

## 兒童與青少年運動員神經肌肉訓練之組成與應用

林育璋、吳柏翰\*

國立屏東科技大學休閒運動健康系

### 摘要

**目的：**運動員的專項化水準與競賽表現有正相關。如何在兒童與青少年時期開始練習基本動作技術，強化身體能力並熟練專項運動技術，是教練與運動員的主要目標。此外，根據不同運動專項的需求，發展身體能力的訓練方法，減少運動傷害和提升訓練動機，最終在運動競賽中贏得勝利，成為教練與運動員關注的議題。本文彙整兒童與青少年神經肌肉訓練 (neuromuscular training) 的相關文獻，根據青少年體能發展模型 (the youth physical development model) 區分身體能力發展時期，討論如何藉此逐步強化運動專項表現。**方法：**於 Google 學術搜尋、Pubmed (MEDLINE) 及 Web of Science 查詢相關研究文獻進行分析。**結果：**本文獻回顧分析兒童與青少年神經肌肉訓練實證研究，了解訓練各種體能要素對運動表現的影響。針對肌力、爆發力、速度、敏捷、平衡等能力，提供兒童期、兒童後期與青春前期不同發展時期具體訓練方法。**結論：**建議在專項運動訓練前，加入至少 15 分鐘的神經肌肉訓練，或是至多 70 分鐘的獨立訓練課程，促進體能發展。儘管如此，在設計運動員的運動處方時，仍需考慮運動員的實際年齡和訓練經驗，並根據個別差異改變神經肌肉訓練計畫，將訓練效益最大化。

**關鍵詞：**運動員長期發展、運動傷害、基本動作技術

### 壹、緒論

在訓練初期，兒童與青少年應參與學習多元化的運動及動作模式，隨著年齡與生理適應而漸進提升訓練強度，建立全方面的身體能力 (Bergeron et al., 2015)。首先，應學習基本動作技術 (fundamental movement skills, FMS) 和訓練身體能力，將身體能力銜接至專項運動技術 (sport-specific skills)，最終使運動表現最佳化。文獻建議透過多元化的訓練，建立青少年運動員的身體能力，作為後續專項運動技術之基礎，同時降低運動傷害的風險 (Hulteen et al., 2018)。肌肉的神經適應是兒童與青少年運動表現進步的重要因素，所以此時期應強調神經與肌肉的訓練刺激 (Myer et al., 2011)。神經肌肉訓練 (neuromuscular training, NMT) 是結合多種體能要素的訓練模式，通常作為專項訓練前的暖身活動或獨立的訓練課程 (Moeskops et al., 2018)。

\*通訊作者: 吳柏翰 Email: licar19800314@gmail.com

地址：912 屏東縣內埔鄉學府路 1 號

NMT 包含肌力 (strength)、爆發力 (power)、速度 (speed)、敏捷 (agility) 和平衡 (balance) 等各種體能要素。此外，在 NMT 中可練習各種體能要素的基本動作技術，來促進運動表現並預防運動傷害 (Fort-Vanmeerhaeghe et al., 2016)。

肌力、爆發力、速度、敏捷與平衡等體能要素在訓練之中，皆存在不同水準的相關性。在兒童與青少年的各個成長階段，因為基本動作技術的學習與生長發育程度，這些體能訓練要素也存在不同的訓練目標。所以本文根據青少年體能發展模型 (the youth physical development model, YPD) 與相關文獻的建議 (Granacher et al., 2016)，將兒童與青少年的體能訓練時期分為兒童期 (early childhood)、兒童後期 (late childhood) 和青春期 (adolescence) 三個時期。針對剛接觸各種運動之兒童與青少年或者訓練資歷尚淺的學生運動員，探討不同成長階段的 NMT 體能要素組成與建議。期望透過 NMT 和長期身體能力發展，建立厚實的身體能力。作為後續專項運動技術之基礎，並降低運動傷害風險。將有助於教練了解如何應用 NMT，輔助運動員的專項訓練計畫。

## 貳、兒童與青少年神經肌肉訓練效益

神經肌肉訓練是一種綜合性訓練課程，主要目的為預防運動傷害與提高運動表現。是結合肌力、爆發力、平衡、速度和敏捷訓練等多元的訓練方法，同時練習基本動作技術，並強化與專項運動相關之體能要素。其中，兒童期和青春期的學習基本動作技術與專項運動技術，兩者的訓練比例依發育階段而異。基本動作技術的練習非常重要，尤其是學習複雜的專項技術 (Wick et al., 2017)。其中，在描述人體的 7 種基本人體動作的生物力學觀點中，移動 (locomotion)、髖鉸鏈 (hinge)、下蹲 (squat)、旋轉 (rotation)、抗旋轉 (anti-rotation)、推 (push) 與拉 (pull) 和基本動作技術的概念相似 (Newell, 2020)。基本運動技術一般分為：(一) 移動技術 (locomotor movement skill) 是身體從 A 點移動到 B 點的能力，包括滾動、步行、跑步、跳躍、滑行、衝刺、游泳；(二) 穩定性技術 (stability movement skill) 是進行大肌群動作時，維持動態與靜態平衡的能力，包括肢體的伸展、屈曲，以及核心肌群旋轉和抗旋轉；(三) 控制物品技術 (manipulative skill) 是使用不同身體部位控制物體的能力，包括抓握、投擲、接球、踢球、捕捉、運球和擊球 (Newell, 2020)。基本動作技術發展良好的兒童，比發展不佳的兒童更可能從事高水準的身體活動 (Cohen et al., 2014)。若兒童未在早期培養基本動作技術，未來學習複雜動作和專項技巧將變得更加困難 (Clark & Metcalfe, 2002)。

NMT 可以顯著改善顯示兒童的基本動作技術 (Faigenbaum et al., 2014)。研究指出 6 – 7 歲兒童每週一次的 NMT 課程，即可顯著改善 10 公尺短跑、反向跳、立定跳遠和投擲能力 (Duncan et al., 2018)。此外，女童進行 NMT 的效果可能比男童更好 (Faigenbaum et al., 2014)。隨著兒童與青少年的成長，需要學習進階的基本動作技術，以利學習更複雜的動作。另外，青春期的除了持續練習各種進階的基本動作技術之外，還能執行以自身體重為主的肌力訓練，漸進至中高強度之自由重量訓練、爆發力訓練 (Stricker et al., 2020)，或合併肌力與增強式訓

練 (plyometric training) 來提升訓練效益 (Faigenbaum et al., 2007; Fathi et al., 2019)。敏捷與速度表現則可以透過離心肌力訓練 (eccentric strength training) 與增強式訓練來強化 (Fiorilli et al., 2020)。表 1 是 NMT 的實證研究, 本文整理出不同訓練組成項目與訓練結果。

需要特別注意, NMT 只是輔助訓練, 運動員仍需進行主要專項訓練。此外, NMT 的規劃, 應根據專項運動的動作模式與能量系統類型進行調整, 以最大化得提升運動員的專項表現。例如: 網球和排球雖然都具有短時間、高強度間歇的運動特性, NMT 計劃應包含增強式訓練、上肢爆發力訓練、敏捷或改變方向訓練 (change of direction, COD)。但網球需要快速移動並折返擊球, 訓練計畫會特別強調 COD, 以提升敏捷能力; 排球則需要多次最大跳躍和快速移動, 因此訓練需特別注重增強式訓練, 以提升跳躍能力 (Fernandez-Fernandez et al., 2018; Trajković et al., 2020)。

另外, NMT 具有預防傷害的效果, 可同時作為運動員傷害預防計畫的方法, 已實際運用於運動員的傷害預防計畫之中。為了預防和降低青少年足球運動員的傷害風險, 國際足球總會 (International Federation of Association Football, FIFA) 制定的傷害預防計畫 (FIFA 11+ Kids), 就是知名且有效的 NMT 之一。其中, 此計畫結合核心穩定、離心肌力 (tempo eccentric training)、平衡、增強式及跌倒的技術訓練, 兼具預防傷害與促進運動表現的效果 (Pomares-Noguera et al., 2018)。部分研究分析此傷害預防計畫的效果, 其中瑞士 9-13 歲的足球運動員 (N = 1002) 會在比賽期的每次訓練前進行 15 分鐘的 NMT, 包括核心穩定、爆發力、平衡和跌倒技術訓練等 7 個動作。研究指出, 訓練介入顯著降低受傷總人數 (38%)、傷害總次數 (26%) 和因傷缺席比賽和訓練的時間 (61%) (Rössler et al., 2019)。在其它專項運動的效益方面, 13-18 歲的手球運動員在季前期每週進行 2 - 3 次 15 分鐘、比賽期每週進行 1 次 15 分鐘的傷害預防計畫, 包括腘繩肌離心肌力、單腳多方向跳躍、單腳平衡、單腳跳躍和著地姿勢練習, 結果亦指出, 此預防計畫可以顯著降低青少年運動員膝關節嚴重損傷之機率 (Achenbach et al., 2018)。

NMT 的最佳時機, 主要是在進行專項訓練前或獨立的訓練課程 (Moeskops et al., 2018)。根據研究建議, 在專項運動訓練前進行 NMT, 才能顯著提升爆發力、速度與專項運動表現能力, 而原因可能與疲勞導致訓練效果不佳有關 (Fernandez-Fernandez et al., 2018)。經本文整理, 發現兒童與青少年的各成長階段進行 NMT 皆能顯著提升肌力、爆發力、平衡、速度與敏捷等體能要素。因此, 本文後續將依據成長提供 NMT 中各體能要素之訓練目標、動作、強度、頻率、反覆次數與組數等訓練建議。

表 1、神經肌肉訓練的實證性研究

作者	參與者	運動項目	訓練組成項目	介入時間與頻率	訓練設計	主要結果
Zouhal 等 (2019)	NMT, n = 10, 年齡 = $17.7 \pm 0.4$ ; CG, n = 10, 年齡 = $16.8 \pm 0.7$ 。	足球	核心穩定、增強式、敏捷、改變方向能力和動態平衡訓練	6 週, 每週 2 次	NMT: 5-10 分鐘熱身, 30 分鐘神經肌肉訓練。CG: 常規訓練, 包含跑步和運球。	NMT 顯著提升敏捷性與 180 度轉向能力。
Moeskops 等 (2018)	NMT, n = 17, 年齡 = $8.2 \pm 1.7$ ; CG, n = 17, 年齡 = $10.0 \pm 1.2$ 。	韻律體操	核心穩定、肌力、增強式和動態平衡訓練	8 週, 每週 2 次	NMT: 核心肌耐力 (5 分鐘), 動作熟練度 (15 分鐘), 肌力訓練 (15 分鐘)。CG: 常規體操訓練 (35 分鐘)。	NMT 顯著提升核心肌耐力、動作熟練度和下肢勁度。
Fernandez-Fernandez 等 (2018)	NMT (AT 組), n = 8, 年齡 = $12.9 \pm 0.4$ ; NMT (BT 組), n = 8, 年齡 = $12.9 \pm 0.4$ 。	網球	增強式、敏捷和改變方向能力訓練	5 週, 每週 3 次	AT 組在訓練後進行 NMT, BT 組在訓練前進行 NMT。動態伸展: 5 分鐘, NMT: $32.4 \pm 7.3$ 分鐘, 網球訓練: $64.7 \pm 4.4$ 分鐘。	NMT (BT 組) 顯著提升速度、爆發力和網球專項能力。
Panagoulis 等 (2020)	NMT, n = 14, 年齡 = $11.2 \pm 0.5$ ; CG, n = 14, 年齡 = $11.4 \pm 0.57$ 。	足球	核心穩定、肌力和動態平衡訓練	8 週, 每週 3 次	NMT: 5 個動作, 肌力訓練 (3 組 8 反覆), 核心穩定 (3 組 15 秒或 3 組 16 反覆)。CG: 足球訓練。	NMT 顯著提升速度、爆發力、力量與改變方向能力與足球射門速度。
McLeod 等 (2009)	NMT, n = 37, 年齡 = $15.6 \pm 1.1$ ; CG, n = 25, 年齡 = $16.0 \pm 1.3$ 。	籃球	肌力、增強式、敏捷和動態平衡訓練	6 週, 每週 2 次	NMT: 熱身 (5 分鐘), 肌力訓練 (30 分鐘), 增強式訓練 (20 分鐘), 敏捷性訓練 (10 分鐘) 和平衡訓練 (10 分鐘)。CG: 常規籃球訓練。	NMT 顯著提升平衡能力。
Trajković 等 (2020)	NMT, n = 32, 年齡 = $11.1 \pm 0.7$ ; CG, n = 34, 年齡 = $11 \pm 0.8$ 。	排球	核心、肌力、增強式和敏捷訓練	8 週, 每週 2 次	NMT: 動態熱身 (10 分鐘), 增強式、敏捷、肌力與核心穩定 (20 分鐘)。CG: 排球訓練。	NMT 顯著提升平衡能力。

表 1、神經肌肉訓練的實證性研究 (續)

Canli (2019)	NMT, n = 12, 年齡 = $10.6 \pm 0.7$ ; CG, n = 12, 年齡 = $10.8 \pm 0.7$ 。	籃球	肌力、增強式、敏捷和平衡訓練	8 週，每週 2 次	NMT：動態熱身，等長肌力訓練，循環式神經肌肉訓練 (2 組，每個動作 30 秒)。CG：籃球訓練。	NMT 顯著提升敏捷性、爆發力和基本動作技術。
Duncan 等 (2018)	NMT, n = 53, 年齡 = $6.43 \pm 0.5$ ; CG, n = 41, 年齡 = $6.23 \pm 0.5$ 。	體育課	核心穩定、柔軟度和基本動作技術訓練	10 週，每週 1 次	NMT：30-40 分鐘的 NMT 課程。CG：體育課。	NMT 顯著提升敏捷性、速度、背部肌力、平衡性、爆發力、柔軟度和籃球投籃能力。
Faigenbaum 等 (2014)	NMT, n = 21, 年齡 = $7.6 \pm 0.3$ ; CG, n = 19, 年齡 = $7.6 \pm 0.3$ 。	體育課	肌力和動態平衡訓練	8 週，每週 2 次	NMT：15 分鐘的 NMT 課程，隨後 43 分鐘體育課。CG：體育課。	NMT 顯著提升爆發力、核心肌耐力、下肢肌力、有氧耐力表現。
Hopper 等 (2017)	NMT, n = 13, 年齡 = $12.08 \pm 0.95$ ; CG, n = 10, 年齡 = $12.3 \pm 0.95$ 。	無擋板籃球	肌力和增強式訓練	6 週，每週 3 次	NMT：動態熱身 (10 分鐘)，增強式、肌力訓練、靜態伸展 (50 分鐘)。CG：無擋板籃球訓練。	NMT 顯著提升速度、改變方向、爆發力和無擋板籃球專項表現。
Foss 等 (2018)	NMT, n = 259, 年齡 = $14.0 \pm 1.7$ ; SHAM, n = 215, 年齡 = $14.0 \pm 1.7$ 。	籃球、足球、排球	核心穩定、增強式和動態平衡訓練	賽季前每週 3 次；賽季中每週 2 次	NMT：核心與下肢的訓練，包含增強式訓練和動態穩定性。對照組：彈力帶進行阻力跑步訓練。	NMT 顯著減少十字韌帶損傷，降低膝關節受傷風險。
Lloyd 等 (2022)	NMT (G1), n = 36, 年齡 = $12.2 \pm 1.3$ ; NMT (G2), n = 35, 年齡 = $12.0 \pm 1.3$ ; CG, n = 24, 年齡 = $11.7 \pm 1.6$ 。	板球	核心穩定、肌力、增強式、改變方向能力和基本動作技術訓練	28 週，G1 組每週 1 次，G2 組每週 2 次	NMT (G1 與 G2) 訓練內容相同，頻率不同：熱身 (10 分鐘)、NMT 課程 (50 分鐘)。NMT 課程包含核心穩定、肌力、增強式、改變方向與基本動作技術訓練。CG：無訓練介入。	每週 2 次訓練 NMT 顯著提升動作控制能力、等長肌力和爆發力等表現顯著優於每週 1 次。

註：NMT = 神經肌肉訓練組；CG = 對照組；G1 = 組別 1；G2 = 組別 2。

### 參、兒童與青少年肌力與體能訓練規劃與建議

兒童、青少年至成年運動員的不同階段，需有明確的訓練目標。配合運動員生長發育的時間和運動能力表現，有助於制定訓練計畫並贏得競賽。研究指出，兒童與青少年身高增長最快的時間點，被稱為身高增長高峰期 (peak height velocity, PHV)，女性約在 10 - 13 歲間，男性約在 12 - 15 歲間 (Iuliano-Burns et al., 2001)。由於 PHV 時期身體能力的增長速率較快，青少年適合多元的訓練來發展各種運動能力 (Philippaerts et al., 2006)。但是此時期肌肉組織增長速度較骨骼慢，肌力尚未適應身高、重心和動作模式的改變，容易導致運動傷害 (Quatman-Yates et al., 2013)。因此，在不同生長階段應該調整訓練元素與強度，提升訓練效果與避免運動傷害。

根據 Lloyd 與 Oliver (2012a) 建立的 YPD 概念和相關文獻的建議，我們將訓練階段分為兒童期 (男性 6 - 9 歲；女性 6 - 8 歲)、兒童後期 (男性 10 - 13 歲；女性 9 - 11 歲) 和青春前期 (男性 14 - 18 歲；女性 12 - 18 歲) 三個時期，其中兒童期與兒童後期為 PHV 前期，而青春前期為 PHV 後期 (Granacher et al., 2016)。本章後續將對於適合各成長階段的體能要素的訓練方法給予建議。

#### 一、肌力訓練

在英國肌力與體能協會 (UK Strength and Conditioning Association) 關於青少年肌力訓練的立場聲明中，支持兒童和青少年在教練的指導下進行肌力訓練，以促進運動表現和減少運動傷害 (Lloyd et al., 2014)。研究指出，在兒童期接受肌力訓練後，是因為神經適應而提升肌力水準，而非肌肉肥大導致。然而，兒童期進行肌力訓練的效益顯著低於兒童後期與青春前期。因此，建議使用自身體重練習肌力基本動作技術，降低受傷風險 (Behringer et al., 2010; Myers & Hawkins, 2010)。此時期的訓練可包含上肢或是下肢垂直和水平方向的推拉動作，例如：下蹲、站立、行走、肩推、臥推、引體向上和屈體划船等 (Duncan et al., 2018)。在兒童後期，除了持續改善肌力基本動作技術，也能開始加入低強度自由重量訓練 (Panagoulis et al., 2020)。至於青春前期，建議持續精進基本動作技術與中強度的肌肥大訓練，並依據專項體能制定訓練計畫，例如：肌力訓練結合專項動作之爆發力訓練。此外，青春前期運動員肌肉功能和神經系統逐漸發育成熟，能透過肌肥大顯著提升肌力水準。因此，可以進行更多元的訓練方式，例如：離心肌力訓練 (Tonson et al., 2008)。

青春前期的訓練目標以提升肌肥大和肌力為主，適合進行離心肌力訓練。建議使用中等強度 (40% - 60% 1RM)、每週訓練 1 - 2 次，進行 3 組 8 次反覆，每次反覆持續時間應低於 5 秒。因為較長的離心時間，可能會限制伸展收縮循環 (stretch-shortening cycle, SSC)，降低爆發力表現。此外，飛輪慣性訓練 (flywheel inertial training) 適合未經訓練或體能較差的運動員，可藉由動作速度的改變來調整強度，學習動作模式。同時也適合進行術後復健的運動員，有助

於促進肌肥大、肌力和爆發力。離心肌力訓練建議每週訓練 1 - 2 次，進行 4 組 7 反覆，組間休息 90 - 180 秒，每次間隔 48 小時以上 (Muñoz-López et al., 2021)。表 2 為兒童與青少年肌力訓練目標與建議，分為兒童期、兒童後期及青春期的三個時期，分階段進行肌力訓練。

表 2 中所指的訓練強度，是此時期建議可接受之強度，但不僅限於此範圍。肌力訓練必須考慮訓練年齡，不應以實際年齡 (chronological age) 而限制訓練內容，例如：沒有肌力訓練經驗的 10 歲和 14 歲的運動員，無論從事何種專項運動 (耐力運動或舉重)，最初都應優先訓練肌耐力 (muscular endurance)，再依據專項體能需求漸進調整訓練目標 (Lloyd & Oliver, 2012a)。

表 2、兒童與青少年肌力訓練目標與建議

訓練時期	兒童期	兒童後期	青春期的
訓練目標	練習肌力基本動作技術	持續改善肌力基本動作技術	參與者的特定需求
訓練動作	例如：深蹲、分腿蹲、俯地挺身、棒式	例如：高腳杯深蹲、前蹲舉、硬舉、肩推、臥推	例如：離心肌力訓練與專項體能
訓練強度	自身體重 ≤ 60% 1RM	低強度自由重量 60-80% 1RM	低至中強度自由重量 ≤ 80% 1RM
使用肌群	三個時期的肌力訓練，使用的肌群應包含大肌群，專注於肌力平衡、核心肌群，例如：肢體對稱性、作用肌與拮抗肌平衡。常見的弱勢肌群有下背核心肌群、旋轉肌群、髖外轉肌。		
訓練頻率	每週 1-2 次	每週 2-3 次	每週 2-4 次
反覆次數	8-12 次	6-12 次	6-12 次
組數	1-2 組	2-3 組	2-5 組
休息時間	1-3 分鐘	1-3 分鐘	1-3 分鐘
每次訓練持續時間	20-30 分鐘	20-30 分鐘	20-30 分鐘
每週總訓練時間	20-60 分鐘	40-90 分鐘	40-120 分鐘

註：1RM 為最多進行 1 次反覆的重量；本表內容引用整理自 Chaabene 等 (2020)；Stricker 等 (2020)。

## 二、爆發力訓練

兒童期可以透過練習敏捷、平衡與協調等多元的基本動作技術，提升爆發力水準，例如：跳躍、藥球投擲或是著地姿勢 (Duncan et al., 2018)。使用正確的跳躍和著地技術，有助於減少地面的反作用力，降低運動傷害 (DiStefano et al., 2016)。兒童後期的目標為持續精進基本

動作技術，利用增強式訓練及低強度的肌力訓練，練習更高強度的跳躍動作，例如：箱跳與蹦跳。青春期的目標則為提升發力率 (rate of force development)，訓練動作採用增強式和舉重訓練，例如：爆發上搏、抓舉與槓鈴高拉。

增強式訓練一般以訓練經驗或是背蹲舉的自身體重倍數，逐漸提高訓練動作難度，可分為 1 倍以下 (pogo jumps, repeated counter movement jump)，1 - 1.5 倍 (repeated jumps, hops)，1.5 - 2 倍 (bounding, depth jump < 30cm) 和 2 倍以上 (drop/depth jump > 30cm) (Suchomel et al., 2019)。研究指出，持續 10 週且超過 20 節訓練課 (每節 50 次跳躍以上)，可最有效提升跳躍表現，但過多的訓練量並沒有額外的訓練效益 (de Villarreal et al., 2009)。因此，兒童與青少年運動員增強式訓練建議為每次 2 - 4 組，每組執行 6 - 15 反覆，持續 10 - 25 分鐘。為預防運動傷害，每次訓練後至少休息 48 - 72 小時。此外，強度以自身體重強度為主，每次進行 50 - 60 次，逐漸增加到 80 - 120 次 (Bedoya et al., 2015)。

另外，舉重訓練 (例如：抓舉和挺舉) 應練習快速執行動作，每週訓練 2 - 5 次，每次 30 - 40 分鐘且 2 - 6 個動作，以 30 - 50% 1RM 強度進行 3 - 8 次反覆，每次訓練後至少休息 24 - 48 小時 (Lloyd et al., 2012b)。研究指出，10 - 12 歲的兒童分別進行 12 週舉重、增強式和肌力訓練後，皆顯著改善反向跳和立定跳遠表現，其中以舉重訓練效果最好 (Chaouachi et al., 2014)。此外，12 - 15 歲的運動員先完成增強式訓練，再進行肌力訓練的訓練組合，在訓練 6 週後，垂直跳 (8.1% vs. 3.4%)、立定跳遠 (6.0% vs. 1.1%) 和坐姿投擲藥球 (14.4% vs. 5.6%) 的表現優於僅進行肌力訓練的組別。因此，若結合肌力、舉重和增強式訓練，可更有效提升爆發力表現。

複合式訓練是先進行一組慢速且高強度的肌力訓練後 (如 85% 1RM 深蹲)，再執行一組快速且輕重量的增強式訓練 (如自身體重反向跳)，兩種訓練使用的動作模式相似。此訓練具有時間短，同時促進肌力和爆發力的特性。適合用於以增加肌力和爆發力為目標的時期，例如競賽前準備期或是比賽期 (Cormier et al., 2022)。研究指出，14 歲的青春期運動員，每週進行 2 次複合式訓練 (肌力訓練 + 增強式訓練)，執行 1 - 2 組 8 - 12 次反覆 (強度：肌力訓練為 40% - 70% 1RM，增強式訓練為自身體重)，在訓練 16 週後，深蹲跳 (7.2% vs. 4.1%)、反向跳 (6.2% vs. 3.4%)、15 秒多次跳躍測驗 (multibound test for 15 seconds) (9% vs. 8.1%) 和站姿藥球投擲 (15.4% vs. 上 5.7%) 的表現皆優於僅進行增強式訓練組別。因此，複合式訓練的訓練效益更好 (Faigenbaum et al., 2007; Fathi et al., 2019)。建議從兒童後期開始進行自由重量訓練和增強式訓練。青春期以複合式訓練的方式，漸進增加肌力、爆發力和運動表現，表 3 為爆發力訓練各時期的訓練目標與建議。



表 3、兒童與青少年爆發力訓練目標與建議

訓練時期	兒童期	兒童後期	青春期
訓練目標	練習敏捷、平衡與協調之基本動作技術	持續精進基本動作技術	強化發力率
訓練動作	自身體重練習基本動作技術 例如： 踝跳、藥球投擲、蹲跳、繩梯訓練、投擲和跳躍後的著地姿勢	肌力和增強式訓練，增強式動作 例如：箱跳、蹦跳、四方向跳	增強式、舉重和複合式訓練 例如：爆發上搏、抓舉、落下跳
訓練頻率	每週 1 - 2 次	每週 1 - 2 次	每週 2 - 3 次
反覆次數	4 - 10 反覆	6 - 15 反覆	6 - 15 反覆
組數	1 - 2 組	2 - 4 組	2 - 4 組
訓練總次數	每次 50 - 60 次	每次 50 - 60 次，進階至 80 - 120 次。	每次 50 - 60 次，進階至 80 - 120 次。
每次訓練持續時間	10 - 15 分鐘	10 - 20 分鐘	20 - 40 分鐘
每週總訓練時間	10 - 30 分鐘	10 - 40 分鐘	40 - 120 分鐘

註：本表內容引用整理自 Bedoya 等 (2015)；Canli (2019)；Duncan 等 (2018)；Faigenbaum 等 (2007)；Fathi 等 (2019)；Hopper 等 (2017)；Lloyd 等 (2022)；Trajković 等 (2020)。

### 三、速度訓練

短距離衝刺是許多專項運動的重要能力，而提升速度表現有助於促進專項體能。而提升速度表現的主要因素是肌肉的快速收縮，跳躍高度與衝刺能力間亦具有顯著相關，(Kobal et al., 2021)。因此，進行肌力訓練或增強式訓練可以促進速度表現。研究指出，進行 6 週的肌力訓練或增強式訓練計畫，皆可增加 PHV 前兒童 (12-13 歲) 及 PHV 後青少年 (16-17 歲) 速度和跳躍表現。其中，PHV 前兒童進行增強式訓練的效果最好，而 PHV 後青少年若結合增強式訓練與肌力訓練 (複合式訓練)，對提升速度的效果最好 (Lloyd et al., 2016)。

然而，兒童離心肌力不足，無法有效利用伸展收縮循環 (SSC)，進行速度訓練效果有限。研究指出，不同年齡的網球運動員在 20 公尺衝刺表現上，18 歲組顯著優於 16 歲組和 14 歲組 (陳志榮等, 2019)。隨著青少年肌肉功能逐漸成熟，速度訓練才可有效提升衝刺表現 (Behm et al., 2017)。PHV 後的青少年若結合增強式和速度訓練 (20 公尺和 10 公尺衝刺)，訓練效果優於單獨進行增強式、速度或肌力訓練的組別 (Rumpf et al., 2012)。因此，在 PHV 前建議進行增強式訓練提升速度表現，同時練習正確的跑步技術，建立速度訓練的基礎。在 PHV 之後，建議進行複合式訓練，提升肌肉的收縮速度，同時加入最大速度衝刺訓練，強化專項體能。建議至少持續訓練 8 週，每週訓練 2 次，每次進行 16 趟 20 公尺衝刺訓練。以最大努力強度

進行衝刺訓練，運動休息比為 1:25 或休息 90 秒以上 (Moran et al., 2017)。

除了體能訓練之外，兒童期應練習正確的跑步的姿勢和技術，例如：繩梯訓練快速移動增加步頻。兒童後期專注衝刺的技術，例如：推進階段 (diving phase) 身體的重心與踝、膝、髕三關節的同步收縮，恢復階段 (recovery phase) 腳離開地面時，髕與膝關節主動屈曲收回腳跟，同時擺動手臂保持平衡。再調整步幅及步距，減少與地面接觸的時間 (Cissik, 2004)。青春期可結合衝刺技術與最大速度衝刺，改善因生長發育、肌肉肥大而下降的協調性，並且在此時期加入肌力、離心肌力及增強式訓練，進一步提升速度表現 (Pichardo et al., 2018)。

表 4、速度訓練目標與建議

訓練時期	兒童期	兒童後期	青春期
訓練目標	練習跑步姿勢和技術，以增強式訓練促進速度表現	練習衝刺技術、跑步技術、步幅、步頻、步距及減少地面接觸時間，以增強式訓練促進速度表現。	進行最大速度衝刺訓練、改善協調性，以肌力訓練和增強式訓練，促進速度表現。

註：本表內容引用自 Cissik (2004)；Pichardo 等 (2018)。

#### 四、敏捷訓練

敏捷是指面對外在刺激時，身體快速改變方向或速度的能力 (Sheppard & Young, 2006)，由改變方向能力及感知-認知兩部分組成 (Dos' Santos et al., 2018)，跳躍能力及離心肌力訓練顯著影響 COD (Fiorilli et al., 2020；Kobal et al., 2021)。研究指出，運動員的敏捷表現與 COD、跳躍表現和感知-認知能力具有顯著正相關。但隨著年齡增加，會逐漸降低敏捷相關的表現 (跳躍、衝刺、COD) (Krolo et al., 2020；Thieschäfer & Büsch, 2022)。因此，建議從兒童時期開始進行跳躍和 COD 等訓練，可能間接促進敏捷發展。青春期則可利用速度、離心肌力與增強式訓練，同時結合平衡訓練，以促進敏捷表現 (Hammami et al., 2018)。

敏捷訓練時，應確保運動員使用正確的動作技術，降低 COD 對於膝關節的壓力，例如：減少軀幹側屈、支撐腳靠近身體中線 (Dempsey et al., 2009)、增加膝關節屈曲及改善制動能力 (Dai et al., 2015；Dos' Santos et al., 2021)，以避免訓練及比賽時造成膝關節與下肢的受傷風險，表 5 為改變方向時的技術建議。

表 5、改變方向技術建議

	開始接觸地面（減速）	支撐身體重心	重心轉換並推進
軀幹傾斜角度	軀幹向後傾斜，降低身體重心維持平衡。	軀幹向後傾斜逐漸直立，降低身體重心。	軀幹直立或略為前傾。
下肢關節角度	倒數第 2 步腳跟接觸地面與腳踝微背屈，伸展膝關節，髌關節輕微屈曲。	倒數第 2 步維持接觸地面，加大髌關節屈曲角度 (0 至 100 度)，吸收地面反作用力，同時屈髌屈膝。	保持倒數第 2 步的髌關節與膝關節屈曲，在觸地結束時膝關節屈曲呈最大角度。
軀幹方向	軀幹和頭部朝前，軀幹朝預期方向輕微旋轉，查看行進路線。	軀幹朝預期方向略微旋轉。注意膝蓋方向，避免膝關節外翻。	軀幹向行進方向進行旋轉，將身體壓力中心放置於倒數第 2 步腳掌，將身體推向新的方向。

動作圖示



註：本表內容引用整理自 Dos' Santos 等 (2019a)。

研究指出進行肌力、增強式及平衡訓練，皆可顯著提升兒童與青少年運動員的敏捷表現 (Hopper et al., 2017; Panagoulis et al., 2020)。跆拳道青少年運動員 (16 - 17 歲) 每週 2 次 40 分鐘的增強式訓練，在訓練 5 週後，顯著減少 T 字敏捷測驗完成時間 (2.2%)，增加改變方向能力 (王翔星等, 2018)。在學習適當的改變方向技術，並漸進加入改變方向訓練後，則可進一步增強敏捷表現 (Zouhal et al., 2019)。在青春前期可提升改變方向訓練比例 (Dos' Santos et al., 2019a)。表 6 為敏捷訓練各時期的訓練目標與改變方向訓練的建議。

表 6、兒童與青少年敏捷訓練目標與改變方向訓練建議

訓練時期	兒童期	兒童後期	青春前期
目標	練習加速與減速技術，發展膝、踝、髖三關節與核心穩定性 (60%) COD (25%) 敏捷與反應訓練 (15%)	練習加速與減速技術，發展膝、踝、髖三關節與核心穩定性 (60%) COD (25%) 敏捷與反應訓練 (15%)	著重於 COD (40%) 練習加速與減速技術 (30%) 敏捷與反應訓練 (30%)
訓練強度 (自覺強度)	三個時期的訓練強度建議相同，以訓練經驗決定。 最初訓練使用 50 - 75% 強度。 漸進式的增加強度，約 75 - 100%。 最後使用最大強度，完成訓練動作。		
訓練動作	三個時期的訓練動作建議相同，以訓練經驗決定。 直線加速與減速、側向加速與減速、改變方向 (小角度 20 - 60 度、大角度 45 度 - 90 度)、多次改變方向 (Z 字形跑)、加入外在刺激 (聽覺與視覺)。		
訓練頻率	每週 1 - 2 次	每週 1 - 2 次	每週 2 次
反覆趟數	低強度 8 - 12 趟、 高強度 2 - 6 趟	低強度 8 - 12 趟、 高強度 2 - 6 趟	低強度 8 - 12 趟、 高強度 2 - 6 趟
訓練組數	2 - 3 組動作	2 - 3 組動作	3 - 6 組動作
訓練量	每趟 5 - 20 公尺，每組動作共 40 - 80 公尺。	每趟 5 - 20 公尺，每組動作共 40 - 80 公尺。	每趟 5 - 20 公尺，每組動作共 40 - 80 公尺。
休息時間	組間休息 30 - 60 秒，動作間休息 2 分鐘。	組間休息 30 - 60 秒，動作間休息 2 分鐘。	組間休息 30 - 60 秒，動作間休息 2 分鐘。
每次訓練持續時間	15 - 25 分鐘	15 - 25 分鐘	15 - 25 分鐘
每週總訓練時間	15 - 50 分鐘	15 - 50 分鐘	30 - 50 分鐘

註：COD = 改變方向；本表內容引用並整理自 Dos' Santos 等 (2019a)；Pichardo 等 (2018)。

## 五、平衡訓練

平衡訓練可改善兒童與青少年的姿勢控制，並提升爆發力。針對不同年齡的青少年訓練 5 週，每週 2 次的平衡訓練，並以測力板檢測單腳平衡能力與發力率，研究發現 6 - 7 歲 (28.8%) 進行平衡訓練的效果最好，其次是 11 - 12 歲組 (13.5%)，最後是 14 - 15 歲 (8.4%)，所以年齡越小訓練效果越好。此外，平衡訓練亦可顯著增加發力率，但在不同年齡間的訓練效果相似 (Wälchli et al., 2018)。

另外，青少年若進行平衡訓練，可同時增加平衡能力與爆發力。14 - 15 歲籃球運動員若以跪姿或站姿立於瑜珈球上，進行 20 次雙手胸前傳球的平衡訓練，每週訓練 2 次，每次 6 - 8 組，組間休息 30 秒。在訓練 12 週後，平衡訓練顯著改善平衡能力 (雙腳 23%；右腳 41.4%；左腳 45.8%) 和反向跳表現 (雙腳 8.1%；右腳 13.5%；左腳 12.5%) (Boccolini et al., 2013)。平衡訓練可改善運動員的動態平衡與受傷風險，降低改變方向時膝關節的負荷 (Dos' Santos et al., 2019b)，在各時期都需要被重視。平衡訓練在其它研究中多建議使用自身重量與低強度負荷，表 7 為兒童與青少年的平衡訓練目標與建議。

表 7、兒童與青少年平衡訓練目標與建議

訓練時期	兒童與青少年的所有時期
訓練目標	在穩定與不穩定地面上進行開眼與閉眼的訓練。 例如：體操墊、BOSU 球、瑜珈球、搖擺板
訓練強度	自身體重。
訓練動作	雙腳或單腳不同的站立距離。 例如：雙腳站立、單腳站立、深蹲、分腿蹲、跪姿傳球、抗旋轉練習
訓練頻率	每週 2 次
反覆次數	共 24 - 36 次
每次訓練持續時間	4 - 15 分鐘
每週總訓練時間	31 - 60 分鐘

註：本表內容引用並整理自 Gebel 等 (2018)。

平衡訓練時，依據運動員能力可調整動作難度。例如：站在穩定的平面上比不穩定平面容易維持平衡，難度較低。雙腳比單腳容易站立，而雙腳站距越寬重心也越穩。在熟悉動作後，可由開眼站立進階為閉眼站立，增加訓練強度。或是在不穩定的地面上進行深蹲或分腿蹲等訓練動作，練習進階與退階動作 (Zouhal et al., 2019)。另外，使用輕負荷 (2-5 公斤) 的藥球、槓片、啞鈴與壺鈴等器材，也可增加訓練強度 (Panagoulis et al., 2020)。但不宜在不穩定地面進行高強度肌力訓練，儘管可提高訓練難度，但是關節的不穩定性也會影響肌力訓練效果。

## 肆、結論

本文旨在探討兒童與青少年體能的發展與應用，基於相關觀點和研究證據，建議在兒童期即參與運動並強調基本動作技術的學習，並在訓練前搭配 NMT 以避免運動傷害與提高運動表現。NMT 的組成元素多元，本文建議在規劃 NMT 時，應該考慮兒童與青少年在不同成長時期各種體能要素的編排，包含基本動作技術的熟練度、身體能力發展與青春前期及 PHV 的特性來進行規劃。

## 伍、實務應用

本文提供兒童及青少年運動員、體適能指導員以及運動教練參考，專項訓練前，應先掌握移動、穩定性及控制物品之基本動作技術。NMT 建議運用於訓練或比賽前的 10 - 15 分鐘，或是 30 - 60 分鐘的獨立課程。在兒童期以自身體重練習基本動作技術，學習正確的投擲、跳躍和跑步姿勢，建立肌力、爆發力、平衡、速度與敏捷訓練的基礎。兒童後期持續精進基本動作技術，利用低負荷強度自由重量進行肌力訓練，並加入增強式訓練，促進膝、踝、髖三關節的同步收縮，逐漸提升速度與敏捷能力的表現。青春期的肌力訓練強度逐漸提升至中等負荷，開始加入離心肌力訓練、複合式訓練和舉重訓練，並結合衝刺技術，改善加速、最大速度和改變方向的能力。此外，若要增加傷害預防的效果，在 3 個時期的訓練中可結合平衡與核心穩定訓練，在不穩定平面上進行動態平衡訓練。並且依據個體差異與專項需求，設計 NMT 的訓練組合。

## 利益衝突

本研究無涉及相關利益衝突。

## 引用文獻

- 王翔星、李文娟、湯惠婷 (2018)。增強式阻力訓練是否增強青少年跆拳道運動員改變方向的能力。《運動表現期刊》，5(1)，27–33。 <https://doi.org/10.3966/240996512018060501004>
- 陳志榮、李敏華、廖學松、吳志銘 (2019)。台灣不同年齡層級男子網球選手專項體能表現差異之研究。《運動表現期刊》，6(2)，75–81。 <https://doi.org/10.3966/240996512019090602004>
- Achenbach, L., Krutsch, V., Weber, J., Nerlich, M., Luig, P., Loose, O., Angele, P & Krutsch, W. (2018). Neuromuscular exercises prevent severe knee injury in adolescent team handball players. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 26, 1901–1908. <https://doi.org/10.1007/s00167-017-4758-5>
- Bedoya, A. A., Miltenberger, M. R., & Lopez, R. M. (2015). Plyometric training effects on athletic performance in youth soccer athletes: A systematic review. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(8), 2351–2360. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000877>

- Behm, D. G., Young, J. D., Whitten, J. H., Reid, J. C., Quigley, P. J., Low, J., Lin, Y., Lima, C. D., Hodgson, D. D., Chaouachi, A., Prieske, O., & Granacher, U. (2017). Effectiveness of traditional strength vs. power training on muscle strength, power and speed with youth: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Physiology*, 8, 423.  
<https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00423>
- Behringer, M., Vom Heede, A., Yue, Z., & Mester, J. (2010). Effects of resistance training in children and adolescents: A meta-analysis. *Pediatrics*, 126(5), 1199–1210.  
<https://doi.org/10.1542/peds.2010-0445>
- Bergeron, M. F., Mountjoy, M., Armstrong, N., Chia, M., Côté, J., Emery, C. A., Faigenbaum, A., Hall, G., Kriemler, S., Léglise, M., Malina, R. M., Pensgaard, A. M., Sanchez, A., Soligard, T., Sundgot-Borgen, J., Van Mechelen, W., Weissensteiner, J. M., & Engebretsen, L. (2015). International Olympic Committee consensus statement on youth athletic development. *British Journal of Sports Medicine*, 49(13), 843–851. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-094962>
- Boccolini, G., Brazziti, A., Bonfanti, L., & Alberti, G. (2013). Using balance training to improve the performance of youth basketball players. *Sport Sciences for Health*, 9(2), 37–42.  
<https://doi.org/10.1007/s11332-013-0143-z>
- Canli, U. (2019). Effects of neuromuscular training on motoric and selected basketball skills in pre-pubescent basketball players. *Universal Journal of Educational Research*, 7(1), 16–23.  
<http://doi.org/10.13189/ujer.2019.070103>
- Chaabene, H., Lesinski, M., Behm, D. G., & Granacher, U. (2020). Performance and health-related benefits of youth resistance training. *Sports Orthopaedics and Traumatology*, 36(3), 231–240.  
<https://doi.org/10.1016/j.orthtr.2020.05.001>
- Chaouachi, A., Hammami, R., Kaabi, S., Chamari, K., Drinkwater, E. J., & Behm, D. G. (2014). Olympic weightlifting and plyometric training with children provides similar or greater performance improvements than traditional resistance training. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(6), 1483–1496. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000305>
- Cissik, J. M. (2004). Means and methods of speed training, part I. *Strength and Conditioning Journal*, 26(4), 24–29. <http://doi.org/10.1519/00126548-200408000-00002>
- Clark, J. E., & Metcalfe, J. S. (2002). The mountain of motor development: A metaphor. *Motor Development: Research and Reviews*, 2, 163–190.  
<https://www.researchgate.net/publication/313187695>
- Cohen, K. E., Morgan, P. J., Plotnikoff, R. C., Callister, R., & Lubans, D. R. (2014). Fundamental movement skills and physical activity among children living in low-income communities: A cross-sectional study. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 11(1), 1–9. <http://doi.org/10.1186/1479-5868-11-49>
- Cormier, P., Freitas, T. T., Loturco, I., Turner, A., Virgile, A., Haff, G. G., Blazevich, A. J.,



- Agar-Newman, D., Henneberry, M., Baker, D. G., McGuigan, M., Alcaraz, P. E., & Bishop, C. (2022). Within session exercise sequencing during programming for complex training: historical perspectives, terminology, and training considerations. *Sports Medicine*, 52(10), 2371–2389. <https://doi.org/10.1007/s40279-022-01715-x>
- Dai, B., Garrett, W. E., Gross, M. T., Padua, D. A., Queen, R. M., & Yu, B. (2015). The effects of 2 landing techniques on knee kinematics, kinetics, and performance during stop-jump and side-cutting tasks. *The American Journal of Sports Medicine*, 43(2), 466–474. <http://doi.org/10.1177/0363546514555322>
- de Villarreal, E. S. S., Kellis, E., Kraemer, W. J., & Izquierdo, M. (2009). Determining variables of plyometric training for improving vertical jump height performance: A meta-analysis. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(2), 495–506. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318196b7c6>
- Dempsey, A. R., Lloyd, D. G., Elliott, B. C., Steele, J. R., & Munro, B. J. (2009). Changing sidestep cutting technique reduces knee valgus loading. *The American Journal of Sports Medicine*, 37(11), 2194–2200. <http://doi.org/10.1177/0363546509334373>
- DiStefano, L. J., Marshall, S. W., Padua, D. A., Peck, K. Y., Beutler, A. I., de la Motte, S. J., Frank, B. S., Martinez, J. C., & Cameron, K. L. (2016). The effects of an injury prevention program on landing biomechanics over time. *The American Journal of Sports Medicine*, 44(3), 767–776. <https://doi.org/10.1177/0363546515621270>
- Dos' Santos, T., Thomas, C., Comfort, P., & Jones, P. A. (2019a). Role of the penultimate foot contact during change of direction: implications on performance and risk of injury. *Strength and Conditioning Journal*, 41(1), 87–104. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000395>
- Dos' Santos, T., Thomas, C., Comfort, P., & Jones, P. A. (2021). Biomechanical effects of a 6-week change-of-direction technique modification intervention on anterior cruciate ligament injury risk. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 35(8), 2133–2144. <http://doi.org/10.1519/JSC.00000000000004075>
- Dos' Santos, T., Thomas, C., Comfort, P., & Jones, P. A. (2018). Comparison of change of direction speed performance and asymmetries between team-sport athletes: Application of change of direction deficit. *Sports*, 6(4), 174. <http://doi.org/10.3390/sports6040174>
- Dos' Santos, T., Thomas, C., Comfort, P., & Jones, P. A. (2019b). The effect of training interventions on change of direction biomechanics associated with increased anterior cruciate ligament loading: A scoping review. *Sports Medicine*, 49(12), 1837–1859. <http://doi.org/10.1007/s40279-019-01171-0>
- Duncan, M. J., Eyre, E. L., & Oxford, S. W. (2018). The effects of 10-week integrated neuromuscular training on fundamental movement skills and physical self-efficacy in 6–7-year-old children. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(12), 3348–3356.



<http://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001859>

- Faigenbaum, A. D., McFarland, J. E., Keiper, F. B., Tevlin, W., Ratamess, N. A., Kang, J., & Hoffman, J. R. (2007). Effects of a short-term plyometric and resistance training program on fitness performance in boys age 12 to 15 years. *Journal of Sports Science and Medicine*, 6(4), 519–525. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24149486>
- Faigenbaum, A. D., Myer, G. D., Farrell, A., Radler, T., Fabiano, M., Kang, J., Ratmess, N., Khoury, J., & Hewett, T. E. (2014). Integrative neuromuscular training and sex-specific fitness performance in 7-year-old children: An exploratory investigation. *Journal of Athletic Training*, 49(2), 145–153. <http://doi.org/10.4085/1062-6050-49.1.08>
- Fathi, A., Hammami, R., Moran, J., Borji, R., Sahli, S., & Rebai, H. (2019). Effect of a 16-week combined strength and plyometric training program followed by a detraining period on athletic performance in pubertal volleyball players. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(8), 2117–2127. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002461>
- Fernandez-Fernandez, J., Granacher, U., Sanz-Rivas, D., Marín, J. M. S., Hernandez-Davo, J. L., & Moya, M. (2018). Sequencing effects of neuromuscular training on physical fitness in youth elite tennis players. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(3), 849–856. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002319>
- Fiorilli, G., Mariano, I., Iuliano, E., Giombini, A., Ciccarelli, A., Buonsenso, A., Calcagno, G., & 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 and Medicine*, 19(1), 213–223. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7039027>
- Fort-Vanmeerhaeghe, A., Romero-Rodriguez, D., Lloyd, R. S., Kushner, A., & Myer, G. D. (2016). Integrative neuromuscular training in youth athletes. Part II: Strategies to prevent injuries and improve performance. *Strength and Conditioning Journal*, 38(4), 9–27. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000234>
- Foss, K. D. B., Thomas, S., Khoury, J. C., Myer, G. D., & Hewett, T. E. (2018). A school-based neuromuscular training program and sport-related injury incidence: A prospective randomized controlled clinical trial. *Journal of Athletic Training*, 53(1), 20–28. <http://doi.org/10.4085/1062-6050-173-16>
- Gebel, A., Lesinski, M., Behm, D. G., & Granacher, U. (2018). Effects and dose–response relationship of balance training on balance performance in youth: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 48(9), 2067–2089. <http://doi.org/10.1007/s40279-018-0926-0>
- Granacher, U., Lesinski, M., Büsch, D., Muehlbauer, T., Prieske, O., Puta, C., Gollhofer, A., & Behm, D. G. (2016). Effects of resistance training in youth athletes on muscular fitness and athletic performance: A conceptual model for long-term athlete development. *Frontiers in*

*Physiology*, 7, 164. <https://doi.org/10.3389/fphys.2016.00164>

- Hammami, M., Negra, Y., Billaut, F., Hermassi, S., Shephard, R. J., & Chelly, M. S. (2018). Effects of lower-limb strength training on agility, repeated sprinting with changes of direction, leg peak power, and neuromuscular adaptations of soccer players. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(1), 37–47. <http://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001813>
- Hopper, A., Haff, E. E., Barley, O. R., Joyce, C., Lloyd, R. S., & Haff, G. G. (2017). Neuromuscular training improves movement competency and physical performance measures in 11–13-year-old female netball athletes. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(5), 1165–1176. <http://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001794>
- Hulteen, R. M., Morgan, P. J., Barnett, L. M., Stodden, D. F., & Lubans, D. R. (2018). Development of foundational movement skills: A conceptual model for physical activity across the lifespan. *Sports Medicine*, 48(7), 1533–1540. <http://doi.org/10.1007/s40279-018-0892-6>
- Iuliano-Burns, S., Mirwald, R. L., & Bailey, D. A. (2001). Timing and magnitude of peak height velocity and peak tissue velocities for early, average, and late maturing boys and girls. *American Journal of Human Biology*, 13(1), 1–8. [https://doi.org/10.1002/1520-6300\(200101/02\)13:1<1::AID-AJHB1000>3.0.CO;2-S](https://doi.org/10.1002/1520-6300(200101/02)13:1<1::AID-AJHB1000>3.0.CO;2-S)
- Kobal, R., Freitas, T. T., Fílter, A., Requena, B., Barroso, R., Rossetti, M., Jorge, R. M., Carvalho, L., Pereira, L. A., & Loturco, I. (2021). Curve sprint in elite female soccer players: Relationship with linear sprint and jump performance. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(5), 2306. <http://doi.org/10.3390/ijerph18052306>
- Krolo, A., Gilic, B., Foretic, N., Pojskic, H., Hammami, R., Spasic, M., Uljevic, O., Versic, S., & Sekulic, D. (2020). Agility testing in youth football (soccer) players; evaluating reliability, validity, and correlates of newly developed testing protocols. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(1), 294. <http://doi.org/10.3390/ijerph17010294>
- Lloyd, R. S., & Oliver, J. L. (2012a). The youth physical development model: A new approach to long-term athletic development. *Strength and Conditioning Journal*, 34(3), 61–72. <http://doi.org/10.1519/SSC.0b013e31825760ea>
- Lloyd, R. S., Dobbs, I. J., Wong, M. A., Moore, I. S., & Oliver, J. L. (2022). Effects of training frequency during a 6-month neuromuscular training intervention on movement competency, strength, and power in male youth. *Sports Health: A Multidisciplinary Approach*, 14(1), 57–68. <https://doi.org/10.1177/19417381211050005>
- Lloyd, R. S., Faigenbaum, A. D., Stone, M. H., Oliver, J. L., Jeffreys, I., Moody, J. A., Brewer, C., Pierce, K. C., McCambridge, T. M., Howard, R., Herrington, L., Hainline, B., Micheli, L. J., Jaques, R., Kraemer, W. J., McBride, M. G., Best, T. M., Chu, D. A., Alvar, B. A., & Myer, G.D. (2014). Position statement on youth resistance training: The 2014 International Consensus. *British Journal of Sports Medicine*, 48(7), 498–505.

<https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092952>

- Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Meyers, R. W., Moody, J. A., & Stone, M. H. (2012b). Long-term athletic development and its application to youth weightlifting. *Strength and Conditioning Journal*, 34(4), 55–66. <https://doi.org/10.1519/SSC.0b013e31825ab4bb>
- Lloyd, R. S., Radnor, J. M., Croix, M. B. D. S., Cronin, J. B., & Oliver, J. L. (2016). Changes in sprint and jump performances after traditional, plyometric, and combined resistance training in male youth pre-and post-peak height velocity. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 30(5), 1239–1247. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001216>
- McLeod, T. C. V., Armstrong, T., Miller, M., & Sauers, J. L. (2009). Balance improvements in female high school basketball players after a 6-week neuromuscular-training program. *Journal of Sport Rehabilitation*, 18(4), 465–481. <http://doi.org/10.1123/jsr.18.4.465>
- Moeskops, S., Read, P. J., Oliver, J. L., & Lloyd, R. S. (2018). Individual responses to an 8-week neuromuscular training intervention in trained pre-pubescent female artistic gymnasts. *Sports*, 6(4), 128. <http://doi.org/10.3390/sports6040128>
- Moran, J., Sandercock, G., Rumpf, M. C., & Parry, D. A. (2017). Variation in responses to sprint training in male youth athletes: A meta-analysis. *International Journal of Sports Medicine*, 38(01), 1–11. <https://doi.org/10.1055/s-0042-111439>
- Muñoz-López, A., de Souza Fonseca, F., Ramírez-Campillo, R., Gantois, P., Nuñez, F. J., & Nakamura, F. Y. (2021). The use of real-time monitoring during flywheel resistance training programmes: How can we measure eccentric overload? A systematic review and meta-analysis. *Biology of Sport*, 38(4), 639–652. <https://doi.org/10.5114/biolsport.2021.101602>
- Myer, G. D., Faigenbaum, A. D., Ford, K. R., Best, T. M., Bergeron, M. F., & Hewett, T. E. (2011). When to initiate integrative neuromuscular training to reduce sports-related injuries in youth?. *Current Sports Medicine Reports*, 10(3), 155–166. <http://doi.org/10.1249/JSR.0b013e31821b1442>
- Myers, C. A., & Hawkins, D. (2010). Alterations to movement mechanics can greatly reduce anterior cruciate ligament loading without reducing performance. *Journal of Biomechanics*, 43(14), 2657–2664. <http://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2010.06.003>
- Newell, K. M. (2020). What are fundamental motor skills and what is fundamental about them?. *Journal of Motor Learning and Development*, 8(2), 280–314. <https://doi.org/10.1123/jmld.2020-0013>
- Panagoulis, C., Chatzinikolaou, A., Avloniti, A., Leontsini, D., Deli, C. K., Draganidis, D., Stampoulis, T., Oikonomou, T., Papanikolaou, K., Rafailakis, L., Kambas, A., Jamuetas, A. Z., & Fatouros, I. G. (2020). In-season integrative neuromuscular strength training improves performance of early-adolescent soccer athletes. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 34(2), 516–526. <http://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002938>

- Philippaerts, R. M., Vaeyens, R., Janssens, M., Van Renterghem, B., Matthys, D., Craen, R., Bourgois, J., Vrijens, J., Beunen, G., & Malina, R. M. (2006). The relationship between peak height velocity and physical performance in youth soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 24(3), 221–230. <https://doi.org/10.1080/02640410500189371>
- Pichardo, A. W., Oliver, J. L., Harrison, C. B., Maulder, P. S., & Lloyd, R. S. (2018). Integrating models of long-term athletic development to maximize the physical development of youth. *International Journal of Sports Science and Coaching*, 13(6), 1189–1199. <https://doi.org/10.1177/1747954118785503>
- Pomares-Noguera, C., Ayala, F., Robles-Palazón, F. J., Alomoto-Burneo, J. F., López-Valenciano, A., Elvira, J. L., Hernández-Sánchez, S., & De Ste Croix, M. (2018). Training effects of the FIFA 11+ kids on physical performance in youth football players: A randomized control trial. *Frontiers in Pediatrics*, 6, 40. <https://doi.org/10.3389/fped.2018.00040>
- Quatman-Yates, C. C., Myer, G. D., Ford, K. R., & Hewett, T. E. (2013). A longitudinal evaluation of maturational effects on lower extremity strength in female adolescent athletes. *Pediatric Physical Therapy*, 25(3), 271–276. <https://doi.org/10.1097/PEP.0b013e31828e1e9d>
- Rössler, R., Verhagen, E., Rommers, N., Dvorak, J., Junge, A., Lichtenstein, E., Donath, L., & Faude, O. (2019). Comparison of the ‘11+ Kids’ injury prevention programme and a regular warmup in children’s football (soccer): A cost effectiveness analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 53(5), 309–314. <http://dx.doi.org/10.1136/bjsports-2018-099395>
- Rumpf, M. C., Cronin, J. B., Pinder, S. D., Oliver, J., & Hughes, M. (2012). Effect of different training methods on running sprint times in male youth. *Pediatric Exercise Science*, 24(2), 170–186. <https://doi.org/10.1123/pes.24.2.170>
- Sheppard, J. M., & Young, W. B. (2006). Agility literature review: Classifications, training and testing. *Journal of Sports Sciences*, 24(9), 919–932. <https://doi.org/10.1080/02640410500457109>
- Stricker, P. R., Faigenbaum, A. D., McCambridge, T. M., LaBella, C. R., Brooks, M. A., Canty, G., Diamond, A. B., Hennrikus, W., Logan, K., Moffatt, K., Nemeth, B. A., Pengel, K. B., & Peterson, A. R. (2020). Resistance training for children and adolescents. *Pediatrics*, 145(6), 20201011. <https://doi.org/10.1542/peds.2020-1011>
- Suchomel, T. J., Wagle, J. P., Douglas, J., Taber, C. B., Harden, M., Haff, G. G., & Stone, M. H. (2019). Implementing eccentric resistance training—part 2: Practical recommendations. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 4(3), 55. <https://doi.org/10.3390/jfmk4030055>
- Thieschäfer, L., & Büsch, D. (2022). Development and trainability of agility in youth: A systematic scoping review. *Frontiers in Sports and Active Living*, 4, 952779. <https://doi.org/10.3389/fspor.2022.952779>
- Tonson, A., Ratel, S., Le Fur, Y., Cozzone, P., & Bendahan, D. (2008). Effect of maturation on the

- relationship between muscle size and force production. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40(5), 918–925. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181641bed>
- Trajković, N., & Bogataj, Š. (2020). Effects of neuromuscular training on motor competence and physical performance in young female volleyball players. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(5), 1755. <https://doi.org/10.3390/ijerph17051755>
- Wälchli, M., Ruffieux, J., Mouthon, A., Keller, M., & Taube, W. (2018). Is young age a limiting factor when training balance? Effects of child-oriented balance training in children and adolescents. *Pediatric Exercise Science*, 30(1), 176–184. <https://doi.org/10.1123/pes.2017-0061>
- Wick, K., Leeger-Aschmann, C. S., Monn, N. D., Radtke, T., Ott, L. V., Rebholz, C. E., Cruz, S., Gerber, N., Schmutz, E. A., Puder, J. J., Munsch, S., Kakebeeke, T. H., Jenni, O. G., Granacher, U., & Kriemler, S. (2017). Interventions to promote fundamental movement skills in childcare and kindergarten: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 47, 2045–2068. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0723-1>
- Zouhal, H., Abderrahman, A. B., Dupont, G., Truptin, P., Le Bris, R., Le Postec, E., Sghaeir, Z., Brughelli, M., Granacher, U., & Bideau, B. (2019). Effects of neuromuscular training on agility performance in elite soccer players. *Frontiers in Physiology*, 10, 947. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00947>

# **The Composition and Application of Neuromuscular Training for Youth Athletes**

**Yu-wei Lin, Bo-Han Wu\***

Department of Recreational Sport & Health Promotion, National Pingtung University of Science and Technology, Pingtung, Taiwan

---

## **Abstract**

### **Introduction**

According to the Youth Physical Development Model, children and adolescents should participate in sports programs that match their age and physical abilities (Bergeron et al., 2015). This study examines the different components of physical fitness including strength, power, speed, agility, and balance, in the context of neuromuscular training (NMT) throughout childhood, late childhood, and adolescence (Granacher et al., 2016). The findings are expected to provide insights for coaches to design specific physical ability training plans for athletes using NMT.

### **Benefits of Neuromuscular Training for Children and Adolescents**

NMT can improve children's and adolescents' fundamental movement skills, such as stability skills, locomotor skills, and manipulative skills, as well as their power, speed, and agility (Panagoulis et al., 2020). Moreover, NMT also has injury prevention effects, reducing the overall injury risk in sports, the risk of severe injuries in lower limb joints, and the total number of days lost to injury (Rössler et al., 2019). Engaging in NMT before specialized training or as an independent training program is recommended.

### **Planning and Recommendations for Strength and Conditioning for Children and Adolescents**

During early childhood strength training, it is recommended to engage in exercises that involve both vertical and horizontal pushing and pulling of the upper and lower limbs (Duncan et al., 2018). As one progresses through late childhood, gradually incorporating low-intensity-free-weight training is recommended (Panagoulis et al., 2020). Throughout adolescence, training regimens should be tailored to meet specific physical fitness requisites. Besides including sessions of moderate-intensity muscular strength training to promote muscle hypertrophy and strength, the integration of eccentric strength training is also deemed suitable. It's recommended to focus on fundamental movement skills like agility, balance, and coordination during early childhood power training (Duncan et al., 2018). In late childhood, plyometric and low-intensity strength training should be integrated with a focus on jumping mechanics. Throughout adolescence, the training program should incorporate plyometric exercises and weightlifting training to improve the rate of force development, such as with complex training (Faigenbaum et al., 2007).

In the context of speed training, it is imperative to instill correct running posture and skills during early childhood. As one progresses through late childhood, it is recommended to concentrate on sprinting technique and the synchronized contraction of three joints (Cissik, 2004). Throughout adolescence, it is suggested to incorporate strength training, eccentric strength training, and plyometric training. This integration serves the purpose of refining sprinting techniques, acceleration, and achieving maximum speed during sprints (Pichardo et al., 2018). Within the realm of agility training, during childhood, the predominant focus lies on honing acceleration and deceleration skills, and promoting core stability in the hip, knee, and ankle regions. As one progresses through late childhood, the training program closely resembles that of childhood (Dos' Santos et al., 2019). Throughout adolescence, it's important to engage in a training routine that includes speed training, eccentric strength exercises, plyometric training, and balance training. Furthermore, enhancing agility should involve practicing changes of direction (COD) (Hammami et al., 2018). Balance training should be implemented in childhood and adolescence, With training sessions involving exercise with eyes open and closed on varying surfaces, adapting intensity to athlete's ability. It's important to note that maintaining stability with both feet is easier than with single foot (Gebel et al., 2018).

Table1. NMT program objective in each stage

	Early childhood	Late childhood	Adolescence
Strength Training	Practice strength and fundamental movement skills	Advanced strength and fundamental movement skills	Specific demand on participant
Power Training	Practice agility, balance, coordinary skills, and fundamental movement skills	Advanced fundamental movement skills	Advanced rate of force development
Speed training	Practice running posture and technique, and promote speed performance with plyometrics training	Practicing sprinting technique, running technique, stride-length, stride-frequency, ground contact time, and plyometric training to enhance speed performance.	Engaging in maximal speed sprint training, coordination, strength and plyometric training to enhance speed performance.
Agility training	Practicing acceleration and deceleration techniques to develop stability in the knee, ankle, and hip joints, as well as core stability (60%). Change of Direction (COD) drills (25%). Agility and reaction training (15%).	Practicing acceleration and deceleration techniques to develop stability in the knee, ankle, and hip joints, as well as core stability (60%). Change of Direction (COD) drills (25%). Agility and reaction training (15%).	Emphasis on Change of Direction (COD) training (40%). Practice of acceleration and deceleration techniques (30%). Agility and reaction training (30%).
Balance training	Engage in both open-eyed and closed-eyed training on stable or unstable surfaces.		

## **Conclusion**

When planning and implementing strength and conditioning training for children and adolescents, it's important to consider the varying stages of their physical development. Starting from childhood, focusing on fundamental movement skills and neuro-muscular training can help prevent injuries and improve sports performance. Before commencing sport-specific training, it is important to acquire fundamental movement skills, including stability skills, locomotor skills, and manipulative skills. NMT is advisable to allocate a period of 10 to 15 minutes before training or competition, or even dedicate a session lasting 30 to 60 minutes specifically for this purpose.

**Keywords:** long term athlete development, sports injury, fundamental movement skills

---