

靜態水平拉力之施力高度與水平距離效應初探

A preliminary study of the effects of exertion heights and horizontal distances on static horizontally pulling forces

陳一郎 張仁履 許庭誌 李育奇 陳嘉榮

Y.L. Chen, R. L. Jang, T. C. Hsu, Y. C. Lee, C. J. Chen

摘要

本研究主要目的在模擬一般倉儲作業時，不同的施力高度與水平距離對於靜態水平拉力的影響。本研究共徵募12位男性受試者，量測其在四種施力高度（40、80、120、160 cm）與四種水平距離（10、20、30、40 cm）之作業變項組合下的靜態拉力值。研究結果發現，施力高度對於水平拉力值的影響遠高於水平距離，拉力值隨水平距離增加呈現線性微幅降低，整體降幅約為20%，但施力高度從40 cm至120 cm時，拉力值降幅約為30%，至160 cm時卻高達58%，顯示較高的施力位置不利於拉力的發揮。綜合而言，過去文獻中不同作業變項對於靜態抬舉肌力（施力向上）的影響，明顯與水平拉力有所不同，此結果對於現場作業設計具有實務參考價值。

關鍵字：靜態拉力、施力高度、水平距離

ABSTRACT

The objective of the study was to examine the effects of the exertion heights and horizontal distances on static pulling forces for simulating warehouse tasks. Twelve male participants were recruited and required to determine their maximal static pulling forces under 16 task combinations with 4 height levels (40, 80, 120, 140 cm) and 4 horizontal distances (10, 20, 30, 40 cm). Results showed that the influences of the exertion heights in pulling forces were more significant than that of horizontal distances. The pulling forces slightly decreased with increased horizontal distances and with a total decrease of 20%. The pulling forces decreased around 30% while exerting height from 40 cm changed to 120 cm whereas decreased around 58% from 40 cm changed to 160 cm. This implied that the higher levels caused the disadvantage in exerting pull forces. Consequently, the difference did exist in the influences of horizontal distances as well as exertion heights between the pulling forces and lifting forces that has been well-investigated. The result would be considered as a reference to the design for warehouse tasks.

Keywords: Static pulling force, exerting height, horizontal distance

一、緒論

人工物料搬運（Manual Materials Handling,

MMH）所造成的肌肉骨骼傷害已是眾所周知，根據研究報告顯示，不當施力與重複性作業是造成肌肉骨骼傷害主因，然而其潛在因子非常複雜，防治工作更是千頭萬緒，舉凡工程改善、行政管理、工作再設計、人因工程改善計畫的推動等都是可行有效的方法。類似的努力在國外已進行數十年，其中

陳一郎 明志科技大學工業工程與管理系教授
張仁履 明志科技大學工業工程與管理系助理教授
許庭誌 明志科技大學工業管理研究所碩士生
李育奇 清華大學工業工程與工程管理研究所博士生
陳嘉榮 明志科技大學工業管理研究所碩士生

最受矚目的是美國職業安全衛生研究所 (NIOSH) 所提出的「人工抬舉作業規範」(NIOSH 1981), 已被美國產業界廣泛引用為參考標準, 並陸續進行修訂 (Waters et al. 1993)。

相較於人工抬舉作業受到重視, 有關推/拉作業 (pushing and pulling, P&P) 的評估相對較少, 根據NIOSH (1981) 的研究, 推/拉作業約佔全美國施力作業傷害的20%, Hoozemans 等人 (1998) 也發現推/拉作業導致9-18%的下背傷害。許多研究更指出, 由於人工抬舉作業在近年來大量被改善或減少, 卻使推/拉作業比例增加 (如抬舉輔具(lifter) 將貨物抬高至某高度, 再推入或拉出料架等) (Gagnon et al. 1992, Theado et al. 2007), 加上目前先進的生產製造設備, 抬舉與推/拉作業比例呈現消長現象, 因此, 如何使推/拉作業設計能符合員工的肌力特性, 成為許多相關人因專家的關注焦點。國際人因工程期刊 *International Journal of Industrial Ergonomics* 在2007年即刊登推/拉作業之專刊 — *Musculoskeletal load of push-pull tasks* (Jäger & Luttmann 2007), 顯見推/拉作業已是現場人力作業設計中的重要議題。

相較於抬舉作業與下背部疼痛的研究, 上肢部位顯然受到較少關注。Snook (1978) 與Snook & Ciriello (1991) 透過大量實驗制定推/拉肌力的作業設計參考, 此一常模資料即使是15年之後, 經Ciriello 等人 (2007) 驗證仍能做出準確預估。過去研究發現當抬舉高度超過腰部以上時, 肩肌力可能成為抬舉能力的限制因素 (Yates et al. 1986), Mital & Ayoub (1980) 也發現抬舉終點在肩高或以上時, 肩肌力成為影響最大抬舉能力(MAWL) 的重要因子; Garg 等人 (1983) 指出, 受試者將物體擺放在終點時的施力難度, 是決定MAWL的重要因素, 尤其是肩高以上作業, 而從事肩高作業的重複性抬舉, 受試者肩部的主觀不適評比最高。

不同垂直高度對肌力值的影響在過去已有許多探討。Grieve (1984) 量測坐姿與站姿狀況下之單一拉力移動的出力, 發現姿勢與移動對抗對量測值有顯著影響。Fothergill 等人 (1992) 也探討四

種把手設計和兩種施力高度 (100、175 cm) 對於水平拉力的影響, 結果發現自變項均有顯著效應。Kumar (1995) 利用男女受試者, 分析其在35、100、150 cm三種作業高度下的靜態推/拉力, 若以男性在100 cm下之拉力為基準, 則男性靜態推力範圍約為41~68%, 女性為27~44%, 亦即男性拉力值較推力值高。Gagnon 等人 (1992) 進行將物品推入高度分別為 58、99、141 cm貨架的生物力學分析, 結果發現在不同高度中, 上肢肌力均扮演重要角色, 尤其對於最高 (141 cm) 作業高度格外明顯, 較低 (58 cm) 料架需要動用較多的背部肌群, 中間料架 (99 cm) 則顯示相對較佳的狀態。Lee (2004a) 探討國人在不同高度下的靜態抬舉肌力, 發現從10 cm至105 cm的施力高度中, 肌力值隨著高度的增加而降低, 從105 cm至140 cm肌力值又反向增加, 研究中也發現, 當低於75 cm時, 左、右手之個別肌力值加總大於雙手肌力值; 另一個相關研究中, Lee (2004b) 探討膝關節完全伸展時對於靜態肌力值的影響, 發現肌力最大值出現在61cm時, 最小值則出現在115cm時。Cheng & Lee (2004) 則量測男女受試者在高度各為48、84、120、156 cm下的靜態水平拉力值, 發現自由姿勢下, 女性拉力約為男性的59~67%。

不論是頻率性或是偶發性抬舉, 水平距離限制肌力發揮因而影響抬舉能力。Ciriello (2003) 探討不同箱寬與頻率之MAWL值, Garg & Beller (1994) 認為, 當進行特定作業肌力測試時, 箱寬所造成的水平距離效果應加以考慮, Cheng & Lee (2005) 在三種水平距離下進行靜態抬舉肌力量測, 包括以施力垂直投影線為基準, 向前量測1/3腳長 (約7.5~8.5 cm, 姿勢1), 腳尖切齊基準線 (姿勢2), 腳尖距離基準線1/3腳長 (約7.5~8.5 cm, 姿勢3), 發現姿勢 1 與 3 的肌力值, 特別是上半身肌力差距將近一倍, 顯示即使是些微的水平距離, 對於向上抬舉肌力的影響卻極大。

緣此, 本研究即模擬倉儲作業中, 量測受試者在不同作業高度與水平距離的作業變項下之靜態水平拉力, 探討不同作業變項對於肌力值的影響程

度，以作為相關作業設計的參考。

二、研究方法

(一) 受試者

本研究蒐集 12 位男性大學生與研究生，在不同高度與水平距離變項下的靜態最大水平拉力。受試者之基本資料如表 1 所示。

表 1 受試者基本資料 (n=12)

項目	平均值	標準差
身高 (cm)	169.8	6.44
體重 (kg)	69.8	11.19
年齡 (yr)	24.0	1.95
肩高 (cm)	140.3	6.10
指節高 (cm)	68.3	3.22
腕高 (cm)	87.3	4.65
膝高 (cm)	45.3	2.76
掌長 (cm)	17.6	1.51
掌寬 (cm)	9.4	0.94

(二) 實驗設計

本研究共 12 名男性受試者參與水平拉肌力之量測。實驗自變項分別為施力高度與水平距離，其中施力高度包含四個水準 (40 cm、80 cm、120 cm、160 cm)，水平距離也包含四個水準 (10 cm、20 cm、30 cm、40 cm)，實驗水準的設定主要參考實際作業現場的作業變項範圍，亦即 40~160 cm 的高度與 10~40 cm 的水平距離為一般常見的倉儲作業設計範圍。每位受試者共蒐集 32 個實驗點 (4 個施力高度×4 個水平距離×2 次重複)，每筆拉力值取 2 次量測值平均，2 次的差異值須在±20%以內。

(三) 實驗設備

水平拉力值紀錄主要透過負載單元 (load cell, T.K.K. model 1269, Tokyo) 連接 A/D 轉換器 (A/D converter) 與數位顯示器 (T.K.K.) 而成，量測時受試者採掌心向上方式施力 (如圖 1)。

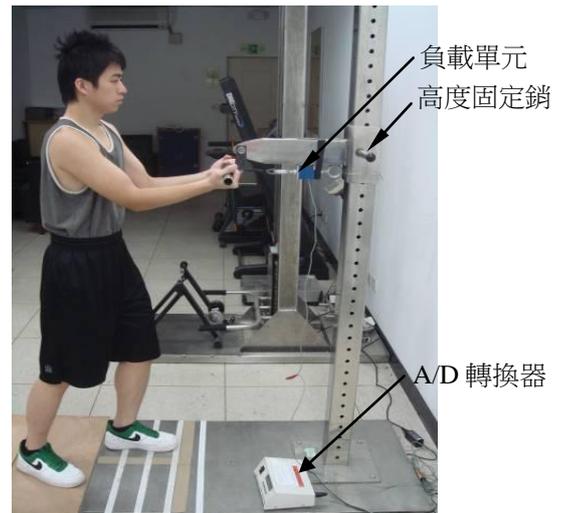


圖 1 水平拉力量測示意圖 (高度/水平距離：120/20cm)

(四) 實驗程序

正式實驗前，實驗人員需對受試者作詳盡解說，為確保實驗數據品質，本研究以按時計酬方式徵募男性受試者 12 位，每位受試者均無背部傷害或疼痛記錄，在實驗前均填寫同意書，實驗期間避免熬夜、酗酒以及過度的體能負荷活動，且無感冒、服藥等情況發生。在正式蒐集實驗數據前，記錄受試者之基本資料與量測人體測計值，項目參考 Chen (2000) 的研究。為避免在實驗中受試者出現過度疲勞而造成數據異常，在每次進行 1 個實驗點後均需讓受試者充分休息，至少 3 min 以上。

拉力量測時，受試者著短褲、背心，受試者採取其最自然姿勢進行施力，實驗量測順序是採用隨機的方式進行，受試者施力姿勢為雙手水平施力，手心向上並緊握橫桿朝水平拉向身體方向徐徐用力，過程約 3~5 秒鐘，同時禁止上半身過度向後仰避免危險與受傷。雙腳可依受試者習慣採用自由姿勢，不論何腳在前均可，以能夠全身最大施力、安全及舒適為原則。

(五) 統計分析

本實驗所蒐集之水平拉力資料值，透過統計軟體 SPSS 10.0 分析，顯著水準 α 訂為 0.05。透過變異數分析 (ANOVA) 以瞭解各自變項是否會影響拉力值，其中將受試者視為集區 (block)，並以

Duncan 多重全距檢定 (Duncan's Multiple Range Test, MRT) 檢定各變數水準間的差異。

三、結果與討論

(一) ANOVA 結果

表 2 為以水平距離與施力高度為自變項之變異數分析。由表中可知，水平距離與施力高度對於拉力值均有顯著影響 ($p < 0.001$)，但兩者的交互作用項的影響並不顯著 ($p > 0.05$)。

表 2 變異數分析結果

變異來源	自由度	平方和	平均平方和	F 值	p 值
受試者	11	2427.62	220.69	35.62	0.000
水平距離	3	279.36	93.12	15.03	0.000
施力高度	3	3446.05	1148.68	185.38	0.000
距離×高度	9	24.25	2.69	0.43	0.915
變異	165	1022.40	6.20		
總和	191	7199.67			

(二) 施力高度效應

進一步分析施力高度對於拉肌力的影響程度，發現不同施力高度影響肌力值甚鉅。如圖 2 所示，平均最大拉力值發生在高度為 40cm 時，為 19.8 kg，隨著高度增加，拉肌力大幅降低，至高度為 160 cm 時，降至 8.3 kg，自 40 cm 至 160 cm，降幅分別為 15、17、41%，顯示高度越高，拉力值降低幅度增加，不同高度水準間均有顯著差異。

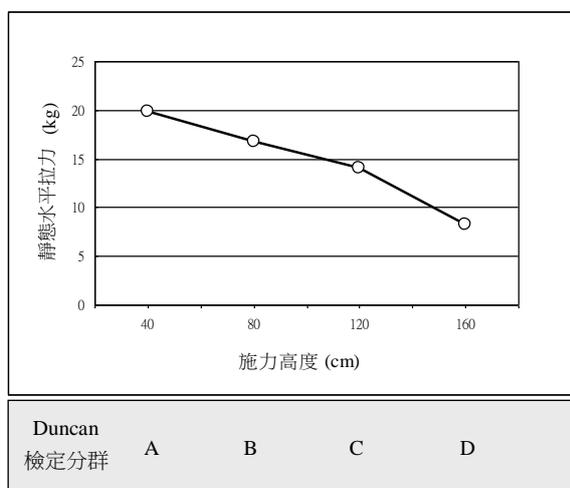


圖 2 施力高度對拉力值的影響效應與 Duncan 檢定

(三) 水平距離效應

圖 3 為不同水平距離對拉肌力值的影響與 Duncan 檢定分群情形。由圖中可知，水平距離對於拉力值亦有負面影響，唯影響程度較低，最大肌力值發生在水平距離為 10 cm 時，最低為 40 cm 時，兩者肌力值降幅約 20%。

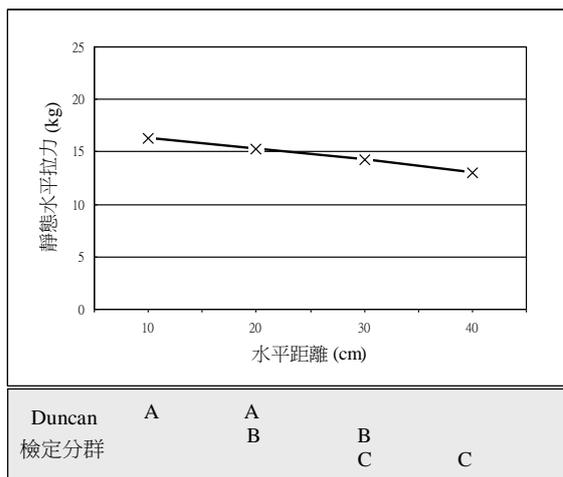


圖 3 水平距離對拉力值的影響效應與 Duncan 檢定

(四) 施力高度與水平距離效應比較

圖 4 比較不同施力高度與水平距離的效應，由圖中可知，以本研究所設定的實驗水準而言，水平距離效應遠低於施力高度。Cheng & Lee (2005) 在三種水平距離下進行靜態抬舉肌力量測，其距離約距施力鉛垂線約 ± 8 cm 的範圍，發現其最大範圍 (約 16 cm) 的向上抬舉肌力值差異將近一倍，本研究拉力值量測時之施力方向設定為水平，但其拉力值的差異相對較小，顯示不同的施力方向使作業變項效應產生差異，影響受試者的肌力發揮，可能原因之一是施力方向造成受試者鞋底反作用力不同，拉力尤其受到鞋底與地板摩擦係數的影響，這也可以說明為何本研究的拉力值較過去研究的抬舉肌力值低的原因，相關力學機制可再進一步加以深入探討。

四、結論與建議

本研究發現，施力高度對於水平拉力值的影響

遠高於水平距離，拉力值隨水平距離增加呈現線性微幅降低，但施力高度從40 cm至120 cm降幅約為30%，至160 cm卻高達58%，顯示較高的施力位置不利於拉力的發揮。綜合而言，過去文獻中不同作業變項對於靜態抬舉肌力（施力向上）的影響效應，明顯與水平拉力有所不同，此結果對於現場作業設計具有實務參考價值。此外，本研究係一先導研究，受試者人數僅12人，唯其體型（體重與身高）分布與變異與過去研究並無太大差異 (Mital and Ayoub 1980, Lee 2004a)，其樣本代表性應可接受。

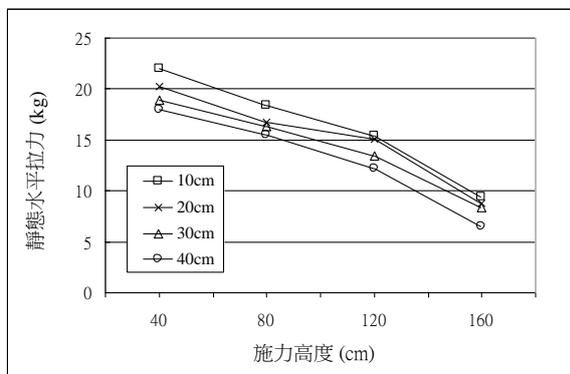


圖 4 不同施力高度與水平距離之拉力值

參考文獻

1. Chen YL: Optimal lifting techniques adopted by Chinese men when determining their maximum acceptable weight of lifting, *Am Ind Hyg Assoc J* 2000, 61: 642-648.
2. Cheng TS, Lee TH: Lifting strengths in different horizontal distances of objects to be lifted. *J Occup Health* 2005, 47: 211-217.
3. Ciriello VM,: The effects of box size, frequency, and extended horizontal reach on maximum acceptable weights of lifting. *Int J Ind Ergon* 2003, 32:115-120.
4. Ciriello, VM, Dempsey PG, Maikala RV, O'Brien NV: Revisited : Comparison of two techniques to establish maximum acceptable forces of dynamic pushing for male industrial workers. *Int J Ind Ergon* 2007, 37: 877-882.
5. Fothergill DM, Grieve DW, Pheasant ST: The influence of some handle designs and handle height on the strength of the horizontal pulling action. *Ergonomics* 1992, 35: 203-212.
6. Gagnon M, Beaugrand S, Authier M: The dynamics of pushing load onto shelves of different heights. *Int J Lnd Ergon* 1992, 9: 1-13.
7. Garg A, Beller D: A comparison of isokinetic lifting strength with static strength and maximum acceptable weight with special reference to speed of lifting. *Ergonomics* 1994, 37:1363-1374.
8. Garg A, Sharma D, Chaffin DB, Schmider JM: Biomechanical stresses as related to motion trajectory of lifting. *Hum Factors* 1983, 25: 527-539.
9. Grieve DW: The influence of posture on power output generated in single pulling movements. *Applied Ergon* 1984, 15: 115-117.
10. Hoozemans MJM, van der Beek AJ, Frings-Dresen MHW, van Dijk FJH, van der Woude LHV: Pushing and pulling in relation to musculoskeletal disorders: a review of risk factors. *Ergonomics* 1998, 41: 757-781.
11. Jäger M, Luttmann A: Musculoskeletal load of push-pull tasks. *Int J Ind Ergon* 2007, 37: 823-824.
12. Kumar S: Upper body push-pull strength of normal young adults in sagittal plane at three heights. *Int J Ind Ergon* 1995, 15: 427-436.
13. Lee TH, Static lifting strengths at different exertion heights, *Int J Ind Ergon* 2004a, 34, 263-269.
14. Lee TH, Lifting strengths in different exertion heights conditioned on extended legs, *Ind Health* 2004b, 42, 369-372.
15. Mital A, Ayoub MM: Modelling of isometric strength and lifting capacity. *Hum Factors* 1980, 22: 285-290.
16. National Institute for Occupational Safety and

Health, *Work Practice Guide for Manual Lifting*,
Department of Health and Human services
(NIOSH) Publication 1981: 81-122.

17. Snook SH: The design of manual handling tasks.
Ergonomics 1978, 21: 963-985.
18. Snook SH, Ciriello VM: The design of manual
handling tasks: revised tables of maximum
acceptable weights and forces. *Ergonomics* 1991,
34: 1197-1213.
19. Stevenson J, Bryant T, Greenhorn D, Smith T,
Deakin J, Surgenor B: The effect of lifting
protocol on comparison with isoinertial lifting
performance. *Ergonomics* 1990, 33: 1455-1469.
20. Theado EW, Knapik GG, Marras WS:
Modification of an EMG-assisted biomechanical
model for pushing and pulling. *Int J Ind Ergon*
2007, 37: 825-831.
21. Waters TP, Anderson VP, Garg A, Fine LJ:
Revised NIOSH equation for the design and
evaluation of manual lifting tasks. *Ergonomics*
1993, 36: 749-776.
22. Yates JW, Kamon E, Rodgers SH, Champney PC:
Static lifting strength and maximal isometric
voluntary contractions of back, arm and shoulder
muscles. *Ergonomics* 1980, 23: 37-47.