

國小高年級學童著地動作之分析

陳瑋右、陳家祥、林俊達、涂瑞洪

國立屏東大學

摘要

目的：本研究目的是以運動生物力學的觀點對高年級學童的著地動作進行分析。**方法：**以 20 名國小高年級學童(平均年齡 10.9 ± 0.75 歲, 身高 141.7 ± 7.4 公分, 體重 41.7 ± 12.3 公斤) 為實驗參與者。本實驗是以 Kistler 型號 9260AA6 測力板 (120Hz) 及高畫質攝影機 (60Hz) 。針對著地動作進行分析, 採樣參數包括: 動力學 (地面垂直反作用力之最大峰值、達最大峰值時間、斜率)、運動學 (膝關節角度、下肢關節勁度)。**結果：**本研究參與者在著地動作上的最大峰值為 5.75 BW、達最大峰值時間為 70ms、斜率為 70.62BW/s、膝關節角度為 132.60deg 以及下肢關節勁度為 0.03BW/deg。**結論：**著地動作對國小高年級學童產生一定的負荷。若有相關運動介入上述參數是否會改變?是一值得探討的主題。

關鍵詞：著地動作、運動學、動力學

壹、緒論

一、前言

國小學童正處活潑好動的階段，在校的下課時間或體育課時間常會奔跑、蹦跳，然而在奔跑或蹦跳的過程中，學童下肢會產生足底接觸地面的著地動作。著地動作又大致分成兩種形式：(一)人體做出跳躍或從一高度落下後，著地時沒有後續的銜接動作，此為急停的著地動作；(二)人體做出跳躍或從一高度落下後，著地時立即銜接後續的跳躍動作，此為著地的反彈跳動作。Prapavessis, McNair, Anderson & Hohepa (2003) 指出在活動過程中，跳躍及著地是兒童的受傷主要原因。此外，在著地的動作過程中，地面反作用力的大小也受到下肢關節的變化情形所影響 (Yu, Lin, & Garrett, 2006)。然而，地面反作用力 (ground reaction force) 是人體從一高度落下與地面接觸瞬間所產生的衝擊力，且此衝擊力對人體下肢某些程度上有一定的影響 (楊明智、江金裕，2007)。綜合上述研究可以得知，著地動作與傷害發生有關，因此有必要去分析學童的著地動作，探討其對國小高年級學童下肢之影響。

二、研究目的

本研究目的是以運動生物力學的觀點對高年級學童的著地動作進行分析。

貳、方法

一、研究對象

本研究是以 20 名國小高年級學童 (平均年齡 10.9 ± 0.75 歲，身高 141.7 ± 7.4 公分，體重 41.7 ± 12.3 公斤) 為實驗參與者，實驗前經學童本人及家長同意後，與之說明實驗流程並簽署同意書後接受測驗。

二、研究工具

本實驗是以 Kistler 型號 9260AA6 測力板 (120Hz) 及高畫質攝影機 (60Hz) 。針對著地動作進行分析，採樣參數包括：動力學 (地面垂直反作用力之最大峰值、達最大峰值時間、斜率)、運動學 (膝關節角度、下肢關節勁度)。

三、研究步驟與流程

實驗前讓每位受試者進行適當的熱身與練習，使其瞭解測驗方式，並在實驗參與者的左腳側邊髌、膝、踝黏貼關節標示點，如圖一所示。跳台高度參考 Bobbert, Huijing & Van Ingen Schenau (1987) 所建議的高度 40cm，實驗參與者須完成 3 次試跳，以三次試跳中的中位數為採樣依據。



圖一 著地測驗圖

四、名詞操作型定義

(一) 動力學參數 (kinetics parameters)：包括地面垂直反作用力之最大峰值、達最大峰值時間及斜率。

1. 最大峰值：著地階段所產生地面垂直反作用力的最大峰值。再以體重 (body weight, BW) 倍率標準化。

2.達最大峰值時間：著地瞬間至最大峰值產生的時間。

3.斜率：本研究是指單位時間內最大力量的變化值。以著地階段的地面反作用力最大峰值 (ΔF) 與達最大峰值時間 (Δt) 之比值 ($\Delta F/\Delta t$)，再以體重 (BW) 倍率標準化。

(二) 運動學參數 (kinematics parameters)：包含膝關節角度及下肢關節勁度。

1.膝關節角度：著地時，腳跟接觸地面瞬間的膝關節角度。

2.下肢關節勁度：本研究下肢關節勁度之定義是 $R_{\max}/\Delta\theta$ 。 R_{\max} =地面最大反作用力，再以體重倍率標準化 (BW)； $\Delta\theta$ 分為 θ_1 、 θ_2 ， θ_1 =腳跟接觸地面瞬間之膝關節角度、 θ_2 =下蹲至最低點之膝關節角度。

五、資料處理

本研究統計方法是以描述性統計 (平均數±標準差)，並將所測得數據，以 Microsoft Excel 2010 進行資料處理與分析。

參、結果

一、動力學參數：

本研究測得最大峰值之最大值 5.75BW、最小值 3.39BW、範圍 2.36BW、平均值 4.43BW、標準差 0.77BW、變異係數 0.17；達最大峰值時間之最大值 80ms、最小值 50ms、範圍 30ms、平均值 70ms、標準差 10ms、變異係數 0.13；斜率之最大值 113.23BW/s、最小值 46.86BW/s、範圍 66.37BW/s、平均值 70.62BW/s、標準差 20.03BW/s、變異係數 0.28，如表一所示。

表一 動力學參數 (n=20)

	最大峰值 (BW)	達最大峰值時間 (ms)	斜率 (BW/s)
最大值	5.75	80	113.23
最小值	3.39	50	46.86
範圍	2.36	30	66.37
平均值	4.43	70	70.62
標準差	0.77	10	20.03
變異係數	0.17	7.42	0.28

二、運動學參數：

本研究測得膝關節角度之最大值 161.61deg、最小值 114.80deg、範圍 46.81deg、平均數 132.60deg、標準差 10.85deg、變異係數 0.08；本研究測得下肢關節勁度之最大值 0.72BW/deg、最小值 0.19BW/deg、範圍 0.52BW/deg、平均數 0.33BW/deg、標準差 0.11BW/deg、變異係數 2.94，如表二所示。

表二 運動學參數 (n=20)

	膝關節角度 (deg)	下肢關節勁度 (BW/deg)
最大值	161.61	0.72
最小值	114.80	0.19
範圍	46.81	0.52
平均值	132.60	0.33
標準差	10.85	0.11
變異係數	0.08	2.94

肆、討論

在最大峰值的部分，相關研究指出，在跑或跳的過程中，人體所承受的衝擊力約是體重的 1.6 至 3 倍 (Cavanagh, 1980)。然而，如以全腳掌方式著地，所產生的最大峰值可達 6BW，且其產生峰值之型態屬於單峰態 (Valiant, Cavanagh, Winter, Norman, Wells, & Hayes, 1985)。此外，張英智、黃長福與趙國斌 (1994) 以 6 名大學體育系男性學生為研究對象，在 43 公分高台著地的實驗中，其著地最大峰為 5.39BW；李書維 (1998) 以 10 名大學體育系男性學生為研究對象，在 45.9 公分高台著地反彈跳的實驗中，其著地最大峰值為 3.32BW；許太彥 (1999) 以 5 名國小六年級男童為研究對象，在 40 公分高台著地的實驗中，其著地最大峰值為 3.4BW；王思宜、梁恆毅、王令儀 (2011) 以 11 名國小男童、10 名國小女童為研究對象，在 40 公分高台的著地實驗中，其最大峰值分別為 3.48、2.41BW；許年瑩 (2014) 以 14 名大學體育系男性學生為研究對象，在 40 公分高台著地的實驗中，其著地最大峰值為 3.28BW，與上述相關研究相比較，在不分年齡性別的情況下，本實驗參與者的最大峰值 4.43BW 明顯多出一倍多的體重，較高的峰值表示對學童下肢的負荷較大，因此在著地的過程中，會增加學童下肢受傷的機率。

表三 最大峰值之相關文獻彙整

作者 (年)	研究對象	著地高度	研究結果
張英智、黃長福、趙國斌 (1994)	6 名大學體育系男性 學生	43 公分	5.39BW
李書維 (1998)	10 名大學體育系男 性學生	45.9 公分	3.32BW
許太彥 (1999)	5 名國小六年級男童	40 公分	3.4BW

王思宜、梁恆毅、王令儀 (2011)	11 名國小男童、 10 名國小女童	40 公分	3.48 BW、2.41BW
許年瑩 (2014)	14 名大學體育系男 性學生	40 公分	3.28BW

在達最大峰值時間的部分，相關研究指出，人體骨骼肌肉系統的反應時間約為 50-75ms，當人體在因應小於 50ms 內的作用力時，由於骨骼肌肉系統將無法主動及時的去緩衝或吸收，因此其對於人體可能產生某種程度的傷害 (Nigg, 1985)。此外，張英智、黃長福與趙國斌 (1994) 以 6 位男性大學體育系學生在 43 公分高台著地的實驗中，其達最大峰值時間為 48.98ms；王思宜、梁恆毅、王令儀 (2011) 以 11 名國小男童、10 名國小女童在 40 公分高台的著地實驗中，其達最大峰值時間分別為 49.00ms、60.70ms；許年瑩 (2014) 以 14 名大學體育系男性為研究對象，在 40 公分高台著地的實驗中，其達最大峰值時間為 44.64ms，與上述相關研究相比較，在不分年齡性別的情況下，本實驗參與者的達最大峰值時間 70ms 是明顯較高的，其顯示國小高年級學童有足夠的時間控制身體來因應著地時所產生的負荷。

表四 達最大峰值時間之相關文獻彙整

作者 (年)	研究對象	著地高度	研究結果
張英智、黃長福、趙國斌 (1994)	6 名大學體育系男性 學生	43 公分	48.98ms
王思宜、梁恆毅、王令儀 (2011)	11 名國小男童、 10 名國小女童	40 公分	49.00ms、 60.70ms
許年瑩 (2014)	14 名大學體育系男 性學生	40 公分	44.64ms

在斜率的部分,斜率指的是單位時間內所承受的最大垂直反作用力。相關研究指出,著地時,最大地面反作用力越大、達最大地面反作用力的時間相對越小,兩者比率所得的斜率 (loading rate) 則越高,其是會增加下肢傷害風險的 (Williams, Davis, Scholz, Hamill, & Buchanan, 2004; Zhang, Bates, & Dufek, 2000)。然而,王思宜、梁恆毅、王令儀 (2011) 以 11 名國小男童為研究對象,在 40 公分高台的著地實驗中,其最大峰值之斜率分別為 75.41BW/s;許年瑩 (2014) 以 14 名大學體育系男性為研究對象,在 40 公分高台的著地實驗中,其最大峰值之斜率為 80.73BW/s,與上述相關研究中相比較,在不分年齡性別的情況下,本實驗參與者的斜率 70.62BW/s 是較小的,其是因為在達最大峰值時間部分較高所致,但值得去注意的是本實驗參與者的斜率變化高達 66.37BW/s,而斜率變化越大其表示學童之間著地動作的差異性,因此每位學童在開始著地動作之前,應給予正確的動作提示,以降低著地時所產生的負荷。

表五 斜率之相關文獻彙整

作者 (年)	研究對象	著地高度	研究結果
王思宜、梁恆毅、王令儀 (2011)	11 名國小男童、 10 名國小女童	40 公分	75.41BW/s
許年瑩 (2014)	14 名大學體育系男 性學生	40 公分	80.73BW/s

在膝關節角度的部分,由於人體從一高度落下接觸地面時,會利用下肢髖、膝、踝及多關節肌來緩衝或吸收地面的反作用力。因此著地瞬間的關節角度會影響著地時所產生的衝擊力 Coventry, O'Connor, Hart, Earl & Ebersole (2006)。國外研究指出,以膝關節屈曲角度小於 90 度 (平均 77 度) 來著地時,是屬於緩和性著地,以膝關節屈曲角度大於 90 度 (平均 117 度) 來著地時,則是屬於僵直性著地,且僵直性著地會產生較大的地

面反作用力 (Devita & Skelly 1992)。此外有關於兒童著地動作的研究發現，在著地時學童確實比成人更容易產生較大的地面反作用力，其與較僵直的髖、膝關節角度有關 (Swartz, Decoster, Russell, & Croce, 2005)；國內學者黃靖閔 (2005) 也提出，策略性著地所產生的最大地面反作用力為 $102.3 \pm 40.1 \text{kgw}$ 較僵直性著地 $133.7 \pm 28 \text{kgw}$ 小且達顯著差異，由此可知緩和性著地所產生的最大地面反作用力較小，對於人體的傷害相對較小。與上述相關研究中相比較，本實驗參與者是屬於僵直性著地的方式，且是使用較大的膝關節角度來完成著地，因此在著地時會產生較大的地面反作用力，相對較容易產生傷害。

在勁度的部分，勁度是動作調節的穩定機制 (許太彥, 2003)。而勁度如無法有效調整運動所產生的衝擊，其會降低運動表現甚至有運動傷害的發生 (Flanagan & Harrison 2007)。此外，下肢勁度的調節與著地負荷的緩衝有關，人體會透過勁度的調節來改變動作策略，或預防運動傷害的發生。雖然本研究之下肢關節勁度與過去文獻所探討的定義不同，但可經由觀察本實驗參與者的最大峰值與膝關節角度所呈現出來的數值，都比相關研究來得高，其可推估本實驗參與者的勁度有偏高的傾向。

伍、結論

本研究利用測力板以及攝影機觀察 20 名國小高年級學童的著地動作，得到以下結論：本研究高年級學童在著地動作上具有較高的最大峰值、達最大峰值時間、膝關節角度、下肢關節勁度之情形，由此可知，著地動作對國小高年級學童會產生一定的負荷。若有相關運動介入上述參數是否會改變？是一值得探討的主題。

參考文獻

中文部分

王思宜、梁恆毅、王令儀(2011)。國小高年級學童高台著地下肢負荷與勁度特性之性別差異探討。**體育學報**，**44**(4)，537-548。

李書維(1998)。不同高度著地反彈跳與垂直跳之生物力學分析。**大專體育**，**40**，87-92。

許太彥(1999)。國小學童不同高度赤腳著地之生物力學分析(未出版之碩士論文)。國立台灣師範大學體育研究所，台北市。

許太彥(2003)。國小學童不同軟硬表面著地下肢勁度調節之機轉及其影響(未出版之碩士論文)。國立台灣師範大學，台北。

許年瑩(2014)。高台著地與高台著地反彈跳動作下肢負荷與生物力學特性(碩士論文)。國立東華大學體育與運動科學系，花蓮縣。

黃靖閔(2005)。排球選手不同落地策略下肢動力學分析(碩士論文)。國立體育學院，桃園縣。

張英智、黃長福、趙國斌(1994)。三個不同高度著地動作的生物力學分析。**體育學報**，**18**，195-205。

楊明智、江金裕(2007)。[以生物力學觀點探討人體著地之運動傷害](#)。**國北教大體育**，**2**，132-136。

英文部分

- Bobbert, M. F., Huijing, P. A., & Van Ingen Schenau, G. J. (1987). Drop jumping. II. The influence of jumping height on the biomechanics of jumping. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 19(4), 339-346.
- Coventry, E., O'Connor, K. M., Hart, B. A., Earl, J. E., & Ebersole, K. T. (2006). The effect of lower extremity fatigue on shock attenuation during single-leg landing. *Clinical Biomechanics*, 21(10), 1090-1097.
- Cavanagh, P. R. (1980). Ground reaction forces in distance running. *Journal of Biomechanics*, 13, 397-406.
- Devita, P., & Skelly W. A. (1992). Effect of landing stiffness on joint kinetics and energetics in the lower extremity. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24(1),
- Flanagan, E. P., & Harrison, A. J. (2007). Muscle dynamics differences between legs in healthy adults. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(1), 67-72.
- Nigg, B. M. (1985). Biomechanics load analysis and sport injuries in the lower extremities. *Sports Medicine*, 2, 367-379.
- Prapavessis, H., McNair, P. J., Anderson, K., & Hohepa, M. (2003). Decreasing landing forces in children: The effect of instructions. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 33(4), 204-7.
- Swartz, E. E., Decoster, L. C., Russell, P. J., & Croce, R. V. (2005). Effects of developmental stage and sex on lower extremity kinematics and vertical ground reaction forces during

landing. *Journal of Athlete Training*, 40(1), 9-14

Valiant, G. A., Cavanagh, R. P., Winter, D. A., Norman, R. W., Wells, R. P., & Hayes, K. C.

(1985). A study of landing from a jump. *Biomechanics* 9, 117-122.

Williams, D. S., Davis, I. M., Scholz, J. P., Hamill, J., & Buchanan, T. S. (2004). High-arched

runners exhibit increased leg stiffness compared to low-arched runners. *Gait & posture*, 19(3), 263-269.

Yu, B., Lin, C. F., & Garrett, W. E. (2006). Lower extremity biomechanics during the landing of

a stop-jump task. *Clinical Biomechanics* 21, 297-305.

Zhang, S. N., Bates, B. T., & Dufek, J. S. (2000). Contributions of lower extremity joints to

energy dissipation during landings. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 32(4), 812-819.

The Analysis of Landing Movements on Elementary High Grade Children

Chen Wei-You, Chen Jia-Xiang, Lin Jun-Da, Tu Jui-Hung

Nation Pingtung University

Abstract

Purpose: this study is to analyze the landing movements on elementary high grade children. **Method:** the subjects are 20 children in elementary school the average age , height and weight are 10.9 ± 0.75 year, 141.7 ± 7.4 cm, and 41.7 ± 12.3 kg. The main experiment equipment is the force plate (120Hz, Kistler 9260AA6) and the high quality camera (60Hz) to collect the related data. The analysis is focus on the landing movement. The related parameters include: the dynamic parameters (the peak force of the ground reaction force, the time to the peak force, the slop of the force) ; the kinematic parameters (the degree of knee joints and the stiffness of lower extremity) . **Result:** the related parameters of participants' landing movements are: the 5.75BW in highest peak force, the 70ms of time to the peak force, 132.60deg of the knee joints, and 0.03BW/deg of the stiffness of lower extremity. **Conclusion:** toward the elementary higher grade children, the landing movements produce the certainly loading. If the related spots intervention, the related parameters will change or not? It is the worthy exploring topic.

Key words: landing movements, dynamic, kinematic