

## 紅外線熱影像評估運動傷害之效益

陳禹婷<sup>1</sup>、唐誌陽<sup>1</sup>、陳哲修<sup>2</sup>、洪暉<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>國立臺灣體育運動大學運動健康科學學系

<sup>2</sup>國立臺灣體育運動大學競技運動學系

### 摘要

各種急、慢性的運動傷害評估，向來是臨場工作者的一大難題。迄今已發展出許多方法可有效評估傷害，然除了理學檢查外，影像學輔助檢查往往因成本過高、便攜性不足、具放射性或需高度背景知識等因素而難以落實於第一線使用。但非侵入性的紅外線熱影像則無前述缺點，透過溫度轉換為可見的圖像，觀測因不同血管收縮效應所呈現出的「溫度變異點」分佈狀態，找出不同傷害類型所呈現的高溫或低溫病灶，配合解剖位置判讀，可協助辨識及評估選手因訓練量導致的急、慢性傷害或潛在傷害風險，並作為因錯誤動作模式產生身體非對稱性之評估指標。本文綜論過去文獻中透過紅外線熱影像觀察不同運動傷害類型與部位，以茲輔助評估運動傷害風險之參考，作為未來運動傷害領域的重要工具。

**關鍵詞：**影像學應用、運動傷害評估、潛在傷害風險、運動傷害預防

### 壹、緒論

運動傷害可說是各項競技運動選手的夢魘，因運動所產生的損傷會導致身體無法正常執行功能，若無法即時矯正及治療損傷，不僅可能限制其運動表現，甚至使身體暴露在更高的運動傷害風險中。迄今已有許多方法及工具能作為評估傷害的指標，如：關節活動度、徒手肌力監測、其他生理指標等 (Burnham et al., 2006)，但臨場評估時，可能發生影響評估有效性及準確度的限制因素，例如：當選手經歷急性傷害導致患部腫脹無法順利以動作測試或活動角度等理學檢查進行評估，或者選手可能慢性損傷累積型的傷害導致肌腱或韌帶退化而無法接受阻力測試等等 (Burnham et al., 2006)。因此除了基本理學檢查外，臨床上已發展如 X 光攝影、超音波、核磁共振成像 (magnetic resonance imaging, MRI) 等影像學技術，通過特殊設備成像患者身體內部結構，進一步佐證徒手理學檢查所缺乏的關鍵證據，但多數影像學設備對於臨場工作者而言並非唾手可得，且因成本因素、放射性限制與便攜性考量而作罷。

\*通訊作者: 洪暉 Email: hongweiarcher@hotmail.com

地址：40404 台中市北區雙十路一段十六號

相較於其他影像學技術，紅外線熱影像 (infrared thermography, IRT) 不具侵入性、放射性與便於攜帶的特性 (Burnham et al., 2006)，彌補了其他影像學的缺點。Buono 等 (2007) 將非接觸式 IRT 和接觸式的溫度計做比較，無論在靜止狀態抑或是運動過程中兩者測得平均皮膚溫度之相關性皆為高度相關 (靜止狀態  $r = 0.95$ ；運動過程  $r = 0.98$ )，得出和部分學者相同的結論——以非接觸性的 IRT 進行溫度量測在特定情況下是具有可靠性的 (Buono et al., 2007; Burnham et al., 2006; Coben & Padolsky, 2008)。以運動場上常見的急性傷害為例，可能是來自內發性或外因性的組織傷害，在急性發炎期的明顯症狀為紅、腫、熱、痛等顯見的表徵 (Chan et al., 2012)，其中對於淺層組織的熱症狀，能夠藉由 IRT 偵測傷害。而前述理學檢查所遇到的困難，也可以透過 IRT 加以克服，在急性傷害產生的局部發炎反應，易顯示高溫現象；而在復原較差的傷害組織或部位，則因較差的血液循環或脂肪組織侵入，導致產生局部溫度較低溫的現象，輔以傳統的理學檢查，協助防護員或治療師研判患者傷處真實狀況 (Garagiola & Giani, 1990)。考量前述因素，以 IRT 作為即時性軟組織及淺層組織的監測措施，為避免造成二度傷害或傷勢惡化的有利輔具。

## 貳、傷害評估的方法

### 一、理學評估

目前已發展許多方法及工具作為臨床診斷使用，如：藉由問診、視診、觸診初步了解傷害；透過動作測試及特殊測試，評估傷害原因及周圍組織的可能關聯性等細節，以及身體控制的穩定性、平衡性、柔軟度和本體感覺等不同能力；藉由神經學檢查，檢測皮節、肌節及反射狀態，評估神經系統是否異常及其傷害性質。現今坊間傷害評估教學使用多半參照 Magee 等 (2014) 所著之《骨科物理治療評估》為主。

### 二、影像學評估

除了一般理學檢查外，近年來影像學 (radiology) 等精密設備的現代化使用，輔助臨床上進行評估診斷，已成為現代醫學其中一個重要分支 (Johns & Cunningham, 1983)，然影像學相較於其他傷害評估方法而言較難以普遍應用於運動場域的初步診斷，亦為影像學之困境及劣勢。

影像學中以 MRI、超音波、IRT 為例：MRI 的影像細緻度高，但費用十分昂貴，亦需要背景知識充足的放射診斷科專科醫師、醫事放射師進行操作與影像解讀，因而多數採購者皆為大型醫院，難以在運動領域中第一線運用。近年來超音波成像除了復健治療用途外，檢測用的攜帶型超音波目前也被廣泛應用，雖成本較 MRI 低，但相較於 IRT，最主要缺點是需要醫事人員操作之背景知識與影像判讀能力。考量上述因素，IRT 可能較為適合應用於運動傷害評估的工具，成本相對低廉、便攜性高、背景知識門檻較低，針對傷害症狀辨識度也有一

定水準，以傷害的基本症狀為例：常見的發炎症狀包含紅、腫、熱、痛，其中熱的症狀尤其明顯，藉由熱影像的檢測，找出較周遭正常組織溫度高的熱點，並與理學檢查各項傷害評估的工具相互映證，推斷可能成因，以提供治療及機能重建方向 (Garagiola & Giani, 1990; Sillero-Quintana et al., 2017)。

### 參、紅外線熱影像的應用

IRT 技術最早始於 19 世紀初，但直至二戰時期才開始商業化應用於監測發熱現象的明顯徵兆，藉以評估傷害與疾病在皮膚溫度的變化，而後於 1970 年代，電腦處理系統的普及促進了熱影像的圖像處理速度及存取功能 (Jiang et al., 2005; Ring & Ammer, 2000)。美國醫學會 (american medical association, AMA) 在 1987 年即將 IRT 視為一項可行的診斷工具，隨之各領域學者廣泛應用於各項檢測中。IRT 的使用，並非要替代臨床的檢查，而是作為症狀確立的佐證 (Drzazga et al., 2018)。Hildebrandt 等 (2012) 著作中詳盡整理了 IRT 於醫學領域的應用之研究，無論是慢性組織傷害或血管性的失調及異常，如：肩夾擠、膝關節傷害、下背痛等皆有臨床應用相關研究。此外，資訊時代各項高精細度的鏡頭及成像技術，加上全球已有許多組織正致力於推動醫療熱影像的標準化及正確應用，IRT 已在醫學領域被視為可行性高且可靠的輔助診斷工具 (Diakides & Bronzino, 2007; Hildebrandt et al., 2012)。

在運動應用上，評估競技選手的工具及技術已發展十分多元，根據 Ridzuan 等 (2017) 的研究，調查 IRT 技術所測之肌肉溫度差異及肌電圖所測之肌肉疲勞狀況，發現兩者具有顯著相關性 ( $r=0.77$ )，雖作為 IRT 監測肌肉疲勞狀況之研究支持，此研究樣本數量偏低，但已初步顯示其未來發展性。目前也多元應用於醫學上與健康監測及診斷或是在體育上檢測競技選手身體狀態等領域 (Arfaoui et al., 2012; Hildebrandt et al., 2012)。現今的研究大多將 IRT 能輔助評估運動傷害及預防傷害風險的優勢視為重要的背景因素 (Garagiola & Giani, 1990; Hildebrandt et al., 2012)，這項工具和技術不再只局限於傳統醫學領域，而能夠在競技選手的運動傷害評估中佔有一席之地。

### 肆、紅外線熱影像評估運動傷害的應用

#### 一、影像病灶的種類

人體表層的溫度調控是一個複雜的系統，藉由血管收縮反應使 IRT 透過皮膚熱輻射測得溫度變化，交感神經控制正腎上腺素和皮膚小動脈上的受體共同作用，並透過正腎上腺素釋放共同傳遞物質，引發血管收縮 (Charkoudian, 2003)，人體在高強度的運動中會產生大量的熱能代謝，以維持體內生理調節穩定。而在評估傷害時，患者處於輕度血管收縮狀態，此時表層皮膚溫度較低，從而使潛在異常傷害反應的熱點清楚可見 (Jones, 1998)。透過回顧各個文獻所探討熱影像呈現之病灶，筆者將其分為「高溫病灶」及「低溫病灶」兩類，並分別論

---

\*通訊作者: 洪暉 Email: hongweiarcher@hotmail.com

地址: 40404 台中市北區雙十路一段十六號

述其可能之成因及案例。

### (一) 高溫病灶

許多學者曾針對急性期的運動傷害以及訓練後的肌肉損傷進行相關研究，由於 IRT 對患部熱反應具有一定程度之鑑別度，當急性傷害發生時產生的發炎現象所表現出的熱反應 (Garagiola & Giani, 1990; Sillero-Quintana et al., 2015)，即為「溫度變異點」，可透過 IRT 檢測軟組織及淺層組織呈現之高溫病灶。舉例而言，Hildebrandt 等 (2010) 針對膝關節外傷，如撞挫傷等，進行 IRT 研究，結果顯示患部的急性發炎反應在熱影像的表現具有顯著性。另外過去許多研究針對完成高強度訓練後的選手進行熱影像檢測，例如：Andrade 等 (2017)、Bandeira 等 (2012) 和 Drzazga 等 (2018) 的研究，結果皆顯示組織中的發炎反應在熱影像的平均肌肉溫度上具有明顯變化，其高溫病灶反映之狀況可詳見文章後續所述訓練量評估及肩部傷害之個案，針對不同類型運動選手研究之說明及圖示，說明量測結果可視為運動後肌肉損傷的指標，從而支持 IRT 對上述等高溫病灶的診斷方法。

### (二) 低溫病灶

當身體因過度訓練、長期慢性傷害、復原狀態較差等因素發生慢性傷害或功能改變時，患處會產生相應的血流狀態的變化，血液循環出現障礙，或因脂肪組織的侵入，導致局部溫度改變，進而破壞熱平衡，出現溫度變異點，並呈現低溫病灶。例如：肩夾擠症候群患者同時有肩部活動受限的情況以及呈現低溫狀態 (Park et al., 2007)；過度訓練的選手可能呈現肌肉疲勞或不對稱模式，同時連帶低溫病灶的現象，其低溫病灶反映之狀況可詳見文章後續所述之膝部傷害，針對過度訓練之足球選手研究之說明及圖示 (Fernández-Cuevas et al., 2017; Hildebrandt et al., 2012)。

此外，在 Tumilty 等 (2019) 的研究中以 IRT 觀測長跑選手的阿基里斯腱溫度變化，在為期九週的觀察中，其阿基里斯腱溫度具有穩定下降的趨勢，雖並未達統計差異，其低溫病灶的呈現後續尚需更多研究觀察，而此類型皮膚表層的組織覆蓋度較低時，或是不因脂肪層絕熱，更容易以 IRT 進行量測 (Bandeira et al., 2012)，若能排除氣溫下降等環境影響因素，並進一步研究低溫病灶現象是否確實反映選手在長期訓練過程中的潛在慢性傷害風險，低溫病灶的趨勢可能為未來傷害風險的指標之一。

## 二、應用方向與案例

### (一) 急性傷害評估

在 Hazenberg 等 (2014) 的研究中顯示，「溫度變異點」可能是急性傷害感染的徵兆，藉由影像學對於開放性傷口及急性傷害的評估潛力，或許能改善對於傷害嚴重程度及預估傷口

癒合的評估。許多文獻顯示，以 IRT 量測進行急性傷害的檢測已能夠預估傷害發生的精確解剖位置 (Judy et al., 2011)，並透過如上述高溫病灶案例中提及急性期產生發炎現象所表現出的熱反應，輔助臨床上的診斷及評估 (Garagiola & Giani, 1990; Sillero-Quintana et al., 2015)。

## (二) 慢性傷害評估

早期研究指出，肌肉收縮對於熱的能量變化具有複雜的機制 (Rall & Woledge, 1990)，在較高程度且一定時間的肌肉收縮水準下，為維持關節持續負荷力量，改變肌肉徵招效率，促使關節溫度隨時間的變化而增加 (Kuniszyk-Józkowiak et al., 2019)，反映了疲勞產生的結果 (Bartuzi et al., 2012)，伴隨著慢性發炎的徵狀，此時可能導致高溫病灶的呈現。但過度訓練的結果也可能因長期慢性傷害使身體出現血液循環的障礙，抑或因脂肪組織侵入等因素，破壞原有的熱平衡，此時就有可能產生如後續探討膝部傷害所呈現之低溫病灶的現象 (Fernández-Cuevas et al., 2017; Hildebrandt et al., 2012)。而在前述低溫病灶提及 Tumilty 等 (2019) 長期觀察跟腱傷害中，由於阿基里斯腱處的皮膚表層組織覆蓋度較低，利於監測可能產生慢性傷害之溫度變化趨勢。

## (三) 訓練量評估

競技選手為提高運動表現進行大量的訓練，同時又需避免長期練習產生的過度訓練傷害，正如天平的兩端，需要精確評估以維持平衡，但多數情況顯示訓練量的拿捏與估算並非容易之事，同樣的訓練量及強度可能會對不同選手產生不同效果，同時也可能產生不同程度的疲勞現象，如自行車項目已經發展出許多工具提供訓練監控及比賽的即時回饋，其中又以功率為重點指標 (Djaoui et al., 2016)。若以足球選手為例，研究顯示在正式的足球比賽結束後，選手在一天之內並不能恢復賽前原有的狀態，如：心率、自覺疲勞強度 (rating of perceived exertion, RPE)、肌酸激酶 (creatinase, CK)、血乳酸、衝刺速度等指標，反而在賽後 48 小時較能回復，此外也受競賽經驗所影響，在傳統上針對運動後的疲勞監測或訓練量之評估，常以前述生化指標或以非線性方法作為各肢段動作變異性之分析 (Djaoui et al., 2016)，並藉由這些指標或趨勢來進一步檢視運動現象 (陳俊伊等, 2008)，而 Andrade 等 (2017) 在正式比賽後 24 小時 CK 值明顯提升時透過 IRT 進行檢測，下肢量測溫度顯著增加，在研究案例中溫度變化均高於 2.0°C，在大腿後部區域達到 2.5°C (如圖 1 中的 B 項)，說明了參與足球比賽會導致大量的肌肉微損傷，而這些損傷可能與局部的急性發炎反應有關，此研究量測結果可能視為運動後肌肉疲勞的指標 (Ridzuan et al., 2017)，倘若未來能加入更多在賽事及訓練過程中輔助判斷之研究，即能視為有效避免疲勞傷害之重要因素 (BenEliyah, 1992; Fernández-Cuevas et al., 2014; Marins et al., 2012)。

Bandeira 等 (2012) 針對青少年足球選手進行 IRT 檢測以及採樣血液中 CK 值變化，和低強度有氧運動的對照組相比，實驗組須完成深蹲等三種重量訓練高強度的訓練，以達到個人的最大負荷，透過高濃度 CK 值反映組織中的發炎反應，同時 IRT 所檢測的平均肌肉溫度在訓練前後也可看出明顯變化 (如圖 2 中標示 3、4)(Barcelos et al., 2014; Ridzuan et al., 2017)。生理生化指標為全身性指標，而紅外線評估和指標變化趨勢和時間序列相似，可以協助評估

\*通訊作者: 洪暉 Email: hongweiarcher@hotmail.com

地址: 40404 台中市北區雙十路一段十六號

定位潛在傷害的風險位置區域。然而 Da Silva 等 (2018) 的研究顯示，肌肉損傷與 IRT 檢測並無顯著之相關性，故建議 IRT 作為輔助設備，同時使用其他評估工具做進一步研究，後續應比較更多研究結果，以評斷 IRT 是否為運動訓練後肌肉損傷的評估方式，或其額外之限制。

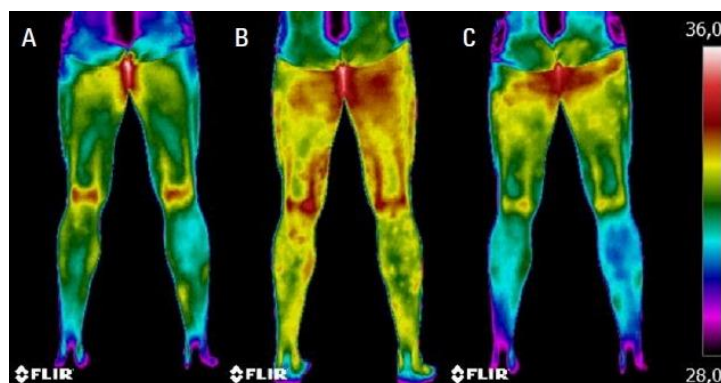


圖 1、足球選手比賽前後的熱影像後視圖

(標示 A 為比賽前 24 小時；標示 B 為比賽後 24 小時；標示 C 為比賽後 48 小時)

資料來源：Andrade Fernandes, A., Pimenta, E. M., Moreira, D. G., Sillero-Quintana, M., Marins, J. C. B., Morandi, R. F., Garcia, E. S. (2017). Effect of a professional soccer match in skin temperature of the lower limbs: A case study. *Journal of Exercise Rehabilitation*, 13(3), 330–334. <https://doi.org/10.12965/jer.1734934.467>

此外，除了多數針對四肢之研究，Ludwig 等 (2012) 也以 IRT 評估不同呼吸訓練下軀幹皮膚溫度之變化，並將其視為未來研究發展的初步進展 (Carmona, 2008)。然而目前的文獻研究尚無以 IRT 探討不同訓練量產生之疲勞效果，僅針對高強度訓練後的疲勞狀態進行研究。高強度訓練類型的運動同時也伴隨著高傷害風險，即時性的傷害預防及判斷對於球員的運動表現及長期發展性極為重要 (Carmona, 2008)，至今也有許多研究顯示，這項技術如何作為運動訓練中的工具有效預防傷害發生 (Bandeira et al., 2012; Barcelos et al., 2014; Ridzuan et al., 2017)。

#### (四) 對稱性評估

在臨床檢測上，除了監測競技選手在訓練前後身體溫度變異以評估其訓練量及疲勞狀態外，透過身體兩側相互比較其溫度變化是否有明顯差異，從而判斷患側及潛在傷害風險的位置，可能是來自過度訓練、肌肉過荷、不正常運動模式等原因所導致熱的不對稱性 (Estal et al., 2017)，在疼痛發生之前，藉由 IRT 識別非對稱作為指標，修正訓練量、排除功能障礙、調整運動模式讓身體回復熱平衡，以排除風險、預防傷害發生 (Fernández-Cuevas et al., 2017; Niu et al., 2001a; Uematsu et al., 1988)。

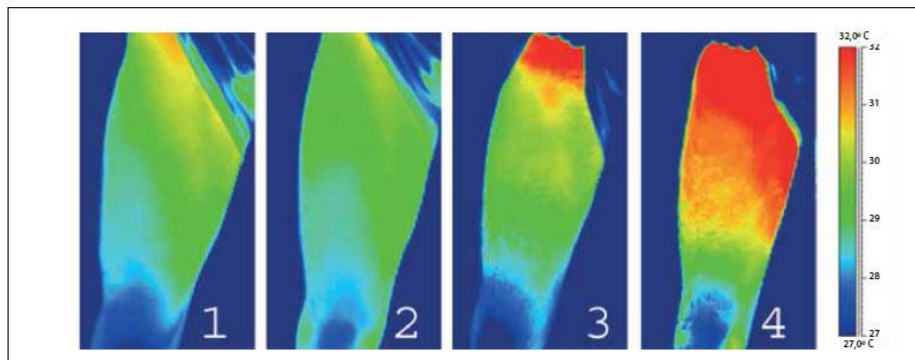


圖 2、青少年足球選手運動訓練前後的下肢熱影像檢測圖，(標示 1 為對照組訓練前；標示 2 為對照組訓練後；標示 3 為實驗組訓練前；標示 4 為實驗組訓練後)

資料來源：Bandeira, F., Moura, M. A. M. d., Souza, M. A. d., Nohama, P., & Neves, E. B. (2012). Pode a termografia auxiliar no diagnóstico de lesões musculares em atletas de futebol? *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, 18(4), 246–251. <https://doi.org/10.1590/S1517-86922012000400006>

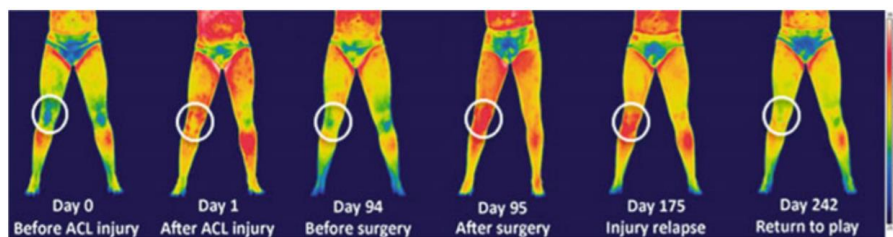


圖 3、長期監測足球選手下肢熱影像

資料來源：Fernández-Cuevas, I., Lastras, J. A., Galindo, V. E., & Carmona, P. G. (2017). Infrared thermography for the detection of injury in sports medicine. In Priego Quesada, J. (ed), *Application of Infrared Thermography in Sports Science* (pp. 81–109): Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-47410-6\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-47410-6_4)

如圖 3 中長期監測足球選手右膝傷害進程，監測選手身體是否存在明顯熱點、兩側是否對稱、訓練前後及比賽前後的差異、手術前後等等比較，倘若加上球隊隊伍中選手的相互比較，更能夠建構出熱對稱的標準範圍，以供評估選手狀態，調整訓練課表或是進行預防性訓練 (Andrade Fernandes et al., 2017; BenEliyahu, 1992; Fernández-Cuevas et al., 2017; Marins et al., 2014; Rodriguez-Sanz et al., 2018)。

### 三、適用範圍及限制

透過 IRT 檢測溫度變化，雖然相較於其他影像檢查方法更為便利，但需要掌握一定條件，以確保檢測品質 (Ammer, 2008; Lahiri et al., 2012)。Ring 等 (2000) 曾提出 IRT 檢測需在一定條件的受控環境中進行，如：檢查室、溫度控制、成像系統、影像資料蒐集處理和分析等基

\*通訊作者: 洪暉 Email: hongweiarcher@hotmail.com

地址：40404 台中市北區雙十路一段十六號

本程序，以及受試者需避免使用止汗劑或除臭劑、處於發抖或出汗狀態，並排除其他紅外線來源 (Lahiri et al., 2012)，此外學者 Jones (1998) 也提到，進行 IRT 檢測時的體表濕度、環境因素、身體接觸表面溫度等因素會干擾測得的數值，可能侷限在戶外進行立即性的評估，建議在實際評估及操作上在室內進行。而 Moreira 等 (2017) 於 2017 年彙集各領域專家學者的建議，擬定了一份名為《運動和運動醫學中的熱影像》(thermographic imaging in sports and exercise medicine, TISEM) 的清單，更精確明列 IRT 在使用上的限制與禁忌，如：受試者應避免之飲食、標準化環境與溫濕度控制等，讓後續的研究者及技術操作人員能夠最大限度地避免檢測偏誤。倘若應用於第一線的運動場邊防護，除了建議於受控環境的室內進行檢測外，應注意前述限制提及受測者出汗狀態是否排除。此外，約為 2 至 3 mm 的 IRT 組織穿透深度可能因肥厚性疤痕組織或如硬化等影響表層結構之組織產生遮蔽效應，高度影響量測效果 (Gurjarpadhye et al., 2015)，控制評估區域的脂肪層同樣具有重要性，脂肪層會干擾絕對溫度值，並且會顯著影響具有異質脂質分佈的受試者的研究結果 (Bandeira et al., 2012)，在臨床檢測中，須將上述層面之因素納入考量範圍內，以最大化其測量有效性。

此外，在現今的研究中無法完整以 IRT 精準辨別其傷害類型，僅能就不同類型之個案觀察。關於溫度監控以預防傷害風險層面而言，目前已有研究表示能標準化熱影像之評估 (Barcelos et al., 2014)，除了就不同年齡層與性別分類各部位之溫度範圍 (Niu et al., 2001a, 2001b)，未來研究可更加深入探討並建立溫度區間模型以預防運動傷害風險。

## 伍、紅外線熱影像評估傷害之案例

### 一、各種傷害部位之案例

#### (一) 肩部傷害

Hildebrandt 等 (2012) 的研究延伸 Sein 等 (2010) 針對游泳選手高比率的肩部夾擠現象，藉由 IRT 進行觀察，經過單次高強度的訓練後，發現游泳選手肩部的過度負荷呈現熱點反應，以此作為監測游泳選手過量訓練的疲勞指標。此外 Drzazga 等 (2018) 透過 IRT 輔以 CK 值、乳酸濃度等生化指標，觀察不同項目的選手，經跑步機測試後全身溫度分佈變化和差異，並評估肌肉活化程度及效率，如圖 4 中所示，上肢與下肢的溫度差異反映游泳選手測試前後的肌肉徵招情形，藉由 IRT 將選手的身體狀態全面量化並以溫度圖示呈現，觀察溫度變化及熱點分佈，研究發現，滑雪選手因運動模式差異具有更好的排熱機制效率，而游泳選手測試後下肢溫度的升高可能與皮膚血流對特定訓練的適應性有關，此研究認為 IRT 可以提供人體的適應性以及可獲得從體內排除多餘熱量能力的訊息 (Hunt & Hatfield, 2017)，根據前述高溫病灶之說明，反映排熱機制差異造成之高溫現象，可能造成潛在傷害因素。

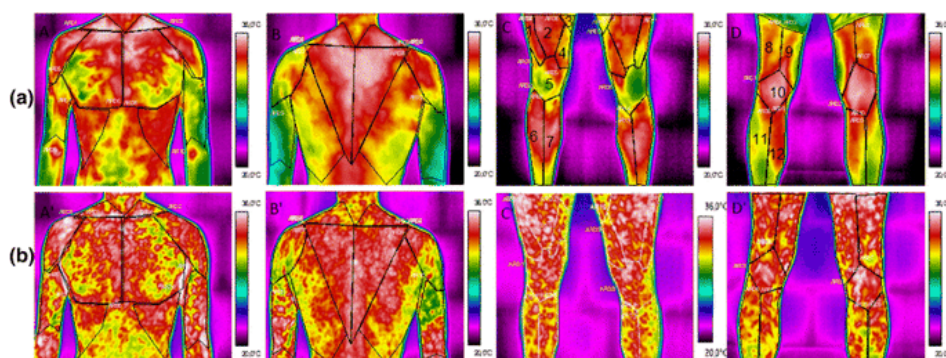


圖 4、游泳選手經運動測試前後的各部位熱影像分析圖

(標示 a 之橫列為運動前；標示 b 之橫列為運動後；由左至右之部位及視角分別為軀幹正面、軀幹背面、下肢正面、下肢背面)

資料來源：Drzazga, Z., Binek, M., Pokora, I., & Sadowska-Krępa, E. (2018). A preliminary study on infrared thermal imaging of cross-country skiers and swimmers subjected to endurance exercise. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 134(1), 701–710. <https://doi.org/10.1007/s10973-018-7311-y>

## (二) 膝部傷害

Hildebrandt 等 (2010) 針對前十字韌帶 (anterior cruciate ligament, ACL) 破裂的滑雪選手進行 IRT 的檢測，如圖 5 所示，左圖可明顯看出急性傷害之後續變化，傷後六週右膝周圍呈現高溫狀態，同時觸診有腫脹及疼痛現象，而經過六個月的復健後，右圖右膝內側仍有些許高溫區域以及疼痛，但整體而言的熱症狀及觸診的腫脹現象明顯減緩，由此可佐證紅外線熱影像評估膝關節傷害的有效性。

但過度訓練的結果也可能因長期慢性傷害使身體出現血液循環的障礙，抑或因脂肪組織侵入等因素，破壞原有的熱平衡 (Fernández-Cuevas et al., 2017; Hildebrandt et al., 2012)，此時就有可能產生如圖 6 所呈現之低溫病灶的現象 (Fernández-Cuevas et al., 2017; Hildebrandt et al., 2012)。

## (三) 踝部傷害

Oliveira 等 (2016) 透過 IRT 觀察踝關節扭傷，如圖 7 所示，根據損傷程度分為從輕度到重度的 I 級、II 級、III 級 (Wolfe et al., 2001)，發現不同損傷程度的踝扭傷在溫度上有上升趨勢，踝部傷害溫度與健側相比的相對溫差在直視的視角中反映出患者的傷害情況 (I 級溫差為 0.6°C、II 級溫差為 2.4°C、III 級溫差為 3.7°C)，雖然未有統計上的顯著差異，僅能作為數據參考，但在急性傷害下，踝關節扭傷的熱影像分析可作為臨床參考之用途。

\*通訊作者：洪暉 Email: hongweiarcher@hotmail.com

地址：40404 台中市北區雙十路一段十六號

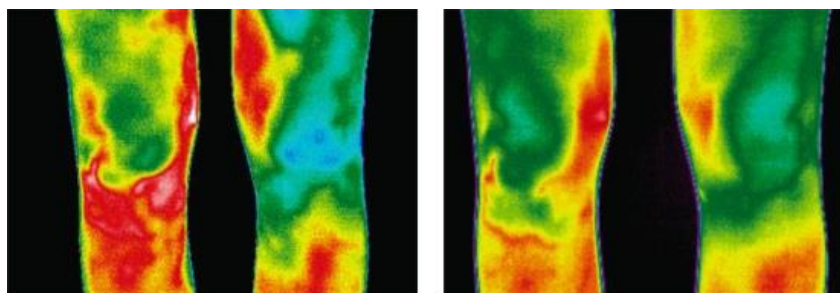


圖 5、右膝前十字韌帶破裂的滑雪選手膝關節熱影像  
(圖左為傷後六週；圖右為復健六個月後)

資料來源：Hildebrandt, C., Raschner, C., & Ammer, K. (2010). An overview of recent application of medical infrared thermography in sports medicine in Austria. *Sensors*, *10*(5), 4700–4715.

<https://doi.org/10.3390/s100504700>

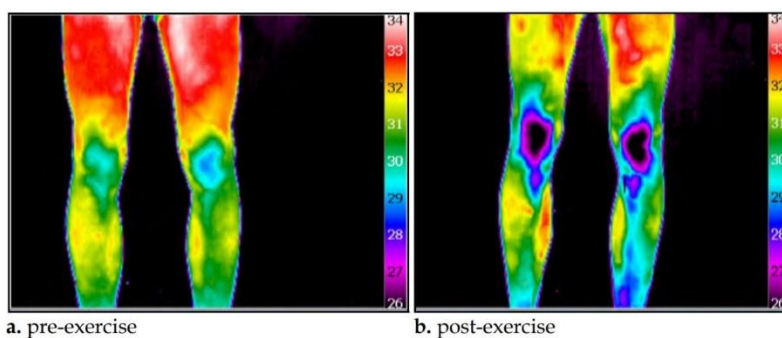


圖 6、長期過度訓練的足球選手運動前後下肢熱影像

資料來源：Hildebrandt, C., Zeilberger, K., Ring, E. F. J., & Raschner, C. (2012). The application of medical infrared thermography in sports medicine. In Zaslav, K. Z (ed), *An International Perspective on Topics in Sports Medicine and Sports Injury* (pp. 257–274). InTech.

<https://doi.org/10.5772/28383>

## 二、與其他影像學工具相互映證之個案分享

由過去文獻可見 IRT 進行溫度量測之效果，也有部分研究者提出，倘若輔以其他影像學評估工具作為映證，可佐證其用以評估運動傷害的效用 (Da Silva et al., 2018)。筆者實驗室實際應用 IRT 於傷害評估，並以超音波檢測實際傷害位置，觀察個案為國小男性跳遠項目選手，主訴患側左腳膝蓋有不適感，尤其在起跳與著地時脛骨粗隆 (tibial tubercle) 處產生疼痛；理學檢查發現選手患側脛骨粗隆相較於健側較為突起，伴隨著明顯的壓痛、給予伸膝阻抗疼痛與較高之體表溫度。如圖 8 所示，透過 IRT 量測，發現其患側方脛骨粗隆處 (十字標示點)，呈現較周圍組織溫度高，並有些微積水的肥厚腫脹現象，懷疑此患者於脛骨粗隆處可能產生損傷性組織。

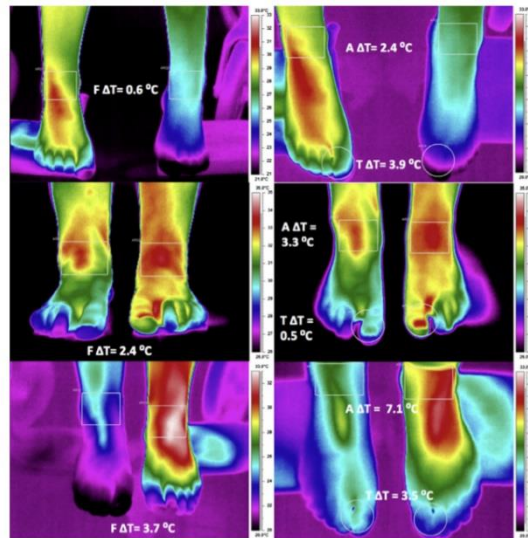


圖 7、三種傷害級別的踝關節扭傷熱影像

(圖上為 I 級；圖中為 II 級；圖下為 III 級；左欄為正視視角；右欄為俯視視角)

資料來源：Oliveira, J., Vardasca, R., Pimenta, M., Gabriel, J., & Torres, J. (2016). Use of infrared thermography for the diagnosis and grading of sprained ankle injuries. *Infrared Physics and Technology*, 76, 530–541. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2016.04.014>

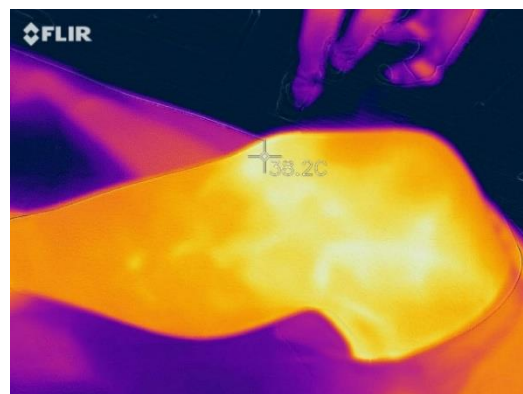


圖 8、選手左側膝關節之熱影像檢測，此影像獲得個案選手許可，並經同意修飾。

輔以超音波影像觀察選手脛骨粗隆處的組織狀態發現，位於脛骨粗隆與髌腱連接處，如圖 9 所示，皮質骨顯現不正常排列的凸起現象，並發現有增生的游離骨，經復健科醫師判定為皮質骨撕裂性骨折 (bone cortex avulsion fracture)，並可能因為累積性多次創傷，導致圖 10 中所呈現反覆的多重撕裂現象。

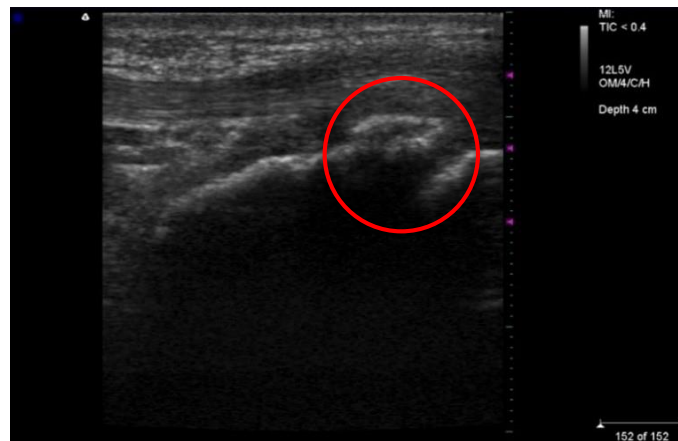


圖 9、選手患側左膝超音波檢測

註：紅圈處顯示於脛骨粗隆產生皮質骨撕裂性骨折，此影像獲得個案選手許可，並經同意修飾。

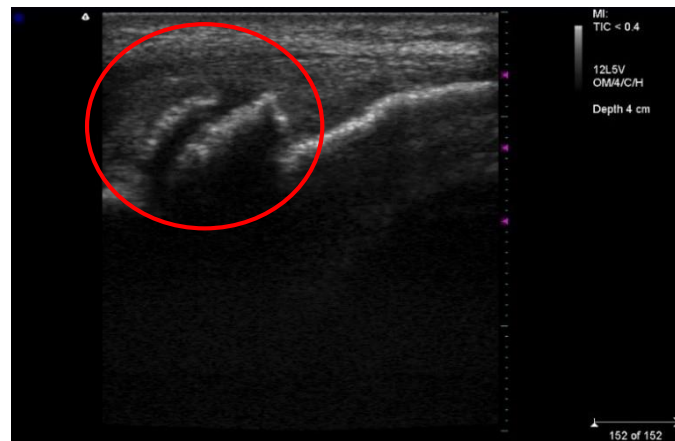


圖 10、選手患側左膝超音波檢測

註：紅圈處顯示於脛骨粗隆發現多重皮質骨撕裂性骨折  
此影像獲得個案選手許可，並經同意修飾。

前述選手經由理學檢查、IRT 以及超音波量測後，經醫師判定該名選手可確立為奧斯古德氏症 (Osgood-Schlatter disease)，該症狀係因長時間訓練的過度使用，導致近端脛骨粗隆的髌骨肌腱起點發生牽引性的骨突炎，髌腱在生長板上不斷的拉扯產生疼痛，好發族群為兒童及青少年，考量該名選手正值生長板尚未癒合之生長期，然該運動項目需要大量反覆的跳躍及屈膝動作，已協調該名學生接受保守性治療並降低練習以待復原。

## 陸、結論

為了解決現今運動領域針對即時性的理學評估方法之盲點或輔助監測影像工具的成本及便攜性因素問題，非侵入性的 IRT 以呈現出高溫或低溫病灶的溫度變異點作為評估之參考。IRT 能辨別急性傷害發生時所產生發炎反應的高溫病灶，或當身體處於長期過荷的慢性發炎

狀態，血流變化影響溫度改變，打破原本的熱平衡呈現低溫病灶。同時也能應用於監測選手訓練量及身體對稱性，透過定期監測以輔助教練及選手進行判斷，並調整異常運動模式、排除動作限制因素，以預防傷害風險。由於 IRT 僅能獲得溫度訊息，需配合影學評估才能精準判斷軟組織及淺層組織的傷害程度。綜觀上述，回顧過去眾多針對不同傷害部位及運動項目使用 IRT 進行競技選手的傷害評估之文獻，發現這些不同動作模式及運動風險之研究，可佐證其效果能夠作為未來運動傷害領域中一項重要檢測工具，但仍需更多實驗樣本之研究驗證。此外，在熱影像學的檢測過程中尚需遵循嚴謹的檢測標準及限制，並考量 2 至 3mm 的組織穿透深度，盡可能排除如肥厚性疤痕組織等遮蔽效應，以獲得可靠的評估結果。

## 柒、實務應用

未來在運動領域中，IRT 可輔助第一線的防護工作者進行即時性的傷害評估，針對無論是急性傷害抑或是慢性損傷，更精準有效地找出潛在風險，並與運動教練及訓練師相互配合，調整選手之訓練量以及其身體對稱性。此外應考量 IRT 在戶外使用的干擾因素，建議在室內進行評估。IRT 這項不算是嶄新技術的工具，在運動傷害的領域中仍具有發展空間，與理學檢查各項傷害評估的工具相互映證，透過快速方便地量化身體狀態以供客觀的評估治療及機能重建方向。

## 利益衝突

本研究無涉及相關利益衝突。

## 引用文獻

- 陳俊伊、陳帝佑、陳重佑 (2008)。動作行為背後的變異性。《中華體育季刊》，22(4)，61–68。  
<https://doi.org/10.6223/qcpe.2204.200812.1707>
- Ammer, K. (2008). The Glamorgan Protocol for recording and evaluation of thermal images of the human body. *Thermology International*, 18(4), 125–144.
- Andrade Fernandes, A., Pimenta, E. M., Moreira, D. G., Sillero-Quintana, M., Marins, J. C. B., Morandi, R. F., Kanope, T., & Garcia, E. S. (2017). Effect of a professional soccer match in skin temperature of the lower limbs: A case study. *Journal of Exercise Rehabilitation*, 13(3), 330–334. <https://doi.org/10.12965/jer.1734934.467>
- Arfaoui, A., Polidori, G., Taiar, R., & Popa, C. (2012). Infrared thermography in sports activity. *Infrared Thermography*, 1, 141–168. <https://doi.org/10.5772/30268>
- Bandeira, F., Moura, M. A. M. d., Souza, M. A. d., Nohama, P., & Neves, E. B. (2012). Pode a termografia auxiliar no diagnóstico de lesões musculares em atletas de futebol? *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, 18(4), 246–251. <https://doi.org/10.1590/S1517->

---

\*通訊作者：洪暉 Email: hongweiarcher@hotmail.com

地址：40404 台中市北區雙十路一段十六號

86922012000400006

- Barcelos, E. Z., Caminhas, W. M., Ribeiro, E., Pimenta, E. M., & Palhares, R. M. (2014). A combined method for segmentation and registration for an advanced and progressive evaluation of thermal images. *Sensors*, *14*(11), 21950–21967. <https://doi.org/10.3390/s141121950>
- Bartuzi, P., Roman-Liu, D., & Wiśniewski, T. (2012). The influence of fatigue on muscle temperature. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, *18*(2), 233–243. <https://doi.org/10.1080/10803548.2012.11076931>
- BenEliyahu, D. (1992). Infrared thermography and the sports injury practice. *Dynamic Chiropractic*, *10*(7), 1–5.
- Buono, M. J., Jechort, A., Marques, R., Smith, C., & Welch, J. (2007). Comparison of infrared versus contact thermometry for measuring skin temperature during exercise in the heat. *Physiological Measurement*, *28*(8), 855–859. <https://doi.org/10.1088/0967-3334/28/8/008>
- Burnham, R. S., McKinley, R. S., & Vincent, D. D. (2006). Three types of skin-surface thermometers: a comparison of reliability, validity, and responsiveness. *American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*, *85*(7), 553–558. <https://doi.org/10.1097/01.phm.0000223232.32653.7f>
- Carmona, P. M. G. (2008). *Influencia de la información termográfica infrarroja en el protocolo de prevención de lesiones de un equipo de fútbol profesional español* [Unpublished doctoral dissertation]. Universidad Politécnica de Madrid.
- Chan, O., Del Buono, A., Best, T. M., & Maffulli, N. (2012). Acute muscle strain injuries: A proposed new classification system. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, *20*(11), 2356–2362. <https://doi.org/10.1007/s00167-012-2118-z>
- Charkoudian, N. (2003). Skin blood flow in adult human thermoregulation: how it works, when it does not, and why. *Mayo Clinic Proceedings*, *78*(5), 603–612. <https://doi.org/10.4065/78.5.603>
- Coben, R., & Padolsky, I. (2008). Infrared imaging and neurofeedback: Initial reliability and validity. *Journal of Neurotherapy*, *11*(3), 3–13. <https://doi.org/10.1080/10874200802126100>
- Da Silva, W., Machado, Á. S., Souza, M. A., Kunzler, M. R., Priego-Quesada, J. I., & Carpes, F. P. (2018). Can exercise-induced muscle damage be related to changes in skin temperature? *Physiological Measurement*, *39*(10), 104007. <https://doi.org/10.1088/1361-6579/aae6df>
- Diakides, N. A., & Bronzino, J. D. (2007). *Medical infrared imaging*. CRC press. <https://doi.org/10.1201/9781420008340>
- Djaoui, L., Diaz-Cidoncha Garcia, J., Hautier, C., & Dellal, A. (2016). Kinetic post-match fatigue in professional and youth soccer players during the competitive period. *Asian Journal of Sports Medicine*, *7*(1), e28267. <https://doi.org/10.5812/asjms.28267>
- Drzazga, Z., Binek, M., Pokora, I., & Sadowska-Krępa, E. (2018). A preliminary study on infrared

- thermal imaging of cross-country skiers and swimmers subjected to endurance exercise. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 134(1), 701–710.  
<https://doi.org/10.1007/s10973-018-7311-y>
- Estal, A., Brito, C. J., Galindo, V. E., Durana, A. L. D., Franchini, E., & Quintana, M. S. (2017). Thermal asymmetries in striking combat sports athletes measured by infrared thermography. *Science and Sports*, 32(2), 61–67. <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2016.09.005>
- Fernández-Cuevas, I., Lastras, J. A., Galindo, V. E., & Carmona, P. G. (2017). Infrared thermography for the detection of injury in sports medicine. In Priego Quesada, J. (ed), *Application of Infrared Thermography in Sports Science* (pp. 81–109): Springer, Cham.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-319-47410-6\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-47410-6_4)
- Fernández-Cuevas, I., Sillero-Quintana, M., Garcia-Concepcion, M. A., Serrano, J. R., Gomez-Carmona, P., & Marins, J. B. (2014). Monitoring skin thermal response to training with infrared thermography. *New Studies In Athletics*, 29(1), 57–71.
- Garagiola, U., & Giani, E. (1990). Use of telethermography in the management of sports injuries. *Sports Medicine*, 10(4), 267–272. <https://doi.org/10.2165/00007256-199010040-00005>
- Gurjarpadhye, A. A., Parekh, M. B., Dubnika, A., Rajadas, J., & Inayathullah, M. (2015). Infrared imaging tools for diagnostic applications in dermatology. *SM Journal of Clinical and Medical Imaging*, 1(1), 1–5.
- Hazenbergh, C. E., van Netten, J. J., van Baal, S. G., & Bus, S. A. (2014). Assessment of signs of foot infection in diabetes patients using photographic foot imaging and infrared thermography. *Diabetes Technology and Therapeutics*, 16(6), 370–377. <https://doi.org/10.1089/dia.2013.0251>
- Hildebrandt, C., Raschner, C., & Ammer, K. (2010). An overview of recent application of medical infrared thermography in sports medicine in Austria. *Sensors*, 10(5), 4700–4715.  
<https://doi.org/10.3390/s100504700>
- Hildebrandt, C., Zeilberger, K., Ring, E. F. J., & Raschner, C. (2012). The application of medical infrared thermography in sports medicine. In Zaslav, K. Z. (ed), *An International Perspective on Topics in Sports Medicine and Sports Injury* (pp. 257–274). InTech.  
<https://doi.org/10.5772/28383>
- Hunt, M. A., & Hatfield, G. L. (2017). Ankle and knee biomechanics during normal walking following ankle plantarflexor fatigue. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 35, 24–29. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2017.05.007>
- Jiang, L., Ng, E., Yeo, A., Wu, S., Pan, F., Yau, W., Chen, J., & Yang, Y. (2005). A perspective on medical infrared imaging. *Journal of Medical Engineering and Technology*, 29(6), 257–267.  
<https://doi.org/10.1080/03091900512331333158>
- Johns, H. E., & Cunningham, J. R. (1983). *The physics of radiology*. Springfield.
- Jones, B. F. (1998). A reappraisal of the use of infrared thermal image analysis in medicine. *IEEE*

- Transactions on Medical Imaging*, 17(6), 1019–1027. <https://doi.org/10.1109/42.746635>
- Judy, D., Brooks, B., Fennie, K., Lyder, C., & Burton, C. (2011). Improving the detection of pressure ulcers using the TMI ImageMed system. *Advances in Skin and WoundCare*, 24(1), 18–24. <https://doi.org/10.1097/01.ASW.0000392925.83594.50>
- Kuniszyk-Józkowiak, W., Jaszczuk, J., Czaplicki, A., & Szyszka, P. (2019). Variability of shoulder girdle temperature in the initial phase of the snatch in weightlifting. *Acta of Bioengineering and Biomechanics*, 21(3). <https://doi.org/10.5277/ABB-01423-2019-02>
- Lahiri, B., Bagavathiappan, S., Jayakumar, T., & Philip, J. (2012). Medical applications of infrared thermography: A review. *Infrared Physics and Technology*, 55(4), 221–235. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2012.03.007>
- Ludwig, N., Gargano, M., Formenti, D., Bruno, D., Ongaro, L., & Alberti, G. (2012). Breathing training characterization by thermal imaging: a case study. *Acta of Bioengineering and Biomechanics*, 14(3), 42–47. doi:10.5277/abb120306
- Magee, D. J. (2014). *Orthopedic physical assessment-E-Book*. Elsevier Health Sciences.
- Marins, J., Fernández-Cuevas, I., Ribot-Serrano, J., Garcia-Concepcion, M., Gomez Carmona, P., & Sillero-Quintana, M. (2012). Thermal response of the skin temperature on muscle and joint body areas after strength training by infrared thermography. *Thermology International*, 22(3), 119–120.
- Marins, J. B., Andrade Fernandes, A., Moreira, D. G., Silva, F. S., Costa, C. M. A., Pimenta, E. M., & Sillero-Quintana, M. (2014). Thermographic profile of soccer players' lower limbs. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, 7(1), 1–6. [https://doi.org/10.1016/S1888-7546\(14\)70053-X](https://doi.org/10.1016/S1888-7546(14)70053-X)
- Moreira, D. G., Costello, J. T., Brito, C. J., Adamczyk, J. G., Ammer, K., Bach, A. J. E., Costa, C. M. A., Eglin, C., Fernandes, A. A., Fernández-Cuevas, I., Ferreira, J. J. A., Formenti, D., Fournet, D., Havenith, G., Howell, K., Jung, A., Kenny, G. P., Kolosovas-Machuca, E. S., Maley, M. J., & Sillero-Quintana, M. (2017). Thermographic imaging in sports and exercise medicine: A Delphi study and consensus statement on the measurement of human skin temperature. *Journal of Thermal Biology*, 69, 155–162. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2017.07.006>
- Niu, H. H., Lui, P. W., Hu, J. S., Ting, C. K., Yin, Y. C., Lo, Y. L., Liu, L., & Lee, T. Y. (2001a). Thermal symmetry of skin temperature: normative data of normal subjects in Taiwan. *Chinese Medical Journal (Taipei)*, 64(8), 459–468.
- Niu, H. H., Lui, P. W., Hu, J. S., Ting, C. K., Yin, Y. C., Lo, Y. L., Liu, L., & Lee, T. Y. (2001b). Thermal symmetry of skin temperature: normative data of normal subjects in Taiwan. *Chinese Medical Journal (Taipei)*, 64(8), 459–468.
- Oliveira, J., Vardasca, R., Pimenta, M., Gabriel, J., & Torres, J. (2016). Use of infrared

- thermography for the diagnosis and grading of sprained ankle injuries. *Infrared Physics and Technology*, 76, 530–541. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2016.04.014>
- Park, J. Y., Hyun, J. K., & Seo, J. B. (2007). The effectiveness of digital infrared thermographic imaging in patients with shoulder impingement syndrome. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 16(5), 548–554. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2006.11.010>
- Rall, J. A., & Woledge, R. C. (1990). Influence of temperature on mechanics and energetics of muscle contraction. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 259(2), 197–203. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.1990.259.2.R197>
- Ridzuan, N., Azaman, A., Soeed, K., Zulkapri, I., & Wahab, A. A. (2017). Evaluation of muscle fatigue using infrared thermal imaging technique with assisted electromyography. *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 13(4-2), 509–514. <https://doi.org/10.11113/mjfas.v13n4-2.823>
- Ring, E., & Ammer, K. (2000). The technique of infrared imaging in medicine. *Thermology International*, 10(1), 7–14.
- Rodriguez-Sanz, D., Losa-Iglesias, M. E., Becerro de Bengoa-Vallejo, R., Palomo-Lopez, P., Beltran-Alacreu, H., Calvo-Lobo, C., Navarro-Flores, E., & Lopez-Lopez, D. (2018). Skin temperature in youth soccer players with functional equinus and non-equinus condition after running. *Journal of the European Academy of Dermatology Venereology*, 32(11), 2020–2024. <https://doi.org/10.1111/jdv.14966>
- Sein, M. L., Walton, J., Linklater, J., Appleyard, R., Kirkbride, B., Kuah, D., & Murrell, G. A. (2010). Shoulder pain in elite swimmers: primarily due to swim-volume-induced supraspinatus tendinopathy. *British Journal of Sports Medicine*, 44(2), 105–113. <https://doi.org/10.1136/bjism.2008.047282>
- Sillero-Quintana, M., Fernández-Jaén, T., Fernández-Cuevas, I., Gómez-Carmona, P. M., Arnaiz-Lastras, J., Pérez, M.-D., & Guillén, P. (2015). Infrared thermography as a support tool for screening and early diagnosis in emergencies. *Journal of Medical Imaging and Health Informatics*, 5(6), 1223–1228. <https://doi.org/10.1166/jmihi.2015.1511>
- Sillero-Quintana, M., Gomez-Carmona, P. M., & Fernández-Cuevas, I. (2017). Infrared thermography as a means of monitoring and preventing sports injuries. In Ricardo, V. & Mendes, J. G. (Eds.), *Innovative research in thermal imaging for biology and medicine* (pp. 165–198). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-2072-6.ch008>
- Tumilty, S., Adhia, D. B., Smoliga, J. M., & Gisselman, A. S. (2019). Thermal profiles over the Achilles tendon in a cohort of non-injured collegiate athletes over the course of a cross country season. *Physical Therapy in Sport*, 36, 110–115. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2019.01.009>
- Uematsu, S., Edwin, D. H., Jankel, W. R., Kozikowski, J., & Trattner, M. (1988). Quantification of thermal asymmetry: Part 1: Normal values and reproducibility. *Journal of Neurosurgery*, 69(4),

552–555. <https://doi.org/10.3171/jns.1988.69.4.0552>

Wolfe, M. W., Uhl, T. L., Mattacola, C. G., & McCluskey, L. C. (2001). Management of ankle sprains. *American Family Physician*, *63* (1), 93–104.

## Evaluation of Infrared Thermography Assessment on Sport Injuries

Yu-Ting Chen<sup>1</sup>, Chih-Yang Taun<sup>1</sup>, Che-Hsiu Chen<sup>2</sup>, Wei Hung<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Exercise and Health Sciences, National Taiwan University of Sport, Taichung, Taiwan.

<sup>2</sup>Department of Sport Performance, National Taiwan University of Sport, Taichung, Taiwan.

---

### Abstract

The assessment of acute and chronic sports injuries is a significant challenge for clinical workers. Nowadays, various methods have been developed to evaluate sports injuries. Medical imaging is often challenging to implement on the frontline due to factors such as high cost, low portability, radioactivity, and the requirement of personnel with knowledge and skills for equipment operation. On the other hand, noninvasive infrared thermography overcomes these shortcomings. By converting the heat from the human body into a visible image and revealing the distribution of temperature variation spots, infrared thermography can be used to distinguish high or low temperature lesions. Furthermore, infrared thermography, along with anatomical position, can help identify acute and chronic injuries and areas where a player is at risk of injury due to training. Infrared thermography is also used to evaluate bodily asymmetry caused by poor movement patterns. This review article discussed the use of infrared thermography for different types of sports injuries. Based on current findings, infrared thermography is helpful in evaluating sports injuries and is a promising tool in sports medicine.

**Keywords:** radiology applications, sports injury assessment, potential injury risk, sports injury prevention

---

