz F, Martin-Rodriguez S, Martinez-Aranda LM, Lopes TR, Raya-Gonzalez J, Garcia-Garcia O, and Nakamura FY.** Effects of moderate vs. high iso-inertial loads on power, velocity, work and hamstring contractile function after flywheel resistance exercise. *PLoS One* 14: e0211700, 2019.
 15. **Sabido R, Hernandez-Davo JL, and Pereyra-Gerber GT.** Influence of different inertial loads on basic training variables during the flywheel squat exercise. *Int J Sports Physiol Perform* 13: 482-489, 2018.
 16. **Zubac D, Ivancev V, Valic Z, Pisot R, Meulenberg CJW, Trozic I, Goswami N, and Simunic B.** A randomized crossover trial on the acute cardiovascular demands during flywheel exercise. *Front Physiol* 12: 665462, 2021.
 17. **Timon R, Ponce-Gonzalez JG, Gonzalez-Montesinos JL, Olcina G, Perez-Perez A, and Castro-Pinero J.** Inertial flywheel resistance training and muscle oxygen saturation. *J Sports Med Phys Fitness* 58: 1618-1624, 2018.
 18. **Nunez FJ, Suarez-Arrones LJ, Cater P, and Mendez-Villanueva A.** The high-pull exercise: A comparison between a versapulley flywheel device and the free weight. *Int J Sports Physiol Perform* 12: 527-532, 2017.
 19. **Sabido R, Hernández-Davó JL, Capdepon L, and Tous-Fajardo J.** How are mechanical, physiological, and perceptual variables affected by the rest interval between sets during a flywheel resistance session? *Front Physiol* 11: 663, 2020.
 20. **Fernandez-Gonzalo R, Lundberg TR, Alvarez-Alvarez L, and de Paz JA.** Muscle damage responses and adaptations to eccentric-overload resistance exercise in men and women. *Eur J Appl Physiol* 114: 1075-1084, 2014.
 21. **Berzosa C, Sanz-Lopez F, Gonzalo-Skok O, Valero-Campo C, Luis Arjol-Serrano J, Piedrafita E, Aladren G, and Vanessa Bataller-Cervero A.** Effect of three half-squat protocols on the tensiomyographic twitch response and tissue damage of the rectus femoris and the biceps femoris. *J Hum Kinet* 75: 15-27, 2020.
 22. **Beato M, McErlain-Naylor SA, Halperin I, and Dello Iacono A.** Current evidence and practical applications of flywheel eccentric overload exercises as postactivation potentiation protocols: A brief review. *Int J Sports Physiol Perform* 15: 154-161, 2020.
 23. **Beato M, Bigby AEJ, De Keijzer KL, Nakamura FY, Coratella G, and McErlain-Naylor SA.** Post-activation potentiation effect of eccentric overload and traditional weightlifting exercise on jumping and sprinting performance in male athletes. *PLoS One* 14: e0222466, 2019.
 24. **de Hoyo M, Gonzalo-Skok O, Sanudo B, Carrascal C, Plaza-Armas JR, Camacho-Candil F, and Otero-Esquina C.** Comparative Effects of In-Season Full-Back Squat, Resisted Sprint Training, and Plyometric Training on Explosive Performance in U-19 Elite Soccer Players. *J Strength Cond Res* 30: 368-377, 2016.
 25. **Tesch PA, Fernandez-Gonzalo R, and Lundberg TR.** Clinical applications of iso-inertial, eccentric-overload (YoYo) resistance exercise. *Front Physiol* 8: 241, 2017.
 26. **Sale D.** Postactivation potentiation: Role in performance. *Br J Sports Med* 38: 386-387, 2004.
 27. **de Hoyo M, de la Torre A, Pradas F, Sanudo B, Carrasco L, Mateo-Cortes J, Dominguez-Cobo S, Fernandes O, and Gonzalo-Skok O.** Effects of eccentric overload bout on change of direction and performance in soccer players. *Int J Sports Med* 36: 308-314, 2015.
 28. **de Keijzer KL, McErlain-Naylor SA, Dello Iacono A, and Beato M.** Effect of volume on eccentric overload-induced postactivation potentiation of jumps. *Int J Sports Physiol Perform* 15: 1-6, 2020.
 29. **Beato M, de Keijzer KL, Fleming A, Coates A, La Spina O, Coratella G, and McErlain-Naylor SA.** Post flywheel squat vs. flywheel deadlift potentiation of lower limb isokinetic peak torques in male athletes 22: *Sports Biomech* 1-14, 2020.
 30. **Contreras B, Vigotsky AD, Schoenfeld BJ, Beardsley C, and Cronin J.** A comparison of gluteus maximus, biceps femoris, and vastus lateralis electromyographic activity in the back squat and barbell hip thrust exercises. *J Appl Biomech* 31: 452-458, 2015.
 31. **Dello Iacono A, Padulo J, and Seitz LD.** Loaded hip thrust-based PAP protocol effects on acceleration and sprint performance of handball players. *J Sports Sci* 36: 1269-1276, 2018.