

開發以 MoveNet 協助 KIM-LHC 身體姿勢判斷之手機 APP

郭科顯¹ 詹毓哲² 蘇致軒³ 詹毓偉⁴ 陸子強¹

¹ 靜宜大學資訊工程學系，台中，台灣

² 台中榮民總醫院急診科職業醫學科，台中，台灣

³ 大千綜合醫院家庭醫學科，苗栗，台灣

⁴ 靜宜大學資訊管理學系，台中，台灣

Email: tclu@pu.edu.tw

摘要

為了協助人因專家對 KIM-LHC 風險評測的判斷，本研究開發一個行動版的 KIM-LHC 評估系統，以快速產生肌肉骨骼傷害的風險值及建議。我們設計了一系列 UI 介面以供使用者自行輸入各評級資訊，其中對於常發生誤判的身體姿勢評級，我們特別透過 MoveNet 深度模型來產生人體關節座標並計算肩膀、腰部與膝蓋等關節角度，最後使用時序分析方式找出各動作所對應的姿勢評級分數。實驗部分，我們進行了三種不同強度及頻率的工作行為測試。實驗結果證實，本研究所開發之 APP 不僅可及時產生風險值結果並給予適度建議，而且計算時不需將資料上傳雲端，僅在手機上即可完成。

關鍵字：MoveNet、KIM-LHC 風險評測、手機 APP

1. 緒論

隨著科技的發展及產業的多元化，職業疾病的傷害已逐年攀升，其中又以肌肉骨骼傷害 (Musculoskeletal Disorders, MSD) 最為常見。它是一種因長時間過度工作負荷、不當或重複性作業姿勢所造成肌肉骨骼或相關組織的疲勞、壓迫、發炎，進而累積成不可恢復的肌肉骨骼傷害。這不僅影響勞動者的身體健康，同時也會影響服務品質與個人生產績效，甚至危害生命安全，這些都會帶給家庭及社會經濟的損失。

為了評估 MSD 程度，目前除了自我評估、直接測量與觀察評估等傳統方法外[1]，隨著機器學習與圖像視覺的發展，基於深度相機(Kinect) [2-5]、深度模型[5-10]等先進技術的人體關節姿態影像識別都被廣泛應用在 MSD 的風險評估上。然而 Kinect 的硬體規模龐大，且在設置時需具備數據線、電源線與電腦，這對許多受測場域極為不便。深度模型在 MSD 風險評估中具有獨特的優勢，它可從單張影像中預測身體關節點，再透過角度數據協助 MSD 風險的評估。

為了評估肌肉骨骼傷害的風險等級，世界各國已發展許多檢核技術，例如 OWAS (Ovako working posture analysis system) 姿勢分析[11]、快速全身評估 (REBA) [12]、快速上肢評估 (RULA) [13] 等。我國勞動部為了協助企業落實職安法相關肌肉骨骼傷害預防計畫，開發了中文單機版 KIM 評估工具 (Assessment tools of Key Indicator Method)，作為工

作環境相關人因危害風險評估參考，以協助企業快速評估勞工工作環境中的危害因子。KIM 把一個工作特性拆解為姿勢、荷重以及頻率等三類來進行評估，最後總結一個分數，並對應到肌肉骨骼傷害風險的等級。以 KIM-LHC 為例，共有 6 項評級，分別為時間評級(附件表 A1)、負重評級(附件表 A2)、力量傳遞評級(附件表 A3)、身體姿勢評級(附件表 A4)、工作條件評級(附件表 A5)、以及工作協調評級(附件表 A6)等，而風險值則由這 6 項評級計算而得：

風險值=時間評級×(負重評級+力量傳遞評級+身體姿勢評級+工作條件評級+工作協調評級) (1)

目前 KIM-LHC 的風險評測皆是請人因專家到現場進行，這對企業而言是一筆不小的成本開銷。此外，評測後若有改善的必要，又得請專家進行複評。除此之外，專家們也有可能因專業上的差異而產生不同的評測結果。有鑑於此，開發一個行動版的 KIM-LHC 評估系統以協助人因專家或直接交由業者使用將有其必要性。然而，最新版的 KIM-LHC 身體姿勢中各姿勢評級屬於連續而非單一動作，因此無法像過去僅由單張影像來分析。本研究將開發一種能對連續動作姿勢進行評測的深度模型，以提供精準的姿勢評級結果。該結果將同時與其他各評級整合，最後產生風險值評估及改善建議。此研究的特點包括：

- (A) 整個過程僅用一台智慧型手機即可產生風險等級評估與建議。
- (B) 可對連續動作進行姿勢評測，並可重複評測，以利不良姿勢的修正。

2. 研究方法

本研究透過智能手機相機來擷取影像，並利用深度模型及時序分析法來實現 KIM-LHC 連續姿勢的判定，步驟如下：首先透過錄影的方式取得一系列工作姿勢，接著利用 MoveNet 深度模型產生每一幀的關節座標，透過這些關節座標來獲取關節角度，最後將這些關節角度依時間及次數進行分析，進而獲得姿勢評級結果。

2.1. 利用 AI 模型判斷身體姿勢的姿勢評級

MoveNet 是 Google 團隊針對手機或沒有 GPU 設備的環境下所開發的一款輕量化姿態估模型，該

模型可偵測人體 17 個關鍵點(如圖 1 所示)，並分為 Lightning 與 Thunder 二種版本。為了獲得更準確的預測結果，本研究使用輸入影像尺寸較大(256x256)的 Thunder 版本。

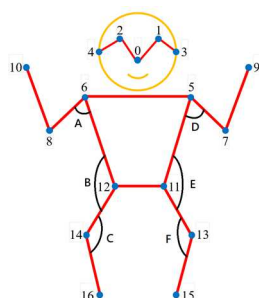


圖 1、MoveNet 中人體 17 個關鍵點

根據附件表 A4 所定義的各種身體姿勢，我們可依膝蓋、腰部與肩膀的關節角度範圍分為 A1~A5 五類，如表 1 所示。以 A1 為例，其膝蓋大於 90 度，腰部大於 160，肩膀則小於等於 90 度。為了取得人體上述的角度，我們利用手機進行錄影，再透過 MoveNet 對每一幀影像進行偵測並擷取第 5、6、7、8、11、12、13、14、15、16 等 10 關節點座標，最後利用餘弦定理求出圖 1 中 $\angle C$ 與 $\angle F$ 的膝蓋、 $\angle B$ 與 $\angle E$ 的腰部以及 $\angle A$ 與 $\angle D$ 的肩膀等部位角度。有了這些角度，我們可以把每一幀影像的身體姿勢歸納為 A1~A5 的其中一類。

表 1、使用關節角度分類身體姿勢

身體姿勢	角度		
	膝蓋	腰部	肩膀
A1	>90	>160	≤ 90
A2			>90
A3		>120 且 ≤ 160	-
A4		≤ 120	
A5	≤ 90	-	

由於 KIM-LHC 的姿勢評級是對連續動作進行評測，因此我們將對蒐集到的姿勢進行時序上的分析。以圖 2 模擬超商補貨員將低處物品放置桌上的動作為例，我們先透過 MoveNet 預測每一幀影像的姿勢類別，接著再依時間順序繪製姿勢變化圖(如圖 3 左)。由圖中的結果可看出，該動作是從 A4 逐漸變為 A3。為了避免因雜訊而產生誤判，我們將進一步產生如圖 3 右的統計圖，並透過閾值來過濾誤判的姿勢類別。根據附件表 A4 的定義，從 A4 到 A3

的姿勢評級為 10，此值將代入(1)式的身體姿勢評級中。



圖 2、模擬超商補貨員將低處物品放置於桌上

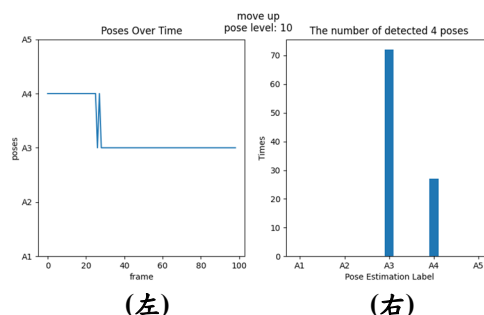


圖 3、(左)：隨時間變化的姿勢變化折線圖；
(右)：姿勢次數統計圖

2.2. 應用程式介面

為了能在智慧型手機上實現 KIM-LHC 姿勢評級判斷，我們規劃一系列相關的使用者介面(UI)。在 UI 設計方面，由於 Flutter 具有跨 iOS、Android、Windows 等多個平台的能力，因此本研究使用 Flutter 來進行 UI 介面的開發。其中介面設計的操作步驟與說明如下：當開啟應用程式後，手機會打開相機並進入圖 4(左)的錄影狀態。按下下方“開始錄影”鍵後手機即立即錄影，直到按下“結束錄影”鍵後，即停止錄影並將影像儲存至手機中。在錄影期間，受測者的動作也將顯示在畫面中，以供拍攝者隨時觀察錄影效果。當按下“結束錄影”鍵後，AI 將立即計算該姿勢評級的評測結果。以圖 4 為例，當受測者手持物品並保持直立不動(如圖 4(左)中的動作)，AI 的評測結果將如圖 4(中)所示，其中包含了開始與結束姿勢，同時根據附件表 A4 的定義可自動判定姿勢評級為第 0 級。此外，由於 AI 會受環境光線的影響，因此除了 AI 判斷外，我們同時設計一個能讓使用者自行評估姿勢評級的手動模式。當受測環境惡劣時，除了選擇圖 4(中)的“重新錄影”外，也可選擇“手動評估”，此時會進入到圖 4(右)的畫面，配合評級姿勢表讓使用者自行輸入姿勢評級。

除了姿勢評級外，我們同時設計了身體姿勢額外加分、時間評級、負重評級、力量傳遞/負重條件、工作協調/時間分布、以及不良工作條件等介面，分別如圖 5~7 所示。由於這些評級的判定較為簡單，因此可由受測者自行輸入。



圖 4、(左)：錄影介面；(中)：分析介面；(右)：手動設定介面



圖 5、(左)：身體姿勢額外加分介面；(右)：時間評級介面



圖 6、(左)：負重評級介面；(中)：力量傳遞/負重條件介面；(右)：工作協調/時間分布介面

3. 實驗

實驗部分，我們對三位志願者進行不同的工作行為評測，並以 40cmx30cmx20 cm 的方形紙箱作為模擬搬運的物品。三項實驗的數據如表 2 所示，其中實驗一模擬搬運工將貨物從腳邊搬運到桌面上(如圖 8(上))，實驗二模擬商店員工將貨品從櫃檯搬運至矮架上(如圖 8(中))，實驗三則模擬送貨員以蹲

姿的方式將包裹從地面搬運到貨架上(如圖 8(下))。透過圖 4 中的拍攝，內部程式可產生如圖 9 的分析結果，其中實驗一的姿勢評級將被判斷為從 A4 到 A1 的第 7 級(如圖 9(上))、實驗二的姿勢評級將被判斷為從 A4 到 A1 的第 10 級(如圖 9(中))、實驗三則將判斷為從 A5 到 A4 的第 18 級(如圖 9(下))。表 2 中的其它數據可從圖 5~7 的介面中自行輸入，待圖 7 的“不良工作條件”輸入完畢後，程式即可立即產生風險結果值及改善建議，如圖 10 所示。



圖 7、不良工作條件介面

表 2、三項搬運實驗數據

	實驗一	實驗二	實驗三
頻率(次)	50	100	150
男/女	女	男	男
負重(kg)	10	15	20
力量傳遞/負重條件	良好	受限	良好
身體姿勢	7	10	18
工作協調/時間分布	受限	不良	受限
不良工作條件	無	無	3
風險值	36	60	102



(上)

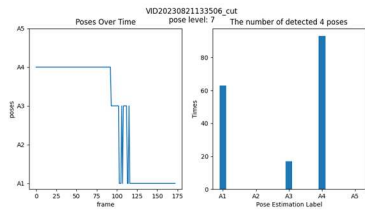


(中)

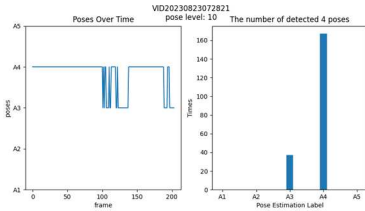


(下)

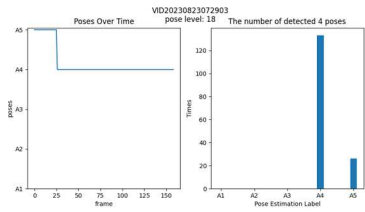
圖 8、(上)：實驗一；(中)：實驗二；(下)：實驗三



(上)



(中)



(下)

圖 9、(上)：實驗一之分析結果；(中)：實驗二之分析結果；(下)：實驗三之分析結果



圖 10、(左)實驗一的結果報告；(中)實驗二的結果報告；(右)實驗三的結果報告

4. 結論

本研究藉由 MoveNet 模型取得人體關鍵點及關節角度, 建立自動評測 KIM-LHC 中姿勢評級的功能, 以協助人因專家對身體姿勢評級的判斷。此外, 我們一併將各評級結果整合於手機中, 並於最後產生風險值與建議。這些結果與建議都可透過手機直接分享或上傳雲端, 方便與專業醫生進行諮詢與討論。由於本研究使用的是二維模型, 因此無法判斷身體扭轉的程度與頻率。未來我們將考慮使用三維模型, 以整合身體姿勢中的加分項目。

5. 參考文獻

- [1] G. C. David, Ergonomic methods for assessing exposure to risk factors for work-related musculoskeletal disorders, Occupational Medicine, Volume 55, Issue 3, May 2005, Pages 190–199, <https://doi.org/10.1093/occmed/kqi082>
- [2] González, A.; Hayashibe, M.; Bonnet, V.; Fraisse, P. Whole Body Center of Mass Estimation with Portable Sensors: Using the Statically Equivalent Serial Chain and a Kinect. Sensors 2014, 14, 16955–16971. <https://doi.org/10.3390/s140916955>
- [3] Vito Modesto Manghisi, Antonio Emmanuele Uva, Michele Fiorentino, Vitoantonio Bevilacqua, Gianpaolo Francesco Trotta, Giuseppe Monno, Real time RULA assessment using Kinect v2 sensor, Applied Ergonomics, Volume 65, 2017, Pages 481–491, ISSN 0003-6870, <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2017.02.015>.
- [4] ZHAO Yuting, NIU Jianwei, ZHANG Renjie, LIU Haixiao, RAN Linghua. Convolutional Neural Network for Joint Angle Recognition and Posture Assessment[J]. Computer Engineering and Applications, 2019, 55(16): 209–216.
- [5] Jian He, Cheng Zhang, Xinlin He, Ruihai Dong, Visual Recognition of traffic police gestures with convolutional pose machine and handcrafted features, Neurocomputing, Volume 390, 2020, Pages 248–259, ISSN 0925-2312, <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2019.07.103>.
- [6] Li, G.; Liu, Z.; Cai, L.; Yan, J. Standing-Posture Recognition in Human–Robot Collaboration Based on Deep Learning and the Dempster–Shafer Evidence Theory. Sensors 2020, 20, 1158. <https://doi.org/10.3390/s20041158>
- [7] A. Toshev and C. Szegedy, "DeepPose: Human Pose Estimation via Deep Neural Networks," 2014 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Columbus, OH, USA, 2014, pp. 1653–1660, doi: 10.1109/CVPR.2014.214.
- [8] Oberweger, M.; Wohlhart, P.; Lepetit, V. Hands Deep in Deep Learning for Hand Pose Estimation. Comput. Sci. 2015, 24, 21–30.
- [9] Wei, S.E.; Ramakrishna, V.; Kanade, T.; Sheikh, Y. Convolutional Pose Machines. In Proceedings of the 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Las Vegas, NV, USA, 26 June – 1 July 2016; pp. 4724–4732
- [10] Ahmed Abobakr, Darius Nahavandi, Mohammed Hossny, Julie Iskander, Mohammed Attia, Saeid Nahavandi, Marty Smets, RGB-D ergonomic assessment system of adopted working postures, Applied Ergonomics, Volume 80, 2019, Pages 75–88, ISSN 0003-6870, <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2019.05.004>.
- [11] Kuorinka I, Jonsson B, Kilbom A, Vinterberg H, Biering-Sørensen F, Andersson G, Jørgensen K. Standardised Nordic questionnaires for the analysis of musculoskeletal symptoms. Appl Ergon. 1987 Sep;18(3):233–7. doi: 10.1016/0003-6870(87)90010-x. PMID: 15676628.
- [12] Seuser, A., Kurnik, K., & Mahlein, A.-K. (2018). Infrared Thermography as a Non-Invasive Tool to Explore Differences in the Musculoskeletal System of Children with Hemophilia Compared to an Age-Matched Healthy Group. Sensors, 18(2), 518. <https://doi.org/10.3390/s18020518>
- [13] Moreno, V.; Curto, B.; Garcia-Esteban, J.A.; Hernández Zaballo, F.; Alonso Hernández, P.; Serrano, F.J. HUSP: A Smart Haptic Probe for Reliable Training in Musculoskeletal Evaluation Using Motion Sensors. Sensors 2019, 19, 101. <https://doi.org/10.3390/s19010101>

附件

表 A1

時間評級												
每天從事本項作業的頻率	5	20	50	100	150	220	300	500	750	1000	1500	2500
時間評級	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	5	6	7	8	10

表 A2

實際負重★	負重評級 (男)	負重評級 (女)
3 - 5 公斤	4	6
> 5 - 10 公斤	6	9
> 10 - 15 公斤	8	12
> 15 - 20 公斤	11	25
> 20 - 25 公斤	15	75
> 25 - 30 公斤	25	85
> 30 - 35 公斤	35	
> 35 - 40 公斤	75	100
> 40 公斤	100	

★以「實際負重」計算，若兩人一同搬運重物，每人的負荷60%重量(為了控制與協調，應假設超過50%)

表 A3

力量傳遞 / 負重條件	力量傳遞評級
可使用雙手對稱負重	0
暫時性的單手或不對稱負重 / 雙手重量不平衡	2
幾乎以單手負重，或不穩定的負重重心	4

表 A4

身體姿勢★★					
動作為雙向，開始/結束位置可互換，若有多種姿勢，則皆應考量，分數平等，可有額外加分項目自願評估					
開始 / 結束	結束 / 開始	姿勢評級	開始 / 結束	結束 / 開始	姿勢評級
		0			10☆
		3			13☆
		5			15☆
		7			18☆
		9☆			20☆
額外加分 (最多 6 分)					
軀幹過度扭轉，側傾					
軀幹經常扭轉，側傾					
負重重心或手/腳離遠離身體					
負重重心或手/腳離遠離身體					
手臂過度需抬舉，手位於手肘與肩膀之間					
手臂經常需抬舉，手位於手肘與肩膀之間					
手/腳離會高過肩膀					
手/腳離會高過肩膀					
姿勢評級 + 額外加分 = 總共					
(上限60分)					

★★考量通常做的動作，罕見的情形可以忽略。若此搬抬作業為坐姿，也可選用相近的動作，應避免坐姿高負重。

☆如果選到此項目，建議也使用KIM-ABP來評估

表 A5

不良工作條件	中間分數	加總
未在表中提及的情形也應根據情況納入考量，罕見的情形可以忽略		
手/手臂的位置與動作:	1	工作條件評級
軀幹達到關節活動範圍極限	2	
力量傳遞 / 應用受限:	1	
重物不易抓握 / 需更大的持續力量 / 沒有造型的握柄 / 工作手套	2	
力量傳遞 / 應用受限:	2	
重物幾乎難以抓握 / 滑、軟、尖銳的邊緣 / 無或不適當的握柄 / 工作手套		
不良的氣候條件: 熱、不舒服的吹風、寒冷、潮濕	1	
受限的空間條件:	1	
工作空間 < 1.5 m², 地板中度顛簸，輕度不平整，輕微傾斜(不超過5°)，輕度穩定度受限，重物需放置精確		
不良的空間條件:	2☆☆	
活動的自由度嚴重受限，可活動的高度不足，工作空間局限，地板非常顛簸，不平整或粗糙地面，如碎石、小坑洞，傾斜5-10°，穩定度受限，重物需放置非常精確		
衣服: 由於防護衣物或裝備增加額外身體負荷，例如厚重雨衣、全身的護膝、呼吸的護具、裝備腰帶等	1	
搬運/維持困難: 每次搬運/持握持續5-10秒，搬運距離2-5公尺	2	
搬運/維持非常困難: 每次搬運/持握持續>10秒，搬運距離>5公尺	5☆☆	
無: 沒有任何不良工作條件	0	

☆☆如果在不良的空間條件搬運 or 搬運距離>10公尺，請使用KIM-BF來評估

表 A6

工作協調 / 時間分佈	工作協調評級
良好	0
受限	2
不良	4