



暴露於低溫與高溫環境對 手部作業績效之影響

張瑜容

提要

- 一、人大部分的活動須依靠雙手的協助才能順利完成，在國內低溫與高溫環境作業日益增加以及手部職業災害件數逐年上升，特別是當作業人員進入溫度驟變環境或不同降溫環境之下，瞭解高、低溫環境對手部作業效率之影響以及手部工作傷害預防，便顯其重要性。
- 二、本文藉由文獻回顧之方式顯示出手部在低溫環境下實施作業，未妥善給予保暖防護，最易造成凍傷等重要危害；及長期暴露於高溫環境底下，人體會產生熱適應，對於高溫作業所產生的身體傷害不容忽視，尤以最常接觸及暴露在工作環境中的雙手更顯重要。
- 三、長時間的冷與熱暴露工作要顧慮到間歇性休息，以避免肌肉疲勞及傷害，而手部可因應作業需求，在相關部位做好保暖措施，俾使作業人員能夠處於一個安全的工作環境，避免職業傷害，提升作業效能。
- 四、對於官兵的作業安全，除加強作業訓練，並須研訂各種程序、步驟、要領；特別是執行各種冷與熱暴露環境之任務，屬高負荷作業，長時間作業時，需有妥善休息時間與各項防護措施，期能有效消弭危害因子，防杜人員作業傷害肇生。

關鍵詞：低溫環境、高溫環境、手部作業績效

壹、前言

臺灣位於亞熱帶氣候地區內，一年四季溫度適宜，根據交通部中央氣象局氣象統計數據（2011）指出¹，平地地區最冷的一、二月份，近三十年來平均氣溫顯示仍有低於15°C之情形，部份地區氣溫小於10°C則長達六日以上，高山地區氣溫甚至低於0°C，對於臺灣環境溫度的變化，顯示出暴露於冷環境作業

的情形已無法避免且逐年增加，除了氣候環境影響，還有普遍在低溫室內環境工作的行業更是不計其數。因此，本文將臺灣暴露於冷環境工作之相關產業彙整如表一所示。

暴露於寒冷的環境中工作，可能會提高工作疲勞及誘發各種危害健康的疾病²，冷暴露造成的冷危害，輕則由於生理因素造成手指麻木僵硬、關節不靈活³、降低手及手指的靈巧性⁴，影響工作準確性及效率下降，重

則產生對人體不良的健康影響，包含局部凍傷、意外受傷與體溫過低，甚至有生命危險⁵。根據Kim、Tochihara、Fujita，以及Hashiguchi（2007）的研究指出，處於低溫環境的作業人員，會因工作活動的增加

表一 臺灣暴露於冷環境工作之相關產業

產業	類別
農林漁牧	高山農作、伐木、畜牧、養殖漁業及海上捕魚業等。
製造業	冷凍食品加工、化學材料、電子零組件製造、電力設備製造等。
工業	採礦作業、道路修復、營建作業、潛水作業等。
服務業	餐飲業等。
社會服務	低溫海上及高山災難救援等任務。
軍事勤務	寒地山訓、海訓或雪地等作戰訓練、外離島軍品前運作業、船體水下檢查、港灣障礙物清除、海軍水中作戰訓練、高山雷達站勤務作業等。
資料來源：本研究整理。	

- 1 交通部中央氣象局，http://www.cwb.gov.tw/V7/climate/monthlyMean/Taiwan_tx.htm，民國101年10月2日。
- 2 Jeebhay, M. F., Robins, T. G., & Lopata, A. L., World at work: fish processing workers. *Occup Environ Med*, Vol.61, No.5, 2004, p.471-474.
- 3 Heus, R., Daanen, H. A. M., & Havenith, G., Physiological criteria for functioning of hands in the cold: a review. *Applied Ergonomics*, Vol.26, 1995, p. 5-13.
- 4 Goonetilleke, R. S., & Hoffmann, E. R., Hand-skin temperature and tracking performance. *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol.39, 2009, p.590-595.
- 5 Hassi, J., Rytönen, M., Kotaniemi, J., & Rintamäki, H., Impacts of cold climate on human heat balance, performance and health in circumpolar areas. *International Journal Circumpolar Health* Vol.64, No.5, 2005, p. 459-467.

而提升身體的平均溫度，但是作業人員手指疼痛的知覺與手指的膚溫卻不會提高⁶。顯見手部在低溫環境下實施作業，未妥善給予保暖防護，最易造成凍傷等重要危害。

人類對於熱極限的忍受度比對於冷極限的忍受度要來得更低，因為人類對於寒冷環境比炎熱環境更具有自我防護的能力⁷，暴露於高溫的環境中工作，會發生不正常的高體溫、心跳急促、與其他熱不平衡的症狀，且發

生較嚴重的高溫疾病，如中暑及熱衰竭⁸。

雖然長期暴露於高溫環境底下，人體會產生熱適應，但對於高溫作業所產生的身體傷害卻不容忽視，尤以最常接觸及暴露在工作環境中的雙手更顯重要。本文將臺灣暴露於熱環境工作之相關職業彙整如表二所示。

以施力動作來說，握力 (grip force) 在日常生活中是非常重要的活動，握力被經常使用在整體體力和健康臨床檢驗的一個指

標⁹。許多行業依靠握力執行重要任務，例如，消防、警察及軍事考試有其握力測驗¹⁰，及食品包裝，生產線工人，和其他許多須手動工作之產業經常反覆或強力抓握動作¹¹。不論在日常生活中、低溫或是高溫環境作業，均離不開雙手抓

表二 臺灣暴露於熱環境工作之相關產業

產業	類別
農林漁牧	海上捕魚業(夏季)。
製造業	化學材料。
工業	一般鋼鐵、玻璃、陶瓷、鋁冶煉、鑄造、煤礦採集、建築工地、發電廠、機房。
服務業	餐廳廚房。
軍事勤務	特戰部隊夏令山地訓練、部隊戰甲車車內操控、船艦及潛水艇機房作業、鍋爐間作業、戰鬥機機艙內等。
資料來源：本研究整理。	

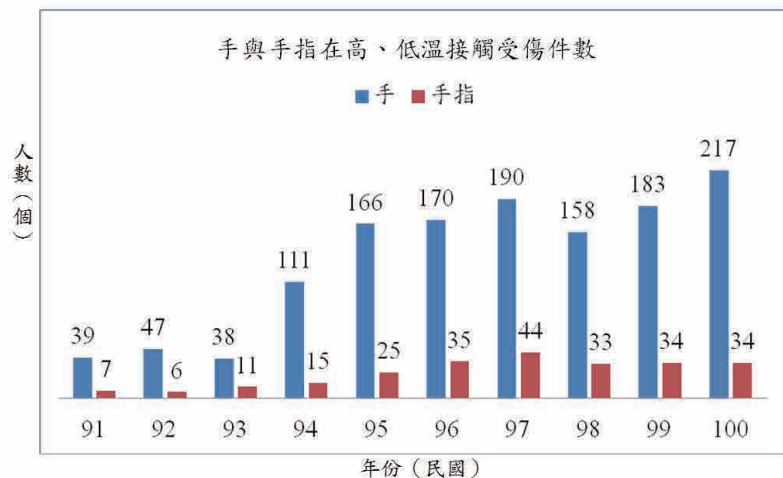
- 6 Kim, T. G., Tochihara, Y., Fujita, M., & Hashiguchi, N., Physiological response and performance of loading work in a severely cold environment. *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol.37, 2007, p.725-732.
- 7 許勝雄、彭游、吳水丕，人因工程(第三版)，臺北市：滄海，民國93年。
- 8 郭育良，職業病概論，臺北市：華杏，民國98年。
- 9 Massey-Westrop, N., Rankin, W., Ahern, M., Krishnan, J., & Hearn, T.C., Measuring grip strength in normal adults:reference ranges and a comparison of electronic and hydraulic instruments. *Journal of Hand Surgery*, Vol.29, 2004, p.514-519.
- 10 Ruiz-Ruiz, J., Mesa, J. L. M., Gutierrez, A., & Castillo, M. J., Hand size influences optimal grip span in women but not in men. *Journal of Hand Surgery*, Vol.27, 2002, p.897-901.
- 11 Dubrowski, A., Carnahan, H., Grip force when grasping moving cylinders. *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol.34, 2004, p.69-76.

握及提取等動作，手部通常都是在操作一些手工具或是較為複雜的儀器，意味著手部危害風險因素比其他部位較高¹²，同時也是最易引起工作相關肌肉骨骼傷害 (Work-Related Musculoskeletal Disorders, WRMDs)。

但是，在一般工作場所需要使用最大握力，比動態重覆最大握力，或是靜態持續握力似乎比較少見。甚少研究調查有關握力持續量測（多次重複或持續），而這些重複和靜態持續施力動作，卻是工作場所中造成工作相關肌肉骨骼傷害的主要因素¹³。肌肉骨骼傷害有許多原因，舉凡震動、低溫、不當姿勢、過度施力與高重覆性的動作等因素，以及長時間暴露於上述人因工程危害中是造成工作上累積性傷害 (Cumulative Trauma Disorders, CTD) 的主要原因¹⁴。

根據以往研究顯示，冷和熱已被證實會影響最大握力、持續

時間及收縮速度¹⁵，由此可知，肌肉骨骼傷害在低溫或是高溫環境下，更可能會造成嚴重的影響，本文彙整國內行政院勞工委員會近十年勞動檢查年報之職災統計 (民91-100)¹⁶，手與手指，在高溫、低溫接觸及不當姿勢受傷件數職災變化趨勢，資料顯示「手」在與「高溫、低溫接觸」受傷件數由91年的39件增加至100年的217件、而「手指」受傷件數則由91年的7件增加至100年的34件，如圖一所示；



圖一 民國91~100年手與手指在高溫、低溫接觸受傷職災件數統計圖(資料來源：本研究整理)

- 12 Bao, S., & Silverstein, B., Estimation of hand force in ergonomic job evaluations, *Ergonomics*, Vol.48, 2005, p.288-301.
- 13 Mirka, G. A., Shivers, C., Smith, C., & Taylor, J., Ergonomic interventions for the furniture manufacturing industry Part II—Handtools. *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol.29, 2002, p.275-287.
- 14 Vern, Putz-Anderson., *Cumulative trauma disorders: a manual for musculoskeletal diseases of the upper limbs*, Taylor & Francis, 1994.
- 15 Bennett, A. F., Thermal dependence of muscle function. *Am J Physiol*, Vol.247, 1984, p.217-229.
- 16 行政院勞工委員會(民國91-100)，勞動檢查年報之職災統計，http://www.cla.gov.tw/cgi-bin/siteMaker/SM_theme?page=4226b8a3，民國101年10月11日。

另外「手」在「不當姿勢」受傷件數由91年的29件增加至100年的112件、而「手指」受傷件數則由91年的34件增加至100年的151件，均呈現逐年增加之趨勢，如圖二所示；手及手指在與高溫、低溫接觸受傷究其原因，可能未給予手部保護措施或是施力時間過長、過度施力、高重複性的動作等導致低溫、高溫傷害，另手及手指在不當姿勢受傷究其原因，可能因過度施力、施力時間過長與高重複性的動作等因素影響。

相關研究發現，暴露於低溫環境中的作業人員，最初由於心理上之冷適應作用，導致不舒服感受程度逐漸遞增，但此感覺隨作業時間增長而逐漸減緩，如果屬長期暴露於低

溫環境中的作業人員，此種冷適應現象，反而容易使人失去警覺，進而產生冷傷害¹⁷。

貳、本文

一、手的基本構造與功能

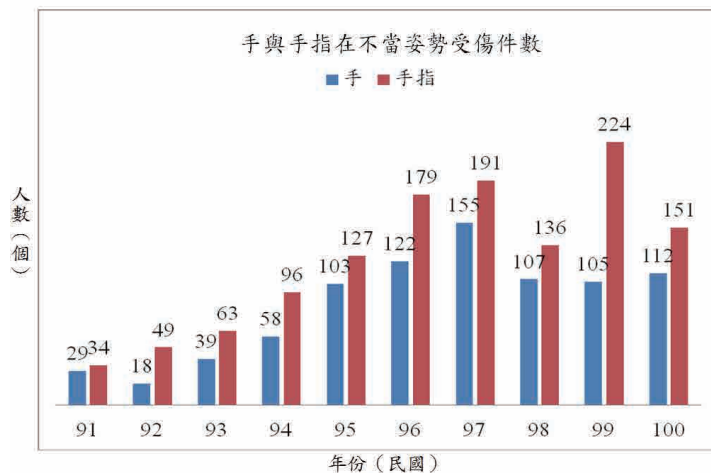
俗語說人的雙手是萬能的，人們不管在工作上或是在日常生活中，絕大部分的活動均須依靠雙手的協助才能順利完成。

手由骨骼、關節、肌肉、肌腱與皮膚等組織結構組成，具有各種冷、熱、觸、壓、痛之感覺訊息傳達之主要接受器，是一個多功能、敏感且動作精確的器官，因此可經由神經系統作用完成各種精細又複雜的動作¹⁸。

Geng (2001) 研究指出，探討手部作業活動之研究，大部分以靈巧性或握力為主¹⁹。

然而，手部操作也常受到外在因素之影響，而影響手部操作功能之因素可分為五個類別：人體特性、戴手套特性、手與操作對象之關係、環境特性、工作特性，如表三所示，而人體特性、環境特性的影響是最直接的。

由上可知，手是人體重要部位，負責各項訊息傳達與接收以及經由



圖二 民國91~100年手與手指在不當姿勢受傷職災件數統計圖(資料來源：本研究整理)

17 陳文林，評估低溫環境對手部績效之影響，臺北市：臺灣科技大學博士論文，民國99年6月。

18 袁修干，人體熱調節系統的數學模擬，北京：航空航天大學出版社，民國94年。

19 Geng, Q., & Holmer, I. Change in the skinsurface interface temperature of finger touching on cold surfaces. *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol.27, 2001, p.1-6.

表三 手部操作功能之影響因素²⁰

類別區分	人體之特性	戴手套之特性	手與操作對象之關係	環境之特性	工作之特性
影響因素	量測之人體參數、性別、疾病、損傷、訓練、年齡	材料、壓力、配適度(與手之交互作用)	手與操作對象間之大小、形狀、摩擦係數	溫度、濕度、振動	程序、持續時間
資料來源：本研究整理。					

神經系統作用完成各種精細又複雜的動作與活動，但手部操作也常受外在因素之影響，而降低原有的作業效能。

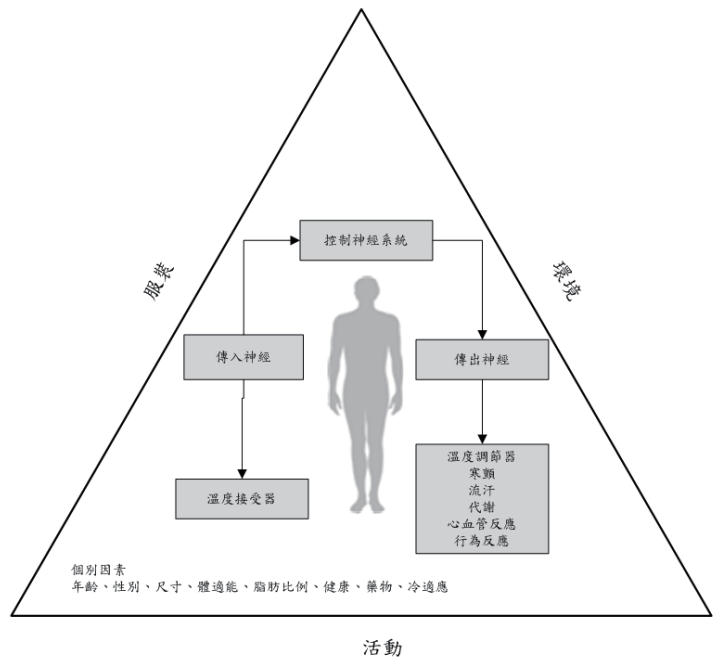
二、人體在低溫及高溫環境下之反應

(一) 生理方面

過冷的環境會對人帶來身體局部凍傷的危害，如果皮膚表面直接暴露在低溫環境可能會出現不同程度的組織壞死²¹。劉文魁、蔡榮泰(1995)指出當人體處於低溫時，會引發下列三種危害：1.體溫過低，導致知覺喪失而死亡；2.組織凍(損)傷；3.肢體感覺、運動功能短暫消失，導致工作效率降低²²。

Parsons(2003)研究指出影響人體熱平衡有環境溫度、輻射溫度、空氣流動、濕度四種基本的環境變數，結合代謝產熱能和服裝後，這些變數確定了人體熱循環的基本因素，如圖三所示。

若長期處於低溫環境下，若無適當之保暖措施，將會損害肌肉運作，另低溫可能改變人體某些生理功能之適應性以及影響工作效率及靈活度外，嚴重時還可能導致如凍傷及



圖三 人的體溫調節系統和主要影響熱平衡的因素²³

20 龐誠、陳景山，「艙外航天手套對手動作業的影響及解決法」，中國空間科學技術，第6期，民國86年，p.34-39。

21 魏潤柏、徐文華，熱環境，上海市：同濟大學出版社，民國83年。

22 劉文魁、蔡榮泰，物理因素職業衛生，北京：科學出版社，民國84年。

23 Parsons, K., Human thermal environment: The effects of hot, moderate and cold temperatures on human health, comfort and performance. New York: CRC Press, 2003.

凍瘡之冷傷害²⁴。

通常人對冷環境暴露最初的生理反應是皮膚血管收縮，肌肉緊張甚至顫抖，也就是透過周邊血管收縮及代謝率增加來避免體溫下降²⁵。Mäkinen (2007) 研究報告，每天暴露於寒冷的環境，當時的慢性疾病可能會加重症狀²⁶。

寒冷能使人體某些生理功能發生一定的適應性改變外，還能影響作業勞動能力與工作效率。當從事戶外作業或在極低溫冷凍庫房內發生異常事故時，甚至會導致凍僵或凍死的危險²⁷。

根據Daanen (2003) 的研究指出，嚴重冷卻5至10分鐘後，手指皮膚溫度低於12°C，手指會發生冷誘發血管擴張 (Cold Induced Vasodilation, CIVD) 的異常反應，指尖的血

液會增加血流量和溫度。CIVD後，血管開始再次重新收縮，導致膚溫下降²⁸。賴金鑫 (1983) 也有提到，神經肌肉間的傳導作用在溫度低於15°C時開始減少，在5°C時完全阻斷，此時就可能造成神經傷害²⁹。

所謂熱環境 (thermal environment) 是指會影響人體冷熱感覺的各種因素所構成的環境。世界衛生組織 (World Health Organization, WHO) 依據1967年之國際性專家會議，建議在高溫環境中從事重工作之勞工，其深層體溫 (deep body temperature) 不可以超過38°C。因此，所謂高溫環境依WHO之定義乃是指外在環境所產生的熱能，與暴露勞工體內的代謝率之間的調節平衡後，仍可以使暴露勞工的深層體溫高於38°C以上環境稱之³⁰。

熱暴露對於人體的危害，主要是核心溫

- 24 Sormunen, E., Oksa, J., Pienimäki, T., Rissanen, S., & Rintamäki, H., Muscular and cold strain of female workers in meatpacking work. *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol.36, No.8, 2006, p.713-720.
- 25 Astrand, P. O., & Rodahl, K., *Textbook of Work Physiology*, New York: McGraw-Hill, 3rd ed, 1986.
- 26 Mäkinen, T. M. (2007). Human cold exposure, adaptation, and performance in high latitude environments, *American Journal of Human Biology*, Vol.19, No.2, 2007, p.155-164.
- 27 陳秋蓉、戴聿彤、莊佑哲、曹達和，低溫作業國際規範與應用探討，行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所研究報告 (報告編號：IOSH 95-M307)，新北市：行政院勞委會安全衛生研究所，民國96年。
- 28 Daanen, H. A. M., Finger cold-induced vasodilatation: a review. *Eur J Appl Physiol*, Vol.89, 2003, p.411-426.
- 29 賴金鑫，運動醫學講座，臺北：健康世界，民國82年。
- 30 Goelzer, B., Evaluation of heat stress in work environment, *World Health Organization (WHO)*, 1977, p.1-35, Geneva.

度上升，以致造成人體體內酵素，及代謝功能發生異常現象，進而對人體產生危害³¹。

暴露於高溫的環境中工作，會發生不正常的高體溫、心跳急促，與其他熱不平衡的症狀，且發生較嚴重的高溫疾病，如中暑及熱衰竭³²。當人體處於熱環境中，身體的熱調節機制會啟動，經由基礎代謝率的提升，增加輻射散熱、熱傳導及呼吸道、皮膚汗液之蒸發散熱等以排除多餘之熱，藉此維持體溫的恆定。不過當環境溫度超過體溫時，輻射散熱便無效，環境中的熱能反而會經由輻射進入體內，而相對溼度增加時，排汗散熱的效果也會降低，若再加上患有慢性病對體溫調節系統的影響，急性的熱疾病就容易發生³³。

(二) 認知方面

Chen與Chiang (1994) 指出低溫能使腦內高能磷酸化合物的代謝降低，神經興奮性和傳導能力減退，加上寒冷對局部的作用，出現手腳遲鈍、言語困難、嗜睡及健忘等，進而影響作業能力³⁴。而男性在低溫環境作業中，對於冷、刺、麻、痛等感覺之主觀知覺皆比女性來得強烈，女性下降速度比男性要來得快³⁵。在冷浸潤的過程中，造成反應時間測試出錯的機率增加，此現象並非與體心溫度有關，而是起因於皮膚表面溫度降低³⁶。

從溫暖的地方進入冷凍庫內實施訂單撿貨作業，可能會導致物理³⁷和心理表現³⁸的下降，產生生理和心理表現的負面影響，對個人健康也有一定影響³⁹，而在這些條件下，導致增加肌肉損傷和其他肌肉骨骼疾病症狀是

31 Edwin, L. A., *Temperature Extremes*, In *Fundamentals of Industrial Hygiene*, U.S.A: National Safety Council Publishers, 3rd (ed), 1983, p.259-265.

32 同註8。

33 王肇齡，高溫工作之健康危害簡介，勞工安全衛生室，<http://www.kmuh.org.tw/www/kmcj/data/10107/4.htm>，民國101年10月12日。

34 Chen, J. K., & Chiang, S. M., *Survey of neurobehavioral function of workers in cold work*. *Modern Preventive Medicine*, Vol.21, 1994, p.146-148.

35 陳季萱，手部膚溫對施力控制之影響，臺北市：國防大學管理學院碩士論文，民國99年6月。

36 王文成，手膚溫下降與回溫速率對男女手部靈巧性與握力之影響，臺北市：國防大學管理學院碩士論文，民國101年6月。

37 Oksa, J., *Cooling and neuromuscular performance in man*, Ph.D. Thesis, University of Jyväskylä, 1998.

38 Palinkas, L. A., *Mental and cognitive performance in the cold*, *International Journal of Circumpolar Health*, Vol.60, No.3, 2001, p.430-439.

39 Sormunen, E., Oksa, J., Pienimäki, T., Rissanen, S., & Rintamäki, H., *Muscular and cold strain of female workers in meatpacking work*. *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol.36, No.8, P.713-720.

很常見的⁴⁰。肌肉降溫會影響到身體的物理性能，如損害力量、施力與速度等多數功能，以心理表現方面來說，根據Pilcher、Nadler及Busch(2002)的研究，在適應方面，工作安全與效率及緊急情況下的反應決策，也受到寒冷環境的影響⁴¹。

三、溫度對手部作業績效之影響

(一) 手部生理反應

在日常生活中，冷暴露是伴隨各項工作及活動所形成⁴²。Cirac & Zoller(1995)研究指出低溫環境會對人體部位產生許多生理影響，其中以手或手指最為顯著⁴³。有學者對漁民研究發現，其手與腳常冷浸在海中，血管收縮反應比一般人低，顯示平日作業經常暴

露的部位，產生了局部適應現象。Chen(1997)指出在低溫環境下之工作人員，手部因溫度下降可能會產生三種問題：(1)導致作業之靈巧性降低；(2)降低作業效率及造成潛在事故風險；(3)引起凍結性(凍傷)或非凍結性(凍瘡)之冷傷害⁴⁴。

(二) 最大意志施力

受試者面對一固定物體用最大努力所產生的力量稱為最大意志施力，施力的時間通常小於10秒鐘以防肌肉疲勞，表示肌肉疲勞現象，以肌肉產生最大自主收縮能力下降之數據做為參考最為常見⁴⁵。

男性身體主要由較大的肌肉組成，因此其平均握力高於女生⁴⁶。兩性握力範圍介於

- 40 Baldus, S., Kluth, K., & Strasser, H., Order-picking in deep cold – physiological responses of younger and older females. Part 2: body core temperature and skin surface temperature. *Work* 41, 2012, p.3010-3017.
- 41 Pilcher, J. J., Nadler, E., Busch, C., Effects of hot and cold temperature exposure on performance: a meta-analytic review. *Ergonomics*, Vol.45, 2002, p.682-698.
- 42 Sleivert, G., Cheung, S., & Geurts, C. Local cold acclimation during exercise and its effect on neuromuscular function of the hand. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, Vol.31, No.6, 2006, p.717-725.
- 43 Cirac, J. I., & Zoller, P. Quantum computations with cold trapped ions. *Physical Review Letters*, 1995, Vol. 74, No.20, p.4091-4094.
- 44 Chen, F. Thermal responses of the hand to convective and contact cold-with and without gloves. Sweden: Linköping Universitet Tekniska Hogskolan, Arbetslivsinstitutet, 1997.
- 45 Vollestad, N. K., Sejersted, O. M., Bahr, R., Woods, J. J. & Bigland-Ritchie, B., Motor drive and metabolic responses during repeated submaximal contraction in man. *J. Appl. Physiol*, Vol.64, No.4, 1988, p.1421-1427.
- 46 Imrhan, S. N., Two-handed static grip strengths in males: the influence of grip width. *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol.31, 2003, p.303-311.

50%~75%之間時，女性平均最大握力約是男性平均最大握力的52%⁴⁷。葉姿君（2009）研究顯示，手部降溫後，女性握力績效下降幅度大於男性，而且無論男性或者女性皆因手部溫度降低，握力值產生顯著下降⁴⁸。冷浸潤導致手部膚溫下降，並會直接影響最大意志施力，而性別對最大意志施力也會有顯著影響⁴⁹。Vincent與Tipton（1988）研究指出在低溫環境下作業，確實會影響手部最大意志施力之強度⁵⁰。

游自助（2004）提出女性在肌肉疲勞感受之主觀知覺程度相較為男性高，女性之肌力恢復較佳於男性，另外男性在疼痛程度大於女性，然而，男性在最大意志施力之肌電圖的肌肉活動與女性無顯著差異；但男性握力最大意志施力之肌肉活動大於女性⁵¹。隨著手部溫度下降，女性的肌肉活動減弱程度普

遍較大，女性在施作中、小強度施力之握力肌肉活動較男性大⁵²。

年齡是影響生理機能、體能狀況大小的顯著因素，隨身體發展不同時期，人體肌肉強度也隨之改變⁵³。一般而言，男性體能在年齡20歲時力量達到巔峰，當40歲時，平均約減弱5%~10%，50歲時下降15%，當年齡達65歲之老年期，下降幅度達最大之25%。而女性因生理結構、機能差異，力量約比男性小65%~70%，故可知女性受年齡老化影響造成體能衰退情形，將更顯於男性⁵⁴。

美國學者研究調查發現，握力隨年齡增加逐漸衰減，最大握力出現於25~39歲年齡層中，爾後力量呈現逐漸衰退情形，直至75歲以上，男性握力僅存約為最大之51%，女性則為52%⁵⁵。

-
- 47 Peebles, L., & Norris, B., Filling 'gaps' in strength data for design. *Applied Ergonomics*, Vol.34, 2003, p.73-88.
- 48 葉姿君，手部溫度對於握力、膚覺主觀知覺、壓力痛覺值以及重量差異閾值判斷之影響，臺北市：國防大學管理學院碩士論文，民國98年6月。
- 49 同註17。
- 50 Vincent, M. J. & Tipton, M. J., The effects of cold immersion and hand protection on grip strength. *Aviation Space Environment*, Vol.59, 1988, p.738-741.
- 51 游自助，性別、使用手及負荷對肘部最大持續時間、肌肉疲勞及肌力恢復之影響研究，臺北市：國防大學管理學院碩士論文，民國93年6月。
- 52 蔡岳縉，手部溫度與施力程度對握力複製與估計精確度之影響，臺北市：國防大學管理學院碩士論文，民國97年6月。
- 53 梁宏瑋，臺灣地區成人手握力及捏力之研究分析，屏東縣：大仁科技大學碩士論文，民國97年6月。
- 54 丁玉蘭、劉伯祥，應用人因工程學，臺北縣：新文京，民國94年。
- 55 Mathiowetz, V., Kashman, N., Volland, G., Weber, K., Dowe, M., & Rogers, S., Grip and pinch strength: normative data for adults. *Arch Phys Med Rehabil*, Vol.66, 1985, p.69-72.

(三) 持續施力時間

肌耐力是指肌肉持續工作的能力，即肌肉在維持某一非最大強度的收縮時，所能持續用力之時間或反覆次數，依個人肌肉所能忍受疲勞程度而異。

Chaffin與Andersson(1984)表示重覆性傷害的職業性傷害因子包括了重覆性運動、施力負荷、持續或不自然的姿勢、擺動、低溫、機械壓力(mechanical stress)、施力週期、持續施力等⁵⁶。如果工作施力的時間短，加上適當的休息，是不會造成傷害的。然而，若是經常性或持續性的施力，尤其是在不良的姿勢下，就可能會導致手部筋骨肌肉的疲勞，疲勞會導致酸痛甚至病變⁵⁷。

一般研究結果顯示出持續時間會隨著施力程度的增加而出現遞減的趨勢⁵⁸。Hagberg(1981)研究指出，手肘在靜態及動態運動中，其所能維持的施力時間皆有因施力程度

越大而越短的趨勢，此兩種運動中的施力大小在個人最大肌力15~20%最大意志施力以下可維持較長時間，而維持時間隨施力程度的增加有快速減少的趨勢；另在較低施力程度下雖有較長的持續時間，但其造成的疲勞(疼痛)程度卻高於較重的施力程度⁵⁹；另Kroemer(1970)研究指出當施力大小在個人最大肌力的25%或以下時，則可維持較長的持續時間(10分鐘以上)⁶⁰。

(四) 靈巧度

手的握力與肌肉力量有關，肌肉通過手釋放出所需功率，其肌肉功率是由肌肉力量和收縮速度決定的，手和手指的活動範圍主要取決於關節點、韌帶和肌腱。為了使運動順暢，關節處會分泌潤滑液潤滑關節點，所以手指的靈活度主要決定於關節的靈活性，低溫對關節點的靈活度有著重要影響，因為低溫使潤滑液變得更粘稠，使活動變慢⁶¹。

56 Chaffin, D. B., & Andersson, G. B., *Occupational Biomechanics*, John Wiley & Sons, New York, 1984.

57 Snook, S. H. (1995). Psychophysical studies of repetitive wrist flexion and extension, *Ergonomics*, Vol.38, No.7, 1995, p.1488-1507.

58 Garg, A., Hegmann, K. T., Schwoerer, B. J., & Kapellusch, J. M., The effect of maximum voluntary contraction on endurance times for the shoulder girdle. *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol.30, No.2, 2002, p.103-113.

59 Hagberg, M., Muscular endurance and surface electromyogram in isometric and dynamic exercise. *Journal of Applied Physiology*, Vol.51, 1981, p.1-7.

60 Kroemer, K. H. E., Human strength: Terminology, measurement, and interpretation of data. *Human Factors*, Vol.12, No.3, 1970.

61 龐誠、顧鼎良，低溫環境下的人-機工效問題，*航天醫學與醫學工程*，2，p.133-141，民國82年。

根據相關研究發現，手的皮膚溫度介於20~22°C之間即會造成手的靈活度降低⁶²，當手指暴露溫度在15.56°C以下時，就會發生減少靈巧度之績效，在手指溫度維持約12.8°C時，手指效能及靈活度隨著時間逐漸顯著降低，因此，手部溫度的下降與手部靈巧度下降成正相關⁶³。在不同環境溫度下，證實會明

顯的增加錯誤率，降低工作績效⁶⁴。

另外也有學者指出，手指溫度小於16°C會減少手指的績效⁶⁵，一般認為大約13°C~16°C的皮膚溫度是手指靈敏度的臨界溫度，如果低於13°C的皮膚溫度會造成手指的僵硬甚至產生疼痛或麻痺⁶⁶。目前陳秋蓉、戴聿彤（2008）將手與手指膚溫及其引起相關效應彙整如表四所示。

表四 手與手指膚溫及其引起相關效應⁶⁷

效應之種類	手與手指膚溫範圍
手與手指溫度最適合範圍	32-36°C
影響手指靈巧性、精密性及速度	27-32°C
影響手與手指細調節操作效能並降低耐力	20-27 °C
影響手與手指粗調節操作效能並偶有疼痛感	15-20 °C
握力與協調能力降低且有疼痛感	10-15 °C
手與手指麻木並降低握力與捏力且引起CIVD現象	10 °C以下
皮膚感覺與溫冷接受器功能被阻斷	6-8 °C
組織凍結引起凍傷	0 °C以下
資料來源：本研究整理。	

（五）手部重複性動作

Snook, Vaillancourt, Ciriello, & Webster (1995)指出施力大小、施力頻率、施力姿勢是重複性工作造成肌肉骨骼疾病之主要原因⁶⁸；重複性動作易造成手指、手部和手腕的傷害，亦最易影響

- 62 Schiefer, R., Kok, R., Lewis, M., & Meese, G., Finger skin temperature and manual dexterity--Some inter-group differences. *Applied Ergonomics*, Vol.15, No.2,1984, p.135-141.
- 63 Clark, R.E., The limiting hand skin temperature for unaffected manual performance in the cold. *Journal of Applied Physiology*, Vol.45, 1961, p.193-194.
- 64 Geng, Q., & Holmer, I., Change in the skinsurface interface temperature of finger touching on cold surfaces. Cold Surfaces Research Group. *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol.27, 2001, p.1-6.
- 65 Heus, R., Daanen, H. A. M., & Havenith, G., Physiological criteria for functioning of hands in the cold: a review. *Applied Ergonomics*, Vol.26, 1995, p.5-13.
- 66 行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所，低溫作業勞工危害預防指引（報告編號：IOSH 98-T-107），新北市：行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所，民國98年。
- 67 陳秋蓉、戴聿彤（2008）。異常溫度作業勞工危害檢測量表開發。行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所研究報告（報告編號：IOSH 96-M313）。新北市：行政院勞委會安全衛生研究所。
- 68 Snook, S., Vaillancourt, D., Ciriello, V., & Webster, B. (1995). Psychophysical studies of repetitive wrist flexion and extension. *Ergonomics*, 38(7), 1488-1507.

到手功能的因素⁶⁹。在工作上常見手部過度用力及高頻率的重複性動作，可能會導致個人的傷害以及需要付出更多的醫療成本⁷⁰，另外長時間重複性工作產生之肌肉疲勞或降低作業效率也較為常見⁷¹。

有學者曾彙整在低溫環境較一般環境對重複性動作之影響，當作業人員在低溫環境下執行重複性動作，雖未用到最大施力，惟可能因為重複性的施力變化，或者因肌肉長時間冷暴露，形成肌肉深層之冷適應作用，不自覺加大作業力量，都容易導致較高之肌電圖振幅疲勞，也會引發身體不適或骨骼肌肉傷害（如：腕隧道症候群）之機率，如表五所示。

四、溫度對主觀感受之影響

反應人體受冷暴露作用強度大小最好的指標是皮膚溫度與體溫，當冷作用強度愈大，

表五 低溫較一般環境對重複性動作之影響表⁷²

作者	年份	結果比較
Chiang, Chen, Yu, & Ko	1990	冷凍加工業之作業員於冷暴露下執行重複性動作之罹病機率相較一般環境執行重複性動作為高1.77倍。
Hales & Bernard	1996	冷凍食品加工業之作業員於冷暴露執行重複性工作相較一般環境下產生腕隧道症候群之風險高出4倍。
Rissanen et al.	2001	在冷凍庫之工人其脖子、肩膀、手和腰背疼痛症狀相較於一般環境之工人造成比例為高。
Oksa et al.	2002	重複性工作在低溫環境與一般環境相比（25°C與5°C），工人的前臂肌肉活動會引發較高之肌電圖振幅與疲勞。
Sormunen et al.	2006	環境溫度和肌肉疲勞間不顯著，肌肉疲勞與工作重複動作之強度有關。
陳秋蓉	2006	冷環境誘發執行重複性工作的工人的頸、肩、手腕、下背與膝關節的疼痛部位比例偏高，可能處於低溫環境加上重複性作業所致。
資料來源：本研究整理。		

則皮膚溫度與體溫下降愈多，冷感受也愈強烈⁷³。冷會減緩人體神經傳導速度，也會改變感覺閾值，因此在冷環境下，手膚覺反應速度可能會產生遲緩現象⁷⁴。王友梅（2006）研

69 Peolsson, A., Hedlund, R., & Oberg, B. (2001). Intra-and inter-tester reliability and reference values for hand strength. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 2001, Vol.33, No.1, p.36-41.

70 李玉雪，負重與頻率對肘部間歇施力最大持續時間與肌肉疲勞之影響研究，臺北市：國防大學管理學院運籌管理學系碩士論文，民國95年6月。

71 Gates, D., & Dingwell, J. Muscle fatigue does not lead to increased instability of upper extremity repetitive movements. *Journal of biomechanics*, 2010, Vol.43, No.5, p.913-919.

72 羅能成，手膚溫、重複作業時間與工作/休息安排對肌肉疲勞之影響，臺北市：國防大學管理學院運籌管理學系碩士論文，民國100年6月。

73 同註27。

74 Heus, R., Daanen, H. A. M., & Havenith, G., Physiological criteria for functioning of hands in the cold: a review. *Applied Ergonomics*, Vol.26, 1995, p.5-13.

究指出，手部在低溫環境，承受不舒服感覺的時間隨著手膚溫下降而遞增，膚溫的降幅則隨著冷浸潤時間的增加而趨緩，原因是低溫降低觸覺的敏感度⁷⁵。

手部進入冷環境12°C，平均受試者感受到的是冷覺，平均第4分鐘時對刺覺、麻覺與痛覺達最強烈感受，平均第10分鐘對所有冷痛刺麻均逐漸趨緩為微弱或無感覺，顯示冷環境對人體手膚覺知覺感受會造成無預警的影響。在手部膚覺知覺感受來說，女性冷、刺、麻與痛的感覺值皆比男性呈現較弱的感受，在壓力痛覺值部分，不論男、女性皆以手部之掌心部位壓力痛覺值最大，指尖最小，而冷浸潤後，壓力痛覺值相對於冷浸泡前顯著為高；在重量差異判斷之能力，也會因手部溫度降低而下降⁷⁶。

Gagge與Nishi (1977) 則認為身體冷熱感覺與其平均皮膚溫度有關，局部皮膚感覺麻木的溫度約在25°C左右，當降至20°C時則感覺冷且有不舒適感，降至15°C時會有極度的冷痛感覺，如持續降至5°C時會使皮膚冷痛到快受不了，平均皮膚溫度與其相關感覺整理如表六所示。

表六 平均皮膚溫度與其相關感覺整理^{77、78}

平均皮膚溫度	皮膚感覺
45°C	組織快速損傷
41°C-43°C	燒傷疼痛閾值
39°C-41°C	瞬間疼痛閾值
35°C-39°C	皮膚感覺熱
35°C-37°C	開始感覺溫熱
33°C-34°C	休息時感覺溫度適中舒適
32°C-33°C	代謝率為2-4 MET時溫度感覺適中
30°C-32°C	代謝率為3-6 MET時溫度感覺適中
30°C-36°C	皮膚溫度約等於運作溫度時與代謝產熱無關
29°C-31°C	不活動會感覺冷及不舒適
25°C (局部)	皮膚感覺麻木
20°C (手)	不舒服及冷的感覺
15°C (手)	極不舒服及冷的感覺
5°C (手)	冷、痛到受不了 (可能失去皮膚知覺)

參、結論與建議

一、結論

綜合上述文獻探討結果，本文區分低溫與高溫對手部作業績效之影響分述如下：

低溫：低溫環境確實會導致手部作業績效下降，其原因是低溫對生理的負面反應，如手部溫度降低、手指麻木僵硬及神經傳導速度減慢，導致手部膚覺、敏感度、作業靈巧

75 王友梅，手套與手部膚溫對痛覺閾值與最大承受能力之影響研究，臺北市：國防大學管理學院碩士論文，民國95年6月。

76 同註48。

77 Gagge, A., & Nishi, Y., Heat exchange between human skin surface and thermal environment. Handbook of Physiology. Reactions to Environmental Agents, 1977, p.69-72.

78 MET代表Metabolic Equivalents，休息代謝率。

性、最大意志施力及持續時間等下降，其冷環境亦會影響認知部分，例如手腳遲鈍、嗜睡、疲勞及反應時間變慢等，以上低溫對於生理及認知的影響除造成手部作業績效下降之外，進而產生對人體的健康危害；

高溫：暴露在高溫環境中工作，其生理反應可能會發生不正常的高體溫、心跳急促，與其他熱不平衡的症狀，並產生較嚴重的高溫疾病，如中暑及熱衰竭，若在室溫超過30°C~35°C時，其心智工作能力甚至有退化的現象；而在手部作業績效部分，則較少探討高溫環境所造成的影響。

因此，瞭解低溫及高溫環境對手部作業績效之影響，以及手部工作傷害預防，便顯其重要性。本研究藉由文獻回顧，分析探討上述問題，其結果可提供相關作業參考，以避免造成低溫及高溫作業之傷害。

二、建議

各種作業環境應以「人員安全」為第一考量，在講求高績效的作業同時，應有更完善的作業流程，肇因傷害往往都在不自覺中造成，亦隨著長時間累積，等發現然已促成。特別是當面臨環境溫度驟降時，領導者更要有敏睿的思維去因應，適切地做好各項預防的工作，長時間的冷與熱暴露工作要顧慮到間歇性休息，以避免肌肉疲勞及傷害，而手部可因應作業需求，在相關部位做好保暖措施，俾使作業人員能夠處於一個安全的工作環境，避免職業傷害，提升作業效能。

國軍在面臨新一代兵力的同時，對於官兵的作業安全應格外重視，除加強作業訓練，並須研訂各種程序、步驟、要領；特別是執行各種冷與熱暴露環境之任務，屬高負荷作業（如：部隊各種地形作戰訓練、外離島軍品前運網綁、船體水下檢查、港灣障礙物清除、水中械彈處理、野地裝備搶修等等），長時間作業時，需有妥善休息時間與各項防護措施，期能有效消弭危害因子，防杜人員作業傷害肇生。

謝誌

本文之完成感謝國防大學管理學院運籌管理學系系主任石裕川教授之專業指導及相關研究的無私提供。石老師在人因工程、實驗設計、物流管理等領域耕耘豐碩，當為人因工程學之推手。

作者簡介

張瑜容士官長，陸軍後勤學校91年女性專業士官班，陸軍後勤學校92年士官高級班，屏東商業技術學院企業管理學系學士97年班，陸軍後勤學校士官長正規班97年班，現就讀於國防大學管理學院運籌管理學系碩士102年班（人因工程實驗室）。