

穿鞋與赤足跑步之下肢動作型態與肌肉活化差異

Differences between shod and barefoot running in lower extremity movements and muscle activation

¹王奕霖 CI-Lin Wang ¹王令儀 Li-I Wang ¹高金江 Jin-Jiang Gao ²辜靜儀 Chin-Yi Gu

¹國立東華大學體育與運動科學系 Department of Physical Education and Kinesiology, National Dong Hwa University

²國立東華大學教育與潛能開發學系 Department of Education and Human Potentials Development, National Dong Hwa University

投稿日期: 2016年9月; 通過日期: 2017年1月

摘要

緒論: 赤足跑步在這幾年隨著可能會降低傷害的風險而逐漸盛行, 但目前多數人仍然還是採用穿鞋跑步, 從運動生物力學的角度觀察, 可以發現人類會因穿鞋與否, 而造成跑步著地形態的改變。過去研究指出採赤足跑步時會改變著地階段膝關節和踝關節的角度, 進而降低膝關節的受傷風險, 更發現到當穿鞋跑和赤足跑若皆採後足著地時會產生具傷害威脅的瞬時撞擊。**方法:** 本文透過文獻探討的方式, 統整運動學、動力學和肌肉活化特性等面向深入探討跑步時穿鞋與否的運動生物力學特性, 期可提供跑步參與者穿鞋與否的參考。**結果:** 不同的著地動作會改變動作期間肌肉活化的程度, 其於跑步機與地面上跑步量測結果肌肉活化的特徵亦不盡相同。**結論:** 在未受跑步訓練的情況之下採赤足前足跑法跑步, 是有可能導致受傷的, 因著地方式的不同而產生不同的跑步協調機制, 仍然需要透過漸進式的訓練, 才能降低踝關節和踝屈肌受傷的可能。

關鍵詞: 跑鞋、著地形態、鞋類

壹、緒論

赤足跑步在這幾年隨著可能會降低傷害的風險和增加跑步的益處逐漸普及, 但仍有多數的跑者使用穿鞋的方式進行跑步。過去研究顯示, 穿鞋跑者的著地技術中, 約75%是採後足著地 (rear-foot strike, RFS), 24%是採中足著地 (mid-foot strike, MFS), 剩下的1%是採前足著地 (fore-foot strike, FFS) (Hasegawa, Yamauchi, & Kraemer, 2007)。而赤足跑者的著地技術則顯示多為前足著地或中足著地 (Lieberman et al., 2010; Robbins & Hanna, 1987), 也有少部分是使用趾尖跑法 (toe runners) (Nunns, House, Fallowfield, Allsopp, & Dixon, 2013)。以此可知, 穿鞋與否應會對跑步技術的執行形成影響。Lieberman et al., (2010) 便認為, 人類會因穿鞋而造成跑步著地形態的改變。因此, 近年來許多的運動生物力學研究便著手探究赤足與穿鞋之穿鞋之差異 (邱宏達、鄧蓓蓓, 2015; 林羿志、黃淑玲、劉宗翰、相子元, 2012), 本研究目的藉以釐清赤足跑步對關節角運動學及動力學之影響, 作為更深入的探討。

貳、穿鞋與否對下肢動作型態之影響

過去研究藉由赤足跑與穿鞋跑的比較發現, 赤足跑步時的運動學及動力學現象與穿鞋跑步時有顯著性的差異, 赤足跑步時於接觸地面瞬間踝關節有較少的背屈角度 (Bonacci et al., 2013; De Wit, De Clercq, & Aerts, 2000; Squadrone & Gallozzi, 2009), 是故, 受力大多落於前足, 而足跟則產生較小的受力, 此特性能有效的降低著地撞擊力 (Lieberman et al., 2010), 另一方面, 赤足跑步會形成膝關節在站立中期較為垂直, 此使得膝關節力矩和功率也小, 此或許會降低膝關節的負荷 (Lieberman et al., 2010), 相對的卻會造成踝關節處產生較大的力矩和功率, 進而增大踝關節的負荷, 因此, 研究者認為, 採赤足跑步時會改變著地階段膝關節和踝關節的角度特性, 進而降低膝關節的負荷, 減緩膝關節的受傷風險 (De Wit et al., 2000; Lieberman et al., 2010), 但卻須注意踝關節負荷的增大, 且增加腓腸肌與比目魚肌的作用 (Bonacci et al., 2013; Perl, Daoud, & Lieberman, 2012), 造成小腿肌群

過度疲勞而產生的肌肉損傷問題。

在地面反作用力的形成方面，過去研究發現，赤足跑步因採前足掌著地的動作，故產生異於穿鞋跑步時足跟著地動作所形成的地面反作用力特性，此著地動作的運動學差異產生不同的地面衝撞力 (impact force)，但當穿鞋跑和赤足跑若皆採後足著地時，兩者皆會有瞬時撞擊 (impact transient) 的產生，且穿鞋跑時的瞬時撞擊會較慢出現且振幅較低，然而採前足著地的赤足跑時卻沒有瞬時撞擊的產生 (Lieberman et al., 2010)。過去研究認為，前足著地跑者通常在跑步時因有更多的踝關節蹠屈，且足部著地的順序為前足掌至後足掌 (Ahn, Brayton, Bhatia, & Martin, 2014; Divert et al., 2008; Hamill, Russell, Gruber, & Miller, 2011; Shih, Lin, & Shiang, 2013; Squadrone & Gallozzi, 2009; Williams, Green, & Wurzinger, 2012)，因此，前足著地的跑法透過腓腸肌與比目魚肌和跟腱的控制來降低踝關節的背屈角度，進而減少著地的衝力，此可使得前足著地跑法於觸地瞬間產生較低的衝量。而穿鞋跑者因採後足著地的跑法，此動作特性會使其產生的著地衝量比赤足跑者高，故使得著地時產生較高的衝量 (Becker, Pisciotto, James, Osternig, & Chou, 2014; Lieberman et al., 2010)，而若赤足跑時採後足著地的跑法，則不僅步幅長度降低，且可能會造成步頻的提高，進而帶來更大的踝關節傷害風險 (Lieberman et al., 2010)。但需注意的是，少部分的跑者使用趾尖跑法 (toe runners)，趾尖跑法跑法為支撐期只使用前足著地的著地跑步技術，具有較高的最大腳踝蹠屈力矩 (peak plantar-flexor moment) 且有較高的應力 (strain)，此會造成小腿部位更為僵硬，因此，研究者認為趾尖跑法並不適合於一般休閒跑者 (Nunns et al., 2013)，然而使用前足著地之跑法具有降低小腿間內 (leg intra compartmental) 壓力，減輕慢性疲勞筋膜炎綜合症狀 (chronic exertional compartment syndrome) 的疼痛和傷害之益處 (Diebal, Gregory, Alitz, & Gerber, 2012)。

穿鞋跑與赤足跑時的步幅亦會有所不同，而有研究發現赤足跑和穿鞋跑的步幅長度差異，是影響矢狀面膝關節和踝關節力矩的主要因素，然而在相同的步幅長度條件下比較赤足跑與穿鞋跑的下肢關節力矩是沒有任何的差異 (Thompson, Gutmann, Seegmiller, & McGowan, 2014)。過去研究發現，穿鞋跑時跑者可以利用鞋子的緩衝減少著地時的衝擊 (shock)，因此能降低腿部的衝擊而有較高的步幅 (Derrick, Hamill, & Caldwell, 1998)，因而，赤足前足著地跑時的步幅便比

穿鞋後足著地跑時來得短，且因前足著地跑法增加了踝關節的蹠屈，故有較短的地面接觸時間，相對的會增加跑步的頻率。而學者認為赤足跑因會降低步幅長度，故可能會減少地面反作用力和矢狀面的關節力矩 (sagittal plane joint moments) (Thompson et al., 2014)，亦即，此步幅長度的減少或許會降低在踝關節產生的衝擊。但另一方面，赤足跑步因步幅較短而增加步頻，使得蹠骨與地面提高重複撞擊而增加蹠骨受傷的風險 (Arndt, Westblad, Ekenman, & Lundberg, 2003; Hughes, 1985; Nunns, Stiles, & Dixon, 2012)。

參、穿鞋與赤足跑步對下肢肌肉活化之影響

習慣赤足跑之跑者和習慣穿鞋跑之跑者有不一樣的下肢肌肉使用方式，赤足跑法腿內側和外側腓腸肌活化高於穿鞋跑時，且腓腸肌與比目魚肌也較為活化，以此，可以推測蹠屈肌群作用時間較長，會導致增加疲勞的可能性，此外，於赤足跑步時也發現在接觸地面時膝關節有較多的屈曲，這表示赤足跑步時大腿的肌群較為活化，因此，採赤足跑步時有可能會帶來過度的肌肉疲勞進而導致肌肉損傷，並造成下肢關節受傷的可能性 (Ahn et al., 2014; Divert, Mornieux, Baur, Mayer, & Belli, 2005; Olin & Gutierrez, 2013)，故建議跑者欲改變成赤足跑步需漸進式的訓練強化腓腸肌 (gastrocnemius)、比目魚肌 (soleus) 和大腿肌群，以減少受傷的可能性發生。

肌肉的活動與下肢勁度協調有所關聯，穿鞋與否會形成不同的足部著地動作，而足部與地面碰撞時因接觸的位置不同會產生不同關節勁度，後足著地之跑法通常足壓中心會出現在腳踝下方，因此腳踝觸地時能量大多都是出現在腳踝下方而產生較大的衝力，赤足前足著地跑時產生的平均負荷率較小，因此減少跑步受傷的風險，赤足後足著跑所造成較高的平均負荷率，可能會造成跑步受傷發生的可能 (Lieberman et al., 2010; Shih et al., 2013)，過大的衝力可能會造成踝關節受傷的風險，赤足前足跑法的壓力中心軌跡則在站立期比較向前，站立期的足壓中心大多都集中在足部中間，因此，產生較低的衝力，可有效的減緩衝擊力量 (Becker et al., 2014; Lieberman et al., 2010)。赤足和穿鞋跑比較，赤足跑腿部勁度仍然是增加的 (Divert et al., 2005)，故此，穿鞋跑採用中足跑法可能降低下肢受傷的風險。

赤足跑法最為被提及的是人類最原始的跑步著地技術，是故許多研究便針對著地動作的改變來探究其

對下肢肌群活動的影響。在比較穿鞋前足著地跑法和穿鞋後足著地跑法的研究中發現, 前足著地跑法有更高的踝關節淨力矩、蹠屈肌肉力量、蹠屈力矩、內旋力矩和跟腱張力 (achilles tendon force), 膝關節外展力矩亦會提高, 且平均總接觸負荷增加 (Kulmala, Avela, Pasanen, & Parkkari, 2013; Rooney & Derrick, 2013; Stearne, Alderson, Green, Donnelly, & Rubenson, 2014), 但有較低的髕股關節接觸負荷 (patellofemoral contact loads), 及膝關節額狀面力矩, 這可能會降低膝關節受傷的風險, 但較高的腳踝關節蹠屈肌和跟腱負荷卻可能會增加腳踝和足部受傷的風險 (Kulmala et al., 2013), 以此, 得知不同著地跑法, 可能會因重新分配關節之間的負荷而造成不同關節傷害的風險, 因此必須全面的對下肢關節的力量分配所形成之影響進行考量 (Stearne et al., 2014)。

而藉由肌電圖的研究發現, 採前足著地跑法跑步時踝關節蹠屈肌肌肉的活化提早 11%, 且著地時間多 10%, 故踝關節有更多的時間存儲彈性能量 (Ahn et al., 2014)。以整個步態週期來觀察的話, 前足著地跑法其股直肌 (rectus femoris)、股二頭肌 (biceps femoris) 與腓腸肌的肌肉活化程度會大於後足著地跑法, 而後足著地跑法的脛前肌的肌肉活化程度則會大於前足著地跑法, 這是因為前足著地跑法於著地時有較大的踝關節蹠屈和膝關節屈曲所致; 而在擺盪期 (swing phase) 的觀察發現, 採前足著地跑法時股直肌亦會有較大的活化作用; 然而, 不同著地地形態於推蹬期 (push off phase) 的肌肉活化表現是無差異 (Shih et al., 2013)。Yong, Silder, and Delp (2014) 的研究進一步指出, 在擺盪期前足著地跑法的脛前肌 (tibialis anterior) 肉活化反而高於後足著地跑法, 於擺盪期後期則顯示, 前足著地跑法的腓腸肌肌肉活化始顯著的高於後足著地跑法, 而脛前肌的活化在站立期前期是沒有差異。以此顯示, 不同的著地動作會改變動作期間肌肉活化的程度, 其於跑步機與地面上跑步量測結果肌肉活化的特徵亦不盡相同。

肆、結語

綜合上述, 穿鞋與赤足會改變跑步的生物力學特性, 穿鞋跑步時跑者多採後足先著地的跑法, 而當赤足跑時則會形成前足先著地的跑法, 而此前足著地之跑法會產生較短的步幅並有較高的步頻, 且於著地期地面反作用力曲線較為平滑, 故降低著地撞擊, 並因著地動作的改變減少踝與膝關節處的衝力與負荷, 降

低其所形成的傷害風險, 但採赤足前足著地跑步時會有較高的踝關節力矩和踝屈肌作用, 以及較為活化的小腿與大腿肌群, 是故, 在未受跑步訓練的情況之下採赤足前足跑法跑步, 是有可能導致受傷的, 因應著地方式的不同而產生的不同的跑步協調機制, 仍然需要透過漸進式的訓練, 才不會使踝關節和踝屈肌受傷的可能性發生。並建議相關研究人員後續可進行的研究課題。

引用文獻

- 林羿志、黃淑玲、劉宗翰、相子元 (2012)。赤足與穿著羽球鞋進行側步動作時足部運動學之比較。《體育學報》, 45(4), 289-299。
- 邱宏達、鄧蓓蓓 (2015)。赤腳與穿帆布鞋跑之著地方式與地面撞擊力。《體育學報》, 48(2), 185-193。
- Ahn, A. N., Brayton, C., Bhatia, T., & Martin, P. (2014). Muscle activity and kinematics of forefoot and rearfoot strike runners. *Journal of Sport and Health Science*, 3(2), 102-112.
- Arndt, A., Westblad, P., Ekenman, I., & Lundberg, A. (2003). A comparison of external plantarloading and in vivo local metatarsal deformation wearing two different military boots. *Gait & Posture*, 18(2), 20-26.
- Becker, J., Pisciotto, E., James, S., Osternig, L. R., & Chou, L. S. (2014). Center of pressure trajectory differences between shod and barefoot running. *Gait & Posture*, 40(4), 504-509.
- Bonacci, J., Saunders, P. U., Hicks, A., Rantalainen, T., Vicenzino, B. G. T., & Spratford, W. (2013). Running in a minimalist and lightweight shoe is not the same as running barefoot: A biomechanical study. *British Journal of Sports Medicine*, 47(6), 1-6.
- De Wit, B., De Clercq, D., & Aerts, P. (2000). Biomechanical analysis of the stance phase during barefoot and shod running. *Journal of Biomechanics*, 33(3), 269-278.
- Derrick, T. R., Hamill, J., & Caldwell, G. E. (1998). Energy absorption of impacts during running at various stride lengths. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30(1), 128-135.

- Diebal, A. R., Gregory, R., Alitz, C., & Gerber, J. P. (2012). Forefoot running improves pain and disability associated with chronic exertional compartment syndrome. *The American Journal of Sports Medicine*, 40(5), 1060-1067.
- Divert, C., Mornieux, G., Baur, H., Mayer, F., & Belli, A. (2005). Mechanical comparison of barefoot and shod running. *International Journal of Sports Medicine*, 26(7), 593-598.
- Divert, C., Mornieux, G., Freychat, P., Baly, L., Mayer, F., & Belli, A. (2008). Barefoot-shod running differences: Shoe or mass effect? *International Journal of Sports Medicine*, 29(6), 512-518.
- Hamill, J., Russell, E. M., Gruber, A. H., & Miller, R. (2011). Impact characteristics in shod and barefoot running. *Footwear Science*, 3(1), 33-40.
- Hasegawa, H., Yamauchi, T., & Kraemer, W. J. (2007). Foot strike patterns of runners at the 15-km point during an elite-level half marathon. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 21(3), 888-893.
- Hughes, L. Y. (1985). Biomechanical analysis of the foot and ankle for predisposition to developing stress fractures. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 7(3), 96-101.
- Kulmala, J. P., Avela, J., Pasanen, K., & Parkkari, J. (2013). Forefoot strikers exhibit lower running-induced knee loading than rearfoot strikers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 45(12), 2306-2313.
- Lieberman, D. E., Venkadesan, M., Werbel, W. A., Daoud, A. I., D'Andrea, S., Davis, I. S., . . . Pitsiladis, Y. (2010). Foot strike patterns and collision forces in habitually barefoot versus shod runners. *Nature*, 463(7280), 531-535.
- Nunns, M., House, C., Fallowfield, J., Allsopp, A., & Dixon, S. (2013). Biomechanical characteristics of barefoot foot strike modalities. *Journal of Biomechanics*, 46(15), 2603-2610.
- Nunns, M., Stiles, V., & Dixon, S. (2012). The effects of standard issue Royal Marine recruit footwear on risk factors associated with third metatarsal stress fractures. *Footwear Science*, 4(1), 59-70.
- Olin, E. D., & Gutierrez, G. M. (2013). EMG and tibial shock upon the first attempt at barefoot running. *Human Movement Science*, 32(2), 343-352.
- Perl, D. P., Daoud, A. I., & Lieberman, D. E. (2012). Effects of footwear and strike type on running economy. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 44(7), 1335-1343.
- Robbins, S. E., & Hanna, A. M. (1987). Running-related injury prevention through barefoot adaptations. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 19(2), 148-156.
- Rooney, B. D., & Derrick, T. R. (2013). Joint contact loading in forefoot and rearfoot strike patterns during running. *Journal of Biomechanics*, 46(13), 2201-2206.
- Shih, Y., Lin, K.-L., & Shiang, T.-Y. (2013). Is the foot striking pattern more important than barefoot or shod conditions in running? *Gait & Posture*, 38(3), 490-494.
- Squadrone, R., & Gallozzi, C. (2009). Biomechanical and physiological comparison of barefoot and two shod conditions in experienced barefoot runners. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 49(1), 6-13.
- Stearne, S. M., Alderson, J. A., Green, B. A., Donnelly, C. J., & Rubenson, J. (2014). Joint kinetics in rearfoot versus forefoot running: Implications of switching technique. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 46(8), 1578-1587.
- Thompson, M. A., Gutmann, A., Seegmiller, J., & McGowan, C. P. (2014). The effect of stride length on the dynamics of barefoot and shod running. *Journal of Biomechanics*, 47(11), 2745-2750.
- Williams III, D. B., Green, D. H., & Wurzing, B. (2012). Changes in lower extremity movement and power absorption during forefoot striking and barefoot running. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 7(5), 525-532.

Yong, J. R., Silder, A., & Delp, S. L. (2014). Differences in muscle activity between natural forefoot and rearfoot strikers during running. *Journal of biomechanics*, 47(15), 3593-3597.

Differences between shod and barefoot running in lower extremity movements and muscle activation

¹ CI-Lin Wang ¹ Li-I Wang ¹ Jin-Jiang Gao ² Chin-Yi Gu*

¹ Department of Physical Education and Kinesiology, National Dong Hwa University, Hualien, Taiwan

² Department of Education and Human Potentials Development, National Dong Hwa University, Hualien, Taiwan

Submit date : September 2016 ; Qualified date : January 2017

Abstract

Introduction: Although barefoot running may reduce the risk of running injury and has gained popularity in recent years, shod running continues to be prevalent. From sports biomechanics perspectives, this study observed the physiological changes that occur to the human body during barefoot and shod running. Previous studies have indicated that a barefoot runner's knee and ankle joint angles change according to the surface the runner is running on, thereby lowering the risk of knee joint injury. Moreover, studies have found that rare-foot strike is prone to injury from the impact force generated from the foot striking the ground. **Methods:** Therefore, this study integrated kinematics, dynamics, and muscle activation characteristics to further understand the sports biomechanics of the foot during barefoot and shod running. The findings of this study can serve as references for barefoot and shod runners. **Results:** Different landing strategies changed the extent of muscle activation; and the test results of muscle activation characteristics for treadmill and ground running were not the same. **Conclusion:** Untrained barefoot runners with a forefoot strike is very likely to get running injuries. As different running strategies lead to different running coordination mechanisms, it requires progressive training to reduce the injuries of ankle and ankle flexor.

Keywords: running shoes, strike patterns , footwear
