



應用運動科技精準監測 部隊體能戰技訓練與疲勞水準之探討

作者簡介



蘇明仁教師，NSCA-CSCS美國肌力與體能訓練協會專家、中華民國運動教練學會肌力及體能訓練乙級教練；曾任海軍陸戰隊戰術體能教官、消防署戰術體能研究案協同主持人，現任陸軍步兵訓練指揮部國軍運動科學推廣中心雇員教師。



林士偉一等長，國立高雄師範大學體育學研究所碩士生；陸軍士校88年班、士官長正規班95年班，現任陸軍步兵訓練指揮部國軍運動科學推廣中心體育教官。

提要

- 一、「軍事運動科學」是一門因應軍事人員，需面對極端「未知作戰情境」、「未知任務持續時間」與「生死存亡」任務特殊性的科學領域，以運動科學理論作為研究基礎與策略，從而優化軍事人員的體能與戰技(鬥)表現。
- 二、從烏克蘭、俄羅斯至以色列與巴勒斯坦等戰爭，部分先進國家武裝部隊通過不間斷參與實際作戰行動，依循實戰經驗反映備戰訓練的需求，運用軍事運動科學中的「運動科技」器材與技術，更新符合實戰訓練之模組，以精準掌握部隊體能戰技訓練強度，同時監測官兵訓練前、中、後的疲勞累積與消除情況。
- 三、官兵在備戰期間的體能戰技訓練具有極高的訓練強度與疲勞程度，且在任務執行過程中常伴隨著疲勞消除與體力恢復的挑戰，這可能導致嚴重的傷害與降低任務成功機率。因此，如何運用現代軍事運動科學中的運動科技

器材及技術，精準調控體能戰技的訓練強度與監測官兵的疲勞情況，對於提升部隊整體戰鬥力具有重要意義，值得探討。

關鍵詞：測力板、神經肌肉系統、速度依循訓練、軍事運動科學

前言

過去二十年間，西方國家因非傳統與不對稱混合戰爭衝突的威脅，除了造成人員傷亡與國家整體興盛受到極大損失外，加上二十一世紀全球作戰技術變革的規模及進步速度，使得戰爭衝突的演變與挑戰，不僅在陸地、空中與海上環境中進行競爭，甚至已發展至太空與AI人工智慧領域。這使得當前軍事與科學界將強化備戰平時與實戰當下的體能戰技(鬥)表現訓練概念，重新定義為「應用科學知識、技能及新興技術之過程，以優化與確保戰士在執行重要作戰任務的能力。」¹

陸軍地面部隊在駐地、專精訓練與基地演訓測考期間，官兵常需在艱鉅險峻環境下負重行軍、火力下高速跑動與近距離戰(格)鬥等體能戰技訓練。而這些訓練幾乎都具有高強度與高負荷，對官兵的生理素質造成高度疲勞負擔，影響部隊能否

順利成功完成各兵科實戰演訓任務。這些關鍵指標，可能有賴精準戰備訓練期間，部隊的體能戰技訓練強度與士兵疲勞消除策略，這至關重要。²

本文藉由梳理綜整近年曾參與國際戰爭的軍事單位，如何以軍事運動科學研究理論與實證基礎，透過運動科技介入部隊的體能戰技訓練策略，作為精準官兵體能戰技訓練強度與疲勞監測恢復策略之依循方式。

建構體能戰技訓練與疲勞監測的科學模組

欲以最佳的方式精準獲得部隊體能戰技訓練的最大效益，應了解官兵的訓練作戰環境要素，以預期官兵訓練前、中、後，身體所衍生之生理、心理的短、中、長程變化；適切應用現今運動科技，因時制宜地調控官兵的體能戰技訓練強度與疲勞監測，體能恢復期程及狀態，將其訓練

1 Nevin Jonpaul & Jones Martin Ian, "Human Performance Optimization(HPO) for the Warfighter-Keeping It Simple in a Complex Age:A Narrative Review", Strength and Conditioning Journal, October 2023, Vol.45, Issue5, p.578~586.

2 許智翔，〈國軍城鎮戰能力發展研析〉《洞見與攻略》(臺北市：國防部整合評估司)，第十七期，民國112年3月，頁42。



效益精準轉移至實際戰鬥表現上。除了有效控管訓練風險因子外，更有利於作戰演訓的順利與任務成功(如圖1)。³

一、官兵體能戰技(鬥)訓練的生理特徵

臨戰時所需的運動機能與戰技(鬥)狀況，是面對未知並暴露在地表或隱匿於掩體的情境，同時吸引敵人三維度空間的準確火力攻擊，更需要具備負重並在高心率狀態下，以高強度短時間衝刺快速移動的戰鬥型態，屬於高衝量的神經衝動，且須快速徵召大量肌纖維運動單位收縮的生理特徵。在運動生理學的機轉之中，官兵在執行體能戰技訓練時，戰技(鬥)動作的產生，是由大腦控制神經誘發肌肉系統提供力量，牽引骨骼系統以產生戰技動作，稱為「神經肌肉骨骼訓練適應」。⁴而這些生理反應程度都與運動單位徵召有關，進而決定參與的肌力特質與臨戰所需供能，才會產生體能戰技

表現時的爆發力輸出功率結果，故須具備鑑別出這些生理特徵後，方能精準監測與訓練官兵備戰時的體能戰技訓練計畫。⁵

二、了解影響部隊官兵體能戰技表現的因素

備戰下的體能戰技訓練強度設定，部隊常以實戰任務狀況下所需強度作為訓練目標，進而導致官兵體能戰技表現不穩定，甚至造成傷損情事。Pihlainen Kai等人在2018年曾發表一篇「運動機能及身體組成狀況與軍事模擬實戰任務體能之關聯

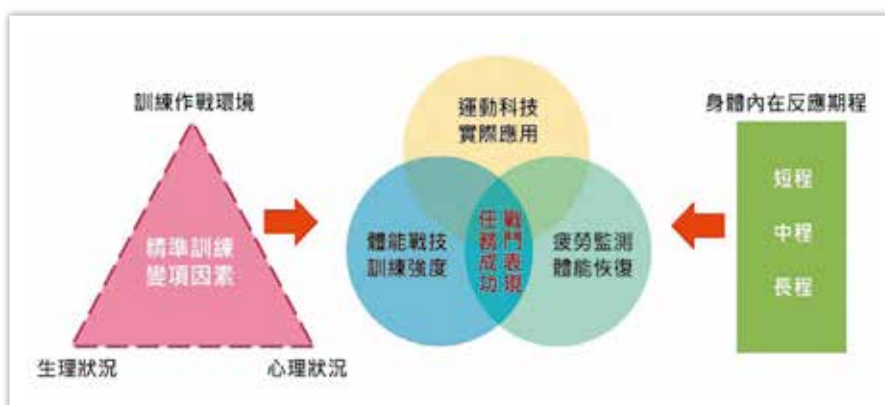


圖1 建構部隊體能戰技訓練科學化模組示意圖

資料來源：1.Duncan N.French、Lorena Ronda著／林貴福等譯，《NSCA運動科學—原文序》(臺北市：禾楓書局有限公司，2022年2月初版)，頁16-4，檢索日期：2024年7月2日。

2.作者繪製圖。

- 3 Boffey David et al, " Influence of Body Composition, Load-Velocity Profiles, and Sex-Related Differences on Army Combat Fitness Test Performance ", Journal of Strength and Conditioning Research , Decmber 2023 , Vol.37, Issue12, p.2,467~2,476.
- 4 林正常，《運動生理學》第四章運動與肌肉，(臺北市：師大書苑有限公司，2022年9月第五版)，頁63~66。
- 5 Tudor O. Bompa、Carlo A. Buzzichelli著／吳柏翰等譯，《運動訓練法》第10章發展肌力和爆發力，(新北市：藝軒圖書出版社，2020年6月第三版)，頁234、235。

性」的研究報告指出，官兵因在負重兵科裝備狀況下執行戰鬥動作，導致實戰任務時的下肢爆發力下降了近25%，影響官兵生死存亡與作戰成功機率。⁶現今美國海軍陸戰隊，透過運動科技於官兵部署備戰時，因體能戰技訓練前、後的「垂直跳躍高度」、「發力率」、「動作速度」與「心率」數值變異等生理徵候，作為部隊體能戰技訓練上的疲勞監測及強度調控(如圖2)。⁷

部隊應用運動科技精準訓練相關方式

「美國肌力與體能訓練協會」(National Strength and Conditioning Association, NSCA)作為美國近二十年來的軍事運動科學研究發展與培訓軍人、消防、警察與搜救團體中「戰術肌力與體能訓練師」的第三方認證機構，該機構的肌力與體能訓練期刊於2022年12月發

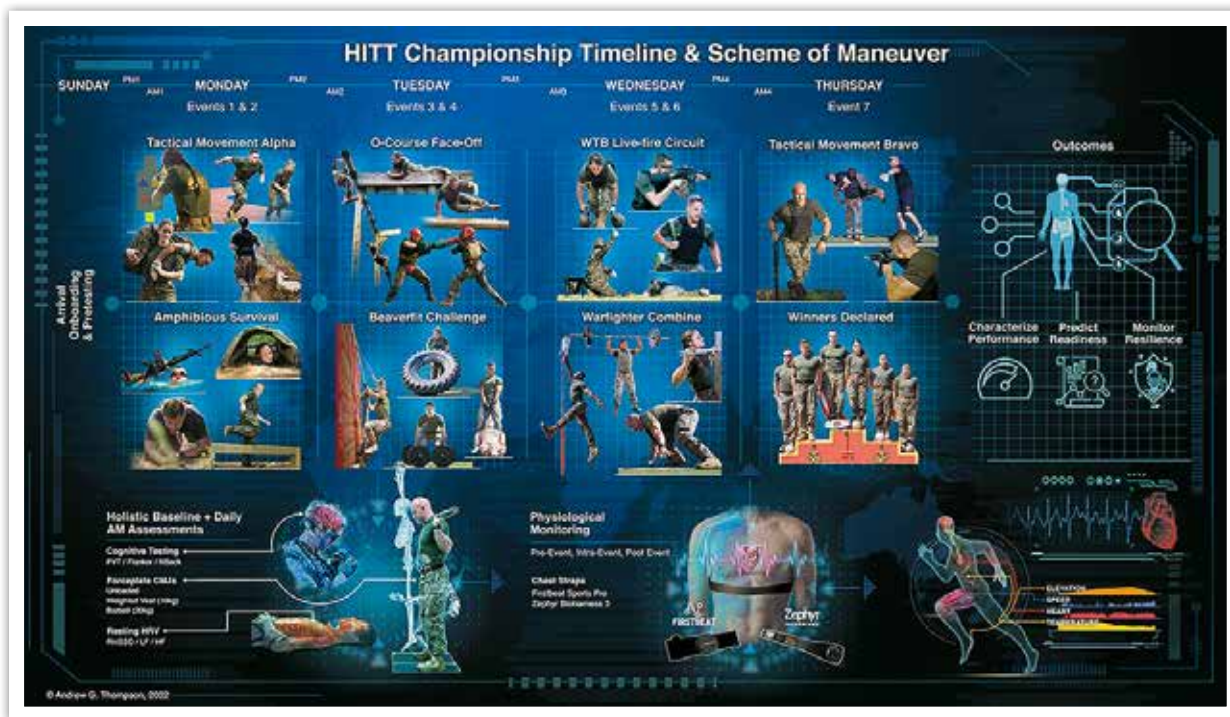


圖2 美國海軍陸戰隊應用運動科技—測力板與心率帶監測官兵於實戰化訓練及體能戰技競賽上的生、心理與認知狀況

資料來源：同註7, p.2,449，檢索日期：2024年7月8日。

- 6 Pihlainen Kai et al, "Associations of Physical Fitness and Body Composition Characteristics With Simulated Military Task", Journal of Strength and Conditioning Research, April 2018, Vol.32, Issue4, p.1,089~1,098.
- 7 Thompson Andrew G. et al, "Psychophysiology Cognitive Function and Musculoskeletal Status Holistically Explain Tactical Performance Readiness and Resilience", Journal of Strength and Conditioning Research, December 2023, Vol.37, Issue12, p.2,443~2,456.



表了一篇「戰士的人類績效－在複雜的時代保持簡單：敘述性回顧」研究報告，明確指出部隊中負責訓練士兵體能戰技的軍士官，若欲優(強)化部隊體能戰技(鬥)表現與監測疲勞狀況，其關鍵指標為應用符合軍事運動科學範疇中的運動科技產物，如：「心率監控」、「線性位移感測器」、「功率輸出監測器」與「測力板」(如圖3)，於駐地、專精訓練與基地訓練期間，精準追蹤調控部隊體能戰技訓練強度，監測士兵訓練前、中、後的疲勞程度，給予適當恢復期程，達到優(強)化體能戰技(鬥)表現與體能疲勞監測恢復狀況，提升士兵於戰場上的生理及心理認知狀態。⁸

一、運動科技與部隊精準體能戰技訓練關係

欲應用運動科技進行精準體能戰技

訓練與疲勞監測發展，須先依各部隊實戰任務指標，進行需求分析評估，應用戰術肌力體能訓練計畫原則(特殊性、超負荷、恢復與可逆性)。這樣的計畫必須針對體能戰技(鬥)的運動控制、速度與敏捷性、能量系統的有氧與無氧能力、肌力特質類型與發力率(Rate of Force Development, RFD)作為精準體能戰技訓練規劃與疲勞監測的依據。而官兵的體能戰技能力狀況，可能也需要相關運動科技器材與技術，進行訓練強度區間調整與訓練前、中、後的疲勞監測，制定訓練與恢復計畫，達成應用運動科技進行精準部隊體能戰技訓練的成效。⁹

二、鑑別部隊體能戰技訓練強度區間

由於地面部隊實戰中的特定任務動作幾乎都需要高速度，以確保生命安全與任務成功。Turner Anthony等人在2016年



圖3 陸軍步訓部一體幹班、運科班學員應用運動科技—心率監控、線性位移感測器、離心慣性阻力機、測力板(由左至右依序)，調控功率輸出，精準訓練強度與檢測訓前、中、後的疲勞程度

資料來源：陸軍步兵訓練指揮部—國軍運動科學推廣中心。

- 8 Merrigan Justin J. et al, "Monitoring Neuromuscular Performance in Military Personnel", International Journal of Environmental Research and Public Health, December 2020, Vol.17, Issue23, p.2~25.
- 9 Winters Joshua D. et al, "Altered Physical Performance Following Advanced Special Operations Tactical Training", Journal of Strength and Conditioning Research, July 2021, Vol.35, Issue7, p.1,809~1,816.

「英國士兵實戰化體能戰技關係」研究中指出，士兵的下肢爆發力與垂直跳躍高度數據與士兵在體能戰技訓練中的跳躍、跳遠、敏捷性、衝刺加速與速度能力具有高度相關性。¹⁰

英國陸軍將士兵在執行作戰時的「力量－時間」關係以發力率(RFD)曲線呈現，將士兵戰鬥動作中的「跳躍與落地」與「踹門攻堅」的發力率標定在300毫秒內；「負重變換戰鬥位置」與「負重登階」的發力率在500～700毫秒內；而「戰傷撤離」與「履帶搬運」的發力率可能落在大於800毫秒的強度區間(如圖3)。這代表部隊在平時備戰中的體能戰技訓練可以依循這些標示出的強度區間執行正確強度的訓練，從而將訓練效益遷移至戰場上的戰鬥表現。

(一)力量－時間曲線：標示曲線各區間中，縱軸虛線左半部的0～300毫秒內為曲線斜率最高，代表在此力量與時間內產生的RFD表現最快速，也是「臨近實戰」戰鬥任務與戰技動作的關鍵需求指標。在力量－時間曲線的持續最後峰值端為「功率峰值」

(Peak Power)，最高功率則為接近大於800毫秒(如圖4)。

(二)速度－力量曲線：呈現出實戰時戰鬥任務與戰技動作之力量與動作速度關係，為反比關係(如圖5)。¹¹ 整體曲線區間段可視為代表各類戰技動作的動力「功率」爆發力輸出方式，這條曲線上的速度與力量表現，是官兵戰鬥任務成功的關鍵指標，而速度與力量表現優劣，通常取決於官兵對於負載兵科武器裝備質量時的快

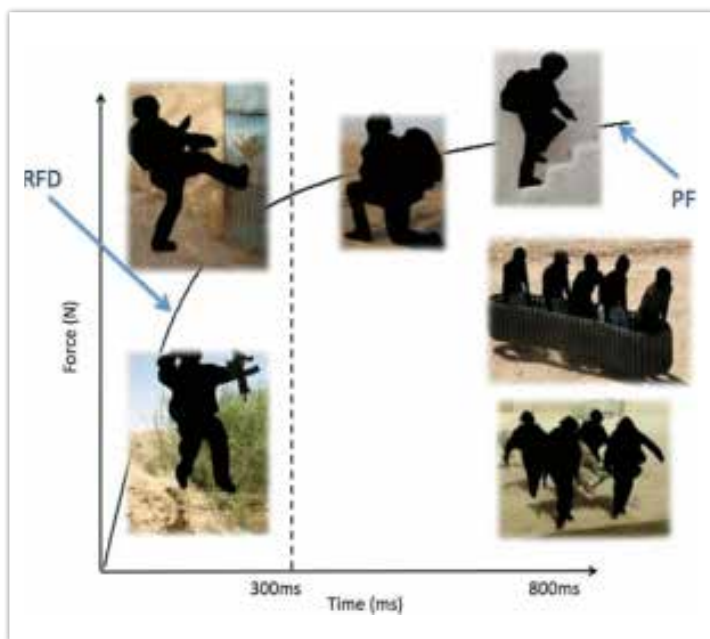


圖4 英國士兵戰鬥動作之力量與時間(發力率)關係曲線圖

資料來源：Turner Anthony, "Strength and Conditioning for British Soldiers", *Strength and Conditioning Journal*, June 2016, Vol.38, Issue3, p.61, 檢索日期：2024年7月8日。

10 Turner Anthony, "Strength and Conditioning for British Soldiers", *Strength and Conditioning Journal*, June 2016, Vol.38, Issue3, p.59～68.

11 Vladimir M. Zatsiorsky等著／林貴福等譯，《肌力訓練的科學實證》第7章重量訓練室的速度，(臺北市：和風書局有限公司，2021年8月初版)，頁7-26～7-27。

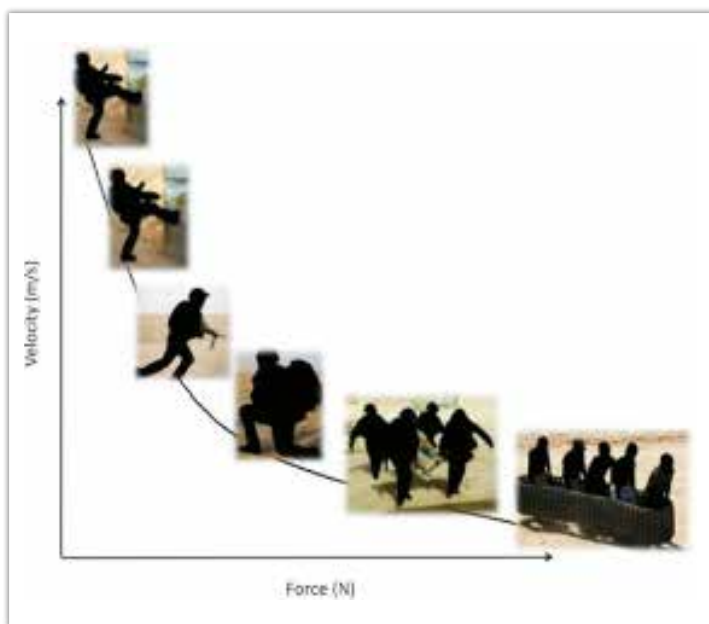


圖5 英國士兵戰鬥動作之速度與力量(爆發力)關係曲線圖

資料來源：同圖4，p.61，檢索日期：2024年7月8日。

速移動、控制性與爆發力。部隊在各體能戰技訓練階段上，應儘可能在所需速度—力量區段上，才有機會最大化精準訓練成效。

三、精準部隊體能戰技訓練強度於各階段

部隊年度訓練的各階段，若能將體能戰技(鬥)表現中的「力量—時間」與「速度—力量」之爆發力(功率)區段劃分出來，運用適切的運動訓練法(如圖5)，並結合運動科技的「線性位移器」(若無運動科技器材，也可使用碼表與錄影)，採用「速度依循訓練」(Velocity-

Based Training)，於部隊體能戰技訓練中，設定正確的肌力體能戰技動作速度、爆發力(功率)區段目標(如圖6)。¹²

精準運動訓練法的應用，可透過「速度」、「有氧耐力」訓練法優化神經系統反應與能量供能，有助於快速戰技動作執行；「增強式」訓練法來強化肌肉對快速動作的力量適應性，促進爆發力與加速度之提升；「複合式」訓練法增加肌肉對負荷的適應性，提升在高強度下的動作速度及效率；大力士訓練與健力三項等相關最大力量訓練，提升需搬運具重量的兵

科裝備所需最大肌力，以求訓練強度與疲勞監控效益，精準遷移至部隊在駐地戰備、專精訓練、基地演訓測考等階段(如表1)。¹³

應用運動科技 監測官兵疲勞程度

為了有效地維持部署戰力並減少龐大的醫療預算支出，美國國防部自2021年迄，在四個主要軍種投入了大量預算，建構了用於監測官兵疲勞程度的「測力板」運動科技。這項科技能夠追蹤官兵

12 Guppy Stuart N. et al, "Velocity-Based Training - A Critical Review", Strength and Conditioning Journal, June 2024, Vol.46, Issue3, p.295~307.

13 蘇明仁、陳仁德，〈應用運動科學優化陸軍兵科體能訓練系統之初探〉《陸軍學術雙月刊》(桃園龍潭)，584期，2022年8月，頁70~72。

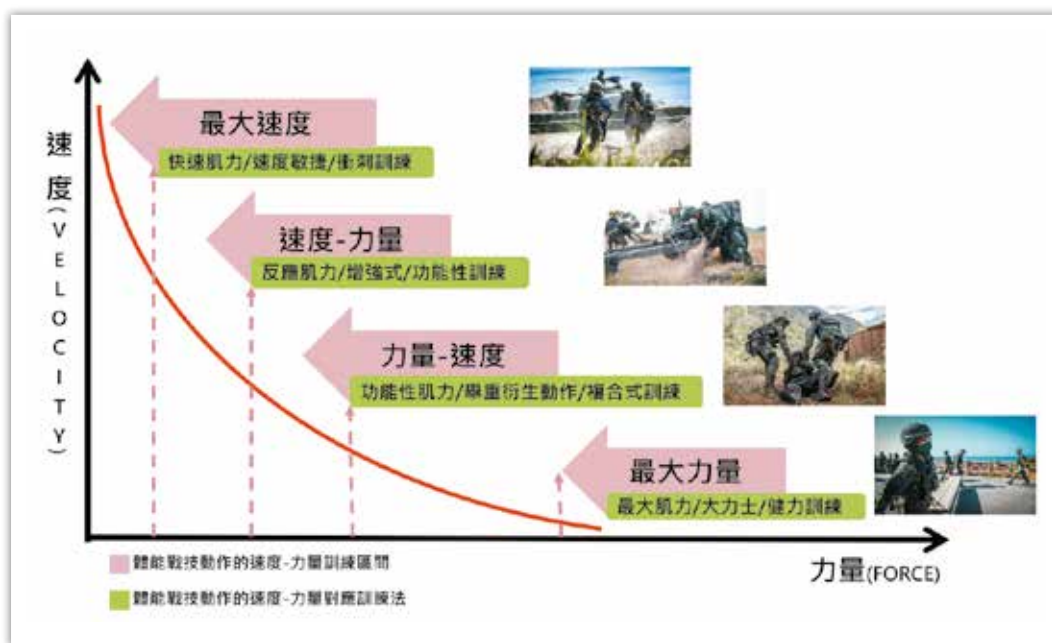


圖6 部隊精準體能戰技訓練應用速度—力量區間曲線圖

資料來源：1.Guppy Stuart N. et al, "Velocity-Based Training - A Critical Review", Journal of Strength and Conditioning, June 2024, Vol.46, Issue3, p.298~303.

2.作者繪製圖。

在投入作戰前的神經肌肉狀況，調控部隊於部署前的疲勞程度與體能戰技訓練計畫(如表2)。美國海軍陸戰隊與澳洲等軍事單位已有應用測力板來監測官兵因體能戰技訓練而產生的疲勞程度(如圖7、8)。

一、監測人體疲勞黃金指標的運動科技產物—測力板

測力板的最大效益在於「時間效率」，官兵僅需在測力板上執行一次跳躍與落下動作，即可獲得當前的疲勞指數狀況

。透過在測力板上執行下肢與上肢動作，可以對人體的肌力特質(向心、離心、等長、反應肌力)、發力過程與最大肌力表現狀況進行監測評估。¹⁴因不同種類的體能戰技訓練中，肌力特質將會帶給官兵不同程度的神經肌肉疲勞。故欲精準部隊體能戰技訓練與疲勞監測，應先具備鑑別各類體能戰技訓練的肌力特質，以預期產生的負荷與疲勞程度。這些都是實戰情境中所需發揮的關鍵戰鬥運動機能表現要素(如表3)。¹⁵

14 Bishop Chris et al, "Selecting Metrics That Matter : Comparing the Use of the Countermovement Jump for Performance Profiling, Neuromuscular Fatigue Monitoring, and Injury Rehabilitation Testing", Strength and Conditioning Journal, October 2023, Vol.45, Issue5, p.545~553.

15 於下頁。



表1 精準各階段部隊體能戰技訓練強度與訓練法－彙整表

爆發力(功率)區段	肌力體能訓練 (戰技)動作速度	對應戰技(鬥)表現與訓練法	部隊訓練階段
最大速度 (Maximum Speed)	大於每秒1.5公尺 (>1.5 m/s)速度	指在戰鬥動作中須快速輸出功率的能力(如：下車戰鬥)，主要肌肉產生力量過程是以收縮速度快為主，形成爆發力；訓練速度可提高神經系統反應與肌肉收縮速度(如：速度敏捷與衝刺訓練法)，有助於快速戰技動作執行。	駐地戰備 訓練階段
速度－力量 (Speed-Strength)	每秒1～1.5公尺 (1～1.5m/s) 速度	指在高速戰鬥動作下產生力量的能力(如：砲兵挖駐鋤)；訓練速度－可提高肌肉對快速動作的力量適應性，促進爆發力與加速度之提升(如：增強式與高強度功能性訓練法)。	兵科基地 聯合演訓
力量－速度 (Strength -Speed)	每秒0.5～1公尺 (0.5～1 m/s) 速度	指執行中等負重程度戰鬥動作的速度能力(如：戰傷撤離)；訓練力量－速度可增加肌肉對負荷的適應性，提高在高強度下的動作速度及效率(如：複合式訓練法與舉重衍生動作)。	專精管道 訓練階段
最大力量 (Maximum Strength)	小於每秒0.5公尺 (<0.5 m/s) 速度	指在執行具高負重程度戰鬥動作時的肌肉可產生的最大力量水準(如：工兵架橋)；訓練最大力量可增加大量運動單位(一條神經元可支配多少肌纖維數量)被徵召激活程度，提升最大肌力與耐力(如：大力士訓練與健力三項的負重蹲舉、硬舉與臥推)。	駐地戰備 訓練階段
備註	1.部隊訓練適應階段，僅是以學理機轉對應，部隊仍需因時制宜的依據部隊官兵每日疲勞消除程度，調控訓練強度劑量。 2.部隊訓練週期，愈近「基地演訓測考階段」，動作速度流失應越來越少。		

資料來源：1. Andrew T. et al, “Validity of Using the Load-Velocity Relationship to Estimate 1 Repetition Maximum in the Back Squat Exercise: A Systematic Review and Meta-Analysis”, Journal of Strength and Conditioning Research , March 2024, Vol.38, Issue3, p.612～619.(應用速度－力量關係，預估背蹲舉1RM的最大效度：系統性回顧分析)
2. Fitas Afonso et al, “Prediction of One Repetition Maximum in Free-Weight Back Squat Using a Mixed Approach: The Combination of the Individual Load-Velocity Profile and Generalized Equations”, Journal of Strength and Conditioning Research , February 2024, Vol.30, Issue2, p.228～235.(使用混合方法預測負重深蹲一下的最大值：個體負荷－速度曲線與廣義訓練組合)
3.作者彙整製表。

表2 國外軍事單位應用運動科技監測官兵疲勞策略彙整表

文獻出處	研究者	研究策略	參與研究對象	研究主要發現
BMC運動科學、醫學與康復期刊 (BMC Sports Science Medicine and Rehabilitation)	Barrett Trvor et al,(2024)	「美國海軍陸戰隊海上偵察訓練訓期，應用測力板檢測評估。」	美國海軍陸戰隊員在進行訓練前測力板檢測，在訓期中監控訓員肌肉骨骼狀況。	應用測力板監測，追蹤受訓期間監測學員神經肌肉骨骼健康狀況具顯著相關性(p<0.01)。
開放獲取學術期刊 (MDPI) 「體育期刊」 (Sports)	Smith Chelsea et al,(2023)	「為期5週的個人化訓練計畫對陸軍人員身體表現和肌肉骨骼損傷風險相關措施的影響：檢測研究。」	澳洲陸軍士兵隨機分為兩組，並進行為期5週的體能訓練，探討藉測力板監測後，導入個別化訓練計畫，對人員體能與肌肉骨骼損傷危險因子可行性及效益。	研究結果顯示，測力板技術有助於精準訓練於個別化的體能訓練計畫，並優化戰技運動表現及降低肌肉骨骼受傷風險，減少醫療成本，達顯著相關性(p<0.05)。

軍事醫學期刊 (Military Medicine)	Smith Chelsea et al,(2023)	「軍事人員的跳躍、平衡與平板支撐測驗與測力板檢測的信效度。」	澳洲陸軍士兵以測力板檢測跳躍、單腳平衡與平板支撐，驗證受傷關聯性。	透過測力板檢測軍事人員單雙腳的跳躍與平板撐體等相關生物力學變數，與監控神經肌肉表現與骨骼損傷關係達顯著相關性($p<0.01$)。
應用科學期刊 (Applied Sciences)	Merrigan Justin et al,(2021)	「應用測力板技術為戰術人群的人體表現提供監測訊息。」	美國陸軍以測力板的系統性文獻回顧，探討戰術人員神經肌肉疲勞與訓練量過度(不足)訓練關係性。	測力板為檢測官兵神經肌肉性能監測的數據監測，與戰術行動前的管控傷損與調控訓練效度，具顯著相關性($p<0.05$)。
綜結	綜析上述研究策略與發現，明確指出應用運動科技-測力板執行監測部隊訓練疲勞狀況，可降低官兵肌肉骨骼受傷風險，減少醫療成本。			

資料來源：作者蒐集彙整製表。



圖7 美國海軍陸戰隊步兵學校一學員執行負重反向跳躍檢測

資料來源：〈School of Infantry Human Performance Center〉，Strength Performance Assessment，https://x.com/soi_e_aitb/status/1573024115006623749?s=46，檢索日期：2024年7月8日。

Pihlainen Kai等人於2018年的研究結果顯示，士兵的反向跳躍(Counter Movement Jump, CMJ)、蹲踞跳(Squat Jump, SJ)、落下跳(Drop Jump, DJ)的高度



圖8 澳洲皇家空軍學校一學員執行大腿中段上拉的等長肌力檢測

資料來源：〈Australian Government Defence〉，New training concept for stronger Air Force，<https://www.defence.gov.au/news-events/news/2024-02-27/new-training-concept-stronger-air-force>，檢索日期：2024年7月8日。

、發力率與軍事模擬實戰任務完成時間之間存在高度正相關。¹⁵而Bishop Chris等人於2023年的研究則進一步指出，在分析表現、監測神經肌肉疲勞以及損傷復健檢測方面，測力板對於「反向跳躍高度」、「峰值功率」、「騰空時間」以及「反應時

15 Scott,W. Casan. et al, “ Force plate vertical jump scans are not a valid proxy for physical fitness in US special warfare trainees ”, Frontiers In Physiology, November 2022 , Vol.13, Issue16, Published Online.

16 同註6，p.1,094。



表3 體能戰技訓練動作對應肌力特質與衍生疲勞程度關係表

地面部隊相關體能戰技動作	肌力特質	疲勞程度
如：五百公尺障礙超越，爬竿跳躍上竿、高牆與壕溝超越；格鬥刺槍與手榴彈投擲等（各兵科戰術作為具衝刺、跳躍、推、蹬）相關戰技動作。	向心肌力	中度疲勞 肌肉延遲性痠痛約24~48小時；肌肉用力時，肌纖維(肌節)長度縮短(反射)產生力量。
如：五百公尺障礙超越，高跳台跳下、穿越鐵絲網前的煞車減速準備臥倒匍匐超越(各兵科戰技作為具落地、減速、變換射擊位置；具負重量大)等相關戰技動作。	離心肌力	高度疲勞 肌肉延遲性痠痛約48~72小時；肌肉用力時，肌纖維(肌節)長度拉長(伸張)產生力量，因肌纖維拉長破壞。
如：五百公尺障礙超越，高牆上攀抓扣牆頂時與落地瞬間；格鬥寢技與後勤整備搬運重型兵科裝備時(各兵科戰術作為之中的蓄力、控制、再發力)等相關戰技動作。	等長肌力	低度疲勞 肌肉延遲性痠痛約12~24小時；肌肉用力時，肌纖維(肌節)長度不具伸張反射產生抵抗力量。
如：五百公尺障礙超越的雙木欄以跨越法跨欄落地馬上再起跑跨越；格鬥出拳與下車戰鬥衝刺等(各兵科戰術作為之中需具極短觸地時間與敏捷)相關戰技動作。	反應肌力	高度疲勞 肌肉延遲性痠痛約48~72小時；肌肉用力時，肌纖維(肌節)長度因肌梭原理產生伸張反射力量，因神經衝量高，故訓練後生理疲勞感受會較明顯。

資料來源：1.《近戰戰技手冊》(桃園市：陸軍司令部，民國109年10月)，頁4-204~4-251。

2.《陸軍聯合兵種營作戰教範》(桃園市：陸軍司令部，民國111年12月)，頁256~279。

3.林正常，《運動生理學》(臺北市：師大書苑有限公司，2022年9月第五版)，頁63~66。

4.作者彙整製表。

間」等指標的應用具有重要價值。綜上所述，國外軍事部隊已廣泛應用運動科技來監測官兵的訓練疲勞狀況。對於國軍等人數眾多的部隊，雖然目前無法普及使用測力板來監測所有官兵在體能戰技訓練後的疲勞指標狀況，但至少可以利用不受場地和器材限制、方便迅速的CMJ與SJ跳躍高度作為監測官兵疲勞指數狀態和休息恢復之參考。¹⁷

二、測力板技術應用與官兵傷損風險調控

Steinberg Nili等人2024年的研究「

招募前步兵的慢性踝關節不穩定」以及Thompson等人的「監測軍事人員的神經肌肉表現」中指出，士兵若具備較佳的神經肌肉表現能力(如動作控制平衡、本體感覺敏銳度、適當肌肉力量與敏捷性)，則能更有效地承受長時間和高強度的訓練。然而，若因體能戰技訓練後的疲勞消除和恢復不當，導致士兵的戰鬥表現下降，則其下肢肌肉骨骼損傷的風險可能會增加，尤其是踝關節扭傷。因此，對士兵進行訓練前、中、後的評估和追蹤疲勞狀況至

17 Merrigan Justin J. et al, "Applying Force Plate Technology to Inform Human Performance Programming in Tactical Populations", Applied Science, January 2021, Vol.11, Issue14, p.1~23.

關重要，這將有助於評估和調控士兵在後續體能戰技訓練中的肌肉骨骼傷害風險(如圖9、10)。¹⁸

三、測力板應用與操作流程

根據Smith Chelsea等人在2023年的研究「應用測力板檢測軍事人員跳躍、平衡與平板撐體的信效度研究」的結果，測力板的檢測數值信效度為中等至良好。因此，這種新興運動科技可以幫助監測和評估軍事人員的傷害風險，並調整訓練計劃。使用測力板可以監測部隊官兵在戰技運動表現上的跳躍高度、發力率、觸地時間以及身體不對稱等疲勞狀態。¹⁹

動態肌力檢測方式包括反向跳躍(CMJ)、蹲踞跳(SJ)和落下跳(DJ)；靜態肌力檢測方式則包括大腿中段等長上拉(Isometric Mid-Thigh Pull, IMTP)。靜態檢測中，肌肉以等長收縮方式用力，長度不變，無向心或離心收縮，因此不存在速度表徵問題。因此，大腿中段等長上拉(IMTP)可用於檢測官兵的發力率(RFD)線型情況，以監測部隊官兵的疲勞累積和消除狀態。通過檢測當下呈現的數據線形圖，可以鑑別出各種動態肌力特質狀況以及線性斜率、發力率和峰值功率等指標(如



圖9 士兵穿越高欄落地與測力板的垂直反作用力對應關係

資料來源：同註8, p.2，檢索日期：2024年7月6日。

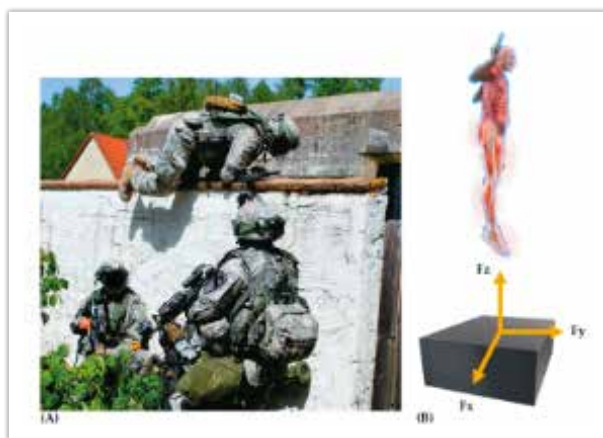


圖10 士兵高牆躍上跳上與測力板的垂直反作用力對應關係

資料來源：同註8, p.5，檢索日期：2024年7月6日。

圖11~13)。這些資料有助於追蹤記錄官兵訓練前、中、後的神經肌肉表現狀況，並作為調控後續訓練強度和傷後回場訓練時機的參考。²⁰

(一)負重反向跳躍CMJ、蹲踞跳SJ的執行方式(如圖14)：

18 Steinberg Nili et al, "Chronic Ankle Instability and Neuromuscular Performance in Prerecruitment Infantry Soldiers", Journal of Athletic Training, January 2024, Vol.59, Issue1, p.73~80.

19 Smith Chelsea et al, "Reliability of Force Plate Metrics During Standard Jump, Balance, and Plank Assessments in Military Personnel", Military Medicine, August 2023, Vol.188, Issue 7, p.2,058~2,066.

20 於下頁。

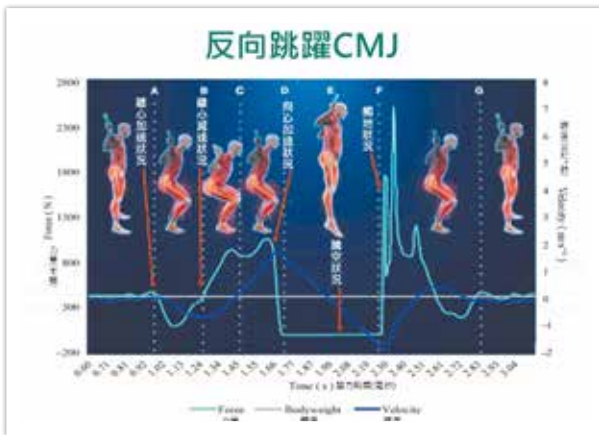


圖11 負重反向跳躍CMJ檢測後線型說明

資料來源：Marrigan J. et al, "Applying Force Plate Technology to Inform Human Performance Programming in Tactical Populations", Applied Science, January 2021, Vol.11, Issue14, p.12~15, 檢索日期：2024年7月7日。

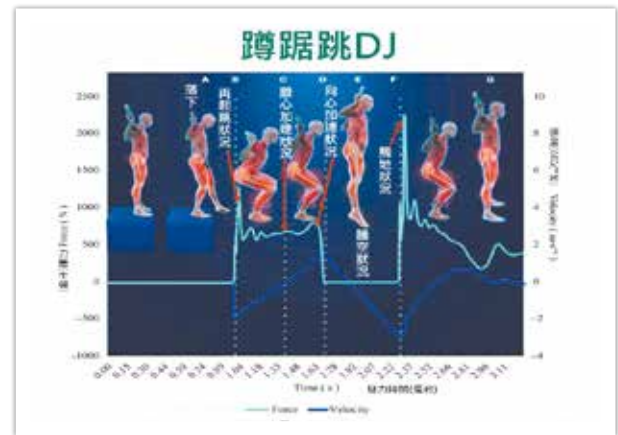


圖12 落下跳DJ檢測後線型說明

資料來源：同圖12，檢索日期2024年7月7日。

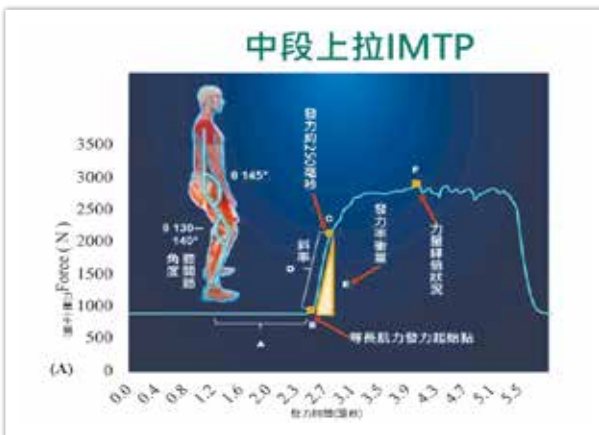


圖13 大腿中段上等長拉IMTP檢測線型說明

資料來源：同圖12，檢索日期2024年7月7日。

1.10分鐘動態暖身(抬腿跑、衝刺、垂直跳練習)與伸展。

2.受測者站立於測力板上，雙腳平行



圖14 陸軍步訓部一體幹班學員應用測力板，執行負重反向跳躍CMJ監測神經肌肉表現

資料來源：陸軍步兵訓練指揮部—國軍運動科學推廣中心。

並且與肩同寬，無負重時雙臂自然下垂(反向負重跳躍時，將槓鈴背負肩上，雙手握於槓鈴；蹲踞跳時，雙手叉腰)，身體直立穩定不動。

- 20 Smith Chelsea et al, "Impact of a 5-Week Individualised Training Program on Physical Performance and Measures Associated with Musculoskeletal Injury Risk in Army Personnel: A Pilot Study", Sports (Basel), January 2023, Vol.11, Issue 1, Published online .

3.聽從檢測人員口令「3、2、1跳!!」指示，立即快速下蹲至自選角度的膝關節位置(蹲踞跳則固定在90度起跳)，起跳時，保持身體垂直並且將力量集中在雙腳，避免使用手臂動作幫助跳躍。

4.跳躍騰空時，下肢保持伸直，不得後勾屈膝抬腿，平穩落地，保持身體平衡並且不做額外的移動，穩於測力板。

(二)落下跳DJ(如圖15)：

1.10分鐘動態暖身(抬腿跑、衝刺、垂直跳練習)與伸展。

2.受測者保持站立姿勢於30公分跳箱上，雙手叉腰於髖關節髌骨位置。

3.聽從檢測人員口令「3、2、1跳!!」指示，立即向前自箱上落下，採自然下落方式，兩腳觸地時，以最迅速再起跳，再落地後，站穩於測力板上，不可再下蹲。

(三)大腿中段等長上拉IMTP(如圖

16)：

1.10分鐘動態暖身(抬腿跑、衝刺、垂直跳練習)與伸展。

2.受測者雙腳站立在測力板上，將架子與槓鈴的高度調整至膝關節，角度調整介於120~140度位置，保持軀幹挺直，並在受測過程中維持張力姿勢。

3.聽從檢測人員口令「預備！3、2、1、拉!!」口令後，以最大速度與最大力量上拉槓鈴，肘關節須維持在相同角度下，讓下肢抵抗測力板進行等長收縮，並持續5秒，直到檢測人員喊停後，始可放鬆。

四、無測力板時部隊監測官兵疲勞的方法

基層部隊可能因戰備任務、專精、基地和演訓管道的關係，需要頻繁地移防，這可能會導致監測器材不足的情況。這樣的情況下，部隊無法最佳化訓練效益，更有可能因疲勞消除不確實而導致官兵肌



圖15 陸軍步訓部—運動科學師資班學員執行落下跳DJ檢測

資料來源：同圖11。



圖16 陸軍步訓部—運動科學師資班學員執行大腿中段等長上拉IMTP檢測

資料來源：同圖11。



肉骨骼傷害。在這種情況下，部隊可以利用運動生理學的原理，通過監測官兵進行肌肉伸長和收縮的過程來評估神經肌肉表現。²¹

「垂直跳躍」動作本身就是一種肌肉伸張和收縮的過程，展示了爆發力。雖然無法像測力板一樣精確地了解發力率和肌肉特質的過程，但這種方法不受場地、器材和經費等限制，且基於運動科學的原理。通過記錄垂直跳躍的高度，可以追蹤官兵的神經肌肉疲勞和能量供應的恢復情況。²² 部隊可以使用垂直跳躍摸高的方法來監測官兵的疲勞狀態(如圖17、18)。這種方法可以迅速、安全且經濟，適用於人數眾多的部隊團體。通過記錄訓練前後的跳躍高度，如果下降幅度在 $25 \pm 5\%$ 的範圍以上，即顯示該士兵仍處於未消除疲勞或可能受傷的狀態。²³

「跳躍摸高」應用執行流程如下：

1. 尋一面平滑牆面與平坦地面；備妥與牆面不同顏色粉筆(便利貼)、量測尺或



圖17 操作跳躍摸高示意圖

資料來源：<https://fitnessandhealthpromotion.ca/exercise-database/entry/53546/>，檢索日期：2024年7月9日。



圖18 操作跳高撥片檯一示意圖

資料來源：同圖11。

21 同註18，p.75～78。

22 Pihlainen Kai et al, "Changes in physical performance, body composition and physical training during military operations: systematic review and meta-analysis", Scientific Reports, January 2023, Vol.13, Issue1, Article number: 21455.

23 同註6, p.1,092～1,094。依據文獻指出，在士兵模擬軍事實戰任務之前，進行了神經肌肉疲勞評測，藉由一、身著運動服(自身負重)；二、穿戴戰鬥裝備含突擊步槍負重(19.5±1.0公斤)之兩種不同負重的型態，執行反向跳躍(CMJ)，研究比較發現CMJ跳躍高度平均高度，從37.8±6.1下降至28.5±5.1公分，下降了約25±5%，因此士兵的CMJ狀況可作為神經肌肉疲勞的預測因子之一(p<0.001)。這是由於負重導致神經肌肉疲勞，降低了CMJ高度。因此，部隊應可以利用這類跳躍測試來監測官兵疲勞程度與察覺潛在的疲勞累積未消除或是有受傷之情事。

跳高撥片枱設備。

2.受測者站立於離牆面15公分處，將慣用手伸直於牆面上用粉筆(便利貼)施以記號(為起始高度)。

3.聽從檢測人員口令「3、2、1跳!!」指示，立即快速下蹲至自選角度的膝關節位置(蹲踞跳則在固定之90度起跳)，跳躍過程中慣用手向上伸直，於跳躍最高點時，慣用手指尖在牆面上留下記號(為最終高度)。

4.將三次檢測紀錄的最佳成績記錄下來作以平均，最小記錄到1公分。

結語

由國際軍事運動科學研究報告與文獻，確認部分先進國家軍隊，已開始使用

運動科技，建構監測追蹤部隊疲勞消除程度與調控體能戰技訓練模式，優化官兵的體能戰技(鬥)表現，降低傷損機率，強化實際作戰之效能。國軍部隊近年戮力於「實戰化」訓練，而在這人工智慧發展蓬勃的科技世紀，部隊體能戰技訓練應在「科學練兵」的範疇下，將運動科技結合於部隊各訓練階段，監測官兵疲勞消除與體能恢復水準，因時制宜的調控部隊體能戰技訓練模式(如表4)，以精準獲得「事半功倍」的實戰化訓練效益，達確保官兵於駐地戰備、專精管道、兵科基地與聯合演訓之安全，從而優化與提升整體作戰效能。

(113年5月24日收件，113年11月14日接受)

表4 監測追蹤部隊訓練階段疲勞指標與評估訓練模式建議參考應用表

部隊訓練階段	監測方式	疲勞追蹤指標	訓練模式調控
駐地戰備 專精管道 兵科基地 聯合演訓	測力板	功率與發力率下降、觸地時間延長、跳躍高度下降；離心、向心時間延長。	發展週期化最大肌力與爆發力提升相對功率輸出；透過速度、敏捷與增強式訓練，強化肌肉、肌腱剛性，優化作戰體能經濟性。
	線性位移器	動作速度流失20 %	
	跳躍摸高	跳躍高度下降25 %	
	心率（帶）	晨起1分鐘安靜心率上升7~8 bpm	
備註	1.部隊各訓練階段，依部隊監測器材量能，選定監測方式。建議每2週或每月1次執行檢測，將訓練前後檢測數據記錄，追蹤官兵神經肌肉疲勞與肌力體能恢復程度，依循紀錄從而調控訓練模式。 2.若前後平均數據差異下降，有可能為受傷情勢或需要延長休息恢復時間，將其體能戰技強度降低，相對無受傷情勢，則須依表內調控訓練模式將其優化。		

資料來源：表2內容，作者參考彙整製表。