

中國醫藥大學

碩士論文

編號：DOSH-0305

非動力密閉淨氣式濾毒罐面罩與N95 口罩在濕
熱環境下之生理負荷與主觀不適之影響評估
*Assessment of the physiological loads and
subjective discomforts for non-powered
tight-fitting air-purifying respirator with
canister and N95 facemask under thermo and
humid condition*

所別：職業安全與衛生學系碩士班

指導教授：許文信 博士

學生：宣俞宏 Yo-Hung, Hsuan

學號：9572005

中華民國九十七年七月

誌謝

光陰似箭，學習的一個階段又要結束了，回想起這兩年，真是過得萬分充實，走過必留下痕跡，而本書正是曾努力過的證明。

首先我得感謝我的家人，奶奶的體貼關心、父母的辛勞資助、兩位妹妹的鼓勵支持，沒有他們，我無法生活、唸書、以健康的身體迎接各種挑戰、衣食無缺的走完學習生涯。

同時我也要感謝我的指導教授許文信老師，大學時就曾在老師的教導下獲益良多、增廣見聞，升學後又有幸能繼續接受老師的指導，感謝老師和氣容忍我的慢手慢腳，不厭其煩諄諄善誘，力求完美也讓我學習到細心處事的重要，有些事情並沒做得很完善，甚至有的延宕而改道，再次感謝您的包容與寬恕。

感謝黃瑞隆老師教導暴露艙控制和流力解惑，感謝陳振華老師給予呼吸防護具的分析與建議，擔任口試委員並更新知識，感謝黃彬芳老師指出並改善統計方法上的瑕疵，感謝袁素娟老師擔任口試委員並細心指點文章中的結構與建議，在此感謝所有提出問題給予建議的老師們。

感謝建立儀器記錄方法的惟潔，和幫忙進行實驗的學妹們，身為副手的怡如完成了許多實驗的操作，與昭陽的人脈找到許多熱心的受試者，嘉欣、佳蓓和雅婷在考試中抽空幫助，晏潔、楷涵和思瑀的輪班支援，整理盤根錯節的數據。感謝付出勞力的學弟們，資深的炫宇和文彬、守時的鴻基和政宏、熱情的主宜、宗穎等，還有陪我一年的萬和及辛苦的昱安，在實驗的前測多鍛鍊了好幾次，你們青春的汗水，滋養了本書的長成。感謝所有給予叮嚀和鼓勵的同學熱心幫助，還有解決了許多大小事的雯倩，為我人生的這個階段畫下了完美的圈，在此謹將本書獻給所有給予過幫助的人們，和閱讀本書的您，謝謝。

感恩賜與，回報無限，學習永不停止，只因生命永恆。

摘要

本研究針對一般工業最常用之全面式面罩搭配濾毒罐與 N95 口罩，在濕熱環境下對使用者造成的生理負荷與主觀不適進行評估，分兩個實驗進行，實驗一配戴全面式面罩進行實驗，並以無過濾功能的四分面罩作為對照組，實驗二則配戴無閥和有閥之折疊式船型 N95 口罩進行實驗。每個實驗之受試者皆為 16 位男性大專生，自變項皆為兩種呼吸防護具、工作負荷(45W 輕度工作和 85W 中度工作)、環境溫度(25°C 和 35°C) 和環境相對濕度(50%和 70%)，應變項主要包括工作時心跳、呼吸頻率、吸/吐氣壓力、吸/吐氣時間、潮氣容積、分通氣量、耗氧量、面罩內溫度以及評估主觀不適程度的問卷。

研究結果發現在相同的面罩、工作負荷和濕度下，溫度上升皆會顯著增加工作時心跳、工作心跳、呼吸頻率、吸氣壓力、面罩內溫度、潮氣容積(僅實驗一)、主觀不適程度，吸氣時間則顯著降低，其中配戴全面式面罩的工作時心跳在輕度工作時增加了 9-10 bpm、中度 12-15 bpm，配戴無閥 N95 口罩時為 4-6 和 7-8 bpm，而配戴有閥 N95 口罩則為 7-8 和 9 bpm；在相同的面罩、工作負荷和溫度下，濕度上升會顯著增加耗氧量、工作心跳、呼吸頻率(實驗一)、吸氣壓力和分通氣量(實驗二)和主觀不適程度。

生理指標與主觀不適相關性比較，實驗一有顯著相關的為工作心跳、耗氧量，實驗二為面罩內溫度、呼吸頻率和吸氣時間。若將溫濕度合併成 WBGT 值分析，隨著 WBGT 的上升，工作時心跳也會顯著增加，其中執行中度工作時心跳增加的程度較輕度時高。建議在濕熱環境下配戴呼吸防護具工作應調整適當的工作-休息時間。

關鍵字：呼吸防護具、N95 口罩、熱環境、生理負荷

Abstract

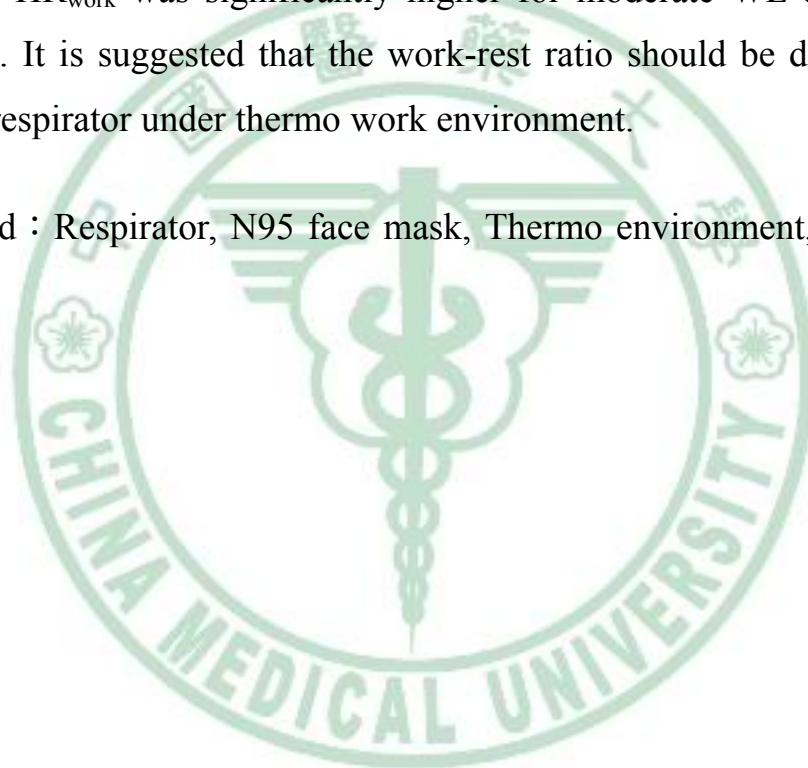
This study aimed to evaluate the physiological workloads and subjective discomforts for the most frequently employed full-facepiece respirators with canister and N95 facemasks under thermo environment. Two separate experiments were conducted. The first experiment evaluated the full-facepiece respirator and using a low respiratory resistance quarter-face mask as the control condition. The second experiment assessed two N95 facemasks with one equipped with valve and the other one without valve. Sixteen physically fit male university students participated in each experiment. The evaluated independent variables were identical in the two experiments including respirator type (RT), workload (WL; light work 45W and moderate work 85W), environmental temperature (ET; 25°C and 35°C) and relative humidity (RH; 50% and 70%). The main measured dependent variables for both experiments included heart rate at working (HR_{work}), work pulse (WP), breathing frequency (BF), peak inspiratory and expiratory pressure (PIP/PEP), inspiratory and expiratory time (T_i , T_e), tidal volume (V_T), minute ventilation (V_E), oxygen consumption (VO_2), temperature in mask (T_m) and subjective rate of perceptual exertion (RPE).

Results indicated that working in higher ET imposed significant physiological and psychological strain added to that caused by significantly increased HR_{work} , WP, BF, PIP, T_m , V_T (first experiment only), and RPE and decreased T_e for same RT, WL and RH. Compared with work at ET = 25°C, work at ET=35°C and equipped with RF, the HR_{work} significantly increased 9 to 10 bpm for light WL and 12 to 15 bpm for moderate WL. As for RNV, working at ET = 35°C, the HR_{work} were reported significantly increased 4 to 6 bpm for light WL and 7 to 8 bpm for moderate WL compared with work at ET = 25°C. Regarding RWV, the increased HR_{work} were 7 to 8 bpm for light WL and 9 bpm for moderate WL when ET shifted from 25°C to 35°C. Increased

RH were reported with significantly increased VO_2 , HR_{work} , WP, BF (experiment 1 only), PIP (experiment 2 only), VE (experiment 2 only) and RPE for same WL, ET, and RT. RPE were found significantly correlated with HR_{work} , WP, and VO_2 for the first experiment and with T_m , BF, and T_i for the second experiment.

When combined the two ET conditions and two RH conditions into 4 corresponded wet bulb globe temperature index (WBGT) levels, it was found that the HR_{work} significantly increased with higher WBGT. The degree of increased HR_{work} was significantly higher for moderate WL compared with light WL. It is suggested that the work-rest ratio should be decreased when wearing respirator under thermo work environment.

Key Word : Respirator, N95 face mask, Thermo environment, Physiological load



目錄

誌謝	I
中文摘要	II
英文摘要	III
目錄	V
表目錄	IX
圖目錄	XII
英文縮寫全名與中文名稱	XVI
第一章 緒論	1
第一節 研究背景	1
第二節 研究之重要性	2
第三節 研究目的	3
第二章 文獻探討	4
第一節 濕熱環境與呼吸防護具的相關理論	4
2.1.1 濕熱環境對人造成的生理負荷	4
2.1.2 呼吸防護具造成的影響	12
第二節 濕熱環境與呼吸防護具的文獻回顧	21
2.2.1 濕熱環境下的生理負荷	21
2.2.2 濕熱環境下配戴呼吸防護具導致的生理負荷	22
第三節 研究流程	24
第三章 研究方法	25
第一節 實驗對象	25
第二節 實驗儀器設備與量測方法	25

3.2.1 呼吸防護具.....	25
3.2.2 呼吸生理訊號分析儀與量測方法.....	27
3.2.3 腳踏車測功儀.....	29
3.2.4 暴露艙.....	30
3.2.5 配戴呼吸防護具之耗氧量量測方法.....	30
3.2.6 ECG 心跳量測方法.....	31
3.2.7 呼吸防護具內壓力量測方法.....	32
3.2.8 呼吸防護具溫度量測方法.....	33
3.2.9 呼吸頻率量測方法.....	34
3.2.10 吸氣、吐氣時間比.....	34
3.2.11 模擬作業內容與作業負荷設定.....	36
3.2.12 模擬作業的環境溫濕度設定.....	39
3.2.13 配戴呼吸防護具進行作業負荷之主觀不適問卷.....	40
第三節 實驗設計.....	41
3.3.1 自變項.....	41
3.3.2 應變項.....	41
3.3.3 控制因子.....	44
第四節 實驗流程.....	44
3.4.1 個人最大耗氧量量測.....	44
3.4.2 溫濕環境下的作業負荷.....	47
第五節 分析及統計方法.....	49
第四章 結果.....	51
第一節 實驗用呼吸防護具吸氣與吐氣阻力曲線.....	51
4.1.1 呼吸防護具之吸氣阻力.....	51
4.1.2 呼吸防護具之吐氣阻力.....	53

第二節 全面式面罩在濕熱環境下造成生理負荷與主觀不適之實驗結果.....	55
4.2.1 客觀生理指標結果.....	59
4.2.2 主觀不適問卷結果.....	85
4.2.3 各種溫濕度下之耗氧量對心跳的關係.....	91
4.2.4 生理負荷與主觀不適之關聯性分析.....	92
第三節 有閥與無閥 N95 口罩在濕熱環境下造成生理負荷與主觀不適之實驗結果.....	97
4.3.1 客觀生理指標結果.....	102
4.3.2 主觀不適問卷結果.....	125
4.3.3 各種溫濕度下之耗氧量對心跳的關係.....	131
4.3.4 生理負荷與主觀不適之關聯性分析.....	131
第五章 討論.....	136
第一節 全面式面罩與 N95 口罩之吸氣與吐氣阻力.....	136
第二節 配戴全面式面罩與 N95 口罩在濕熱環境下之生理負荷.....	137
5.2.1 受環境溫濕度影響較顯著的生理指標.....	137
5.2.2 各 WBGT 下的平均心跳變化.....	142
第三節 配戴全面式面罩與 N95 口罩在濕熱環境下之主觀不適.....	146
第六章 結論與建議.....	149
第一節 結論.....	149
第二節 研究應用.....	151
第三節 研究限制.....	151
參考文獻.....	152
附錄一 受試者同意書.....	155
附錄二 受試者基本資料調查表.....	156

附錄三 實驗一受試者環境主觀不適問卷.....	157
附錄四 實驗二受試者環境主觀不適問卷.....	158
附錄五 實驗一與實驗二受試者執行作業主觀不適問卷.....	159
附錄六 學術研究人權維護審查同意書.....	160
附錄七 學術研究人權維護審查同意書英文版.....	161



表目錄

表 2-1 相關機構對熱壓力的建議溫度允許暴露值	11
表 2-2 American Conference of Industrial Hygienists (ACGIH) 規定熱暴露 下溫度之 TLV 值	11
表 2-3 NIOSH 針對 N、P、R 之口罩之吸氣與吐氣阻力規定	15
表 2-4 重要相關研究之設定條件	17
表 2-5 評估呼吸阻力造成生理負荷時常用的生理指標	18
表 3-1 實驗一受試者基本資料 (n=16)	25
表 3-2 鼻溫偵測器在不同溫度區間之溫度差	34
表 3-3 以能量消耗程度推估定義之工作負荷分級	39
表 3-4 功率與耗氧量的關係	39
表 3-5 本實驗模擬之環境溫濕度對應之 WGBT 值	40
表 3-6 實驗應變項及其說明	42
表 3-7 最大耗氧量負荷設定	46
表 4-1 呼吸防護具吸氣阻力回歸方程式與流量 85L/min 時的阻力	51
表 4-2 呼吸防護具吐氣壓力回歸方程式與流量 85L/min 時的阻力	53
表 4-3 全面式面罩與對照面罩在濕熱環境下之生理負荷與主觀不適重複 量數變異數分析結果(n=16).....	56
表 4-4 全面式面罩與對照面罩在濕熱環境下之生理負荷描述性統計資料 (mean±S.D.)	57
表 4-5 全面式面罩與對照面罩在濕熱環境下之主觀不適描述性統計資料 (mean±S.D.)與無母數兩相依樣本威爾森檢定結果.....	58
表 4-6 全面式面罩與對照面罩在濕熱環境下之工作時心跳、工作心跳和 心率儲備百分比描述性統計資料與配對樣本 t 檢定統計結果	62
表 4-7 全面式面罩與對照面罩在濕熱環境下之吸氣與吐氣壓力描述性統	

計資料與配對樣本 t 檢定統計結果.....	66
表 4-8 全面式面罩與對照面罩在濕熱環境下之呼吸頻率、吸氣和吐氣時間描述性統計資料與配對樣本 t 檢定統計結果.....	71
表 4-9 全面式面罩與對照面罩在濕熱環境下之分通氣量、潮氣容積、潮氣容積佔肺活量之百分比描述性統計資料與配對樣本 t 檢定統計結果.....	76
表 4-10 全面式面罩與對照面罩在濕熱環境下之耗氧量、最大耗氧量百分比、單位體重耗氧量、新陳代謝率和通氣當量描述性統計資料與配對樣本 t 檢定統計結果.....	80
表 4-11 全面式面罩與對照面罩在濕熱環境下之面罩內溫度描述性統計資料與配對樣本 t 檢定統計結果.....	84
表 4-12 全面式面罩與對照面罩在濕熱環境下之生理負荷與主觀不適關聯性分析.....	94
表 4-13 無閥與有閥 N95 口罩在濕熱環境下之生理負荷與主觀不適重複量數變異數分析結果(n= 16).....	99
表 4-15 無閥與有閥 N95 口罩在濕熱環境下主觀不適描述性統計資料 (mean±S.D.)與無母數兩相依樣本威爾森檢定結果統計結果.....	101
表 4-16 無閥與有閥 N95 口罩在濕熱環境下之工作時心跳、工作心跳和心率儲備百分比描述性統計資料與配對樣本 t 檢定統計結果.....	103
表 4-17 無閥與有閥 N95 口罩在濕熱環境下之吸氣和吐氣壓力描述性統計資料與配對樣本 t 檢定統計結果.....	107
表 4-18 無閥與有閥 N95 口罩在濕熱環境下之呼吸頻率、吸氣和吐氣時間描述性統計資料與配對樣本 t 檢定統計結果.....	111
表 4-19 無閥與有閥 N95 口罩在濕熱環境下之分通氣量、潮氣容積、潮氣容積佔肺活量之百分比描述性統計資料與配對樣本 t 檢定統計結果.....	115
表 4-20 無閥與有閥 N95 口罩在濕熱環境下之耗氧量、最大耗氧量百分	

比、單位體重耗氧量、新陳代謝率和通氣當量描述性統計資料與配對樣本 t 檢定統計結果.....	119
表 4-21 無閥與有閥 N95 口罩在濕熱環境下之面罩內溫度和血氧濃度描述性統計資料與配對樣本 t 檢定統計結果.....	123
表 5-1 我國法規規定之高溫作業下每小時作息時間比例分配表	145
表 5-2 ACGIH 規定之高溫作業下每小時作息時間比例分配表	146



圖目錄

圖 2-1 四分面罩 (Quarter-mask)	14
圖 2-2 半罩式面罩 (half-mask)	14
圖 2-3 全罩式面罩 (full-facepiece)	14
圖 2-4 寬鬆式 (Loose-Fitting)	14
圖 2-5 計畫研究流程圖	24
圖 3-1 對照面罩 (RC)	27
圖 3-2 全罩式面罩 (RF)	27
圖 3-3 無閥 N95 口罩 (RNV)	27
圖 3-4 有閥 N95 口罩 (RNV)	27
圖 3-5 生理訊號接收放大器	28
圖 3-6 上為流量計下為氣體分析儀	28
圖 3-7 腳踏車測功儀(ergometer).....	29
圖 3-8 暴露艙，左圖為暴露艙內部，右圖為溫濕度控制台	30
圖 3-9 全罩式面罩轉接頭	31
圖 3-10 N95 口罩轉接頭.....	31
圖 3-11 胸導電極貼片位置	32
圖 3-12 生理訊號放大器	32
圖 3-13 壓力轉換計.....	33
圖 3-14 壓力偵測位置.....	33
圖 3-15 水銀壓力計.....	33
圖 3-16 鼻溫偵測器.....	33
圖 3-17 受測者執行作業時所量測到的口罩內壓力波形	35
圖 3-18 假人頭模擬呼吸道之正反面圖 (左為正，右為反)	36
圖 3-19 模擬呼吸防護具呼吸阻力量測示意圖	36

圖 3-18 實驗流程圖.....	48
圖 4-1 呼吸防護具流量對吸氣壓力關係圖	52
圖 4-2 呼吸防護具吐氣壓力與流量關係圖	54
圖 4-3 各溫溼度下執行輕中工作之工作時心跳數	63
圖 4-4 各溫溼度下執行輕中工作負荷之工作心跳	63
圖 4-5 各溫溼度下執行輕中工作負荷之心率儲備百分比	64
圖 4-6 各溫溼度下執行輕中工作之分通氣量吸氣壓力	67
圖 4-7 各溫溼度下執行輕中工作之吐氣壓力	67
圖 4-8 各溫溼度下執行輕中工作之呼吸頻率	72
圖 4-9 各溫溼度下執行輕中工作之吸氣時間	72
圖 4-10 各溫溼度下執行輕中工作之吐氣時間	73
圖 4-11 各溫溼度下執行輕中工作之分通氣量	77
圖 4-12 各溫溼度下執行輕中工作之潮氣容積	77
圖 4-13 各溫溼度下執行輕中工作之 V_T/VC	78
圖 4-15 各溫溼度下執行輕中工作之最大耗氧量百分比	81
圖 4-16 各溫溼度下執行輕中工作之單位體重耗氧量	82
圖 4-17 各溫溼度下執行輕中工作之新陳代謝量	82
圖 4-18 各溫溼度下執行輕中工作通氣當量	83
圖 4-19 各溫溼度下執行輕中工作之面罩內溫度	85
圖 4-20 呼吸防護具之主觀不適問項總平均分布圖	86
圖 4-21 各溫溼度下執行輕中工作之呼吸防護具主觀不適 RPE 值.....	88
圖 4-22 各溫溼度下執行輕中工作之呼吸防護具吸氣困難程度	88
圖 4-23 各溫溼度下執行輕中工作之呼吸防護具吐氣困難程度	89
圖 4-24 各溫溼度下執行輕中工作之呼吸防護具內溫度不適程度	89
圖 4-25 各溫溼度下執行輕中工作之呼吸防護具內流汗不適程度	90

圖 4-26 各溫溼度下執行輕中工作之呼吸防護具整體不適程度	90
圖 4-27 各溫度下耗氧量對工作時心跳的影響	91
圖 4-28 各溫度和濕度下耗氧量對工作心跳的影響	92
圖 4-29 整體不適對工作心跳相關圖	95
圖 4-30 整體不適對最大耗氧量百分比相關圖	95
圖 4-31 整體不適對吸氣時間相關圖	96
圖 4-32 整體不適對面罩內溫度相關圖	96
圖 4-33 各溫溼度下執行輕中工作之工作時心跳	104
圖 4-34 各溫溼度下執行輕中工作之工作心跳	104
圖 4-35 各溫溼度下執行輕中工作之心率儲備百分比	105
圖 4-36 各溫溼度下執行輕中工作之吸氣壓力	108
圖 4-37 各溫溼度下執行輕中工作之吐氣壓力	108
圖 4-38 各溫溼度下執行輕中工作之呼吸頻率	112
圖 4-39 各溫溼度下執行輕中工作之吸氣時間	112
圖 4-40 各溫溼度下執行輕中工作之吐氣時間	113
圖 4-41 各溫溼度下執行輕中工作之分通氣量	116
圖 4-42 各溫溼度下執行輕中工作之潮氣容積	116
圖 4-43 各溫溼度下執行輕中工作之 V_T/VC	117
圖 4-44 在各溫溼度下執行輕中工作之耗氧量	120
圖 4-45 各溫溼度下執行輕中工作之耗氧量百分比	120
圖 4-46 各溫溼度下執行輕中工作之單位體重耗氧量	121
圖 4-47 各溫溼度下執行輕中工作之新陳代謝量	121
圖 4-48 各溫溼度下執行輕中工作通氣當量	122
圖 4-49 配戴各口罩執行輕中工作在各溫溼度下之口罩內溫度	124
圖 4-50 配戴各口罩執行輕中工作在各溫溼度下之血氧濃度	124

圖 4-51 呼吸防護具之主觀不適問項總平均分布圖	126
圖 4-52 各溫溼度下執行輕中工作之呼吸防護具主觀不適 RPE 值	127
圖 4-53 各溫溼度下執行輕中工作之呼吸防護具吸氣困難程度	128
圖 4-54 各溫溼度下執行輕中工作之呼吸防護具吐氣困難程度	128
圖 4-55 各溫溼度下執行輕中工作之呼吸防護具內溫度不適程度	129
圖 4-56 各溫溼度下執行輕中工作之呼吸防護具內流汗不適程度	129
圖 4-57 各溫溼度下執行輕中工作之呼吸防護具整體不適程度	130
圖 4-58 各溫度下各溫度下耗氧量對工作時心跳的影響	131
圖 4-59 整體不適對呼吸頻率相關圖	134
圖 4-60 整體不適對面罩內溫度相關圖	134
圖 4-61 整體不適對吸氣壓力相關圖	135
圖 4-62 整體不適對工作心跳相關圖	135
圖 5-1 各 WBGT 下配戴全面式面罩與對照面罩的工作時心跳變化平均值	143
圖 5-2 各 WBGT 下配戴無閥與有閥 N95 口罩的工作時心跳變化平均值	144

英文縮寫全名與中文名稱

縮寫	全名	中文名稱
%VO _{2max}	Percentage of maximal oxygen Consumption	最大耗氧量百分比
%HRR	Percentage of Heart Rate Reserve	心率儲備百分比
BF	Breathing Frequency	呼吸頻率
EQ _v	Ventilatory Equivalent	通氣當量
HR _{work}	Heart Rate at working	工作時心跳
HR _{max}	Maximal Heart Rate	最大心跳
M	Metabolic Rate	新陳代謝率
MVV ₁₅	Maximum Voluntary Ventilation over 15 sec	15 秒內自主最大通氣量
PIP	Peak Inspiratory Pressure	吸氣壓力
PEP	Peak Expiratory Pressure	吐氣壓力
RC	Control Mask	對照面罩
RF	Full-facepiece Respirator	全面式面罩
RH	Relative Humidity	相對濕度
RNV	N95 face mask without valve	無閥 N95 口罩
RPE	Subjective rate of perceptual exertion	主觀不適程度
RT	Type of Respirator	呼吸防護具型式
RWV	N95 face mask with valve	有閥 N95 口罩
SO ₂	Oxygen Saturation	血液含氧量
ET	Environmental Temperature	環境溫度

英文縮寫全名與中文名稱（續）

縮寫	全名	中文名稱
Ti	Inspiratory Time	吸氣時間
Te	Expiratory Time	吐氣時間
Tm	Temperature in Mask	面罩內溫度
VC	Vital Capacity	肺活量
V _E	Minute Ventilation	分通氣量
VO ₂	Oxygen Consumption	氧氣消耗量
VO _{2mass}	Oxygen Consumption / mass	單位體重耗氧量
VO _{2max}	Maximal Oxygen Production	最大氧氣消耗量
V _T	Tidal Volume	潮氣容積
WBGT	Wet Bulb-Globe Temperature Index	綜合溫度熱指數
WL	Work Load	工作負荷
WP	Work Pulse	工作心跳

第一章 緒論

第一節 研究背景

營造一個安全舒適的工作環境，是職業安全衛生工作者最終的目標，但實際上危害風險是難以降低為零的，經過工程控制與管理後，若仍有較低濃度的危害物存在，個人防護具即成為可能保護工作者的最後一道防線了。呼吸防護具可以保護勞工不會吸入過量有害的物質，包括蒸汽、氣體、粉塵、煙霧、霧滴及煙或噴霧；或是提供乾淨的氣體（通常為一般空氣）給作業的勞工，而有些呼吸防護具也可以保證勞工所吸入的氧氣不會低於危險值⁽¹⁾。

在眾多呼吸防護具中，最令人熟知且輕易使用的便是密閉淨氣式濾毒罐面罩與 N95 口罩，在工業界，會用到高毒性溶劑或氣體的場所，或是有意外事故發生，如火災爆炸、儲槽發生洩漏或逃生之時，或是在濃度尚未達立即危害生命或健康之空氣中濃度值（Immediately Dangerous to Life or Health Concentrations, IDLHs）時，密閉淨氣式濾毒罐面罩是快速簡便的防護面罩，亦列屬於 C 級防護中的呼吸防護具。一般在生活中，輕便的單片口罩是最常見的基本防護具，其中以 N95 系列最具有效的過濾效果，廣泛使用於工業、醫療業等，可用來過濾非油性顆粒，如粉塵、霧滴等粒狀污染物，以及過濾生物性氣膠，美國也有規定 N95 及以上等級能做為預防肺結核感染之呼吸防護具（42 CFR Part 84）⁽²⁾。

國外研究指出，在評估為需使用呼吸防護具的場所，有提供呼吸防護具且員工確實有使用的僅有約 20%至 30%^(3,4)，而國內也有許多勞工抱怨配戴呼吸防護具會導致不舒服的情形，台灣自從嚴重急性呼吸道症候

群 (Acute Respiratory Syndrome, SARS) 流行之後，N95 口罩便開始普及為大眾所知及使用，但配戴後造成的不舒適感，一直影響著民眾的配戴意願，許多配戴過的人皆會有呼吸困難與悶熱的感覺而不願配戴，在日常生活或媒體上也常發現有戴上口罩卻因悶熱不舒服而調整出空隙之不安全行為，使得防護具無法發揮功效。

N95 口罩是最基本常見的呼吸防護具，常見於一般危害工作場所，但是對身體造成的生理負荷與配戴行為的研究卻不多，推測可能是由於常使用在毒性危害較低的場所，且吸氣與呼氣阻力較濾毒罐低，造成的生理負荷比研究較多的自攜式呼吸防護具輕，不過值得注意的是，在長時間使用後，或伴隨工作上需進行口語溝通時，口罩內的水分逐漸增加，使得罩體潮濕，吸氣與呼氣阻力相對變大，呼出的熱氣也難以消散，此時造成的生理負荷可能會增加，隨著作業內容與 N95 口罩型式的不同，變化可能也不一樣，這部分確實值得進行研究探討。

台灣地處亞熱帶，四面環海環境濕熱，在因各種限制而無法提供空調的工作場所中，悶熱是最常被抱怨的不舒服感覺，此時若再配戴呼吸防護具，其造成的生理負荷與主觀不適會比有空氣調節的環境中還嚴重，因此有必要進行研究。

第二節 研究之重要性

有關配戴密閉淨氣式濾毒罐面罩所造成之生理負荷研究資料較多，但 N95 口罩相關研究則相當缺乏，主觀不適方面則缺乏系統性之研究，而相關研究均指出其對使用者的配戴行為具有關鍵性的影響。

呼吸防護具使用大多在工程改善之後，仍具有相當程度的危害物暴露時的場所，而 N95 近年亦廣泛用於呼吸道疾病等空氣傳染病之生物性

危害的防範上，但是在防護具本身對人體造成不舒服的情況下，使用者往往會有不願意或不正確的配戴方式出現，若是在較為潮濕及溫熱的環境工作，在人體必須負擔熱造成負荷的情況下，再加上呼吸防護具本身造成的負擔，想必使用者更不願意配戴，因此有需要評估在濕熱的負荷下，呼吸防護具對人體造成的影響，得知造成不適的關鍵之處，供日後改善控制之參考。

第三節 研究目的

本研究分為二部分：

(1) 全面式面罩在濕熱環境下造成生理負荷與主觀不適之影響評估

以暴露艙模擬溼熱的穩定工作環境，請受試者配戴工業常用之密閉淨氣式全面式面罩搭配化學式濾毒罐，與一低吸氣與呼氣阻力之對照四分面罩，執行模擬定量工作負荷的腳踏車測功儀踩踏作業，工作負荷為分為輕度工作（耗氧量為 0.5~1.0 L/min）和中度工作（耗氧量為 1.0~1.5 L/min），在控制工作與休息時間的條件下，紀錄受試者在作業過程的心跳、呼吸等生理指標與主觀感覺，並與非濕熱之一般溫濕度環境下的實驗結果做比較，來評估溼熱環境的影響。

(2) 無閥與有閥 N95 口罩在濕熱環境下造成生理負荷與主觀不適之影響評估

與第一部份實驗條件相同，使用的呼吸防護具換成無閥與有閥 N95 口罩，執行模擬作業並紀錄生理指標與主觀數據進行比較與評估。

第二章 文獻探討

第一節 濕熱環境與呼吸防護具的相關理論

2.1.1 濕熱環境對人造成的生理負荷

一般而言，在溫濕熱環境下工作，除了本身的工作負荷外，同時必須負擔熱造成的負荷，通常此類環境的工作者的新陳代謝率比一般還高，尤其在高濕高溫的作業下，人的呼吸、脈搏、血壓等都會變化，造成身體上的疲勞與不舒服，此時若再配戴呼吸防護具，則更會加重身體上的負荷對身體的生理負荷，而具有濕熱環境的工作如鋼鐵業、地下工程、汽車塗裝、陶瓷業、採礦作業、造紙業、染整業、洗衣業等⁽⁵⁾，皆有可能會使用到呼吸防護具。

高溫作業在一般的工業界是存在的，而高溫作業亦可能伴隨著重體力的勞動，在作業過程中，身體內部產生的熱，會由於外界溫度高的關係而不易散發出來，若又處於高濕的環境下，汗腺分泌的汗水會因濕度高而不易蒸發，進而妨礙了散熱與排汗，熱量累積在體內，使身體需額外負擔這部分熱的影響，在超過人體可以忍受的極限之後，將會降低工作的效率，身體也會有不舒服的感覺，甚至引發一些與熱相關的疾病或症狀，以下主要參考 NIOSH (The National Institute for Occupational Safety and Health) (1973)⁽⁶⁾ 和 Chongvisal (1980)⁽⁷⁾ 之文獻加以說明。

2.1.1.1 濕熱的來源

在工作時，會影響人體的熱源主要有兩個來源，分別為環境產生的熱量和氣，以及身體產生的熱，分別說明如下：

(1) 環境產生的熱量與水氣

常見的熱量主要來源：操作設備或鍋爐等容器外表面的散熱量、金屬冷卻散熱量、電動設備與焊接設備散熱量、照明設備、加熱設備水槽等。常見的水氣來源：水槽或操作設備的潮濕表面、沿地面流動的熱水表面的蒸發量、機器冷卻液的散濕量、燃料燃燒過程產生的水氣。由於是直接和人體接觸，因此會影響到人體與外界環境的熱交換，也造成不舒服的感覺。

(2) 身體產生的熱

體內產生熱量的來源是身體進行新陳代謝時產生的熱，細胞、組織、器官等運作都會進行氧化作用，養分或葡萄糖燃燒的新陳代謝過程都會產生熱，一般成年男性（體重 70Kg，體表面積 1.8m^2 ）的基礎代謝量（休息狀態下的新陳代謝量）為 1.5 Kcal/min，American Industrial Hygiene Association (AIHA) 定義執行輕度工作時為 2.5~5 Kcal/min，中度工作為 5~7.5 Kcal/min，重度工作則為 7.5~10 Kcal/min (AIHA, 1971)⁽⁸⁾，因此一位執行中度工作的勞工一天工作 8 小時，則其工作期間的新陳代謝量至少為 2400 Kcal，亦即每小時至少會產生 300 Kcal 的熱量。

2.1.1.2 人體與環境的熱交換

人體與環境間熱量的交換途徑包括：對流(Convection, C)、傳導(Conduction, K)、輻射(Radiation, R)、蒸發(Evaporation, E)，簡易說明如下：

(1) 對流

對流是指皮膚表面的溫度與周圍空氣的溫度間，因溫度差而引發氣

體流動，藉此達到移除體內熱量的過程，並且會受到與環境風速所影響，若環境風速增加，熱量就能夠更迅速的排除。

(2) 傳導

傳導是發生於直接與皮膚接觸時熱得以傳遞的過程，熱量會先藉由傳導傳遞到皮膚表面上極薄的一層空氣層中，再以對流或其他的方式逸散到環境中。在穿著衣物的部分，熱量則是先傳導至衣物，再傳導到衣物表面上的空氣薄層，若皮膚有與工作台或其他固體接觸時，也會發生熱量的傳導，不過一般來說，傳導佔熱交換的量相當少。

(3) 輻射

熱的輻射不需靠介質，是直接以電磁波的方式傳遞出去的，當身體表面溫度和周圍固體的表面溫度有差距時，就會有熱輻射傳遞，而其周圍環境的熱交換量與皮膚表面溫度和環境的固體表面溫度的四次方差值成正比的關係。

(4) 蒸發

熱量可以藉由皮膚表面水的蒸發而發散到周圍環境中，最常見的是發生在汗腺分泌的汗水進行蒸發時的過程，蒸發量與皮膚表面的蒸氣分壓和環境空氣的水蒸氣壓之差值成正比關係，空氣的水蒸氣壓小於皮膚表面的蒸氣分壓時，汗水或皮膚表面的水氣可以順利蒸發。在濕熱環境下，蒸發會受到環境中濕度的影響而限制水分蒸發的量，溼度上升時環境中空氣的水蒸氣壓會增加，當等於或大於皮膚表面的蒸氣分壓時，皮膚表面的汗水或水氣便會受壓力影響而不易蒸發。

人體在舒適的環境下，休息時曾經會由呼吸道和皮膚散發水分，同

時也會帶走熱量，此情況散發的水分約為 30 g/hr，熱量則佔基礎代謝量約 25%。這種熱量的損失因不會造成體溫太大的變化，屬於不可感知熱損，而傳導、對流、輻射造成的體溫變化較易感覺得出來，屬於可感知熱傳遞。

(5) 熱蓄積 (Heat storage, S)

熱量在體內的蓄積程度，亦為上述各個熱量在人體與環境中交換的過程中，一定時間內存在人體內的熱量，其數學模式為 $S = (M - W) \pm C \pm K \pm R \pm E$ ，單位為 J/hour，其中 M 表身體產生的代謝熱量，W 為作業時對外作的功，C、K、R、E 分別為人體與環境進行對流、傳導、輻射、蒸發時所交換的熱量，若 S 值接近 0 表示感覺舒適，負值時感覺漸涼，正值時感覺漸暖⁽⁹⁾。

2.1.1.3 熱環境對人體的影響

熱會改變人的生理狀況，但長久的暴露則會有適應性，而適應的快慢與暴露熱的程度及持續時間有關，人體的體溫調節機制會因應做出適當的反應。

2.1.1.3.1 人體對熱的反應

人體的體溫調節中樞在下視丘，當體內的熱產生速度大於散熱速度時，就會對體溫的變化做出適當的反應，主要有三：

(1) 增加血流量與心跳率

人體的皮膚是最主要的散熱區，身體產生的熱快速運送到皮膚的微血管，才能立即的進行對流、傳導、蒸發等散熱方式，因此體溫上升時，

皮膚的血管會擴張以增加血液的循環速度，皮膚表面溫度增高也有助於體內熱量的散發。當環境溫度低於皮膚溫度時，熱可以很順利的散發，若環境溫度等於或大於皮膚溫度時，環境的熱量反而會藉此途徑快速的傳到體內。

增加血流量時心跳率也會跟著上升，才能提供充足的循環速度，因此心跳率可作為熱壓力的指標，同時也代表了濕熱環境、工作負荷、體內溫度的上升的綜合影響。

(2) 出汗

當傳導、對流、增加血液流量等方式無法將多餘的熱量排除時，身體便會增加流汗量，以大量的蒸發來帶走更多熱量，一公升的汗水蒸發可帶走 500~600 Kcal 的熱量。汗水蒸發的過程會受到皮膚表面的水蒸氣壓、風速、濕潤的體表面積所影響，若在潮濕的環境下，汗水的蒸發受到限制，體溫調節機制則會激發更多汗腺，增加濕潤體表面積。

(3) 增加呼吸頻率

增加呼吸頻率可以呼出更多的水氣，將呼吸循環系統中及體內產生的熱量帶走。

(4) 體溫（核心溫度）

一般正常人的體溫是 $37\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ，隨著時間的不同會有稍微的變化，下午會高於清晨時的體溫，工作時會高於休息時的體溫，世界衛生組織建議工作人員執行作業時體溫不應超過 38°C 。

當身體散發的熱量小於獲得的量時，最直接的反應就是體溫的上

升，當上升到一臨界值時，可能會對體溫調節系統造成傷害，嚴重者甚至會干擾散熱機制，降低流汗率，因此體溫可作為一個身體受到熱危害的指標。

2.1.1.3.2 熱引發的疾病

當處於熱環境中身體的熱無法散發而蓄積在體內，且人體的生理反應無法確實處理熱的蓄積時，可能會造成熱相關的疾病發生，主要的有⁽⁹⁾：

- (1) 熱衰竭 (Heat exhaustion)：血管擴張，心輸出血的血壓無法達到要求，使得大腦皮質血液供應不足導致虛脫，主要是因環境悶熱、濕度太高、不通風、出汗過多造成體內水分及鹽分不足導致。
- (2) 失水 (Dehydration)：體內水分的流失使血液量減少，引起熱衰竭，失水過多會導致細胞功能異常。
- (3) 熱痙攣 (Heat cramps)：在高溫環境中大量流汗，使得身體的鹽分降低，持續下去又補充大量水分時會使得體內電解質濃度不平衡，引起肌肉的疼痛或痙攣等現象。
- (4) 中暑 (Heat stroke)：人體的體溫調節中樞因過度負荷而失常，無法控制體溫，汗腺失去排汗功能等。
- (5) 熱疹 (Prickly heat)：皮膚上的汗水若不易蒸發，使汗管阻塞、汗腺發炎，皮膚上產生紅點紅疹。

2.1.1.3.3 對熱的忍耐力

(1) 熱適應

熱適應是指讓身體能夠習慣在熱環境下正常工作的生理調節效果。一般健康人當初在熱環境下工作時，會有心跳加速和體溫升高等難以忍

受的狀況，但連續暴露在熱環境下幾天之後，身體調節機制會慢慢適應而保持正常生理狀況，可以讓人回復到原本一般環境下的工作效率。

NIOSH⁽⁶⁾有對執行高溫作業的員工訂定熱適應的方法與規範，新進員工都要有一週的熱適應期，第一天暴露到熱環境的時間為 50%，之後每天增加 10%的工作時間，至少一週後身體便可適應這環境，至於長久沒執行高溫作業的員工，超過 9 天以上皆需重新進行熱適應，第一天時間為 50%，之後每天增加約 20%，重新適應所需要的日數較短。

(2) 熱適應的特徵：

- 工作時心跳速率不會明顯上升
- 皮膚溫度和體溫（核心溫度）較低
- 發汗速率增加
- 蒸發效率增加
- 汗水中含鹽分降低

(3) 對熱的忍受力

每個人對熱的忍受力皆不同，主要會受到生理狀況、工作負荷能力、年齡、性別、體表面積與體重的比值、服用藥物習慣、生活習慣、熱適應等影響。

2.1.1.4 熱環境指標

NIOSH 建議男性的工作環境勿超過 26.1°C 的 WBGT、女性則為 24.4°C，若超過則要給予防護設施，並保持工作人員的體溫不超過 38°C。表 2-1 為各著名研究機構對熱壓力的建議 WBGT 值⁽¹⁰⁾，表 2-2 為 ACGIH 對高熱環境的建議工作-休息時間比⁽¹¹⁾，兩表皆適用於已有熱適應的人。

表 2-1 相關機構對熱壓力的建議溫度允許暴露值 (°C, WBGT)

Work Load	ACGIH	AIHA	OSHA	ISO	NIOSH	我國 ⁽¹¹⁾
Resting (Kcal/min)		32.2 (1.67)		33 (≤1.67)		
Light (Kcal/min)	30 (1.67~3.33)	30 (3.33)	30.0 ^A , 32.2 ^B (<3.33)	30 (1.67~3.35)	30 (<3.33)	30.6 (<3.33)
Moderate (Kcal/min)	26.7 (3.35~5.83)	26.7 (5.00)	27.8 ^A , 30.6 ^B (3.35~5)	28 (3.35~5.17)	28 (3.35~5)	28.0 (3.33~5.83)
Heavy (Kcal/min)			26.1 ^A , 28.9 ^B (>5.02)	25 ^A , 26 ^B (5.17~6.72)	26 (5.02~6.67)	25.9 (>5.83)
Very Heavy (Kcal/min)	25 (5.83~8.33)			23 ^A , 25 ^B (>6.72)	25 (6.68~8.33)	

^ALow velocity, ^BHigh velocity

出處：AIHA, 2003⁽¹⁰⁾

表 2-2 American Conference of Industrial Hygienists (ACGIH) 規定熱暴露下溫度之 TLV 值 (°C, WBGT)

Work Load	Work-Rest regimen			
	Continuous work	75%work-25% rest, each hr.	50%work-50% rest, each hr.	25%work-75% rest, each hr.
Light (≤4.16 Kcal/min)	27.5	30.5	31.5	32.5
Moderate (4.16~5.74 Kcal/min)	27.5	28.5	29.5	31
Heavy (5.74~7.46 Kcal/min)	26	27.5	28.5	30
Very Heavy (>7.46 Kcal/min)			27.5	29.5

出處：ACGIH, 2006⁽¹²⁾

2.1.2 呼吸防護具造成的影響

呼吸防護具初期原是用於控制職業病，NIOSH 在 1970 年建議可以用來防止環境空氣造成的危害。

2.1.2.1 呼吸防護具的種類

以下參考 NIOSH⁽¹³⁾之文獻整理說明。呼吸防護具以配戴面罩時的密合面 (inlet covering) 之構造為依據，可分為密閉式 (tight-fitting) 與寬鬆式 (loose-fitting) 兩種，此二種不同構造與使用時呼吸空氣之來源有關，因而通常被分別對應到淨氣式呼吸防護具 (air-purifying respirators) 與供氣式呼吸防護具 (atmosphere supplying respirators)，其中淨氣式呼吸防護具大多為密閉式，而供氣式呼吸防護具則大多為寬鬆式；密閉淨氣式呼吸防護具包含淨氣單元 (air-purifying element) 與面罩 (facepiece) 兩部分，依據其淨氣單元所過濾危害物型式不同，可分類為：

- (1) 使用過濾器 (filter) 來過濾粉塵 (dust)、煙霧 (fume)、及 (或) 霧滴之粒狀物過濾呼吸防護具 (particulate filtering respirators)
- (2) 使用濾毒罐 (canister/cartridge) 來去除有害蒸氣和氣體之蒸氣與氣體脫附呼吸防護具 (vapor and gas removing respirators)。

密閉淨氣式呼吸防護具所使用之面罩依據其包覆範圍可分為僅罩住口和鼻之四分面罩 (quarter-mask)、包覆範圍從鼻子到下巴之半面式面罩 (half-mask) 與覆蓋的範圍大約從頭部髮際線到下巴以下之全面式面罩 (full-facepiece) (圖 2-1 至 2-3)，此外為了降低使用密閉淨氣式呼吸防護具之呼吸阻力 (breathing resistance)，亦有一類動力淨氣式呼吸防護具 (powered air-purifying respirator)，它是用一個抽氣機將汙染的空氣經由過濾裝置移除有毒物質，並將過濾後的空氣送至面罩內，但其面罩通常

為寬鬆式（圖 2-4）。

本研究所針對之呼吸防護具係以一般工業最常用之濾毒罐式面罩與 N95 口罩為主，此兩種面罩均屬非動力（non-powered）密閉淨氣式呼吸防護具，其中濾毒罐式面罩罩體包含全面式、半面式與四分面罩。N95 口罩之 N 表示為非油性顆粒，95 代表其過濾的效能為 95%，因此 N95 表示其可以過濾非油性顆粒效能達 95%，另外有兩種 R 與 P 系列口罩，可過濾油性顆粒⁽²⁾，其中 R 級的防護油性顆粒的效能僅八小時，而 P 級則無此限制，但要視使用場合而定。N95 口罩是屬於非動力密閉淨氣式四分面罩一種，其面罩罩體本身即為淨氣單元，其過濾對象為非油性顆粒，因此亦屬於粒狀物過濾呼吸防護具，而 N95 口罩除了防塵之外，也可以作為醫護人員防護肺結核及嚴重急性呼吸道症候群（SARS）感染之防護，因此是很常被使用的呼吸防護具。



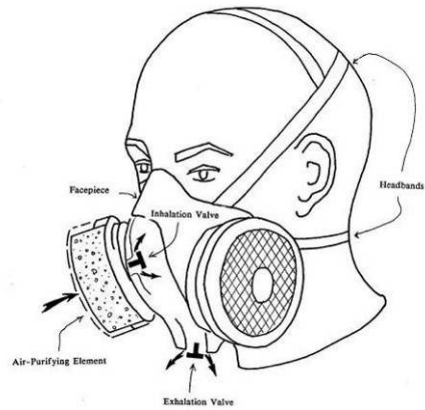
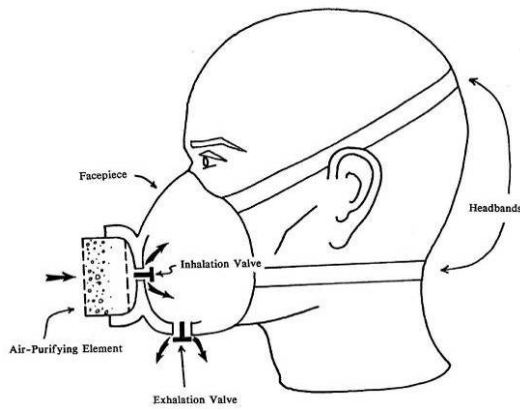


圖 2-1 四分面罩 (Quarter-mask) 圖 2-2 半罩式面罩 (half-mask)

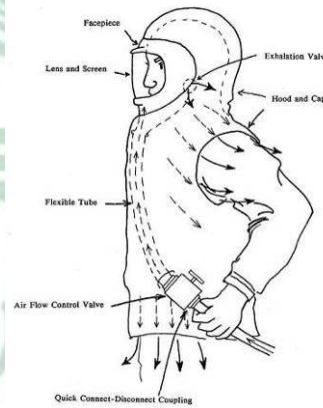
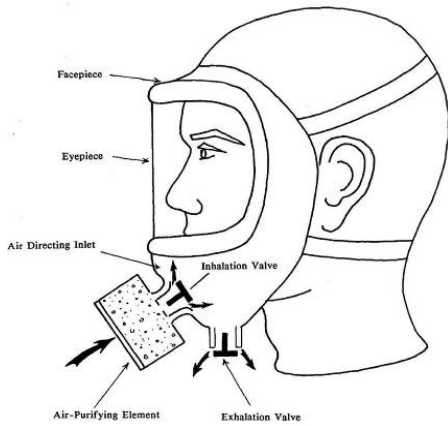


圖 2-3 全罩式面罩 (full-facepiece) 圖 2-4 寬鬆式 (Loose-Fitting)
 圖片出自 NIOSH guide to Industrial respiratory protection⁽¹³⁾

2.1.2.2 呼吸防護具相關法規

NIOSH⁽²⁾對呼吸防護具的研發與使用提出了對人體適合的呼吸阻力，以流量為 85 ± 2 L/min 時的呼吸阻力值定為標準，如下表 2-3 所示。此處的建議值適用所有 N、P、R 之口罩，其中吐氣阻力比吸氣阻力低是考量到人在進行吐氣時，體內肺臟的壓力會大於體外壓力，為了減少吐出時負擔呼吸防護具給予的額外阻力，故將呼氣的阻力訂得較低。

表 2-3 NIOSH 針對 N、P、R 之口罩之吸氣與吐氣阻力規定

	Resistance at flow rate = 85 ± 2 L/min
吸氣阻力(Inhalation resistance)	35 mmH ₂ O
吐氣阻力(exhalation resistance)	25 mmH ₂ O

本研究有對全罩式面罩與不同形式 N95 口罩之呼吸阻力作比較，實驗所用的呼吸防護具之吸氣與吐氣阻力關係在第三章有列入實驗前的基本量測中，並在第四章第一節呈現結果，與上述 NIOSH 訂定的吸氣及吐氣壓力規定值比較，研究使用的呼吸防護具皆合乎規定。

2.1.2.3 呼吸防護具導致的生理負荷與主觀不適對使用者配戴情形的影響

Louhevaara⁽¹⁴⁾在 1984 年針對呼吸防護具發表的綜合回顧研究指出，使用者不願配戴呼吸防護具的原因有三大類，包括(1)配戴時因為呼吸阻力 (breathing resistance)、無效腔 (dead space) 及防護具本身重量所增加之生理負荷，與(2)使用者本身相關之心理因子 (包含主觀不適)，及(3)因環境與防護具本身所造成之熱負荷 (thermo stress)，分別說明如下：

2.1.2.3.1 主要造成生理負荷之因子

第一類主要是來自呼吸防護具本身的物理特性所引起，說明如下：

(1) 額外吸氣/吐氣阻力

呼吸阻力 (R) 是指人在呼吸時，氣體流動造成的壓差 (Δp) 和單位時間內氣體的流量 (f) 之比值，即 $R = \Delta p / f$ ⁽¹⁵⁾，使用呼吸防護具時，吸氣時罩體內壓差為負值，吐氣時為正值，而單位時間流量與壓差呈正相關，單位時間內流量越大，流動造成的壓差越大，隨著氣體流量的增加，呼吸阻力越大時，其罩體內的壓力增加的越快⁽¹⁶⁾，但不是呈線性相關^(16, 17, 18)，所以一般呼吸防護具有標示呼吸阻力時，通常也有對應的氣體流量。

配戴防護具所產生的呼吸阻力是造成生理負荷增加的主因，亦為以往研究呼吸防護具之生理負荷評估最多的因子^(16, 17, 22, 23, 24)，一般成年人配戴呼吸防護具時的呼吸阻力約在 0.6 至 2.3 $\text{cmH}_2\text{O} \times \text{sec/liter}$ ⁽¹⁹⁾，而當呼吸阻力在休息時達到正常呼吸阻力的 3 倍時，會有呼吸困難 (dyspnea) 之現象⁽¹⁹⁾。

為了能評估出呼吸阻力對生理負荷增加之影響，以往研究大多以濾毒罐式之呼吸防護具為主，並對濾毒罐之呼吸阻力加以改變（通常以改變進氣口徑之方式）以評估其影響，而且大多以吸入的呼吸阻力 (inspiratory resistance) 為主，呼氣時由於防護具大多設置低阻力之單向出氣閥，影響較低而較少被評估，重要相關研究中所採用的呼吸阻力範圍在 0.3 至 84.7 $\text{cmH}_2\text{O} \times \text{sec/liter}$ ，參閱表 2-1，其中 Heus⁽¹⁵⁾與 Johnson⁽¹⁶⁾等人研究為採用改造之進氣單元，故能評估較高之吸氣阻力影響，而 Sulotto⁽²¹⁾，Jetté⁽²²⁾與 Lerman⁽²³⁾等人之研究為採用非改造之進氣單元，其吸氣阻力在 0.3 到 4.6 $\text{cmH}_2\text{O} \times \text{sec/liter}$ 間。

表 2-4 重要相關研究之設定條件

吸入阻力 (cmH ₂ O s l-1)	實驗作業負荷	受試者		Reference
		人數/性別	年紀 (歲)	
2.45 – 84.7 ^A	Maximum performance test	9 位男性	32±9.5	Heus ⁽¹⁵⁾ 等，2004
0.78 – 7.64	80 to 85% of max VO ₂ to voluntary stop	6 男 6 女	25.2±4.9	Johnson ⁽¹⁶⁾ 等，1999
4.2 ^B	Progressive exercise to 90% max heart rate	30 位男性	25(23-46)	Sulotto ⁽²¹⁾ 等，1993
2.49 – 3.44 ^C	Treadmill test to exhaustion	12 位男性	23±3	Jetté ⁽²²⁾ 等，1990
0.3 – 4.6	80% max VO ₂	20 位	19	Lerman ⁽²³⁾ 等，1983

^A 數據經過換算，0.24 至 8.3 kPa s/L，1kpa = 10.2 cmH₂O

^B 由文獻提供之圖計算所得 (35 mmH₂O at 50 L/min)

^C 數據經過換算，0.13 至 0.18 kPa at 32 L/min

資料來源：本研究整理

評估呼吸阻力造成生理負荷時常用的生理指標如表 2-2 所示，Heus 等⁽¹⁵⁾之研究發現呼吸阻力增加時，TTE 顯著下降，VO₂、VCO₂、V_E 與 BF 並無顯著改變。Johnson 等⁽¹⁶⁾發現呼吸阻力增加會導致過度換氣 (hyperventilation) 之現象，TTE 顯著下降，以及顯著較低的 V_E 與 VO₂，Sulotto 等⁽²¹⁾之研究指出呼吸阻力增加時，BF、V_E、VO₂、VCO₂、VO_{2max} 會顯著下降，HR 則無顯著改變。Jetté 等⁽²²⁾之研究因比較的呼吸阻力差異較小，因此呼吸阻力增加時，包括 TTE、VO_{2max} 與 HR 等均無顯著差異。Lerman⁽²³⁾等之研究發現呼吸阻力增加時，TTE、HR 與 V_T 下降，PIP 則會

上升。

表 2-5 評估呼吸阻力造成生理負荷時常用的生理指標

生理負荷指標	定義說明
● VO ₂ ：氧氣消耗量 (Oxygen Consumption)	指人體活動消耗氧氣的量，單位為 L/min 或 ml/min。通常實驗測量呼吸生理負荷會測量受測者在休息的耗氧量及運動時的耗氧量，以比較運動過程中是否有顯著變化。
● VO ₂ max：最大氧氣消耗量 (Maximal Oxygen Consumption)	劇烈運動時，人體能夠攝取氧氣最大的量，這時氧氣的消耗量不會再增加，單位為 L/min。一般人體最大的耗氧量為 4.6L/min。
● VCO ₂ ：二氧化碳產生量 (Carbon Dioxide Production)	指人體活動時每分鐘產生二氧化碳的量，單位為 L/min。
● V _E ：分通氣量 (Minute Ventilation)	每分鐘呼吸的氣體容積量，單位為 L/min。
● HR：工作時心跳 (Working Pulse)	在執行作業時的心跳頻率，單位為 bpm (Beat per minute, beat/min)。
● WP：工作心跳 (Work Pulse)	因為執行工作而增加的心跳，將工作時心跳減去休息時心跳即為工作心跳，單位為 bpm。
● BF：呼吸頻率 (Breathing Frequency)	呼吸的頻率，單位為 cycle/min。
● PIP：吸氣壓力 (Peak Inspiratory Pressure)	吸氣時面罩內的壓力，單位為 mmH ₂ O。
● PEP：吐氣壓力 (Peak Expiratory Pressure)	吐氣時面罩內的壓力，單位為 mmH ₂ O。

生理負荷指標	定義說明
<ul style="list-style-type: none"> ● PIP/PEP：呼吸時面罩內呼氣或吸氣時面罩內之最大壓力。之最大壓力 (Peak Inspiratory / Expiratory Pressure) 	<ul style="list-style-type: none"> 呼氣或吸氣時面罩內之最大壓力。
<ul style="list-style-type: none"> ● Dead space：無效腔 	<ul style="list-style-type: none"> 在本研究中指在呼吸防護具內無法進行氣體交換的空間。
<ul style="list-style-type: none"> ● RE：呼吸當量 (Respiratory Equivalent) 	<ul style="list-style-type: none"> 由 VO_2 及 VCO_2 計算所得，其計算公式為 VCO_2/VO_2，意義為每消耗每一公升的氧氣產生二氧化碳的量。
<ul style="list-style-type: none"> ● TTE：放棄時間 (Time to Exhaustion) 	<ul style="list-style-type: none"> 受測者從開始做負荷運動到最後覺得體力透支，無法繼續並停止，所持續的時間。
<ul style="list-style-type: none"> ● EQ_v：通氣當量 (Ventilatory Equivalent) 	<ul style="list-style-type: none"> 由分通氣量及氧消耗量計算所得，其計算公式為：$EQ_v = V_E/VO_2$，意義為每消耗一公升的氧氣需要的分通氣量
<ul style="list-style-type: none"> ● V_T：潮氣容積 (Tidal Volume) 	<ul style="list-style-type: none"> 每次呼氣或吸氣時的容積，通常是測量一段時間（如 1 分鐘）內的通氣量除以呼吸次數得出
<ul style="list-style-type: none"> ● SO_2：血氧飽和度 (Oxygen Saturation) 	<ul style="list-style-type: none"> 血紅素含氧的飽和度，測量方式分侵入式和非侵入式，其中以侵入式的較為準確，而非侵入式的是利用紅外線穿透血管組織，偵測波長衰減的改變量來得知血液中氧氣的飽和度。

(2) 無效腔

無效腔指呼吸過程中吸入之氣體無法到達肺泡以進行氣體交換之空

間，在人體的氣管與肺部也有無效腔的存在。這些無效腔所囤積的氣體，有較高濃度的二氧化碳及較低濃度的氧氣，因此當我們呼吸時，所吸入的空氣為吸入的空氣再加上無效腔內的氣體混合，所需的氧濃度會被無效腔中的二氧化碳所稀釋。因此無效腔不但會減少可吸入的氣體體積，還會減少可利用的氧氣濃度。呼吸防護具依其罩體特性（大小、有無內罩），會增加無效腔的體積，因為二氧化碳會無法完全排出，所以下次呼吸時也會跟著被吸入，造成氧氣濃度變小，二氧化碳濃度提高，進而影響到人體，使得吸氣較困難、工作的執行能力降低等，因此呼吸防護具的無效腔體積越大，配戴者每次的呼吸分通氣量也越大，呼吸壓力也有增加的趨勢、呼吸時間縮短，但在工作時心跳的部分則不明顯^(14, 24)。

(3) 防護具重量

與供氣式的呼吸防護具比起來，如自攜式呼吸防護具（Self-contained breathing apparatus, SCBA）重量在 10 到 15 公斤左右，本研究針對的非動力密閉淨氣式之呼吸防護具，重量輕了許多，但仍會在 N95 和全面式面罩的配戴上進行主觀不適的重量影響與評估。

2.1.2.3.2 心理

Morgan^(25,26)在 1983 年針對配戴呼吸防護具的心理問題進行詳細之回顧，其研究指出雖然有關配戴呼吸防護具之主觀不適（subjective discomfort）缺乏系統性之研究，但幾乎相關研究均同意配戴呼吸防護具時之主觀不適對使用者之配戴行為具有關鍵性影響，研究指出會受到使用者之個人心理特質（Psychological characteristics）所影響，這些特質包括性別外向性（extroversion）、神經質（neuroticism）、焦慮（anxiety）與憂鬱（depression）所影響。

Bently⁽¹⁸⁾之研究中利用心理生理問項(psychophysical category scale)來評估主觀生理指標與主觀不適之關連性，其研究發現受測者對配戴呼吸防護具之主觀不適主要受到吸氣時面罩內壓力 (PIP) 之影響，並建議若 PIP 低於 17cmH₂O 時，90%使用者不會感受到主觀不適。

2.1.2.3.3 熱負荷

在濕熱環境下工作，會使得人體的生理負荷增加，相關研究指出 (James, 1984)⁽²⁷⁾，高溫 43.3°C 相較於常溫 25°C 之下，使用者配戴全罩式呼吸防護具相較於未配戴呼吸防護具，其工作心跳平均每分鐘增加 8.4 bpm (低工作負荷) 到 21.4 bpm (高工作負荷)，而口腔溫度平均上升 0.4 (低工作負荷) 至 2.3 °F (高工作負荷)。在配戴供氣式面罩時，主觀的可接受程度是由環境溫度決定，但會受到口罩內溫濕度而的影響，潮濕的空氣會降低面罩的可接受程度 (Nielsen, 1987)⁽²⁸⁾。本計畫先前研究也發現，N95 在配戴時口罩內溫度是造成主觀不適的主要來源。

第二節 濕熱環境與呼吸防護具的文獻回顧

2.2.1 濕熱環境下的生理負荷

Chompusakdi⁽⁵⁾等研究在不同溫度、濕度、風速、輻射熱下執行 6 種負荷的腳踏車測功儀作業，每次實驗時間 45 分鐘，所消耗的能量為 200 Kcal/hr，約為輕度至中度作業之間，並將生理指標與 11 種熱壓力指數作相關性統計，結果發現數據型式的熱壓力指數與平均皮膚溫度有極佳的關連性，而百分比型式的熱壓力指數與心跳率和流汗率有極佳的關連性。研究者提出 WGT (The Wet Globe Temperature) 和 CET (The Corrected Effective Temperature) 是用來初步調查工作場所內濕熱環境最好的指標。

2.2.2 濕熱環境下配戴呼吸防護具導致的生理負荷

James 等 (1984) ⁽²⁷⁾ 研究在環境溫度為 25°C 和 43.3°C 下，配戴供氣式全面式面罩、半面式面罩和無配戴面罩執行負荷為 58W 和 116W 的跑步機測功儀 1 小時的實驗，結果發現配戴全面式面罩時會顯著增加心跳、分通氣量、耗氧量、新陳代謝率、口腔內溫度，並且在執行輕度和重度工作時，在熱環境下配戴呼吸防護具時對熱的忍耐力會顯著下降，尤其以全面式面罩更明顯，研究者認為降低其無效腔可以改善此情況，並建議應該增加休息次數或限制工作時間，以減少工作者的生理負荷。

Nielsen 等 (1987) ⁽²⁸⁾ 研究在溫度為 7、16、25°C 的環境下配戴主動供氣式口罩，執行次最大耗氧量的踩踏腳踏車測功儀 15 分鐘的實驗，供氣口罩能提供受者試呼吸的空氣，提供之溫度為 22、27、33°C，濕度為 61% 和 86%，以問卷的主觀可接受程度作為評估。結果發現，在溫暖的環境下，提供的空氣溫度小於 27°C 為完全可接受，在較冷的環境下，提供的空氣溫度大於 27°C 為完全可接受，至於濕度方面，提供溫暖且潮濕的空氣會降低面罩的可接受程度。

Johnson 等 (1997) ⁽²⁹⁾ 研究在溫濕度為 35°C 及 90% 的環境下，配戴全面式面罩靜坐 90 分鐘並量測出汗率的實驗，結果發現臉部、頭部和頸部會產生 0.203 g/min 的汗水，其中以頸部最多，且男性高於女性，實驗結束後臉部皮膚溫度上升 2°C，研究者推論此上升可能是由於面罩的不舒服所引起的。

Chongvisal (1980) ⁽⁷⁾ 研究在溫度為 27°C 和 43°C 的環境下，配戴全面式面罩、半面式面罩和研究者設計的面罩，執行固定負荷 (300Kcal/hr) 的腳踏車測功儀踩踏作業。結果發現在 27°C 時，任何面罩都不會顯著增

加心跳和核心溫度，而在 43°C 時，配戴全面式面罩與無配戴面罩比較起來，心跳與核心溫度都有顯著的增加（心跳為 11 bpm，核心溫度為 0.06°C），作者還有比較 WBGT 與心跳的關係，對於 OSHA (Occupational Safety and Health Administration) 建議在中度工作時的 WBGT 連續工作容許值 28°C 應該在配戴呼吸防護具時降低，以維持原本未配戴防護具時的心跳，配戴半面式面罩的工作時應降低成 27.3°C，全面式面罩則為 26.8°C。而在主觀不適方面，高溫時的不舒服程度比一般溫度高，且三種面罩中以全面式面罩的不舒服程度最高，主要造成主觀不適的因子為呼吸防護具引起的悶熱、流汗、搔癢感。



第三節 研究流程

本研究之流程如圖 2-5 所示。

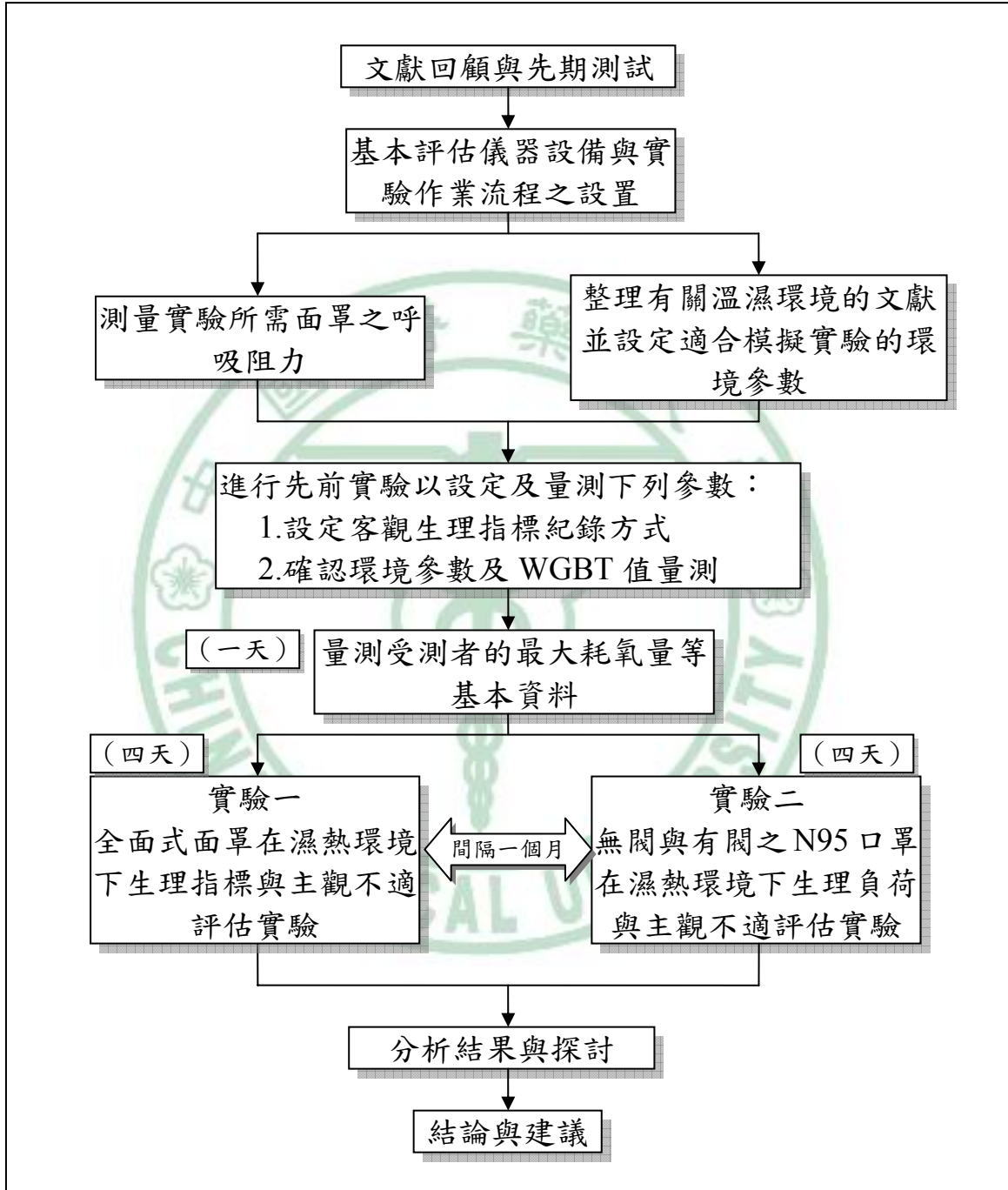


圖 2-5 計畫研究流程圖

第三章 研究方法

第一節 實驗對象

本研究找尋大專以上男性學生參與，實驗一與實驗二皆為 16 人，有 11 人重複，皆確認無心肺功能相關疾病史，無經過熱適應，且無抽煙習慣方予以參加。實驗開始前會先與受測者講解實驗過程，並讓受測者詳讀受測者同意書，簽完名才開始實驗。本實驗內容通過本校中國醫藥大學學術研究人權維護審查（如附錄六、七），並予以受試者補助津貼。

表 3-1 實驗一受試者基本資料 (n= 16)

	實驗一		實驗二	
	mean±S.D	Range	mean±S.D	Range
Age (years)	22±3	20.0~28.0	22±2.0	20.0~27.0
Height (m)	1.7±0.1	1.7~1.8	1.7±0.0	1.7~1.8
Weight (Kg)	70.7±11.4	57.2~91.5	73.5±12.7	58.9~101.9
BMI (Kg/m ²)	23.7±3.6	19.0~33.6	24.3±3.8	19.5~34.0
VO ₂ max (L/min)	2.7±0.6	1.2~4.2	2.7±0.4	2.1~3.3
HRmax (bpm)	170.1±13.8	145.1~187.1	165.6±14.2	139.9~183.0
VC (L)	4.0±0.7	2.9~5.0	3.8±0.7	2.0~4.7

第二節 實驗儀器設備與量測方法

3.2.1 呼吸防護具

本實驗分為兩部分，實驗一為全面式面罩在濕熱環境下造成生理負荷與主觀不適之影響評估，使用之面罩分為實驗組和對照組，實驗組為一全面式面罩，對照組為一低吸氣與吐氣阻力之四分面罩，以下簡稱對照面罩。實驗二為無閥和有閥 N95 口罩在濕熱環境下造成生理負荷與主

觀不適之影響評估，使用之面罩即為無閥 N95 口罩和有閥 N95 口罩。

實驗一的全面式面罩是使用 MSA(USA) 製造之 Advantage 3000 Full Face Respirator 全面式面罩 (簡稱 RF)，如圖 3-2，型號為 Adv 3000，其無效腔體積為 800ml，搭配化學濾毒罐使用，濾毒罐名稱為 GMA 有機，型號為 815355。對照面罩 (簡稱 RC) 為 ADInstruments 公司 (Australia) 設計之呼吸實驗套組中的 Face mask，型號為 MLA1028，如圖 3-1，針對呼吸生理方面的研究所設計，主要是用以採集呼出氣體，具有單向閥的構造，可用來分隔吸氣與吐氣的出入口，以便在出口收集氣體進行分析，無任何過濾功能，在本實驗中視為未配戴呼吸防護具的狀態，但須注意的是，無論面罩型式為何，只要配戴上去就相對於多了異物，面罩的無效腔也會增加人的進氣量、分通氣量⁽¹³⁾，且為了讓面罩密合於臉部，會調整後方鬆緊帶，對受試者可能會造成頭部的緊繃感，因此配戴對照面罩時仍會造成一定的負荷，但相較於全面式面罩來說，應接近於未配戴任何面罩之情況。

實驗二是使用 3M 公司 (USA) 生產的無閥 N95 船型折疊式口罩與有閥 N95 船型折疊式口罩進行實驗，如圖 3-3 與 3-4，以下簡稱為無閥 N95 口罩 (簡稱 RNV) 和有閥 N95 口罩 (簡稱 RWV)，無閥 N95 口罩型號為 9210，有閥 N95 口罩型號為 9211，面體是摺疊式，需完全撐開才能正確使用，兩種面罩撐開後的容積是相同的，量得的無效腔體積均為 220ml。

實驗一



圖 3-1 對照面罩 (RC) 圖 3-2 全罩式面罩 (RF)

實驗二



圖 3-3 無閥 N95 口罩 (RNV)

圖 3-4 有閥 N95 口罩 (RNV)

3.2.2 呼吸生理訊號分析儀與量測方法

本實驗紀錄之儀器記錄主機為 ADInstruments 公司所設計之生理訊號記錄器 (Power Lab System)，如圖 3-5 所示，型號為 ML795，儀器設定的採樣頻率全部皆為每秒 1000 筆數據，此主機接收本實驗所測量之各種數據，並輸出至軟體 Chart 5.0，以將原始數據做進一步分析。



圖 3-5 生理訊號接收放大器 圖 3-6 上為流量計
下為氣體分析儀

吐氣氣體是使用 ADInstruments 公司所生產之氣體分析儀來進行分析，如圖 3-6，其包括氣體分析儀及呼吸流量計兩部份，氣體分析儀（Gas Analyser）型號為 ML206，呼吸流量計（Spirometer）型號為 ML141。氣體分析儀用來分析受測者所吐出氣體中氧氣及二氧化碳的濃度，氣體分析儀對二氧化碳的偵測極限為 10%，因此若氣體中的二氧化碳濃度超過 10%，便無法偵測其正確濃度；呼吸流量計所量測單位為 L/s，量測的範圍最高為 1000 L/s。

收集分析氣體之前，為使分析數據精確，每使用 48 小時即校正一次。校正的方法是採用兩點校正法。準備兩種標準氣體，一為標準大氣：氧氣濃度為 20.93%，二氧化碳濃度為 0.03%；另一氣體為標準校正氣體分析儀之氣體，氧氣濃度為 16.08%，二氧化碳濃度為 4.12%。校正時讓儀器分別抽取上述兩種校正氣體並分析讀取此濃度時的電壓值，於校正後輸入相對應的電壓轉換，並再度測試其讀取分析的濃度是否正確。需注意氣體分析儀在校正時，應避免鋼瓶中的氣體氣流直接衝擊於氣體抽取孔，避免氧氣及二氧化碳濃度會因為流量產生的壓力而失真。

氣體分析的部份是將受測者所吐出的氣體經由軟管導至氣體混合筒

(Mixchamber) 中，再由氣體混合筒中抽取氣體至氣體分析儀中分析，在分析的過程中，因空氣中會有雜質，且人體呼出的氣體有水氣，為氣體分析儀器之準確性，在進氣孔處需接上過濾之濾紙及乾燥劑，以確保儀器不會因為空氣中的雜質及溼氣，降低儀器的敏感度。

3.2.3 腳踏車測功儀

本實驗模擬工作負荷之測功計為 Lode B.V.公司 (Netherlands) 所生產之腳踏車測功儀 Lode Corival Ergometer V2，如圖 3-7 所示，其最大可以負荷之重量為 160kg;阻力的設定可由 0 至 999 W (瓦特),精確度在 100 W 以下小於 3 W，100 至 500W 時小於 3%，大於 500 W 時小於 5%；踏板轉速可由 0 至 180 rpm(轉)。當踏板轉速小於 25 rpm 時，阻力將會歸零；踏板轉速達 30 rpm 以上時，才會達到所設定的阻力。面板可以顯示當時的轉速及設定的阻力(瓦特數)，阻力設定的方式為手動調整，一次增加 1 W。



圖 3-7 腳踏車測功儀(ergometer)

3.2.4 暴露艙

為了模擬一穩定的濕熱環境，受試者執行工作負荷時均在本系的暴露艙進行實驗，如圖 3-8，該暴露艙之設定溫度範圍可從 20°C 至 40°C，精確度為 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ，相對濕度範圍可由 40%至 90%，精確度為 $\pm 5\%$ 。



圖 3-8 暴露艙，左圖為暴露艙內部，右圖為溫濕度控制台

3.2.5 配戴呼吸防護具之耗氧量量測方法

本實驗為量測配戴呼吸防護具時之耗氧量，特別針對所使用全面式面罩及 3M 有閥之 N95 口罩自行開發轉接頭 (圖 3-9、3-10)。在實驗開始前將轉接頭固定至全面式面罩及 N95 有閥口罩之出氣閥，並利用熱熔膠加以密合，再經由軟管導至氣體混合筒中，即可由此偵測並分析所吐出之氣體及吐氣流量。其中全面式面罩因為完全密閉狀態，因此所測得之耗氧量即為受測者配戴時執行作業之準確耗氧量，而 N95 口罩因吐出之氣體仍可由其面體逸出，因此由出氣閥所測得之吐氣流量會較低，因而可能會低估配戴時執行作業之耗氧量。



圖 3-9 全罩式面罩轉接頭



圖 3-10 N95 口罩轉接頭

3.2.6 ECG 心跳量測方法

本研究是使用 ECG 心電圖計算心跳。需以電極貼片接收心肌電位的變化，電極貼片依黏貼位置可分為肢導及胸導兩種：(1) 肢導是將電極貼片貼在左右手腕及右腳踝等三個地方，其中左手腕連接至電極正極，右手腕連接至電極負極，而有腳踝的部分則是連接地線；(2) 胸導是將電極貼片貼在左胸倒數第三根肋骨、右邊鎖骨下方以及肩膀處，其中左邊肋骨是接至電極正極，右邊鎖骨下方接至電極負極，肩膀後方之肩胛肌則是連接地線，如圖 3-11，G 為接地線。因本實驗需踩踏腳踏車模擬工作負荷，因此選擇干擾較小的胸導，因其電極貼片所黏貼的部位極少有肌肉參與運動，因此造成的干擾最小，若是使用肢導則易因肢體擺動，增加干擾，影響數據之準確性。

量測 ECG 時，訊號需經由生理訊號放大器 Dual Bio Amp 進行接收與放大，生理訊號放大器為 ADInstruments 製造，型號為 ML135，如圖 3-12，設定其最大採樣範圍為 10mV，高低濾波分別為 3Hz 及 500Hz，並設定在 60Hz 做記號。電極貼片的黏貼皆由受過訓練的實驗人員執行，黏貼前以酒精棉片擦拭黏貼處，去除皮膚表面的油脂或皮屑，以免干擾電位傳遞，並減少記錄時的雜訊。

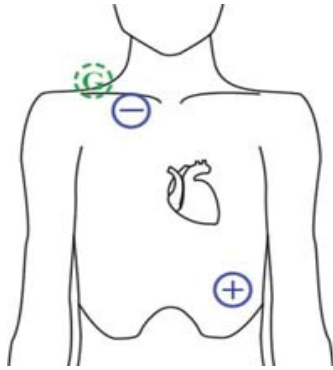


圖 3-11 胸導電極貼片位置
黏貼位置參考心電圖學
(Mervin, 1982)⁽³⁰⁾



圖 3-12 生理訊號放大器

3.2.7 呼吸防護具內壓力量測方法

本實驗量測呼吸阻力使用的儀器為 Validyne Engineering 公司 (USA) 所生產之壓力轉換器 (Pressure Transducer)，如圖 3-13，型號為 VAL-P55D-1N232S4A，其可以測量的壓力範圍為 $\pm 140\text{mmH}_2\text{O}$ ，精確度為 $\pm 0.25\%$ ，可以直接連接到生理訊號主機，為避免背景雜訊值的干擾，將其低濾波設定為 200mV。實驗過程中可讀取並紀錄即時測量的數值，連接的部份為壓力轉換器感應正壓連接頭，因此所量得的吐氣壓力為正值，吸氣壓力為負值，在處理分析數據時，將會全部轉為正值。

為量測口罩阻力，一律在呼吸防護具 (包括 N95 口罩及全罩式面罩) 的左上方使用 TSI (USA) 設計的 N95 面具測試組件 (N95 Fit Test Probe Kit)，型號為 8025，固定一個位置開連接孔 (如圖 3-14)，再使用矽膠軟管連接呼吸防護具上之連接口至壓力轉換器之正壓連接頭。在每次量測口罩內壓力之前，會先使用水銀壓力計 (圖 3-15) 進行校正，確認實驗時的壓力皆為同一固定值。



圖 3-13 壓力轉換計



圖 3-14 壓力偵測位置



圖 3-15 水銀壓力計

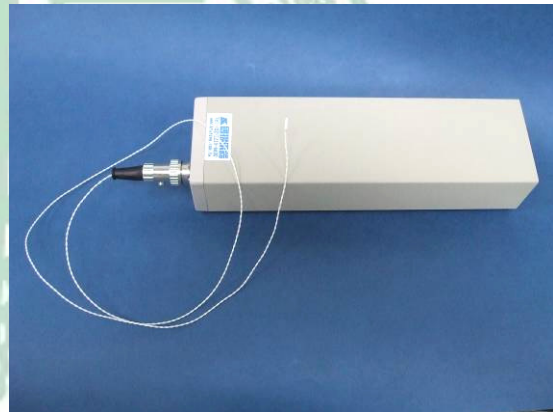


圖 3-16 鼻溫偵測器

3.2.8 呼吸防護具溫度量測方法

本實驗使用 ADInstruments 製造之鼻溫偵測器 Nasal Temperature Probe 來偵測呼吸防護具內的溫度，如圖 3-16，型號為 MLT 415，可以偵測溫度的範圍為 0°C 到 50°C ，且在溫度 70°C 以下仍可以保持穩定，表 3-1 為鼻溫偵測器在不同溫度區間內的溫度差。

表 3-2 鼻溫偵測器在不同溫度區間之溫度差

溫度範圍(°C)	溫度差(±°C)
0~20	0.20
20~35	0.15
35~39	0.10
39~45	0.15
45~50	0.20

在實驗開始之前，先使用兩杯溫度不同的水，同時置入鼻溫偵測器及水銀溫度計，待其感應之溫度穩定後，紀錄此時偵測之電壓值及對應之水銀溫度，以兩點校正法進行校正。將鼻溫偵測器放置在呼吸防護具內靠近口鼻處以量測口罩內的溫度，訊號亦由生理訊號分析儀接收紀錄。

3.2.9 呼吸頻率量測方法

本研究量測呼吸頻率的方法是經由分析受測者呼吸壓力之波形來估算。因完整呼吸的呼吸壓力包括吸氣與吐氣，所以取一次吸氣及一次呼氣的波形為一個呼吸週期，分析時使用 Chart 5 軟體來分析呼吸壓力之波形，再計算一分鐘之內共有幾次呼吸週期，即為受測者之呼吸頻率，其單位為 cycle/min。

3.2.10 吸氣、吐氣時間比

並非所有的呼吸防護具皆有出氣閥，因此本研究利用量測口罩內呼吸壓力的波形來計算受測者的呼吸頻率和吸氣與吐氣時間，吸氣的壓力為負波峰，吐氣的壓力為正波峰，因此當波形由正波峰往負波峰移動，這段時間即為吸氣時間；若波峰由負波峰往正波峰移動，這段時間即為吐氣時間，如圖 3-17 所示。吸吐氣的時間計算如下：

- (1) 吸氣時間：正波峰時間點減去前一負波峰的時間點。
- (2) 吐氣時間：負波峰時間點減去前一正波峰的時間點。
- (3) 吸吐氣時間比：吸氣時間除以吐氣時間。

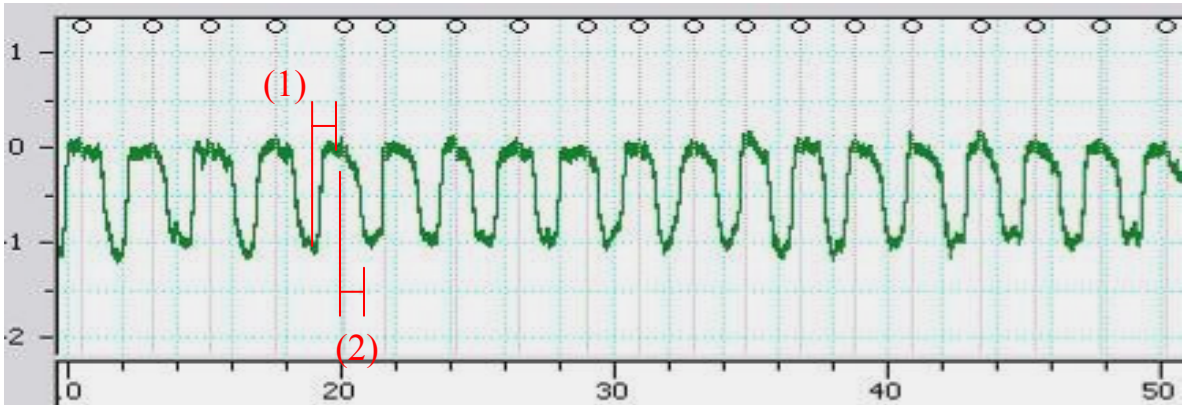


圖 3-17 受測者執行作業時所量測到的口罩內壓力波形

3.2.11 呼吸防護具之呼吸阻力量測設備

各種呼吸防護具因材質不同，呼吸阻力亦不一樣，本實驗為瞭解呼吸防護具在不同的呼吸流量下阻力的變化情形，因此參考 Johnson⁽¹⁴⁾以一配戴呼吸防護具之假人頭的方式，測量不同吸氣及吐氣流量下呼吸防護具的呼吸阻力。為使實驗更接近實際狀況，將假人頭之鼻孔處及頭後方開洞，並以塑膠軟管貫穿連接模擬呼吸道的形式，如圖 3-18，再將軟管連接至流量計及可調整流量的閥，再連接至一雙向抽氣馬達，以模擬吸氣或吐氣狀況，如示意圖 3-19。本實驗所使用之馬達為 HITAH 所製造，最大流量可達 200 L/min。再經由流量控制閥控制馬達抽氣及吸氣之流量大小，因模擬之呼吸道轉接後會有壓損，因此可量得之最大流量約為 180 L/min。

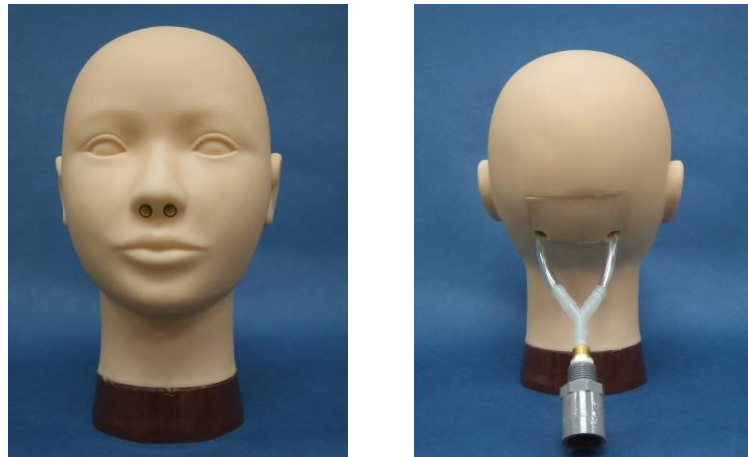


圖 3-18 假人頭模擬呼吸道之正反面圖(左為正,右為反)

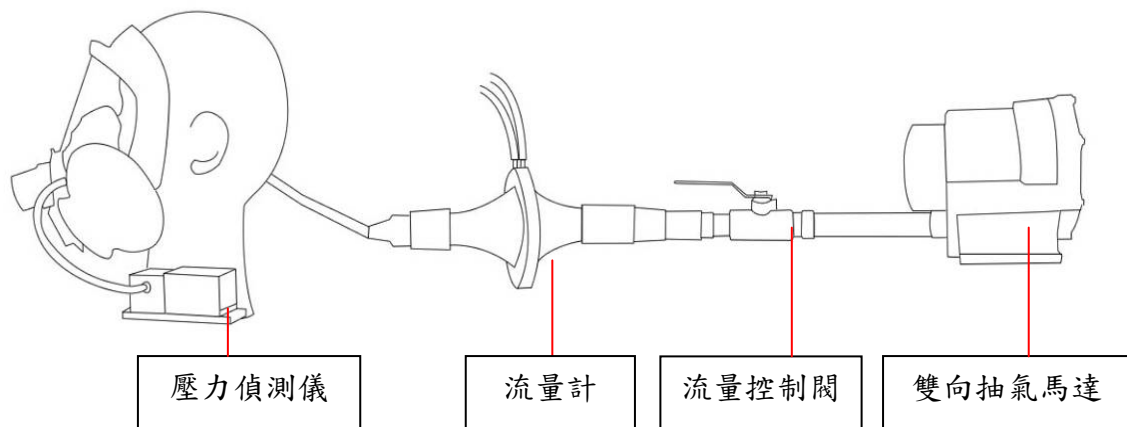


圖 3-19 模擬呼吸防護具呼吸阻力量測示意圖

3.2.11 模擬作業內容與作業負荷設定

3.2.11.1 測功儀器

為了模擬作業進行時的生理負荷，實驗室通常會使用能夠產生固定的工作量，以達到固定的工作負荷的儀器，常見的有(1)跑步機 (treadmill)、(2)腳踏車測功儀 (cycle ergometer) 和(3)階梯測驗⁽³¹⁾，其中前兩項較常用於呼吸防護具造成生理負荷的模擬實驗。

跑步機外型如同一般健身房所見之健身跑步機，唯轉速與功率的調

節上須比一般的穩定與準確，且可以調節跑步履帶之傾斜角度，由回顧文獻可知，通常進行實驗時，是先固定傾斜角度，再增加或維持履帶速度，達到實驗需要的固定負荷，可用來量測最大（maximal）與次大（submaximal）的生理負荷，也常用於臨床測試⁽³²⁾。跑步機的優點在於履帶是主動捲動，使得受試者被動的執行作業，半強迫性地測得最大耗氧量和最大心跳數。而缺點在於跑步是全身性的運動，生理訊號的測量易受干擾，且實驗時須讓受試者習慣使用以減少焦慮感，以及價格昂貴等。

腳踏車測功儀外型如腳踏車健身車，轉速與阻力的調節範圍比一般的廣且精確，通常進行實驗時，是藉由增加或維持踩踏的阻力（單位為瓦特）來達到實驗所需的工作負荷，也可用來量測最大（maximal）與次大（submaximal）的生理負荷。優點在於容易進行工作負荷量的微調增減，且因阻力來源是由受試者主動踩動輪軸，機器再給予固定的阻力，被動性地給與作業負荷，較不會有焦慮感⁽³³⁾，以及腳踏車的身體活動範圍較為固定，生理訊號較易測量。為了能夠計算生理負荷（例如心跳）相對應的運動功率，受測者在踩踏腳踏車時，應維持適當的踏板速度，通常是 50-60rpm^(31, 33)。而缺點在於由於是受試者主動踩踏，測到的最大耗氧量會比跑步機低，且當受試者不習慣進行踩腳踏車的活動時，容易因局部的肌肉疲勞造成低估⁽³³⁾。

3.2.11.2 作業負荷的設定

本實驗採用腳踏車測功儀來進行，在模擬負荷的測驗方面，大致有三種分別說明如下：

(1)最大有氧呼吸能力：即為受試者最大耗氧量的測量，常見測試方

法為，將腳踏車測功儀的起始負荷值訂為受測者的體重，在開始踩踏後第一及第二分鐘增加阻力為其體重的二分之一，之後每分鐘增加阻力為其體重四分之一，直到受測者無法繼續為止，在整段踩踏期間所測量到最大的 VO_2 值就是最大耗氧量。

(2)固定負荷作業：由腳踏車測功儀設定欲量測之負荷值，如 30%或 50% VO_{2max} ，在依據受測者個人之 VO_{2max} 轉換為測功儀給予的阻力 Watt 值，量測固定的時間⁽²³⁾或量測到受試者無法繼續的時間為止 (Time To Exhaustion, TTE)⁽¹⁶⁾。

(3)漸進式負荷作業：類似於固定式負荷作業，但負荷作業的阻力為漸增，通常設定負荷的最大值為 80%到 85%的最大耗氧量^(15, 16, 21, 22)。

本研究負荷瓦特數是參考 AIHA⁽⁸⁾定義輕度工作與中度工作之心跳率與耗氧量換算而得，至於重度工作則因為配戴呼吸防護具之後，可能會造成受試者的負荷太重而難以繼續執行作業，故不考慮重度工作的研究。

根據 AIHA 定義的能量消耗程度與工作負荷程度間的關係，參閱表 3-2 可知心跳率在輕度工作 (Light work) 時為 75~100 bpm 之間，中度工作 (Moderate work) 時在 100~125 bpm 之間，其所對應的耗氧量分別為 0.5~1.0 L/min 和 1.0~1.5 L/min，根據 Åstrand⁽³³⁾對腳踏車測功儀負荷大小與耗氧量關係的研究也發現，其運動負荷大小與耗氧量的關係成定值，對應值如表 3-3，因此可推算出算耗氧量為 0.75 L/min 時對應的負荷功率為 47.3 W，耗氧量為 1.25 L/min 時對應的負荷功率為 83.4 瓦。在經過實驗前測後，決定將輕度負荷訂為 45 瓦，中度負荷訂為 85 瓦，耗氧量分別為 0.72 L/min 和 1.28 L/min。

表 3-3 以能量消耗程度推估定義之工作負荷分級（以成年男性為參考）

Grade of work	Energy Expenditure, Kcal/min	Energy Expenditure, 8 h (Kcal/d)	Heart Rate, bpm	Oxygen Consumption, L/min
Rest (sitting)	1.5	<720	60-70	0.3
Very light work	1.6-2.5	768-1200	65-75	0.3-0.5
Light work	2.5-5.0	1200-2400	75-100	0.5-1.0
Moderate work	5.0-7.5	2400-3600	100-125	1.0-1.5
Heavy work	7.5-10.0	3600-4800	125-150	1.5-2.0
Very heavy work	10.0-12.5	4800-6000	150-180	2.0-2.5

資料來源：AIHA, 1971⁽⁸⁾

表 3-4 功率與耗氧量的關係

W	Work rate kpm · min ⁻¹	Oxygen uptake (L · min ⁻¹)
50	300	0.9
100	600	1.5
150	900	2.1
200	1200	2.8
250	1500	3.5
300	1800	4.2
350	2100	5.0
400	2400	5.7

資料來源：Åstrand, 2003⁽³³⁾

3.2.12 模擬作業的環境溫濕度設定

為符合台灣地區的氣候型態，以台灣氣象局對各地氣象站點的平均溫濕度監測資料，作為戶外工作或無空調作業場所勞工的工作環境參考標準，使用 96 年台灣地區各地年平均溫溼度紀錄，選定 7 月下午 2 時之最高溫度（34°C）與平均濕度（67%）作為實驗參數，經實驗前測之後將

最高溫濕度訂為 35°C 和 70%，並與一般室內有空調的辦公場所的溫濕度 25°C、50% 作比較。

調整暴露艙的溫濕度環境後，使用直讀式儀器測量 WBGT 值，儀器為 IST 公司 (USA) 製造的 the WIBGET，型號為 RSS-214，結果如下。

表 3-5 本實驗模擬之環境溫濕度對應之 WBGT 值

環境溫度	環境濕度	WBGT	濕球溫度	黑球溫度
25°C	50%	21.3	19.6	25.3
25°C	50%	22.2	21.4	24.3
35°C	70%	29.7	27.5	34.6
35°C	70%	31.8	30.5	34.3

3.2.13 配戴呼吸防護具進行作業負荷之主觀不適問卷

本實驗採用之主觀不適問卷，主要根據 Lerman 等的研究⁽²³⁾來設計以評估使用者配戴呼吸防護具時所感受到的不適程度 (Rate of Perceptual Exertion, RPE)，分別為配戴呼吸防護具後吐氣的困難程度、吸氣的困難程度、呼吸防護具內溫度造成的不舒適程度、佩戴呼吸防護具 (如重量) 對執行作業的影響程度、呼吸防護具造成的不舒適程度等五大項，評估的等級分成 10 等級，由 0-沒有感覺到 10-非常強烈 (如附錄三至五)，分析時除個別問項亦將全部問項分數進行加總，以 RPE 代表加總值。

在開始正式實驗之前，實驗人員會先向受測者詳細解說問卷內容，使其了解問卷內容及選項，才進行正式試驗。受測者針對每一階段的實驗，於實驗後之休息時間內立即填寫一份問卷以評估此階段實驗之主觀不適情況。

第三節 實驗設計

3.3.1 自變項

實驗一：四個自變項如下，所有自變項均為受試者內變數，每個變項各有兩個變數，故受試者均需完成 $2 \times 2 \times 2 \times 2$ ，共 16 個試驗。

- (1) 呼吸防護具：兩個 level，全面式面罩和對照面罩。
- (2) 作業時工作負荷：兩個 level，分別為輕度負荷 45W、中度負荷 85W。
- (3) 環境溫度：25°C、35°C
- (4) 環境相對濕度：50%、70%

實驗二：四個自變項如下，所有自變項均為受試者內變數，每個變項各有兩個變數，故受試者均需完成 $2 \times 2 \times 2 \times 2$ ，共 16 個試驗。

- (1) 呼吸防護具：兩個 level，無閥 N95 口罩和有閥 N95 口罩。
- (2) 作業時工作負荷：兩個 level，分別為輕度負荷 45W、中度負荷 85W。
- (3) 環境溫度：25°C、35°C
- (4) 環境相對濕度：50%、70%

3.3.2 應變項

本實驗之應變項包括受測者運動時所量得之工作時心跳、工作心跳、心率儲備百分比、吸氣壓力、吐氣壓力、呼吸頻率、吸氣時間、吐氣時間、分通氣量、潮氣容積、耗氧量、單位體重耗氧量、耗氧量佔最

大百分比、新陳代謝量、口罩內的溫度，以及受測者之主觀不適問卷，並於實驗二加入血液含氧量的量測。各應變項之定義說明如下表 3-5

表 3-6 實驗應變項及其說明

實驗應變項	說明
HR _{work} ，工作時心跳	在執行作業時的心跳頻率，單位為 bpm (Beat Per Minute)。
WP，工作心跳	因執行作業而增加的心跳，將工作時心跳減去休息時心跳即為工作心跳，單位為 bpm。
%HRR，心率儲備百分比	將工作心跳除以最大心跳與休息心跳的差的百分比，單位為%。
PIP，吸氣壓力	吸氣時口罩內的壓力，單位為 mmH ₂ O。
PEP，吐氣壓力	吐氣時口罩內的壓力，單位為 mmH ₂ O。
BF，呼吸頻率	執行作業負荷時呼吸的頻率，單位為 cycle/min。
Ti，吸氣時間	一次吸氣所需要的時間，單位為 sec。
Te，吐氣時間	一次吐氣所需要的時間，單位為 sec。
V _E ，分通氣量	執行作業負荷時每分鐘吐氣的流量，單位為 L/min。
V _T ，潮氣容積	一次吸氣或吐氣的氣體量，以分通氣量除以呼吸頻率求得，單位為 L/min。
VO ₂ ，耗氧量	人體活動時每分鐘消耗氧氣的量，單位為 L/min。
VO _{2mass} ，單位體重耗氧量	人體活動時每分鐘每公斤重消耗氧氣的量，去除體重對耗氧量的影響，單位為 ml/min/kg。

實驗應變項	說明
%VO _{2max} ，最大耗氧量百分比	執行作業時的耗氧量佔最大耗氧量的率，以執行作業時的耗氧量除以最大耗氧量的百分比的值，單位為%。
M，新陳代謝率	執行作業時消耗的能量，本研究以耗氧量乘以一公升的氧氣燃燒能產生的熱量4.12大卡求得，單位為Kcal/min。
T _m ，口罩內溫度	執行作業負荷時，配戴的呼吸防護具之內部的溫度，單位為°C。
Discomfort caused by temperature，溫度不適	對目前執行作業的整體環境中溫度的感覺不舒服程度。
Discomfort caused by humidity，濕度不適	對目前執行作業的整體環境中濕度的感覺不舒服程度。
General discomfort for environment，整體環境不適	對目前執行作業的整體環境感覺不舒服程度。
Difficulty on inspiration，吸氣困難程度	在運動過程中，因為配戴呼吸防護具而感到吸氣困難的程度。
Difficulty on expiration，吐氣困難程度	在運動過程中，因為配戴呼吸防護具而感到吐氣困難的程度。
Discomfort caused by temperature inside the mask，面罩溫度不適	在運動過程中，因呼吸防護具內溫度而感到不舒服的程度。
Discomfort caused by sweating inside the mask，面罩流汗不適	配戴呼吸防護具因為罩內臉部流汗而感覺不舒服的程度。
General discomfort，整體不適程度	配戴呼吸防護具整體覺得不舒適的程度。
Total RPE，總和主觀不適程度	吸氣困難、吐氣困難、面罩溫度、流汗不適、整體不適程度的總和

3.3.3 控制因子

在受試者衣著方面，告知每次測驗穿著的型式皆須固定，規定為棉質短袖上衣，棉質短褲，每次實驗穿著的衣量皆為一致。為避免受測者疲勞累積，每個受試者的實驗天皆間隔一天以上、五天以內，並考量生理狀況不同，要求受測者每次實驗的時段（白天、下午、晚上）儘量一致。本實驗進行季節為初春，在 2~3 月完成實驗，室內平均溫度為 23~25 °C，濕度為 50~60%。

第四節 實驗流程

3.4.1 個人最大耗氧量量測

在開始進行配戴呼吸防護具負荷實驗之前，所有受測者須先測試最大耗氧量，此測試與正式實驗在不同天進行，間隔一週以上。測試方法為讓受測者佩戴單向進出氣之實驗口罩，確認口罩與臉頰完全密合，吸氣及吐氣只能通過單向閥進出，收集並量測受測者運動過程中所吐出的氣體中氧氣及二氧化碳濃度，並偵測其吐氣流量，由 Chart 5 軟體每十秒計算一次受測者當前之耗氧量。

負荷增加設定的方式，參考 Heus⁽¹⁵⁾所採用之漸進式 protocol 再稍作修改，以符合國人可以接受之負荷。開始測試之前，先請受測者坐著休息約 10 分鐘，使其心跳維持在一般休息無負荷之狀態，並測量記錄此時心跳數一分鐘，作為其基準值。運動負荷的設定值是根據受測者的體重而訂，初始設定值為受測者的體重，以此負荷踩踏腳踏車一分鐘，踏板轉速需維持在 55 rpm (± 5 rpm)，踩踏一分鐘之目的，是為了讓受測者熟悉實驗方法並暖身，一分鐘之後增加其體重的四分之一，之後每半分鐘皆如此增加，直到受測者覺得體力耗盡，無法繼續踩踏所增加的負荷，

此時負荷固定在最後可以接受之最大負荷阻力，受測者須再維持踩踏，但轉速則不需固定在 55 rpm，持續一分鐘後結束。本研究測量最大耗氧量負荷設定的值如表 3-6 所示。

由於腳踏車測功儀是受試者主動踩踏，可能會在疲勞時趨向想停止的情況，因此測到的最大耗氧量可能會低估。



表 3-7 最大耗氧量負荷設定

體重 時間	40	50	60	70	80	90	100	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	40	50	60	70	80	90	100	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.5	50	63	75	88	100	113	125	1	3	4	5	6	8	9	10	11
2	60	75	90	105	120	135	150	2	3	5	6	8	9	11	12	14
2.5	70	88	105	123	140	158	175	2	4	5	7	9	11	12	14	16
3	80	100	120	140	160	180	200	2	4	6	8	10	12	14	16	18
3.5	90	113	135	158	180	203	225	2	5	7	9	11	14	16	18	20
4	100	125	150	175	200	225	250	3	5	8	10	13	15	18	20	23
4.5	110	138	165	193	220	248	275	3	6	8	11	14	17	19	22	25
5	120	150	180	210	240	270	300	3	6	9	12	15	18	21	24	27
5.5	130	163	195	228	260	293	325	3	7	10	13	16	20	23	26	29
6	140	175	210	245	280	315	350	4	7	11	14	18	21	25	28	32
6.5	150	188	225	263	300	338	375	4	8	11	15	19	23	26	30	34
7	160	200	240	280	320	360	400	4	8	12	16	20	24	28	32	36
7.5	170	213	255	298	340	383	425	4	9	13	17	21	26	30	34	38
8	180	225	270	315	360	405	450	5	9	14	18	23	27	32	36	41
8.5	190	238	285	333	380	428	475	5	10	14	19	24	29	33	38	43
9	200	250	300	350	400	450	500	5	10	15	20	25	30	35	40	45
9.5	210	263	315	368	420	473	525	5	11	16	21	26	32	37	42	47
10	220	275	330	385	440	495	550	6	11	17	22	28	33	39	44	50
10.5	230	288	345	403	460	518	575	6	12	17	23	29	35	40	46	52
11	240	300	360	420	480	540	600	6	12	18	24	30	36	42	48	54

資料來源：修改自 Heus⁽¹⁵⁾ test protocol

3.4.2 溫濕環境下的作業負荷

每一位受試者於每個實驗皆需完成為期四天的作業負荷實驗，四天的溫濕度組合皆不同，每個實驗天至少間隔一天，每次作業完休息至少 10 分鐘，並記錄受試者的恢復心跳，待受試者恢復原本的休息心跳 ± 5 bpm 時方可繼續下一項作業，順序皆以拉丁方格作隨機分配，16 人的作業順序皆不相同，每天進行的作業順序如下所述，整理流程圖於圖 3-18：

1. 實驗一

- (1) 在暴露艙外進行休息心跳的量測，為未暴露高溫高濕環境的基本值
- (2) 工作環境下休息心跳的量測：對照面罩、配戴全面式面罩
- (3) 受試者執行作業：配戴對照面罩與全面式面罩，執行輕度與中度負荷，共四種作業

2. 實驗二

- (1) 在暴露艙外進行休息心跳的量測，為未暴露高溫高濕環境的基本值
- (2) 工作環境下休息心跳的量測：未配戴面罩、配戴無閥 N95 口罩、配戴有閥 N95 口罩
- (3) 受試者執行作業：配戴無閥 N95 口罩與有閥 N95 口罩，執行輕度與中度負荷，共四種作業

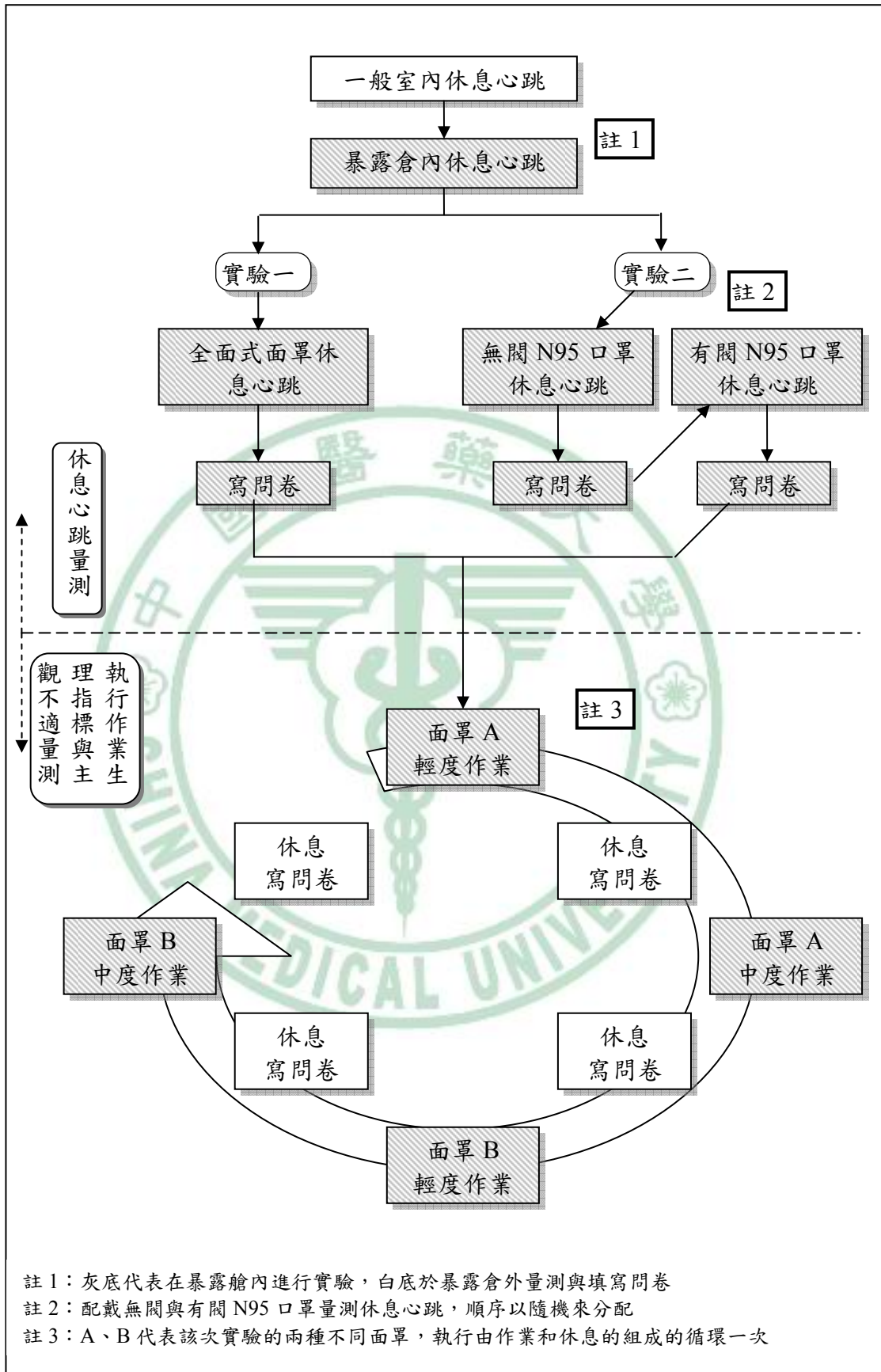


圖 3-18 實驗流程圖

第五節 分析及統計方法

一般來說，在相同阻力的狀況下執行踩踏腳踏車的作業，人體會自動調節至一種趨於穩定的運動狀態，以適應此外界給予的固定負荷，此時踏板的踩踏轉速及生理狀況會達到一平穩的適應期，因此本研究擷取 10 分鐘踩踏作業的後 5 分鐘平穩記錄的數據，作為受試者執行作業時的生理狀況的代表。儀器紀錄的數據有受測者的心跳、吐出氣體的氧氣及二氧化碳濃度、吐氣流量、口罩內的溫度和口罩內呼吸的壓力。

每位受測者的耗氧量及分通氣量由 ADInstruments Chart 5.0 軟體根據吐氣時的氧氣濃度、二氧化碳濃度及吐氣流量直接算出，每 10 秒計算一次，再將數值輸出至 Microsoft Excel 軟體中，計算後五分鐘的平均耗氧量、分通氣量和標準差。為去除因體重而影響耗氧量的可能性，以及方便與之前文獻結果比較，所以將平均後的耗氧量除以每位受測者的體重，得到單位體重耗氧量。

受測者之心跳、面罩內溫度、呼吸頻率使用 Chart 5 軟體中的計算功能，求得受測者每分鐘的呼吸次數，再由 Excel 軟體平均後五分鐘的數據，並計算出其標準差。

受測者的吸氣與吐氣時間是使用 Chart 5 軟體中的計算功能，求得受測者每吸氣與吐氣波形圖中產生的最大值與最小值的時間點，再以 Excel

軟體計算後五分鐘的時間點的差作為吸氣或吐氣時間，並計算平均值與標準差。

吸氣及呼氣壓力部份，本研究根據文獻的方法，擷取受測者吸氣及吐氣的峰值，即最大值，作為受測者吸氣及吐氣的壓力，平均所有峰值壓力，取最後 5 分鐘的平均值，作為受測者在配戴呼吸防護具時的吸氣及吐氣壓力。

主觀不適問卷的部份，將其不舒適評分結果輸入至 Excel 軟體中，並計算五大項不舒適程度之總和 (Total RPE)，以分析評估配戴呼吸防護具之整體不舒適感。

分析使用之統計軟體為 SPSS 13.0，對實驗的客觀生理指標和主觀不適以重覆量數變異數分析 (Repeated Measurement ANOVA) 進行統計，再針對客觀生理指標使用配對樣本 t 檢定 (Paired-Samples t Test)，對主觀不適進行無母數兩相依樣本威爾森檢定 (Two-Related-Samples Wilcoxon Test) 來進行兩兩之間的比較。最後並進行生理指標與主觀不適的關聯性分析，採用雙變數相關 (Bivariate Correlations) 進行統計，並以 Spearman 相關係數來作為相關性的參考，探討在不同呼吸防護具、不同溫濕度及工作負荷下的生理負荷與主觀不適之影響。

第四章 結果

本章分別針對模擬呼吸防護具之呼吸阻力、第一部分與第二部份實驗生理指標及主觀不適的結果做說明及探討，重覆量數變異數分析之結果如表 4-3 及表 4-13 所示。

第一節 實驗用呼吸防護具吸氣與吐氣阻力曲線

4.1.1 呼吸防護具之吸氣阻力

本研究使用的呼吸防護具之吸氣流量對壓力的曲線圖如圖 4-1，各曲線的回歸方程式整理於表 4-1。由圖 4-1 可看出全面式面罩的吸氣阻力最大，其次是 N95 無閥和 N95 有閥口罩，表 4-1 列出各呼吸防護具在吸氣流量為 85L/min 時的阻力值，其中 N95 口罩皆合乎 NIOSH 所規定吸氣阻力低於 35mmH₂O 的規範。

表 4-1 呼吸防護具吸氣阻力回歸方程式與流量 85L/min 時的阻力

RT	Regression Equation	R ²	Pressure at 85L/min (mmH ₂ O)	Resistance at 85L/min (cmH ₂ O*s/L)
RC	$y = -2 \times 10^{-4}x^2 + 0.1018x$	0.9749	7.21	0.51
RF	$y = 3 \times 10^{-4}x^2 + 0.1381x$	0.9994	13.91	0.98
RNV	$y = -1 \times 10^{-5}x^2 + 0.0886x$	0.9998	7.46	0.53
RWV	$y = 1 \times 10^{-4}x^2 + 0.104x$	0.9974	9.56	0.68

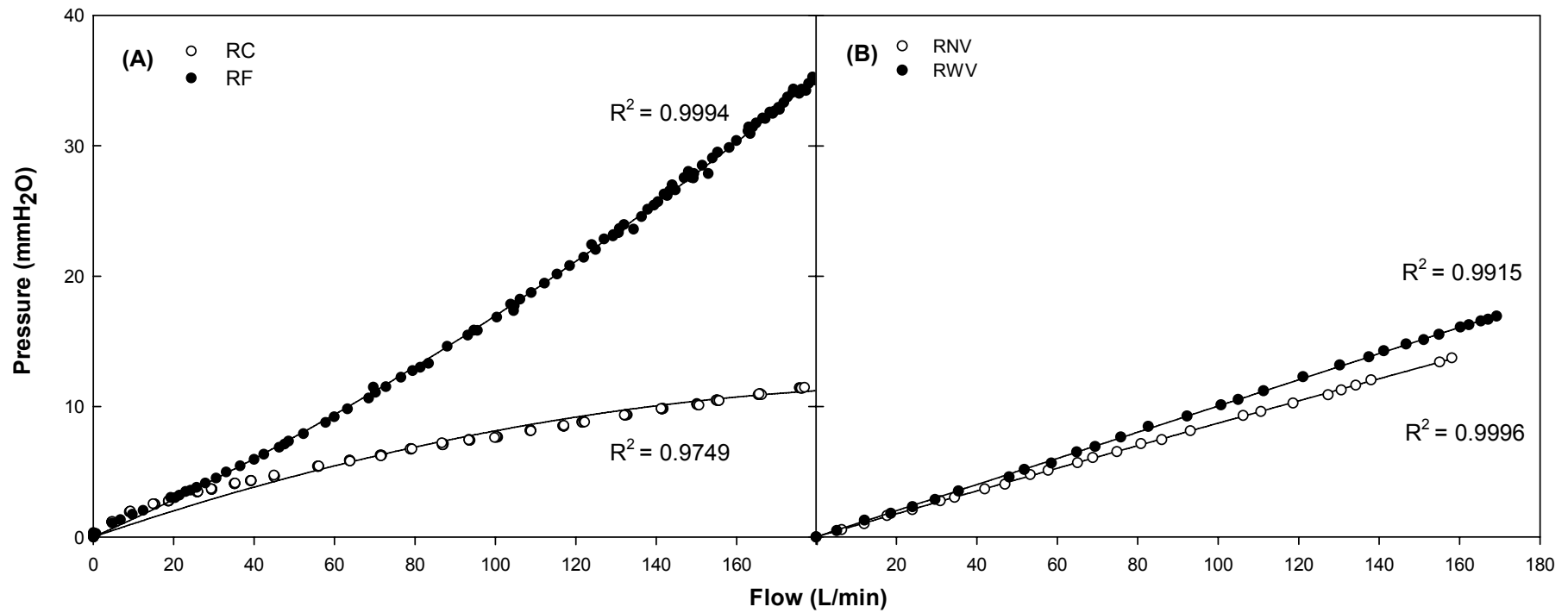


圖 4-1 呼吸防護具流量對吸氣壓力關係圖，圖(A)為實驗一所用面罩，圖(B)為實驗二所用面罩

4.1.2 呼吸防護具之吐氣阻力

研究使用的呼吸防護具之吐氣流量對壓力的曲線圖如圖 4-2，各曲線的回歸方程式整理於表 4-2。由圖 4-2 可看出無閥 N95 的呼氣阻力最高，最低的是 N95 有閥口罩，其中全面式面罩與對照口罩的呼氣流量僅節錄流量 60L/min 以下對壓力的曲線關係，由於吐氣口有一防止空氣被吸入的單向吐氣閥，材質分別為軟性橡皮和矽膠，其中橡皮閥是以中間一連接點與閥口固定，矽膠閥則以周圍與閥口連接，據觀察在流速 60~65 L/min 以上時，空氣對閥的推力因橡皮閥和矽膠閥具有彈性而不穩定，氣流將閥往外推，閥又因彈性而彈回，造成開口時大時小、差距極大，流量再增加高時，閥即幾乎完全打開，使得面罩內壓力不穩定而下降，因此選取前半部作為吸氣阻力關係圖。表 4-2 列出各呼吸防護具在吐氣流量為 85L/min 時的阻力值，N95 口罩皆合乎 NIOSH 所規定吐氣阻力低於 25 mmH₂O 的規範。

表 4-2 呼吸防護具吐氣壓力回歸方程式與流量 85L/min 時的阻力

RT	Regression Equation	R ²	Pressure at 85L/min (mmH ₂ O)	Resistanc at 85L/min (cmH ₂ O*s/L)
RC	$y = -2 \times 10^{-4}x^2 + 0.0877x$	0.9847	6.01	0.42
RF	$y = 3 \times 10^{-4}x^2 + 0.0465x$	0.9823	6.12	0.43
RNV	$y = 6 \times 10^{-4}x^2 + 0.0753x$	0.9949	10.74	0.76
RWV	$y = 6 \times 10^{-6}x^2 + 0.0384x$	0.9896	3.31	0.23

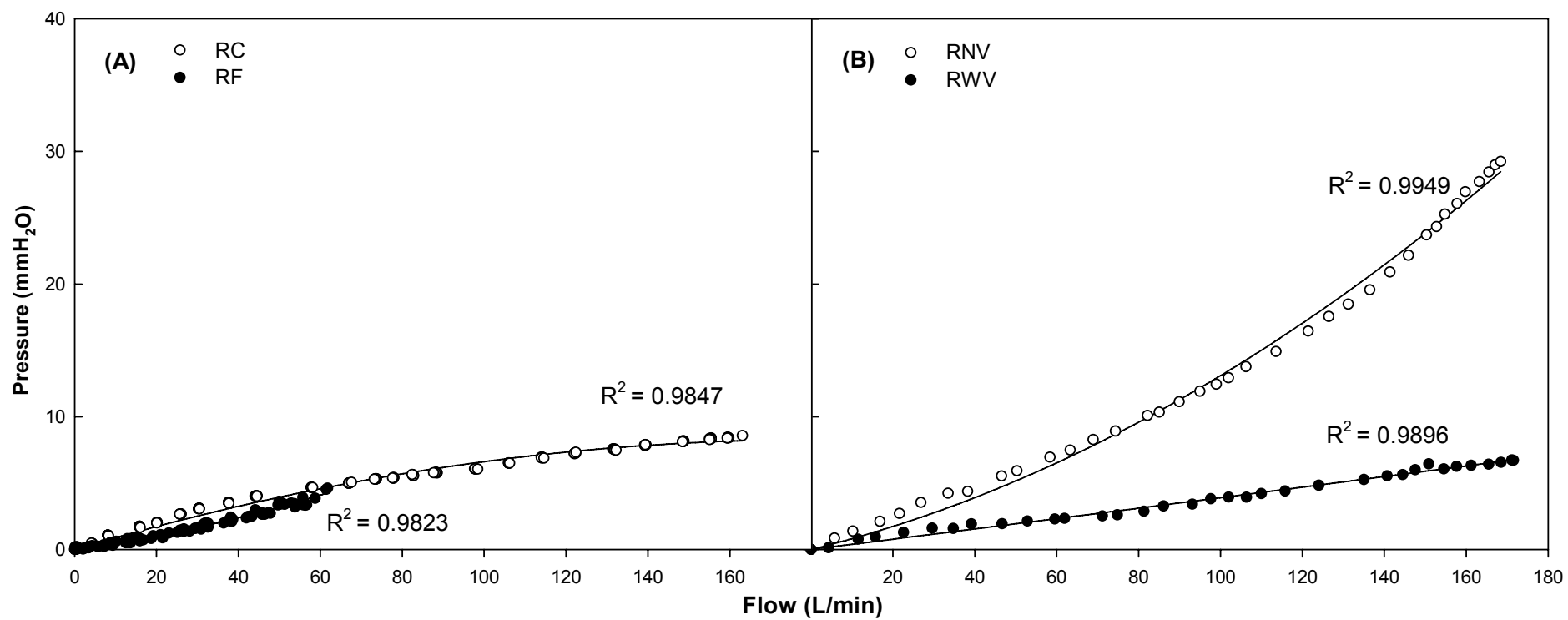


圖 4-2 呼吸防護具吐氣壓力與流量關係圖，圖(A)為實驗一所用面罩，圖(B)為實驗二所用面罩

第二節 全面式面罩在濕熱環境下造成生理負荷與主觀不適之實驗結果

實驗一的重複量數變異數分析結果如表 4-3 所示，其描述性統計數據如表 4-4 所示，表 4-5 則為主觀不適的描述性統計資料與無母數兩相依樣本威爾森檢定結果，由各表比較得知：

- (1) 在作業負荷方面，除了通氣當量和面罩內溫度之外，全部的生理指標與主觀不適皆達顯著變化，負荷增加時，除了吸氣與吐氣時間顯著下降外，其他皆為顯著上升，通氣當量為上升但無顯著，面罩內溫度唯有下降趨勢但無顯著。
- (2) 在面罩型式方面，以配戴對照面罩視為基本狀態，在配戴了全面式面罩之後，除了吸氣與吐氣時間顯著下降外，其他全部的生理指標皆為顯著上升，環境溼度不適和吸氣困難程度則無顯著差異。
- (3) 在環境溫度方面，溫度上升時，心跳、呼吸頻率、吸氣壓力、主觀不適皆為顯著上升，潮氣容積、吐氣壓力和吸氣時間皆為顯著下降，而吐氣時間和耗氧量為上升但未達顯著，分通氣量為下降未達顯著。
- (4) 在環境濕度方面，對工作心跳、心律儲備百分比、呼吸頻率、吸氣時間、耗氧量皆有顯著上升，其中以耗氧量的相關指標上升較為顯著，主觀不適則除了環境溫度不適之外皆為顯著上升。
- (5) 在交互作用方面發現溫度與面罩形式、溫度與作業負荷等皆有明顯的交互作用，以下皆分開作細項之比較與討論。

表 4-3 全面式面罩與對照面罩在濕熱環境下之生理負荷與主觀不適重複量數變異數分析結果(n=16)

	Environmental Temperature (ET)	Relative Humidity (RH)	Type of Respirator (RT)	Work Load (WL)	Significant Interaction ^B
Physiological workload					
Working Pulse (bpm)	***		*	***	ET-WL
Work Pulse (bpm)	***	**	*	***	ET-WL
Heart Rate Reserve (%)	***	*	*	***	
Peak Inspiratory Pressure (mmH ₂ O)	***		***	***	ET-RT,RT-WL,ET-RT-WL,ET-RH-RT-WL
Peak Expiratory Pressure (mmH ₂ O)	+		***	***	
Breathing Frequency (cycle/min)	**	*	**	***	ET-RH-WL,RH-RT-WL
Time of Inspiratory (sec)	**	*	***	**	RH-RT-WL
Time of Expiratory (sec)			+	***	
Minute Ventilation (L/min)		*	***	***	ET-WL
Tidal Volume (L)	*		**	***	ET-WL,RH-RT-WL
V _T /V _C (%)	*		**	***	ET-WL,RH-RT-WL
Oxygen Consumption (L/min)		**	*	***	ET-RT,ET-RT-WL
Percentage of Maximal Oxygen Consumption (%)		**	**	***	ET-RT,ET-WL,ET-RH-WL,ET-RT-WL
Oxygen Consumption / mass (ml/min/Kg)		**	*	***	ET-RT,ET-WL,ET-RT-WL
Metabolic Rate (Kcal/min)		**	+	***	ET-RT,ET-WL,ET-RT-WL
Ventilatory Equivalent	*	+	***		ET-RT,RH-WL
Temperature in Mask (°C) ^A	***		na		ET-WL
Subjective RPE for environment					
Discomfort caused by temperature	***		*	**	
Discomfort caused by humidity	***	***		***	
General discomfort for environment	***	*	+	***	
Subjective RPE for respirator					
Difficulty on inspiration	***	*		***	
Difficulty on expiration	***	+	**	**	
Discomfort caused by temperature inside the mask	***	+	***	***	RT-WL
Discomfort caused by sweating inside the mask	***	*	*	***	
General discomfort	***	*	***	***	RT-WL
Total RPE	***	*	**	***	ET-WL,RT-WL

⁺p<0.1, *p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001; ^AOnly for full-facepiece, ^Bp<0.05; na = not applicable.

表 4-4 全面式面罩與對照面罩在濕熱環境下之生理負荷描述性統計資料(mean±S.D.)

RT	W	L	E	T	R	H	HR _{work}	WP	%HRR	PIP	PEP	BF	Ti	Te	V _E	V _T	V _T /V _C	VO ₂	%VO _{2max}	VO _{2mass}	M	EQv	Tm
RC	L	25	50	110.8±13.9	35.0±11.0	36.9±8.2	14.0±1.1	14.8±1.5	22.1±4.1	1.37 ±0.25	1.39 ±0.21	24.5±5.0	1.1±0.2	28.9±6.0	0.85±0.2	32.5±9.3	1.2±0.2	4.2±0.8	29.0±3.1	na			
				70	112.5±15.5	40.5±9.3	41.5±8.4	13.8±2.4	15.5±2.3	24.4±4.2	1.25 ±0.26	1.40 ±0.51	25.2±7.1	1.1±0.3	27.0±7.5	0.89±0.2	34.4±11.9	1.3±0.3	4.4±1.2	28.2±1.9	na		
				35	120.2±14.9	48.9±9.7	49.8±8.8	15.0±1.6	14.0±2.3	23.6±4.9	1.31 ±0.27	1.43 ±0.35	24.0±5.1	1.0±0.2	27.2±7.2	0.84±0.2	32.3±9.3	1.2±0.3	4.2±1.0	28.5±2.8	na		
				70	123.2±12.9	53.5±8.4	53.4±7.3	15.4±1.5	14.4±1.3	24.8±4.2	1.19 ±0.25	1.38 ±0.27	27.3±6.1	1.1±0.2	28.9±7.9	0.97±0.2	37.0±9.3	1.4±0.3	4.8±1.0	28.2±3.2	na		
M				25	135.3±14.7	59.5±13.1	63.6±10.5	16.1±1.5	18.9±2.2	26.5±5.1	1.21 ±0.27	1.20 ±0.27	42.8±9.5	1.6±0.3	41.8±7.6	1.44±0.3	55.4±15.2	2.1±0.4	7.1±1.3	29.6±3.3	na		
				70	137.0±15.2	65.0±11.4	66.6±8.4	16.3±2.1	18.7±2.6	26.0±5.5	1.26 ±0.35	1.25 ±0.33	44.2±9.1	1.7±0.3	44.3±7.9	1.59±0.3	60.4±14.8	2.3±0.4	7.8±1.3	27.7±2.0	na		
				35	147.4±14.4	76.1±11.6	77.1±8.0	17.3±2.0	18.3±3.6	27.8±5.2	1.18 ±0.27	1.27 ±0.52	40.1±6.5	1.5±0.3	37.6±7.0	1.40±0.2	53.1±10.9	2.0±0.2	6.8±0.9	28.6±2.3	na		
				70	150.0±14.1	80.3±10.6	79.9±6.4	17.1±2.1	18.1±3.3	28.9±4.9	1.06 ±0.19	1.17 ±0.27	42.6±8.5	1.5±0.3	38.8±10.3	1.48±0.2	56.6±14.1	2.1±0.4	7.3±1.1	28.7±2.6	na		
RF	L	25	50	113.3±14.0	37.5±10.0	40.0±8.0	21.2±3.4	16.8±2.3	24.2±3.5	1.18 ±0.24	1.40 ±0.23	29.5±5.9	1.2±0.2	31.5±6.1	0.90±0.2	34.4±10.5	1.3±0.2	4.4±1.0	33.0±3.4	34.4±1.7			
				70	114.9±16.8	42.9±9.4	45.3±10.5	22.7±3.7	17.4±2.3	24.7±4.5	1.21 ±0.26	1.32 ±0.31	30.6±6.0	1.3±0.3	32.5±7.3	0.93±0.1	37.8±10.8	1.3±0.3	4.6±0.7	31.2±3.6	34.5±1.9		
				35	123.7±12.9	52.5±9.6	53.4±8.9	23.5±5.4	15.6±2.1	25.9±4.8	1.09 ±0.27	1.40 ±0.35	28.0±7.6	1.1±0.3	28.2±8.2	0.93±0.2	35.7±10.9	1.3±0.3	4.6±1.0	29.8±3.5	36.7±1.7		
				70	123.7±11.9	54.0±8.0	53.9±7.2	24.3±5.4	15.9±1.6	25.7±4.6	1.01 ±0.25	1.42 ±0.22	31.8±7.5	1.2±0.3	32.5±9.1	1.04±0.2	39.5±10.0	1.5±0.3	5.1±1.0	30.5±3.4	37.1±1.2		
M				25	136.5±14.2	60.7±12.4	64.9±10.3	30.7±7.0	20.7±3.6	28.9±5.2	1.09 ±0.27	1.13 ±0.20	49.5±11.1	1.7±0.4	44.5±8.7	1.46±0.2	55.9±13.3	2.1±0.3	7.2±1.0	33.7±4.5	34.3±2.0		
				70	139.9±15.9	67.9±11.6	70.7±10.2	30.8±5.2	19.8±2.3	29.5±6.0	1.11 ±0.25	1.13 ±0.20	48.5±6.8	1.7±0.3	44.0±6.2	1.54±0.2	61.4±13.3	2.2±0.5	7.6±1.2	30.8±3.7	34.1±1.8		
				35	151.9±14.2	80.6±11.6	81.8±8.2	33.8±7.2	19.5±3.5	29.4±6.0	1.05 ±0.24	1.12 ±0.22	46.3±7.7	1.6±0.4	41.7±9.4	1.52±0.1	58.2±13.7	2.2±0.3	7.5±0.7	30.4±3.7	37.0±1.8		
				70	152.3±12.6	82.6±8.0	82.6±7.2	35.1±7.3	19.6±3.2	31.3±6.9	0.95 ±0.27	1.16 ±0.25	48.0±8.2	1.6±0.3	40.8±10.0	1.61±0.2	61.0±12.4	2.3±0.4	7.9±1.0	29.9±3.3	37.5±1.3		

L = Light, M = Moderate; na = not applicable.

表 4-5 全面式面罩與對照面罩在濕熱環境下之主觀不適描述性統計資料(mean±S.D.)與無母數兩相依樣本威爾森檢

定結果

RT	WL	ET	RH	Environment			Respirator					
				Discomfort caused by temperature	Discomfort caused by humidity	General discomfort for environment	Difficulty on inspiration	Difficulty on expiration	Discomfort caused by temperature inside the mask	Discomfort caused by sweating inside the mask	General discomfort	Total RPE
RC	Light	25	50	1.1±1.1	1.1±1.1	1.3±1.0	1.6±1.2	1.5±1.0	1.3±1.2	1.1±1.0	1.4±1.0	6.9±5.1 ^c
				70	1.3±1.1	1.5±1.3	1.4±1.1	2.1±2.4	1.4±1.2	1.4±1.2	1.4±1.3	2.0±1.5
	Moderate	35	50	3.3±1.3 ^c	2.8±1.3 ^c	3.3±1.2 ^c	2.2±1.5 ^c	2.1±1.4 ^c	3.1±1.5 ^c	3.1±1.7 ^c	2.8±1.1 ^c	13.2±6.4 ^c
				70	3.8±1.5 ^c	3.7±1.1 ^{cd}	3.8±1.3 ^c	3.0±1.5 ^{cd}	2.9±1.7 ^{cd}	3.8±1.6 ^{cd}	3.9±1.5 ^{cd}	3.4±1.4 ^c
	Moderate	25	50	1.4±1.3	1.3±1.1	1.4±1.1	2.0±1.4	1.9±1.3 ^b	1.8±1.1 ^b	2.1±1.1 ^b	2.0±1.1 ^b	9.8±5.3 ^{bc}
				70	1.4±1.4	1.8±1.5	1.6±1.3	1.6±1.3 ^a	1.6±1.5	1.9±1.7 ^b	2.3±1.5 ^b	2.1±1.4
	Moderate	35	50	3.7±1.4 ^{bc}	3.2±1.4 ^c	3.4±1.2 ^c	3.4±2.2 ^{bc}	2.7±1.6 ^{bc}	3.7±1.4 ^{bc}	4.3±1.6 ^{bc}	3.7±1.3 ^{bc}	17.8±6.3 ^{bc}
				70	3.8±1.7 ^c	4.2±1.7 ^{cd}	4.2±1.5 ^c	4.1±2.3 ^{bcd}	3.1±1.7 ^c	4.2±1.9 ^c	4.6±2.1 ^c	4.2±1.2 ^{bc}
RF	Light	25	50	1.2±1.2	1.1±1.3	1.3±1.1	1.8±1.2	1.8±1.5	1.6±1.3	1.4±1.1 ^a	1.7±1.3	8.2±6.2 ^c
				70	1.6±1.3	1.7±1.4 ^d	1.6±1.3	2.1±1.6	2.1±1.6 ^a	2.0±1.8 ^a	1.8±1.7	2.1±1.8
	Moderate	35	50	3.6±1.3 ^c	3.1±1.3 ^c	3.3±1.0 ^c	2.8±1.7 ^{ac}	2.8±1.9 ^{ac}	3.6±1.6 ^{ac}	3.6±1.8 ^c	3.6±1.5 ^{ac}	16.3±7.5 ^{ac}
				70	3.8±1.2 ^c	3.6±1.1 ^{cd}	3.9±1.1 ^{cd}	3.0±1.4 ^c	3.2±1.5 ^c	3.9±1.4 ^c	4.6±2.1 ^{cd}	3.9±1.1 ^c
	Moderate	25	50	1.6±1.3	1.5±1.2	1.8±1.2 ^b	2.3±1.2 ^b	2.4±1.4 ^{ab}	2.4±1.5 ^b	2.8±1.9 ^b	2.7±1.5 ^{ab}	12.6±6.5 ^{abc}
				70	1.9±1.6 ^{ab}	2.4±1.8 ^{bd}	2.1±1.6 ^{ab}	2.4±1.9 ^a	2.4±1.8 ^a	2.6±1.8 ^a	2.8±1.9 ^b	3.0±1.9 ^{ab}
	Moderate	35	50	4.2±1.6 ^{bc}	3.3±1.7 ^c	4.0±1.5 ^{bc}	3.4±2.0 ^{bc}	3.2±1.8	4.9±1.6 ^{abc}	4.9±1.7 ^{bc}	4.6±1.8 ^{ac}	21.0±7.2 ^{abc}
				70	4.3±1.6 ^c	4.2±1.8 ^{cd}	4.3±1.5 ^c	3.7±2.0 ^{bc}	3.8±2.1 ^{abcd}	5.0±1.7 ^{abc}	5.4±2.3 ^{bc}	5.1±1.8 ^{abc}
Average				2.7±1.2	2.6±1.3	2.5±1.1	2.6±0.8	2.4±0.7	2.9±1.2	3.1±1.4	3.0±1.1	14.1±5.1

^aSignificant difference (p<0.05) between RF and RC under the same WL, ET, and RH

^bSignificant difference (p<0.05) between moderate and light WL under the same RT, ET, and RH

^cSignificant difference (p<0.05) between ET = 35°C and 25°C under the same RT, WL, and RH

^dSignificant difference (p<0.05) between RH = 70% and 50% under the same RT, WL, and ET

4.2.1 客觀生理指標結果

4.2.1.1 工作時心跳、工作心跳、心率儲備百分比

表 4-6 為工作時心跳、工作心跳、心率儲備百分比之詳細數據，分別整理於圖 4-3、圖 4-4、圖 4-5，並於圖標上兩兩配對差異分析結果，說明如下：

由表 4-3 可知環境溫度對工作時心跳有顯著影響，溼度則無。由表 4-6 可知配戴全面式面罩執行輕度(45W)工作，當環境溫度上升(由 25°C 至 35°C)，工作時心跳在濕度為 50%時由 113.3 增加到 123.7 bpm，濕度為 70%時由 114.9 增加至 123.7 bpm，平均上升約 9-10 bpm，執行中度(85W)工作當環境溫度上升時，工作時心跳在濕度為 50%時由 136.5 增加到 151.9 bpm，濕度為 70%時由 139.9 增加至 152.3 bpm，平均上升約 12-15 bpm。配戴對照面罩執行輕度工作，當環境溫度上升，工作時心跳在濕度為 50%時由 110.8 增加到 120.2 bpm，濕度為 70%時由 112.5 增加至 123.2 bpm，平均上升約 9-11 bpm，執行中度(85W)工作當環境溫度上升時，工作時心跳在濕度為 50%時由 135.3 增加到 147.4 bpm，濕度為 70%時由 137.0 增加至 150.0 bpm，平均上升約 12-13 bpm。因此無論是對照面罩或全面式面罩，在相同的負荷及環境濕度下，環境溫度上升均會增加工作時心跳，由圖 4-3 亦可看出此趨勢，環境濕度方面，在相同面罩、負荷及溫度下也有上升趨勢，但未達顯著差異。

由表 4-3 可知環境溫度和環境濕度接對工作心跳有顯著影響。由表 4-6 可知配戴全面式面罩執行輕度工作，當環境溫度上升，工作時心跳在濕度為 50%時由 37.5 增加到 52.5 bpm，濕度為 70%時由 42.9 增加至 54.0 bpm，平均上升約 11-15 bpm，執行中度（85W）工作當環境溫度上升時，工作時心跳在濕度為 50%時由 59.5 增加到 76.1 bpm，濕度為 70%時由 65.0 增加至 80.3 bpm，平均上升約 15-17bpm。當環境濕度上升（由 50%至 70%），工作時心跳在溫度為 25°C 時由 37.5 增加到 42.9 bpm，溫度為 35°C 時由 52.5 增加至 54.0 bpm，平均上升約 2-5 bpm，執行中度（85W）工作當環境濕度上升時，工作時心跳在溫度為 25°C 時由 60.7 增加到 67.91 bpm，溫度為 35°C 時由 80.6 增加至 82.6 bpm，平均上升約 2-7 bpm。在對照面罩的情形也類似。配戴對照面罩亦有類似的情形，趨勢與全面式面罩類似。

在心率儲備百分比方面，與上述工作時心跳和工作心跳的趨勢相近，環境溫度和環境溼度皆對心率儲備百分比有顯著影響。由表 4-6 可知配戴全面式面罩執行輕度工作，當環境溫度上升，心率儲備百分比在濕度為 50%時由 42.7 增加到 56.6 個百分比，濕度為 70%時由 46.7 增加至 57.2 個百分比，平均上升約 11-14 個百分比，執行中度工作在環境溫度上升時，心率儲備百分比在濕度為 50%時由 69.5 個百分比增加到 86.5 個百

分比，濕度為 70%時由 73.6 增加至 87.8 個百分比，平均上升約 14-17 個百分比。配戴對照面罩亦有類似的情形，趨勢與全面式面罩類似。

註：詳細數據表中的兩兩配對差異分析結果均同時標記於各數據整理成的箱型圖上，箱型圖由上而下依序代表意義：第 95%分位、第 75%分位、第 50%分位、第 25%分位、第 5%分位，最上與最下之點「●」分別代表最大值與最小值，在主觀不適的部分中有些箱型圖無標出最大值，是因最大值等同於第 95%分位的值之故。



表 4-6 全面式面罩與對照面罩在濕熱環境下之工作時心跳、工作心跳和心率儲備百分比描述性統計資料與配對樣本

t 檢定統計結果

RT	RC								RF							
	Light				Moderate				Light				Moderate			
ET(°C)	25		35		25		35		25		35		25		35	
RH(%)	50	70	50	70	50	70	50	70	50	70	50	70	50	70	50	70
HR _{work} (bpm)	110.8	112.5	120.2 ^c	123.2 ^c	135.3 ^b	137.0 ^b	147.4 ^{bc}	150.0 ^{bc}	113.3 ^a	114.9	123.7 ^{ac}	123.7 ^c	136.5 ^b	139.9 ^{ab}	151.9 ^{abc}	152.3 ^{bc}
S.D.	13.9	15.5	14.9	12.9	14.7	15.2	14.4	14.1	14	16.8	12.9	11.9	14.2	15.9	14.2	12.6
WP(bpm)	35.0	40.5 ^d	48.9 ^c	53.5 ^c	59.5 ^b	65.0 ^b	76.1 ^{bc}	80.3 ^{bc}	37.5 ^a	42.9 ^d	52.5 ^{ac}	54.0 ^c	60.7 ^b	67.9 ^{abd}	80.6 ^{abc}	82.6 ^{bc}
S.D.	11	9.3	9.7	8.4	13.1	11.4	11.6	10.6	10	9.4	9.6	8	12.4	11.6	11.6	8
%HRR(%)	36.9	41.5	49.8 ^c	53.4 ^c	63.6 ^b	66.6 ^b	77.1 ^{bc}	79.9 ^{bc}	40.0 ^a	45.3 ^d	53.4 ^{ac}	53.9 ^c	64.9 ^b	70.7 ^{abd}	81.8 ^{abc}	82.6 ^{bc}
S.D.	9.7	11.2	12.6	10.3	14.5	12.7	13.1	13.5	10.7	12.2	12.3	10	16.6	14.4	14.2	15

^aSignificant difference (p<0.05) between RF and RC under the same WL, ET, and RH

^bSignificant difference (p<0.05) between moderate and light WL under the same RT, ET, and RH

^cSignificant difference (p<0.05) between ET = 35°C and 25°C under the same RT, WL, and RH

^dSignificant difference (p<0.05) between RH = 70% and 50% under the same RT, WL, and ET

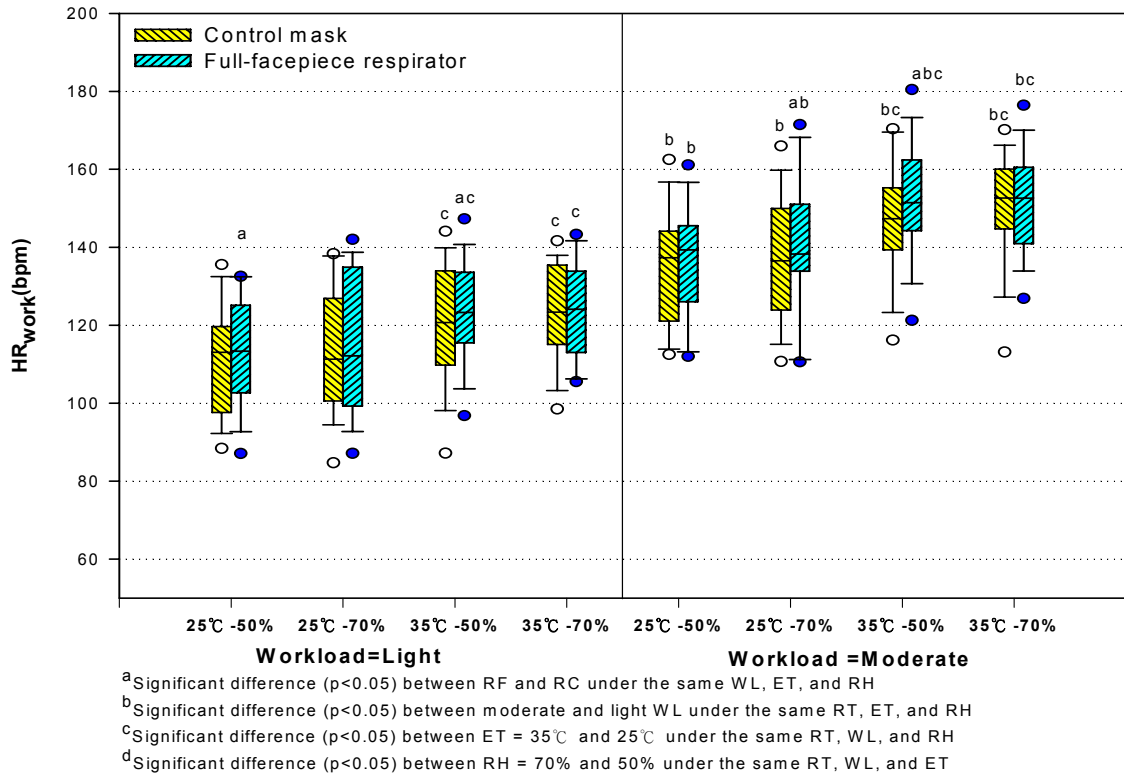


圖 4-3 各溫溼度下執行輕中工作之工作時心跳數

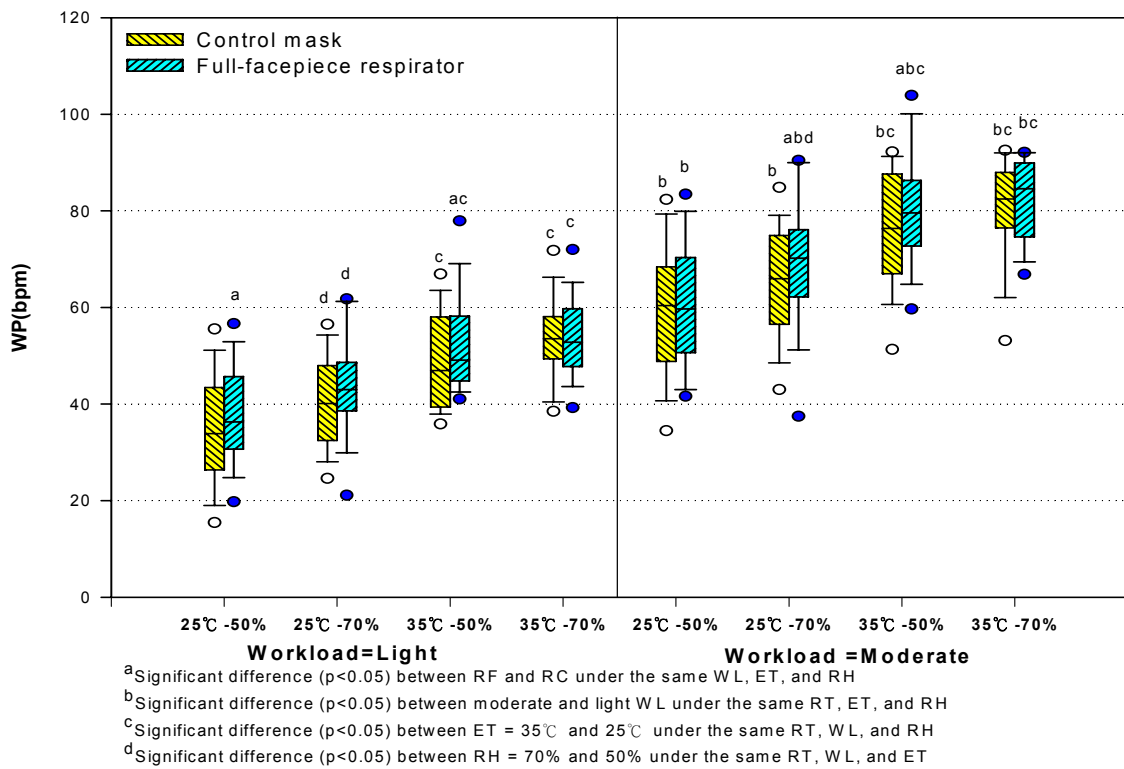


圖 4-4 各溫溼度下執行輕中工作負荷之工作心跳

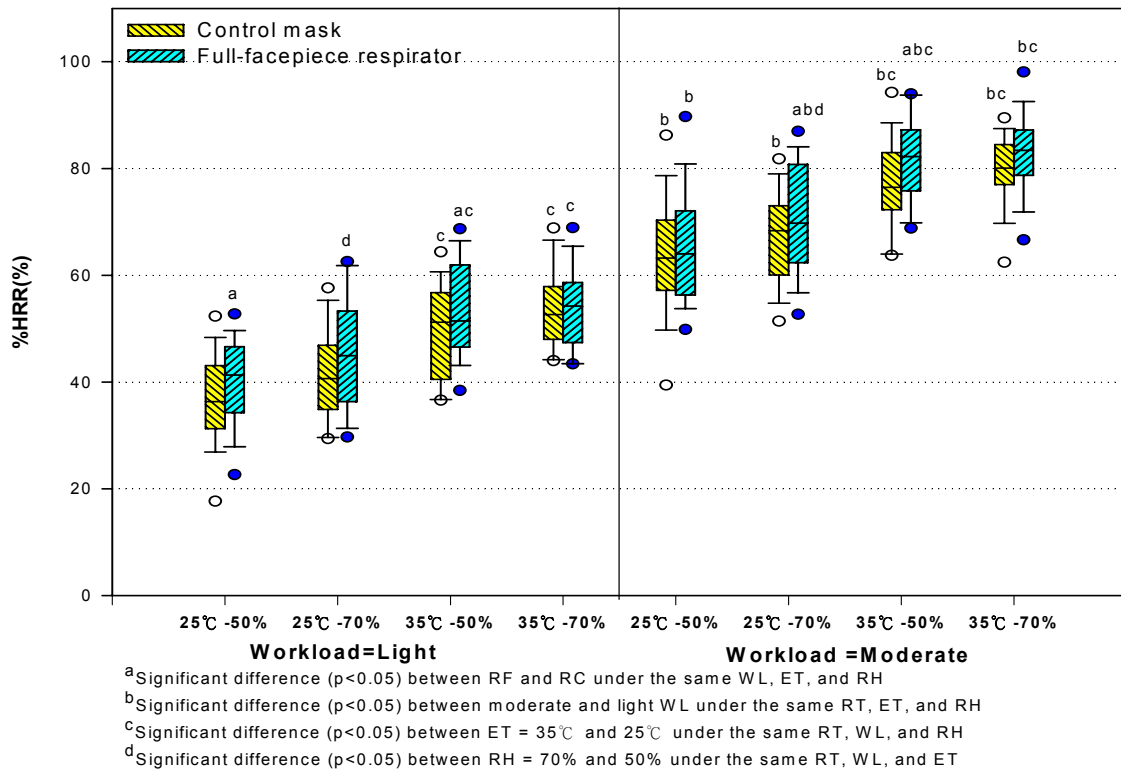


圖 4-5 各溫溼度下執行輕中工作負荷之心率儲備百分比

4.2.1.7 吸氣壓力、吐氣壓力

表 4-7 為吸氣壓力、吐氣壓力之詳細數據，分別整理於圖 4-6、圖 4-7，

說明如下：

由表 4-3 可知環境溫度對吸氣壓力有顯著影響，但溼度則無顯著。由表 4-7 可知配戴全面式面罩執行輕度（45W）工作，當環境溫度上升，吸氣壓力在濕度為 50% 時由 21.2 增加到 23.5 mmH₂O，濕度為 70% 時由 22.7 增加至 24.3 mmH₂O，平均上升約 1.6-2.3 mmH₂O，執行中度（85W）工作當環境溫度上升時，吸氣壓力在濕度為 50% 時由 30.7 增加到 33.8

mmH₂O，濕度為 70%時由 30.8 增加至 35.1 bpm，平均上升約 3.1-4.3 mmH₂O。配戴對照面罩執行輕度工作，當環境溫度上升，吸氣壓力在濕度為 50%時由 14.0 增加到 15.0 mmH₂O，濕度為 70%時由 13.8 增加至 15.4 mmH₂O，平均上升約 1-1.6 mmH₂O，執行中度（85W）工作當環境溫度上升時，吸氣壓力在濕度為 50%時由 16.1 增加到 17.3 mmH₂O，濕度為 70%時由 16.3 增加至 17.1 mmH₂O，平均上升約 0.8-1.2 mmH₂O。因此無論是對照面罩或全面式面罩，在相同的負荷及環境濕度下，環境溫度上升均會增加吸氣壓力，其中以全面式面罩增加的程度較大，由圖 4-6 亦可明顯看出全面式面罩的吸氣壓力顯著高於對照面罩，且執行中度作業時，溫度上升時，吸氣壓力增加的程度也較高。

由表 4-3 可知環境溫度對吐氣壓力有稍微顯著的影響，環境濕度則無，由表 4-7 的兩樣本差異分析結果中的標記 C 可看出，配戴全面式面罩執行輕度負荷時，在相同濕度 70%下，環境溫度由 25°C 上升到 35°C 時，吸氣壓力由 17.4 減少至 15.9 mmH₂O，下降了 1.5 mmH₂O，在其他條件亦有類似下降的趨勢，但均不顯著。

表 4-7 全面式面罩與對照面罩在濕熱環境下之吸氣與吐氣壓力描述性統計資料與配對樣本 t 檢定統計結果

RT	RC								RF							
	Light				Moderate				Light				Moderate			
ET(°C)	25		35		25		35		25		35		25		35	
RH(%)	50	70	50	70	50	70	50	70	50	70	50	70	50	70	50	70
PIP(mmH ₂ O)	14.0	13.8	15.0 ^c	15.4 ^c	16.1 ^b	16.3 ^b	17.3 ^{bc}	17.1 ^b	21.2 ^a	22.7 ^a	23.5 ^{ac}	24.3 ^a	30.7 ^{ab}	30.8 ^{ab}	33.8 ^{abc}	35.1 ^{abc}
S.D.	1.1	2.4	1.6	1.5	1.5	2.1	2	2.1	3.4	3.7	5.4	5.4	7	5.2	7.2	7.3
PEP(mmH ₂ O)	14.8 ^b	15.5 ^c	14.0	14.4	18.9 ^b	18.7 ^b	18.3 ^b	18.1 ^b	16.8 ^a	17.4 ^{ac}	15.6 ^a	15.9 ^a	20.7 ^{ab}	19.8 ^{ab}	19.5 ^b	19.6 ^b
S.D.	1.5	2.3	2.3	1.3	2.2	2.6	3.6	3.3	2.3	2.3	2.1	1.6	3.6	2.3	3.5	3.2

^aSignificant difference ($p < 0.05$) between RF and RC under the same WL, ET, and RH

^bSignificant difference ($p < 0.05$) between moderate and light WL under the same RT, ET, and RH

^cSignificant difference ($p < 0.05$) between ET = 35°C and 25°C under the same RT, WL, and RH

^dSignificant difference ($p < 0.05$) between RH = 70% and 50% under the same RT, WL, and ET

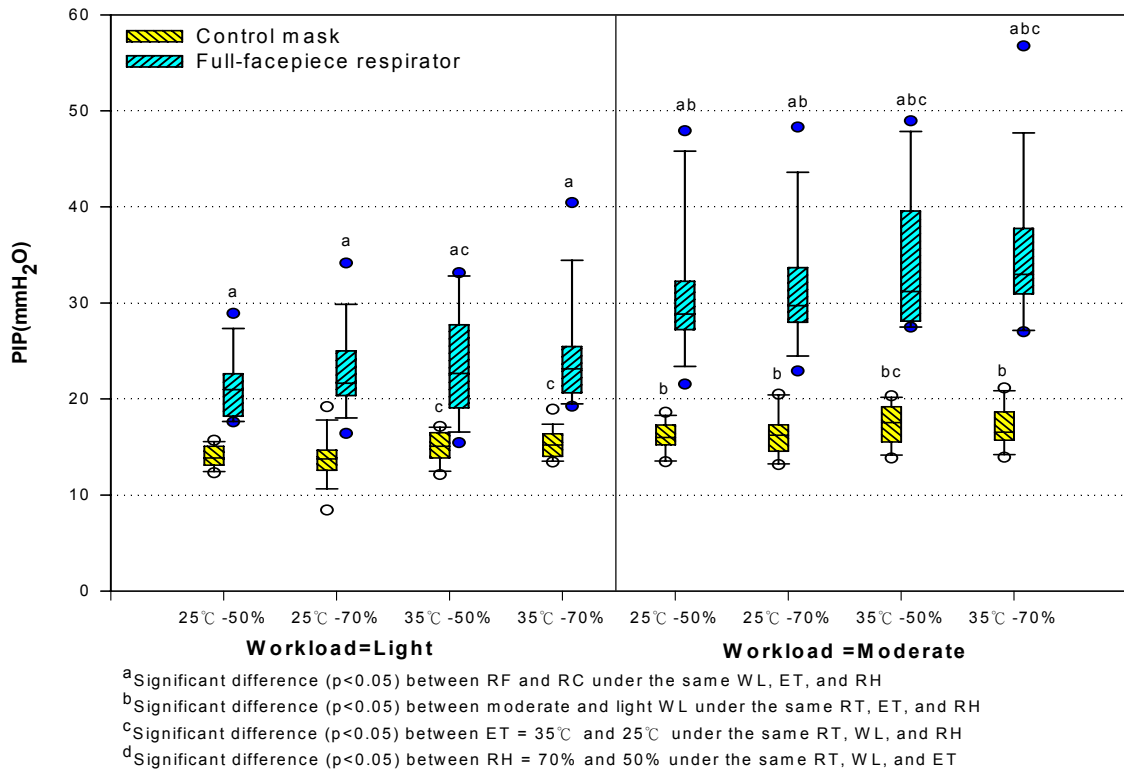


圖 4-6 各溫溼度下執行輕中工作之分通氣量吸氣壓力

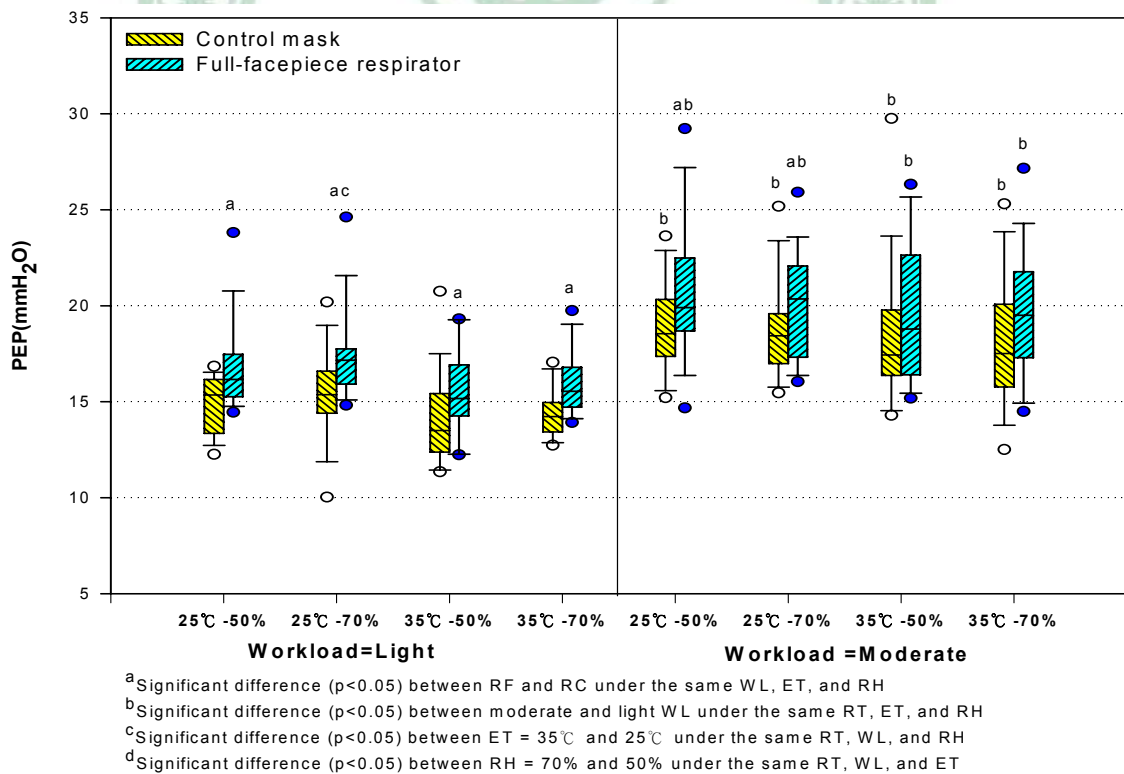


圖 4-7 各溫溼度下執行輕中工作之吐氣壓力

4.2.1.4 呼吸頻率、吸氣時間、吐氣時間

表 4-8 為呼吸頻率、吸氣時間、吐氣時間之詳細數據，趨勢整理於圖 4-8、圖 4-9、圖 4-10，說明如下：

由表 4-3 可知環境溫度和環境溼度皆對呼吸頻率有顯著影響。由表 4-8 可知配戴全面式面罩執行輕度(45W)工作，當環境溫度上升(由 25°C 至 35°C)，呼吸頻率在濕度為 50%時由 24.2 增加到 25.9 cycle/min，濕度為 70%時由 24.7 增加至 25.7 cycle/min，平均上升約 1-1.7 cycle/min，執行中度(85W)工作當環境溫度上升時，呼吸頻率在濕度為 50%時由 28.9 增加到 29.4 cycle/min，濕度為 70%時由 29.5 增加至 31.3 cycle/min，平均上升約 0.5-1.8 cycle/min；配戴對照面罩執行輕度(45W)工作，當環境溫度上升(由 25°C 至 35°C)，呼吸頻率在濕度為 50%時由 22.1 增加到 23.6 cycle/min，濕度為 70%時由 24.4 增加至 24.8 cycle/min，平均上升約 0.4-1.5 cycle/min，執行中度(85W)工作當環境溫度上升時，呼吸頻率在濕度為 50%時由 26.5 增加到 27.8 cycle/min，濕度為 70%時由 26.0 增加至 28.9 cycle/min，平均上升約 1.3-2.9 cycle/min。因此無論是對照面罩或全面式面罩，在相同的負荷及環境濕度下，環境溫度上升均會增加呼吸頻率。

在濕度方面，配戴對照面罩執行輕度工作，當環境濕度上升，呼吸頻率在溫度為 25°C 時由 24.2 增加到 24.7 cycle/min，溫度為 35°C 時由 25.9

減少至 25.7 cycle/min，平均上升約 0.3 cycle/min，執行中度（85W）工作當環境濕度上升時，呼吸頻率在溫度為 25°C 時由 28.9 增加到 29.5 cycle/min，溫度為 35°C 時由 29.4 增加至 31.3 cycle/min，平均上升約 0.6-1.9 cycle/min，有上升趨勢但沒有環境溫度那麼顯著。配合圖 4-8 可知不論是對照面罩或全面式面罩，在相同的負荷及環境濕度下，環境溫度上升皆會增加呼吸頻率，其中全面式面罩在高溫高溼時上升的幅度最明顯。

在吸氣時間方面，環境溫度和環境濕度皆對吸氣時間有顯著影響，由表 4-8 可知，配戴全面式面罩執行輕度工作，當環境溫度上升，吸氣時間在濕度為 50% 時由 1.18 減少到 1.09 sec，濕度為 70% 時由 1.21 減少至 1.01 sec，平均下降約 0.2-0.09 sec，執行中度工作當環境溫度上升時，工作時心跳在濕度為 50% 時由 1.09 減少到 1.05 sec，濕度為 70% 時由 1.11 減少至 0.95 sec，平均下降約 0.04-0.16 sec。配戴全面式面罩執行輕度工作，當環境濕度上升，吸氣時間在溫度為 25°C 時由 1.18 增加到 1.21 sec，溫度為 35°C 時由 1.09 減少至 1.01 sec，平均下降約 0.05 sec，執行中度工作當環境濕度上升時，工作時心跳在溫度為 25°C 時由 1.09 增加到 1.11 sec，溫度為 35°C 時由 1.05 減少至 0.95 sec，平均下降約 0.08 sec。

因此可知在相同的負荷和環境濕度下，環境溫度上升會減少吸氣時間，在相同的負荷和環境溫度下，環境濕度上升亦會減少吸氣時間，配合圖 4-9 可看出對照面罩亦有一致的趨勢。

由表 4-3 可知環境溫度、環境溼度皆對吐氣時間無顯著影響，僅作業負荷對吐氣時間有顯著影響。



表 4-8 全面式面罩與對照面罩在濕熱環境下之呼吸頻率、吸氣和吐氣時間描述性統計資料與配對樣本 t 檢定統計結果

RT	RC								RF							
	Light				Moderate				Light				Moderate			
ET(°C)	25		35		25		35		25		35		25		35	
RH(%)	50	70	50	70	50	70	50	70	50	70	50	70	50	70	50	70
BF(cycle/min)	22.1	24.4	23.6	24.8	26.5 ^b	26.0	27.8 ^b	28.9 ^b	24.2 ^a	24.7	25.9 ^{ac}	25.7	28.9 ^{ab}	29.5 ^{ab}	29.4 ^b	31.3 ^b
S.D.	4.1	4.2	4.9	4.2	5.1	5.5	5.2	4.9	3.5	4.5	4.8	4.6	5.2	6.0	6.0	6.9
Ti(sec)	1.37 ^{ab}	1.25	1.31 ^{ab}	1.19 ^{ab}	1.21	1.26 ^{ac}	1.18 ^{ad}	1.06	1.18	1.21 ^c	1.09	1.01	1.09	1.11 ^c	1.05	0.95
S.D.	0.25	0.26	0.27	0.25	0.27	0.35	0.27	0.19	0.24	0.26	0.27	0.25	0.27	0.25	0.24	0.27
Te(sec)	1.39 ^b	1.40	1.43	1.38 ^b	1.20	1.25	1.27	1.17	1.40 ^b	1.32 ^b	1.40 ^b	1.42 ^b	1.13	1.13	1.12	1.16
S.D.	0.21	0.51	0.35	0.27	0.27	0.33	0.52	0.27	0.23	0.31	0.35	0.22	0.2	0.2	0.22	0.25

^aSignificant difference ($p < 0.05$) between RF and RC under the same WL, ET, and RH

^bSignificant difference ($p < 0.05$) between moderate and light WL under the same RT, ET, and RH

^cSignificant difference ($p < 0.05$) between ET = 35°C and 25°C under the same RT, WL, and RH

^dSignificant difference ($p < 0.05$) between RH = 70% and 50% under the same RT, WL, and ET

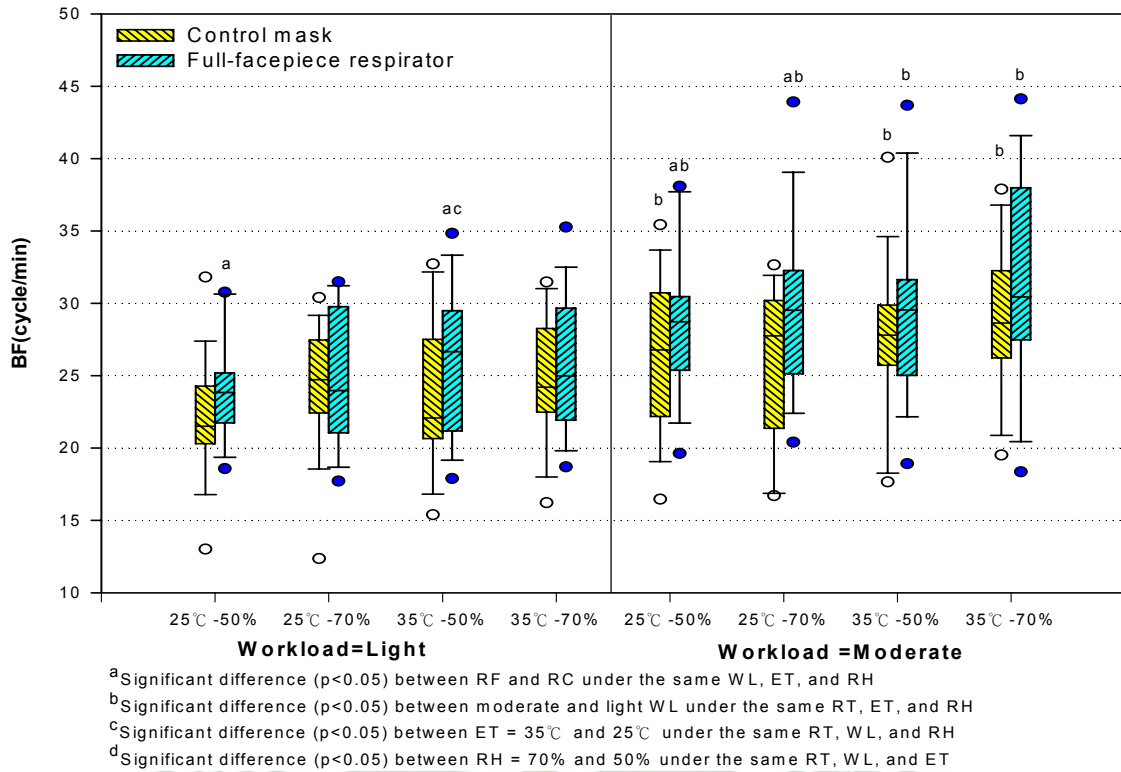


圖 4-8 各溫溼度下執行輕中工作之呼吸頻率

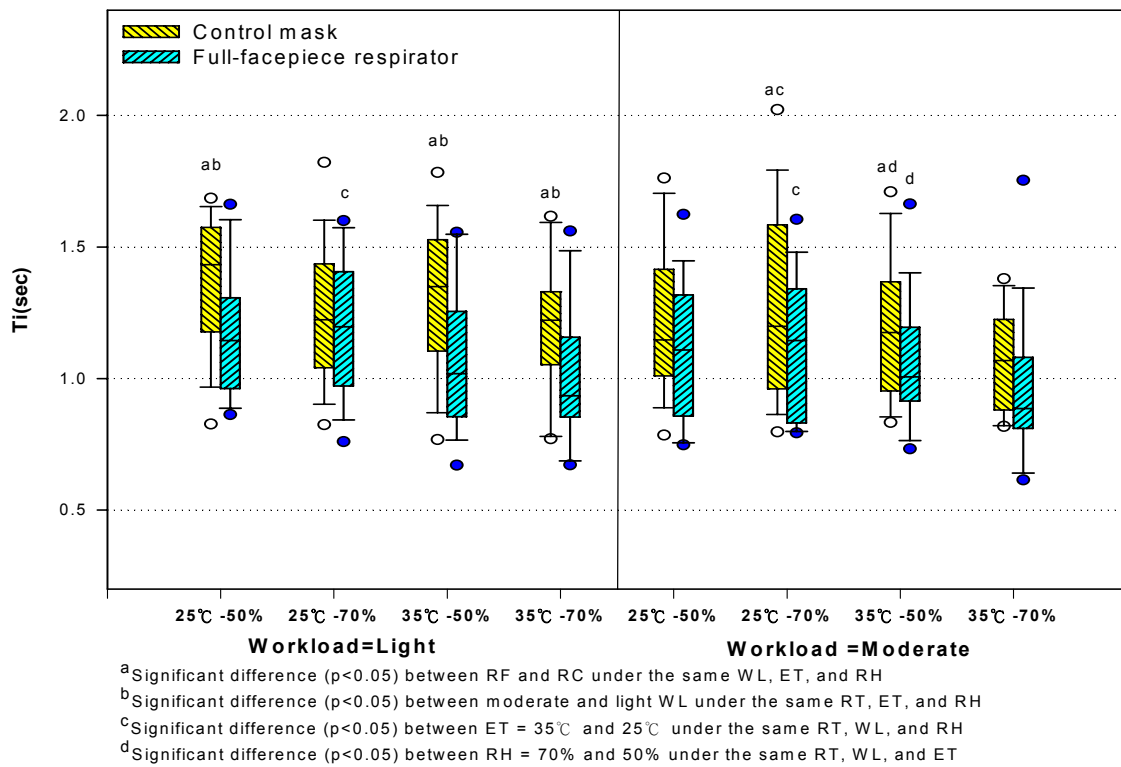
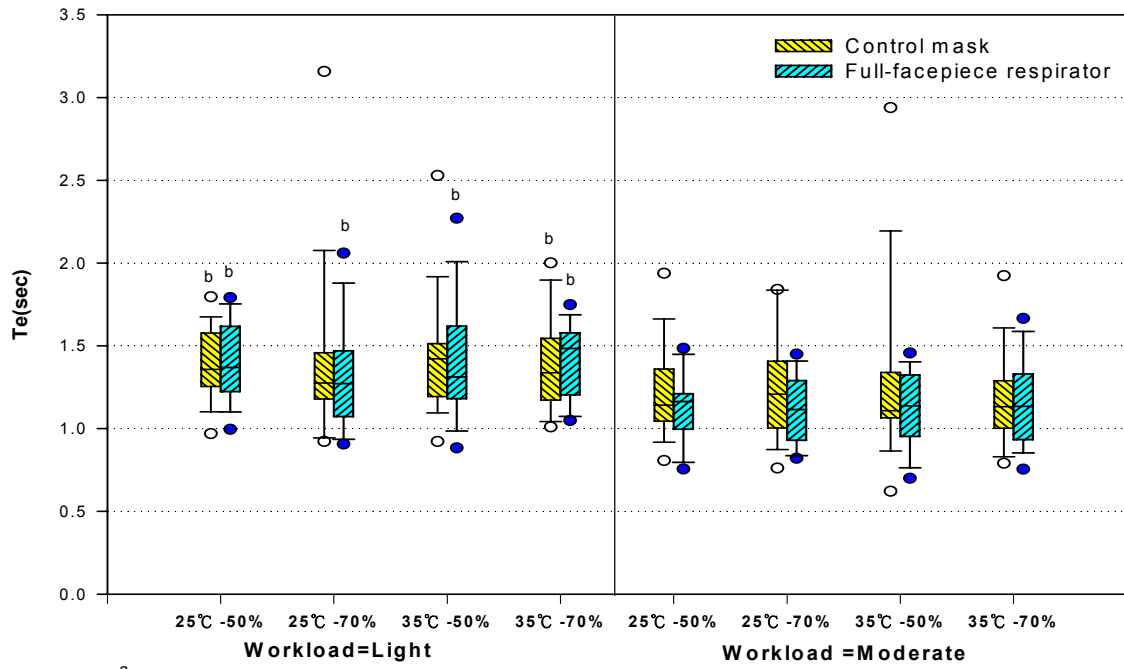


圖 4-9 各溫溼度下執行輕中工作之吸氣時間



- ^aSignificant difference ($p < 0.05$) between RF and RC under the same WL, ET, and RH
- ^bSignificant difference ($p < 0.05$) between moderate and light WL under the same RT, ET, and RH
- ^cSignificant difference ($p < 0.05$) between ET = 35°C and 25°C under the same RT, WL, and RH
- ^dSignificant difference ($p < 0.05$) between RH = 70% and 50% under the same RT, WL, and ET

圖 4-10 各溫溼度下執行輕中工作之吐氣時間

4.2.1.5 分通氣量、潮氣容積、 V_T/VC

表 4-9 為分通氣量、潮氣容積、 V_T/VC 之詳細數據，分別整理於圖 4-11、圖 4-12、圖 4-13，說明如下：

由表 4-3 可知環境濕度對分通氣量有顯著影響，溫度則無顯著。由表 4-9 可知配戴全面式面罩執行輕度（45W）工作，當環境濕度上升（由 50% 至 70%），分通氣量在溫度為 25°C 時由 29.5 增加到 30.6 bpm，溫度為 35°C 時由 28.0 增加至 31.8 bpm，平均上升約 1.1-3.8 bpm，執行中度（85W）工作當環境濕度上升時，分通氣量在溫度為 25°C 時由 49.5 減少到 48.5 bpm，溫度為 35°C 時由 46.3 增加至 48 bpm，平均上升約 0.7 bpm。配戴對照面罩執行輕度（45W）工作，當環境濕度上升（由 50% 至 70%），分通氣量在溫度為 25°C 時由 24.5 增加到 25.2 bpm，溫度為 35°C 時由 24.0 增加至 27.3 bpm，平均上升約 0.7-3.3 bpm，執行中度（85W）工作當環境濕度上升時，分通氣量在溫度為 25°C 時由 42.8 增加到 44.2 bpm，溫度為 35°C 時由 40.1 增加至 42.6 bpm，平均上升約 1.4-2.5 bpm。因此無論是對照面罩或全面式面罩，在相同的負荷和環境溫度下，環境濕度上升均會增加分通氣量，由圖-11 可看出以全面式面罩之通氣量大於對照面罩。

由表 4-3 可知溫度對潮氣容積有顯著影響，溼度則無顯著。由表 4-9 可知配戴全面式面罩執行輕度（45W）工作，當環境溫度上升（由 25°C

至 35°C)，潮氣容積在濕度為 50%時由 1.2 減少到 1.1 bpm，濕度為 70% 時由 1.3 減少至 1.2 bpm，平均下降約 0.1 bpm，執行中度 (85W) 工作當環境溫度上升時，潮氣容積在濕度為 50%時由 1.7 減少到 1.6 bpm，濕度為 70%時由 1.7 減少至 1.6 bpm，平均下降約 0.1 bpm，對照面罩亦有類似趨勢。

由表 4-3 可知溫度對 V_T/VC 有顯著影響，溼度則無顯著。 V_T/VC 代表的是潮氣容積佔肺活量的百分比，為除去各受試者間的差異後的相對值，由表 4-9 可看出潮氣容積與 V_T/VC 的兩樣本配對差異分析有一致的情形。



表 4-9 全面式面罩與對照面罩在濕熱環境下之分通氣量、潮氣容積、潮氣容積佔肺活量之百分比描述性統計資料與

配對樣本 t 檢定統計結果

RT	RC								RF							
	Light				Moderate				Light				Moderate			
ET(°C)	25		35		25		35		25		35		25		35	
RH(%)	50	70	50	70	50	70	50	70	50	70	50	70	50	70	50	70
V _E (L/min)	24.5	25.2	24.0	27.3 ^d	42.8 ^b	44.2 ^b	40.1 ^b	42.6 ^b	29.5 ^a	30.6 ^a	28.0 ^a	31.8 ^a	49.5 ^{abc}	48.5 ^{ab}	46.3 ^{ab}	48.0 ^{ab}
S.D.	5	7.1	5.1	6.1	9.5	9.1	6.5	8.5	5.9	6	7.6	7.5	11.1	6.8	7.7	8.2
V _T (L)	1.1	1.1	1.0	1.1	1.6 ^{bc}	1.7 ^{bc}	1.5 ^b	1.5 ^b	1.2 ^a	1.3 ^a	1.1	1.2 ^a	1.7 ^b	1.7 ^b	1.6 ^{ab}	1.6 ^b
S.D.	0.2	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.4	0.3
V _T /VC(%)	28.9	27.0	27.2	28.9	41.8 ^{bc}	44.3 ^{bc}	37.6 ^b	38.8 ^b	31.5 ^a	32.5 ^a	28.2	32.5 ^a	44.5 ^b	44.0 ^b	41.7 ^{ab}	40.8 ^b
S.D.	6	7.5	7.2	7.9	7.6	7.9	7	10.3	6.1	7.3	8.2	9.1	8.7	6.2	9.4	10

^aSignificant difference (p<0.05) between RF and RC under the same WL, ET, and RH

^bSignificant difference (p<0.05) between moderate and light WL under the same RT, ET, and RH

^cSignificant difference (p<0.05) between ET = 35°C and 25°C under the same RT, WL, and RH

^dSignificant difference (p<0.05) between RH = 70% and 50% under the same RT, WL, and ET

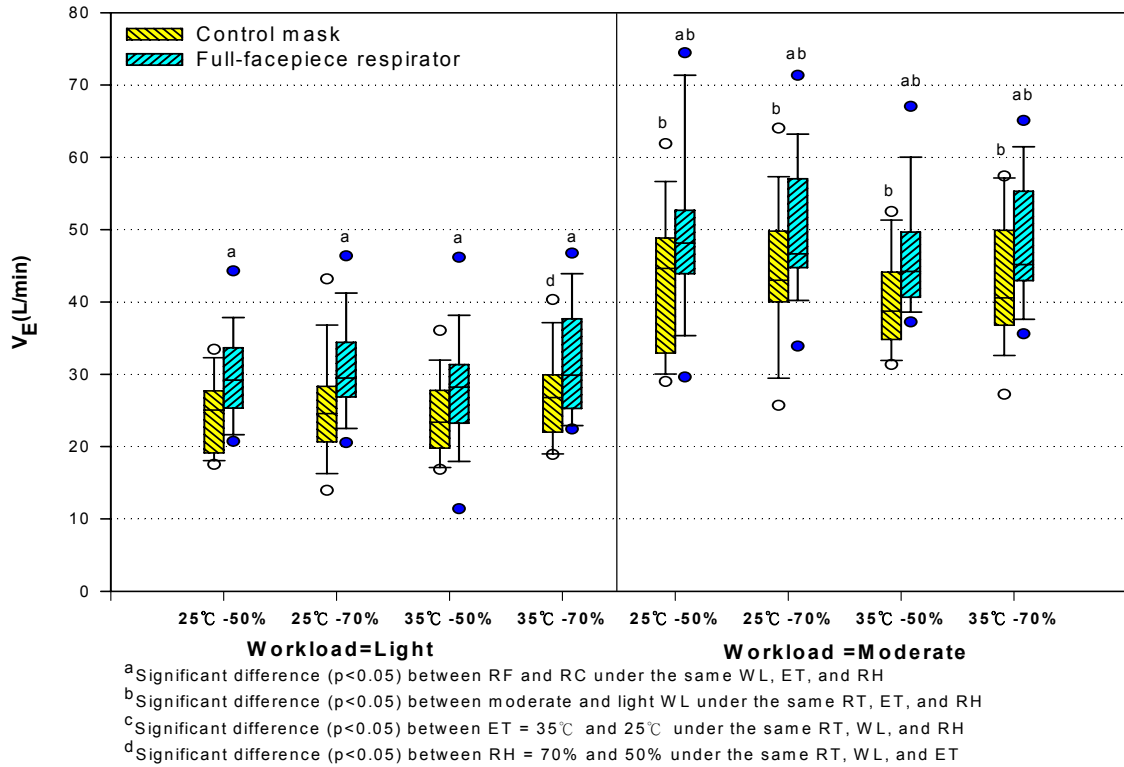


圖 4-11 各溫溼度下執行輕中工作之分通氣量

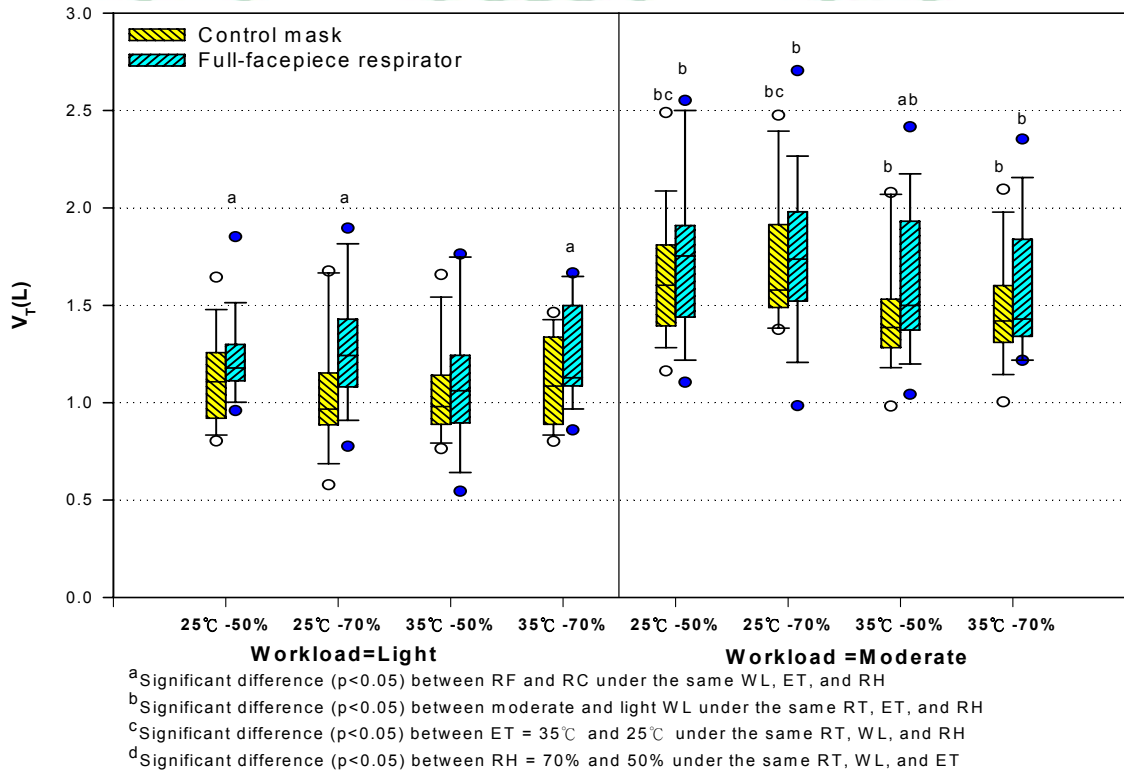


圖 4-12 各溫溼度下執行輕中工作之潮氣容積

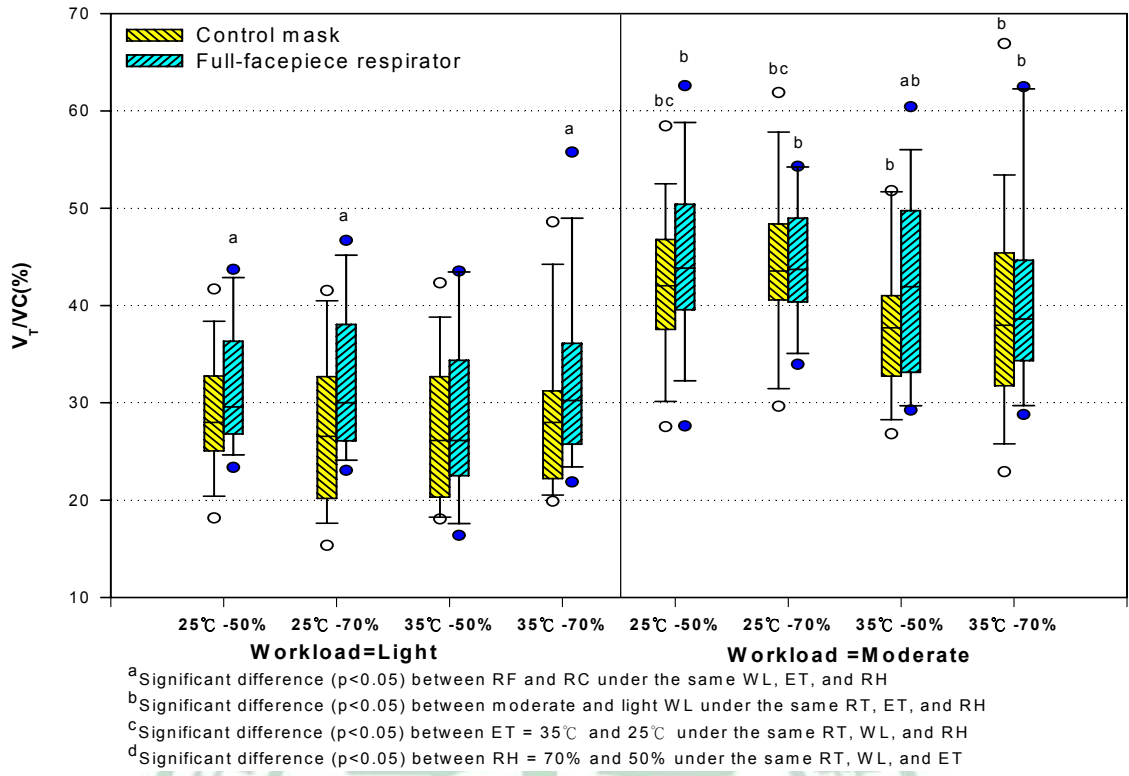


圖 4-13 各溫濕度下執行輕中工作之 V_T/VC



4.2.1.11 耗氧量、最大耗氧量百分比、單位體重耗氧量、新陳代謝量、通氣當量

表 4-10 為耗氧量、最大耗氧量百分比、單位體重耗氧量、新陳代謝量、通氣當量之詳細數據，分別整理於圖 4-14、圖 4-15、圖 4-16、圖 4-17、圖 4-18，說明如下：

由表 4-3 得知溼度對耗氧量有顯著影響，溫度則無顯著。由表 4-10 可知配戴全面式面罩執行輕度工作時，當環境濕度上升（由 50 至 70%），耗氧量在溫度為 25°C 時由 0.90 增加到 0.93 L/min，溫度為 35°C 時由 0.93 增加至 1.04 L/min，平均上升約 0.03-0.11 L/min，執行中度工作當環境濕度上升時，工作時心跳在溫度為 25°C 時由 1.46 增加到 1.54 L/min，溫度為 35°C 時由 1.52 增加至 1.61 L/min，平均上升約 0.08-0.09 L/min。配戴對照面罩執行輕度工作時，當環境濕度上升（由 50 至 70%），耗氧量在溫度為 25°C 時由 0.85 增加到 0.89 L/min，溫度為 35°C 時由 0.84 增加至 0.97 L/min，平均上升約 0.04-0.13 L/min，執行中度工作當環境濕度上升時，耗氧量在溫度為 25°C 時由 1.44 增加到 1.59 L/min，溫度為 35°C 時由 1.40 增加至 1.48 L/min，平均上升約 0.08-0.15 L/min。可知無論何種面罩，在相同的負荷和環境溫度下，環境濕度上升均會增加耗氧量。由圖 4-14 到圖 4-18 可看出最大耗氧量百分比等數據的分佈與兩兩樣本之間的差異情形皆與耗氧量一致，因此皆會受環境濕度所影響

表 4-10 全面式面罩與對照面罩在濕熱環境下之耗氧量、最大耗氧量百分比、單位體重耗氧量、新陳代謝率和通氣

當量描述性統計資料與配對樣本 t 檢定統計結果

RT	RC								RF							
	Light				Moderate				Light				Moderate			
WL	25		35		25		35		25		35		25		35	
ET(°C)	50		70		50		70		50		70		50		70	
RH(%)	50	70	50	70	50	70	50	70	50	70	50	70	50	70	50	70
VO ₂ (L/min)	0.85	0.89	0.84	0.97 ^d	1.44 ^b	1.59 ^b	1.40 ^b	1.48 ^{bd}	0.90	0.93 ^d	0.93 ^a	1.04 ^a	1.46 ^b	1.54 ^{bd}	1.52 ^{ab}	1.61 ^{ab}
S.D.	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2
%VO _{2max} (%)	32.5	34.4	32.3	37.0 ^d	55.4 ^b	60.4 ^b	53.1 ^b	56.6 ^{bd}	34.4	37.8 ^d	35.7 ^a	39.5 ^a	55.9 ^b	61.4 ^{bd}	58.2 ^{ab}	61.0 ^{ab}
S.D.	14	16.3	12.7	13.6	22.7	23.6	18.4	22.3	15.1	17.3	15.4	15.3	20.2	24.5	22.7	20.1
VO _{2mass} (L/Kg/min)	1.21	1.28	1.21	1.39 ^d	2.06 ^b	2.28 ^b	2.00 ^b	2.13 ^{bd}	1.28	1.35 ^{ad}	1.34 ^a	1.48 ^a	2.09 ^b	2.23 ^{bd}	2.19 ^{ab}	2.31 ^{ab}
S.D.	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.2	0.4	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.5	0.3	0.4
M(Kcal/min)	4.2	4.4	4.2	4.8	7.1 ^b	7.8 ^b	6.8 ^b	7.3 ^{bd}	4.4	4.6 ^d	4.6 ^a	5.1 ^a	7.2 ^b	7.6 ^{bd}	7.5 ^{ab}	7.9 ^{ab}
S.D.	0.8	1.2	1	1	1.3	1.3	0.9	1.1	1	0.7	1	1	1	1.2	0.7	1
V _E /VO ₂	29.0	28.2	28.5	28.2	29.6 ^d	27.7	28.6	28.7	33.0 ^{ac}	31.2 ^a	29.8	30.5 ^a	33.7 ^{acd}	30.8 ^a	30.4 ^{ad}	29.9
S.D.	3.1	1.9	2.8	3.2	3.3	2	2.3	2.6	3.4	3.6	3.5	3.4	4.5	3.7	3.7	3.3

^aSignificant difference (p<0.05) between RF and RC under the same WL, ET, and RH

^bSignificant difference (p<0.05) between moderate and light WL under the same RT, ET, and RH

^cSignificant difference (p<0.05) between ET = 35°C and 25°C under the same RT, WL, and RH

^dSignificant difference (p<0.05) between RH = 70% and 50% under the same RT, WL, and ET

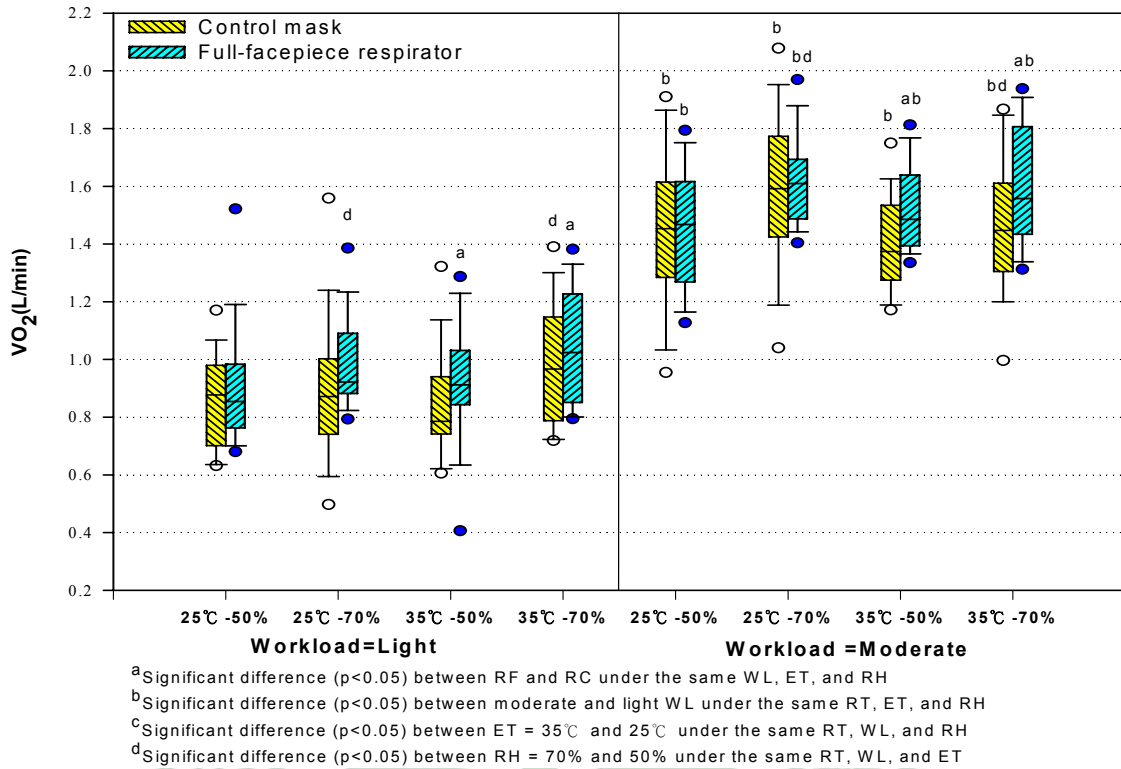


圖 4-14 各溫溼度下執行輕重工作之耗氧量

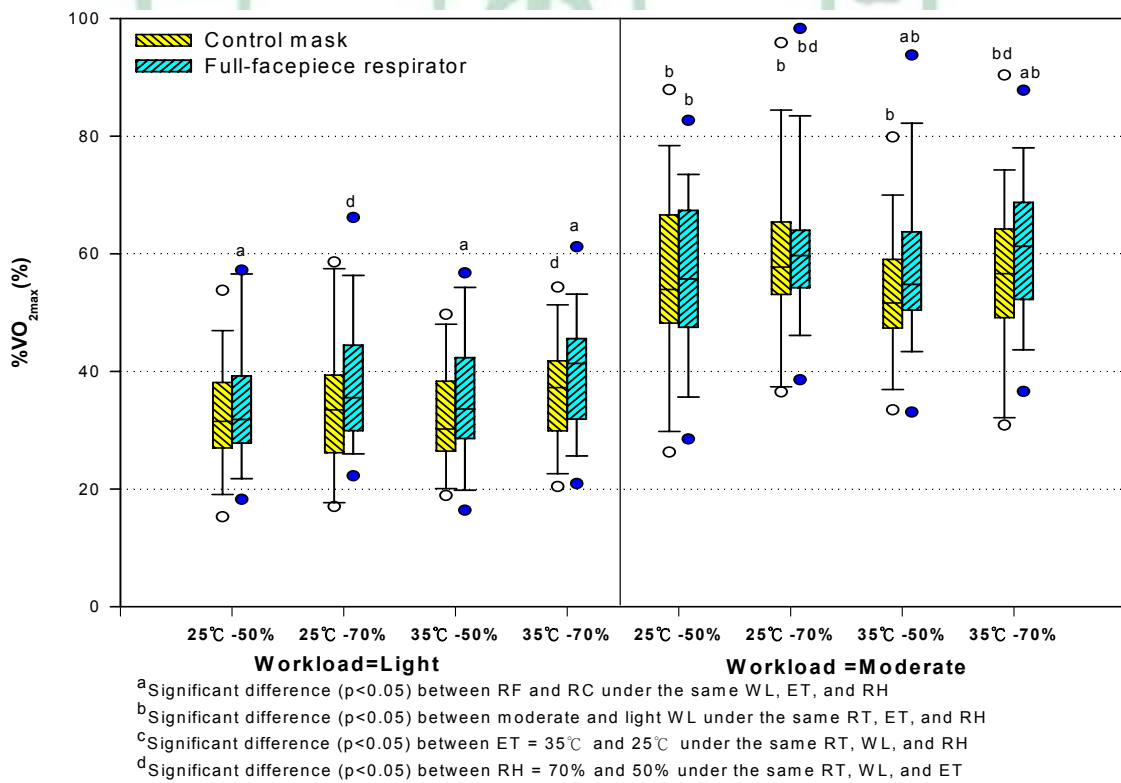


圖 4-15 各溫溼度下執行輕重工作之最大耗氧量百分比

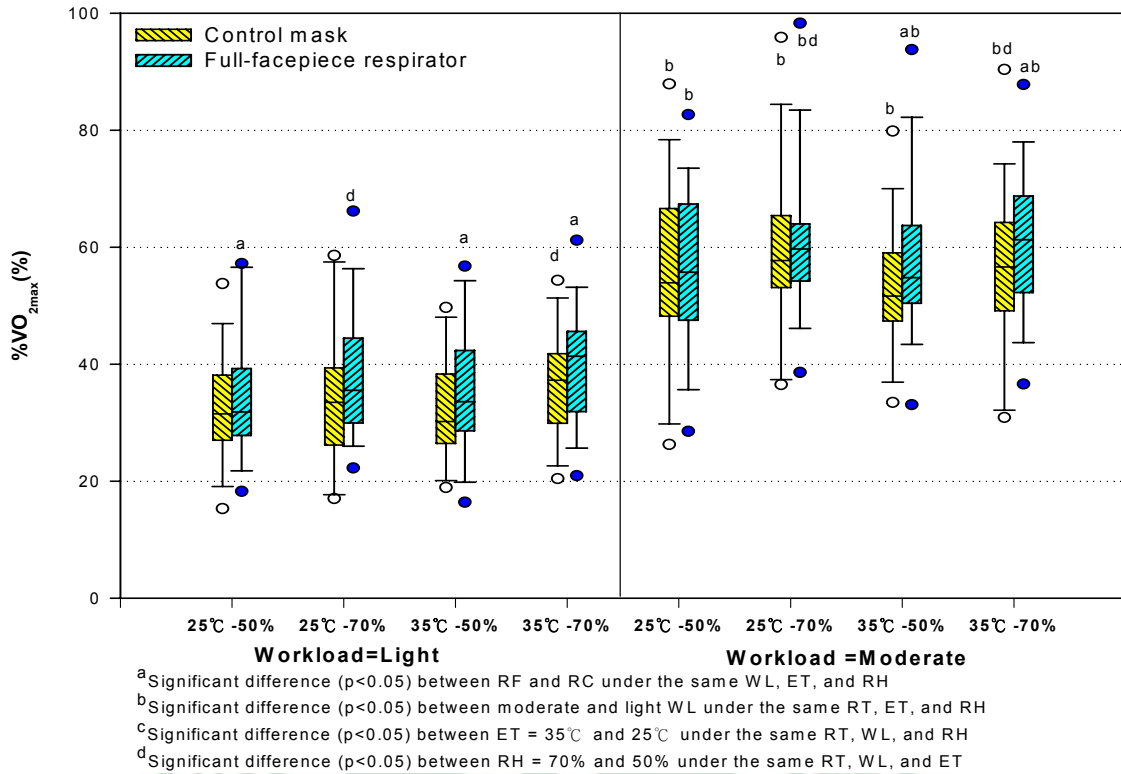


圖 4-16 各溫溼度下執行輕中工作之單位體重耗氧量

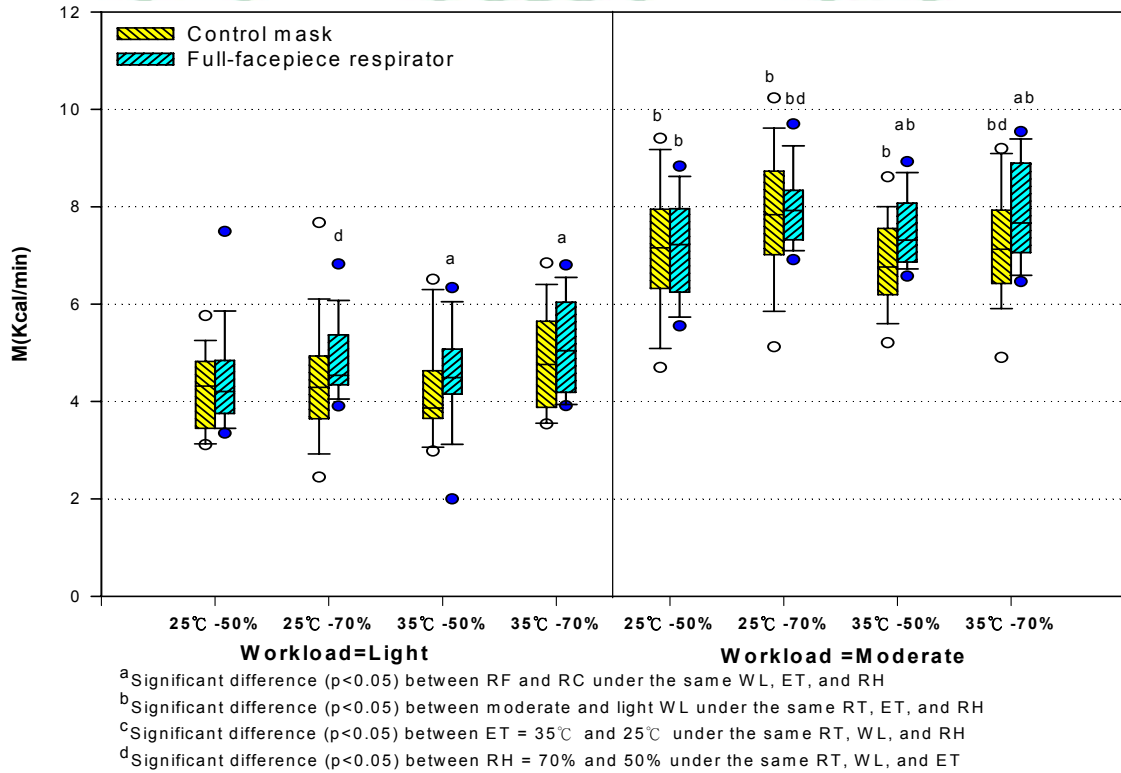


圖 4-17 各溫溼度下執行輕中工作之新陳代謝量

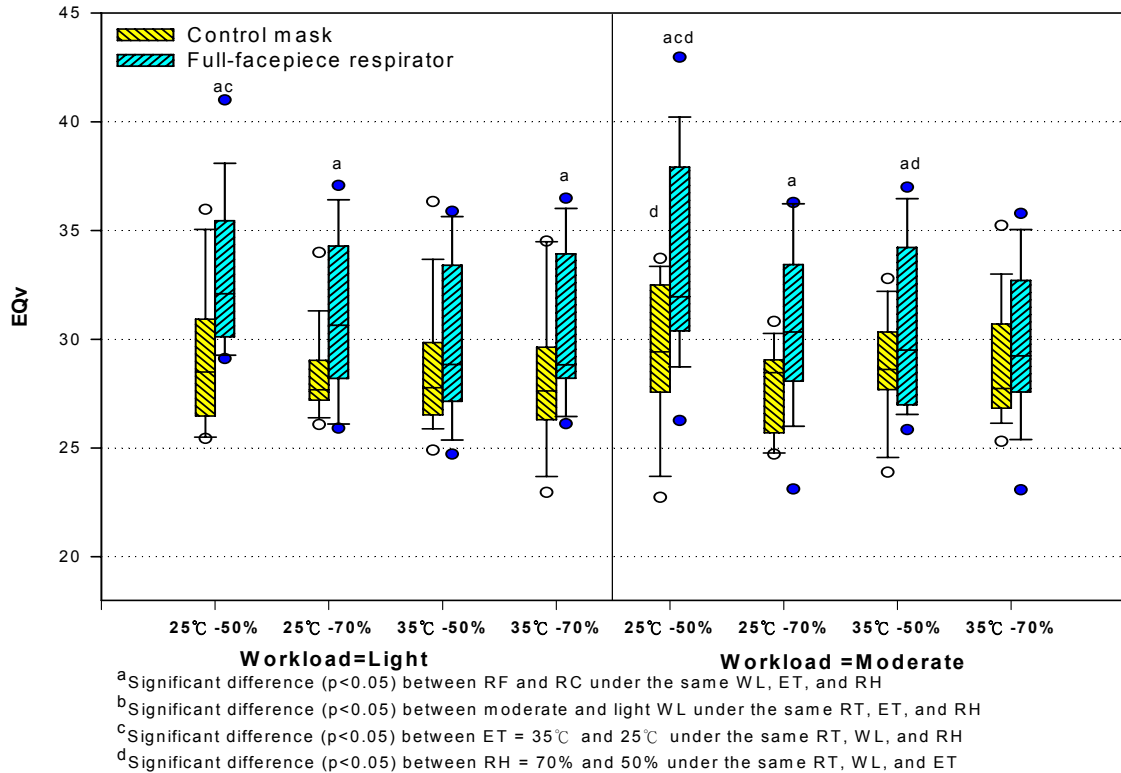


圖 4-18 各溫溼度下執行輕中工作通氣當量

4.2.1.12 面罩內溫度

表 4-11 為面罩內溫度之詳細數據，整理於圖 4-19，由於對照面罩是當作無配戴口罩的情況，因此僅測量全面式面罩之罩內溫度。由表 4-3 得知溫度對面罩內溫度有顯著影響，由表 4-11 可知，在執行輕度工作時，當環境溫度上升，面罩內溫度在濕度為 50% 時由 34.4 增加到 36.7°C，濕度為 70% 時由 34.5 增加至 37.1°C，平均上升約 2.3-2.6°C，執行中度工作當環境溫度上升時，工作時心跳在濕度為 50% 時由 34.3 增加到 37.0°C，濕度為 70% 時由 34.1 增加至 37.5°C，平均上升約 2.7-3.4°C，因此在相同的負荷和環境濕度下，溫度上升皆會增加面罩內溫度。

表 4-11 全面式面罩與對照面罩在濕熱環境下之面罩內溫度描述性統計資料與配對樣本 t 檢定統計結果

WL	Light				Moderate			
	ET(°C)	25		35		25		35
RH(%)	50	70	50	70	50	70	50	70
Tm(°C)	34.4	34.5 ^b	36.7 ^c	37.1 ^c	34.3	34.1	37.0 ^c	37.5 ^c
S.D.	1.7	1.9	1.7	1.2	2	1.8	1.8	1.3

^aSignificant difference ($p < 0.05$) between RF and RC under the same WL, ET, and RH

^bSignificant difference ($p < 0.05$) between moderate and light WL under the same RT, ET, and RH

^cSignificant difference ($p < 0.05$) between ET = 35°C and 25°C under the same RT, WL, and RH

^dSignificant difference ($p < 0.05$) between RH = 70% and 50% under the same RT, WL, and ET

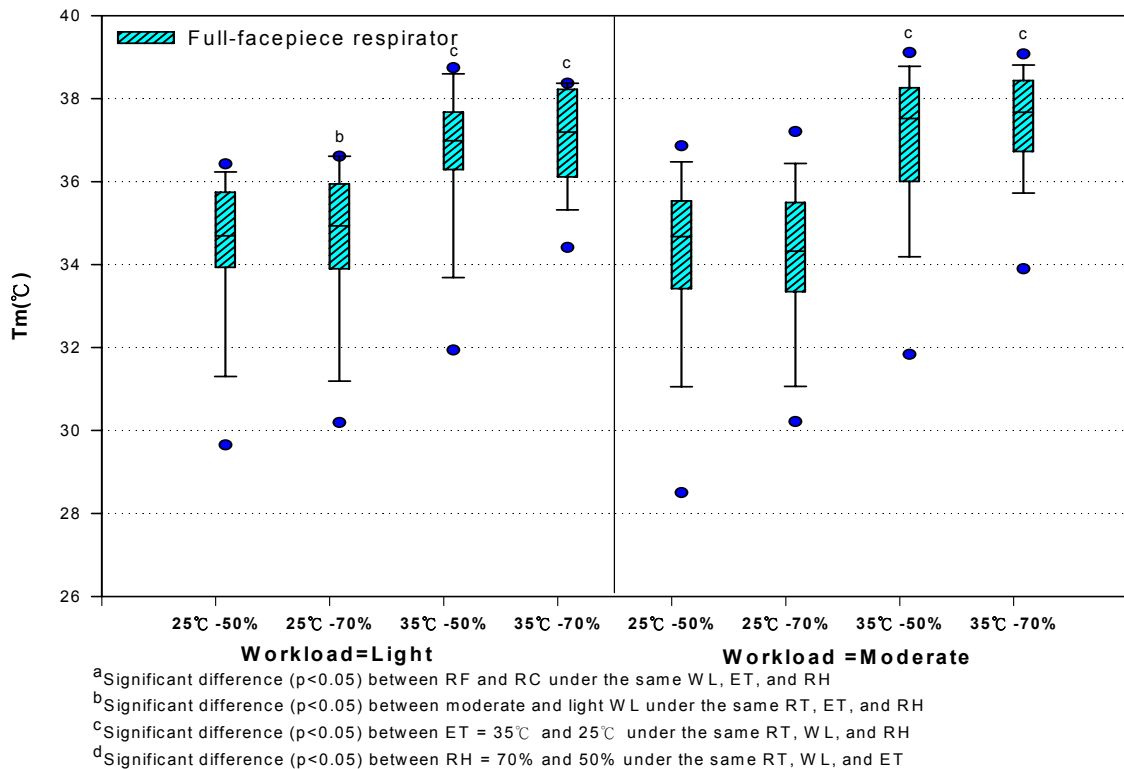


圖 4-19 各溫濕度下執行輕中工作之面罩內溫度

4.2.2 主觀不適問卷結果

4.2.2.1 各呼吸防護具之主觀不適問項

由表 4-3 可知環境溫度對所有主觀不適問項皆有顯著影響，環境溼度除了對環境溫度不適程度無顯著影響之外，其他皆有顯著。

由表 4-5 可看出，配戴對照面罩執行輕度作業，在環境溫度 25°C 環境溼度 50% 和 70% 時，吸氣困難的程度較高，溫度 35°C 溼度 50% 和 70% 時則以面罩內流汗不適程度為最高，執行中度作業時，無論溫度和濕度皆以面罩內流汗不適程度為最高；配戴全面式面罩時也有相同情形，可

知在 25°C 時執行輕度工作，主觀不適的主要來源是面罩的呼吸困難程度，在 35°C 或執行中度工作時，主觀不適的主要來源是面罩內流汗的不舒服程度。

表 4-5 的呼吸防護具主觀不適問項平均值整理於圖 4-20，可知平均最高的是面罩內流汗不適程度 (3.1)，其次是整體不舒服程度 (3.0) 和面罩內溫度不適程度 (2.9)，推測面罩內溫度和流汗可能是造成整體主觀不適的主因，而此溫度和流汗可能是來自環境的熱和身體產生的熱負荷所造成的。

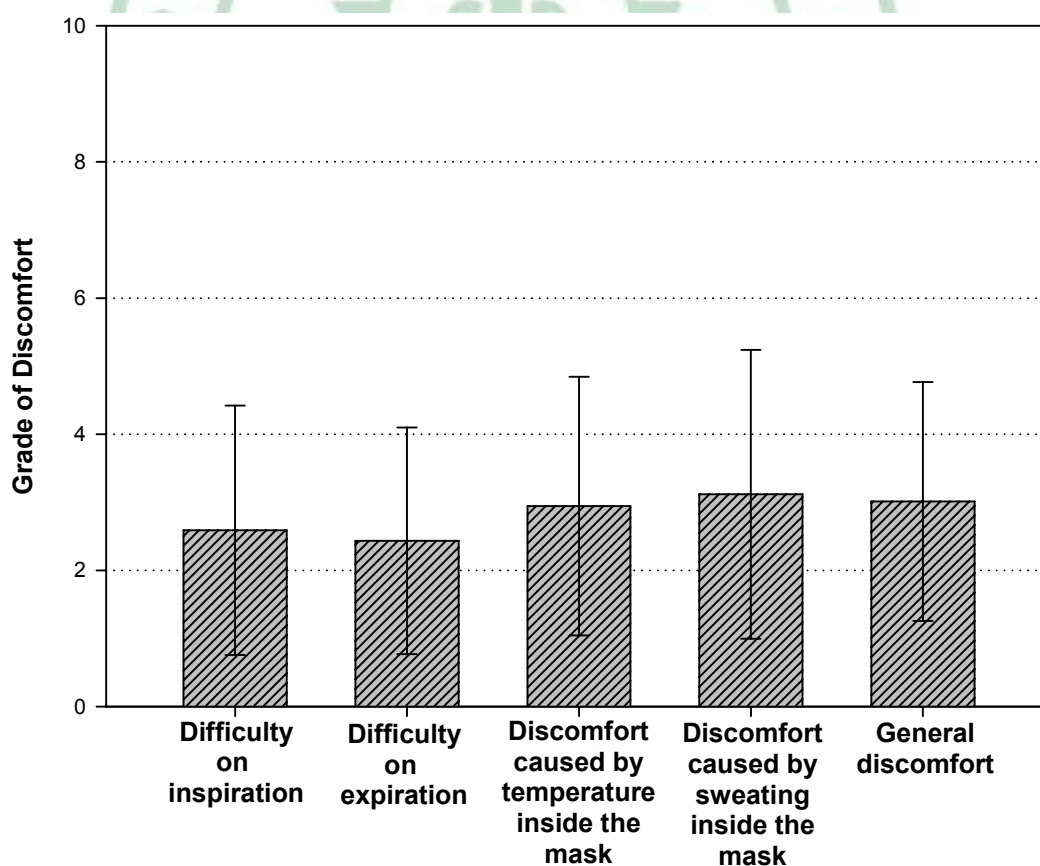


圖 4-20 呼吸防護具之主觀不適問項總平均分布圖

4.2.2.2 主觀不適程度 (Total RPE)

將呼吸防護具之主觀不適問項的程度數值加總成主觀不適程度，即 Total RPE 進行整體的分析，整理於圖 4-21，為區分加總值與整體不適程度，以下皆以 Total RPE 稱之。

由表 4-5 可知配戴全面式面罩執行輕度 (45W) 工作，當環境溫度上升 (由 25°C 至 35°C)，Total RPE 在濕度為 50% 時由 8.2 增加到 16.3，濕度為 70% 時由 10.0 增加至 18.6，平均上升約 8.1-8.6，執行中度 (85W) 工作當環境溫度上升時，Total RPE 在濕度為 50% 時由 12.6 增加到 21.0，濕度為 70% 時由 13.3 增加至 23.0，平均上升約 9.4-9.7；當環境濕度上升 (由 50 至 70%)，Total RPE 在溫度為 25°C 時由 8.2 增加到 10.0，溫度為 25°C 時由 16.3 增加至 18.6，平均上升約 1.8-2.3，執行中度 (85W) 工作當環境濕度上升時，Total RPE 在溫度為 25°C 時由 12.6 增加到 13.3，溫度為 35°C 時由 21.0 增加至 23.0，平均上升約 0.7-2.0；而配戴對照面罩亦有相似的情形。可知在相同面罩和負荷下，因環境溫度上升而增加的主觀不適程度比因溼度上升而增加的主觀不適程度為高。

表 4-5 的各呼吸防護具之主觀不適問項數據整理於圖 4-22 至 4-26，所有的趨勢皆與 Total RPE 相似，在相同的面罩和負荷下，環境溫度或環境溼度升高時皆會增加主觀不適程度。

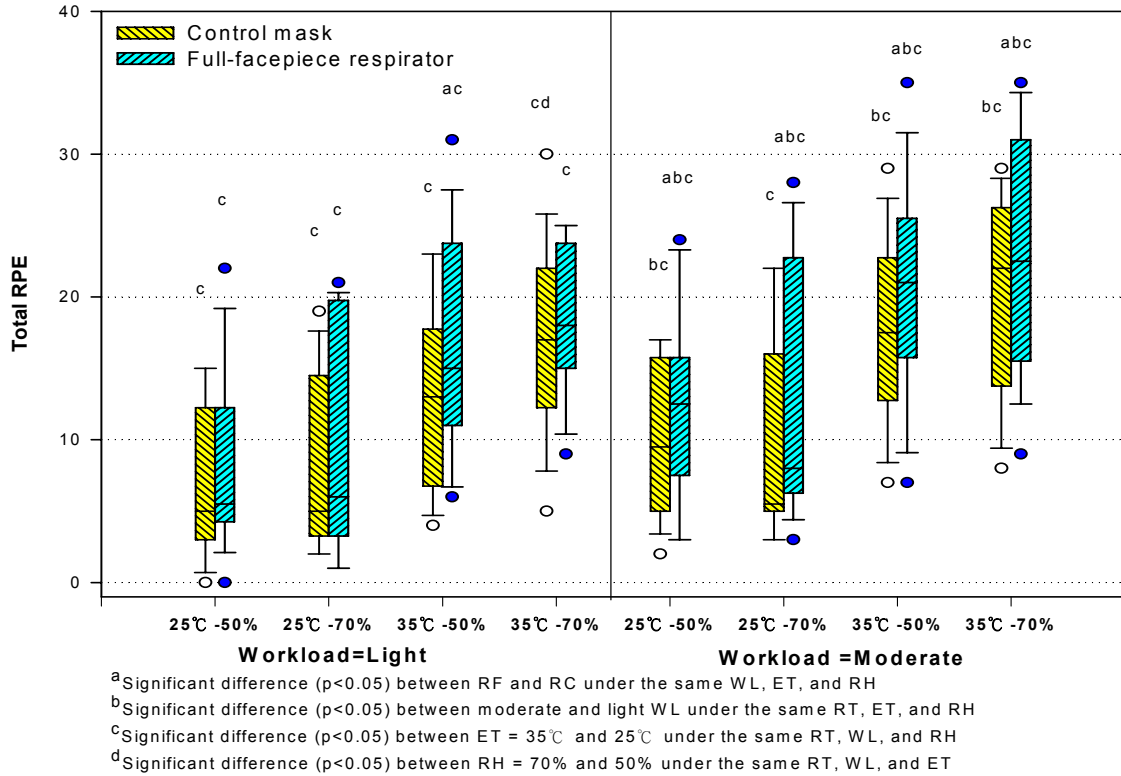


圖 4-21 各溫溼度下執行輕中工作之呼吸防護具主觀不適 RPE 值

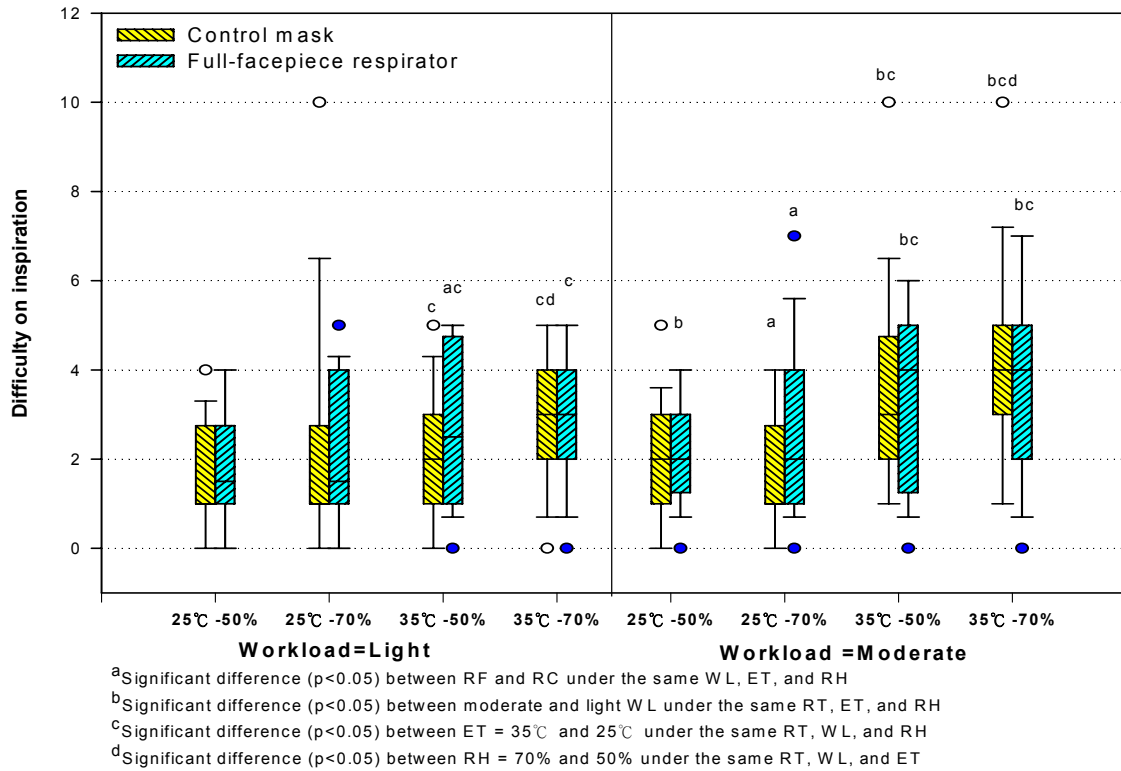


圖 4-22 各溫溼度下執行輕中工作之呼吸防護具吸氣困難程度

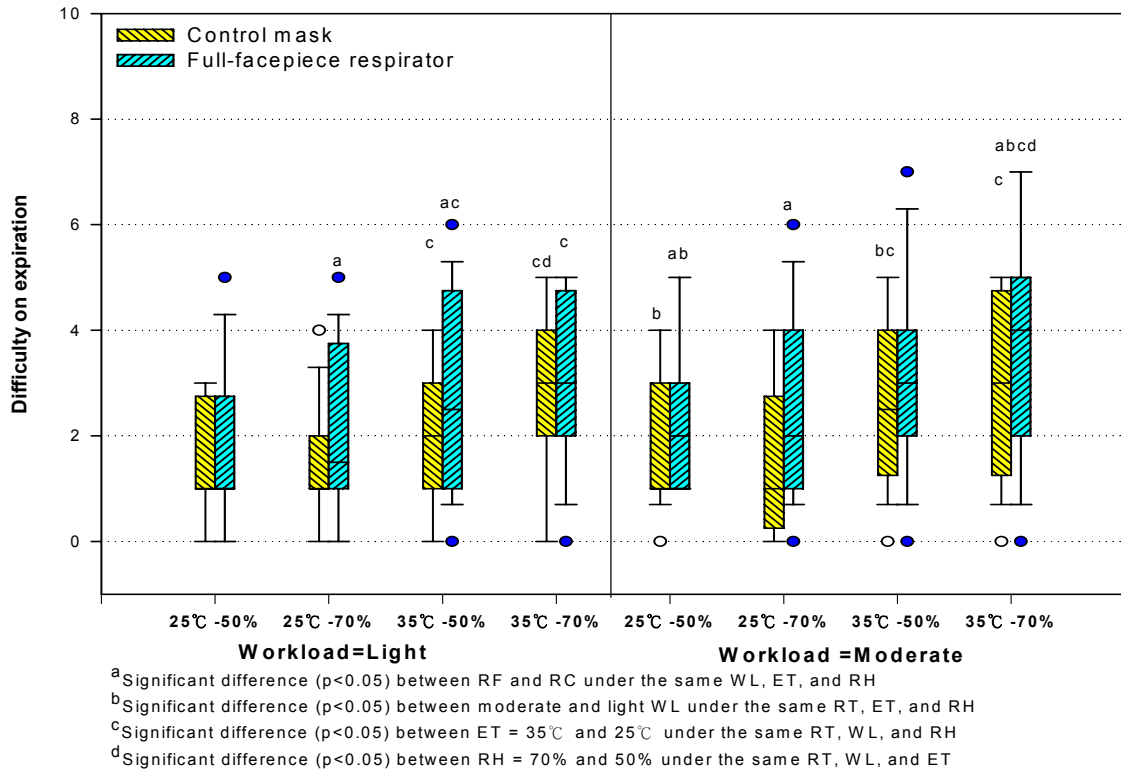


圖 4-23 各溫溼度下執行輕中工作之呼吸防護具吐氣困難程度

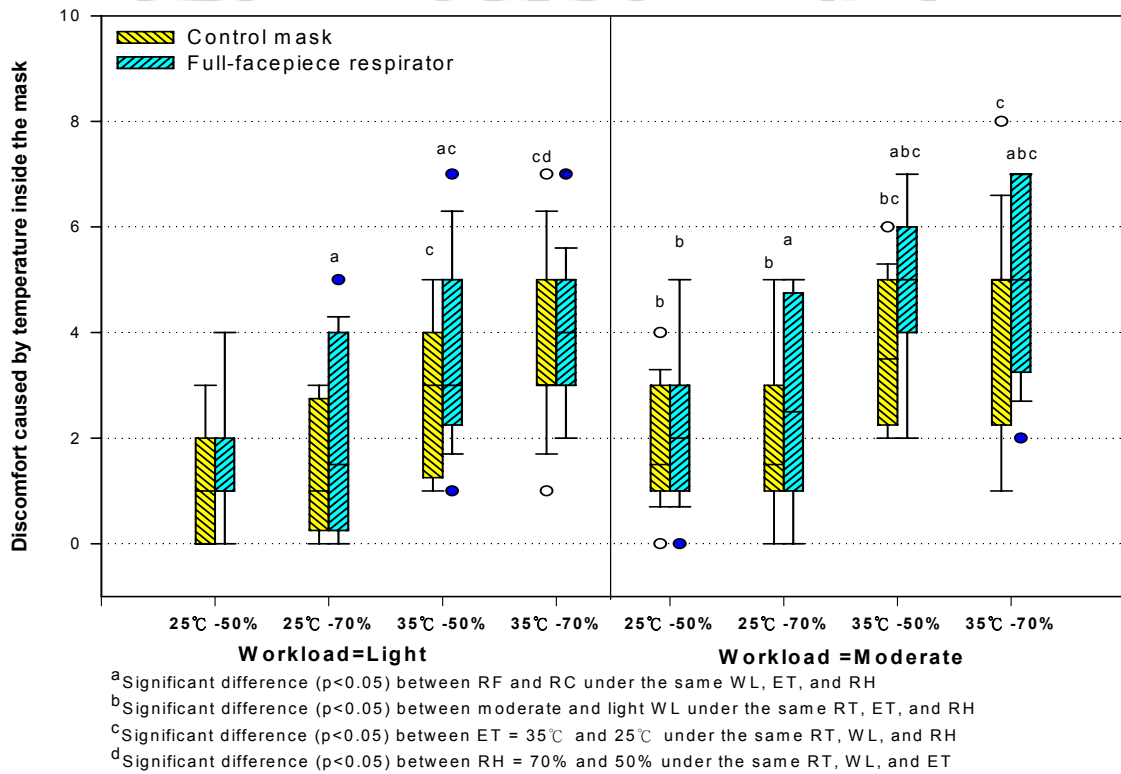


圖 4-24 各溫溼度下執行輕中工作之呼吸防護具內溫度不適程度

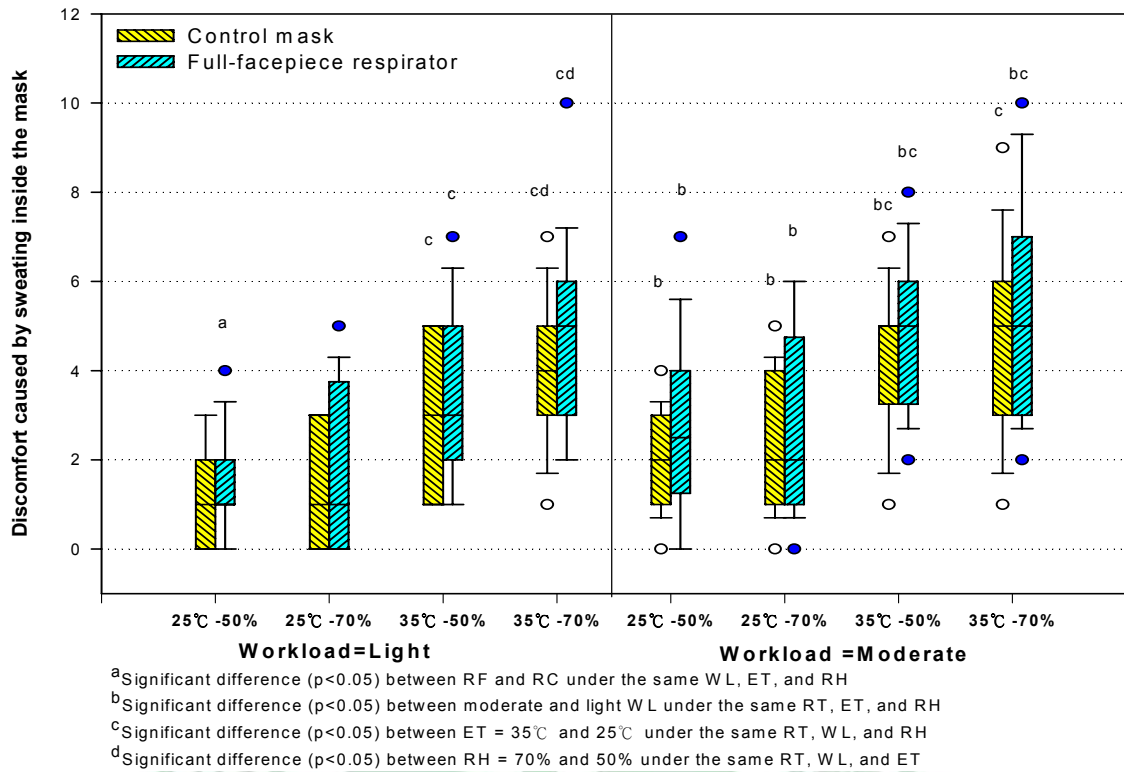


圖 4-25 各溫溼度下執行輕中工作之呼吸防護具內流汗不適程度

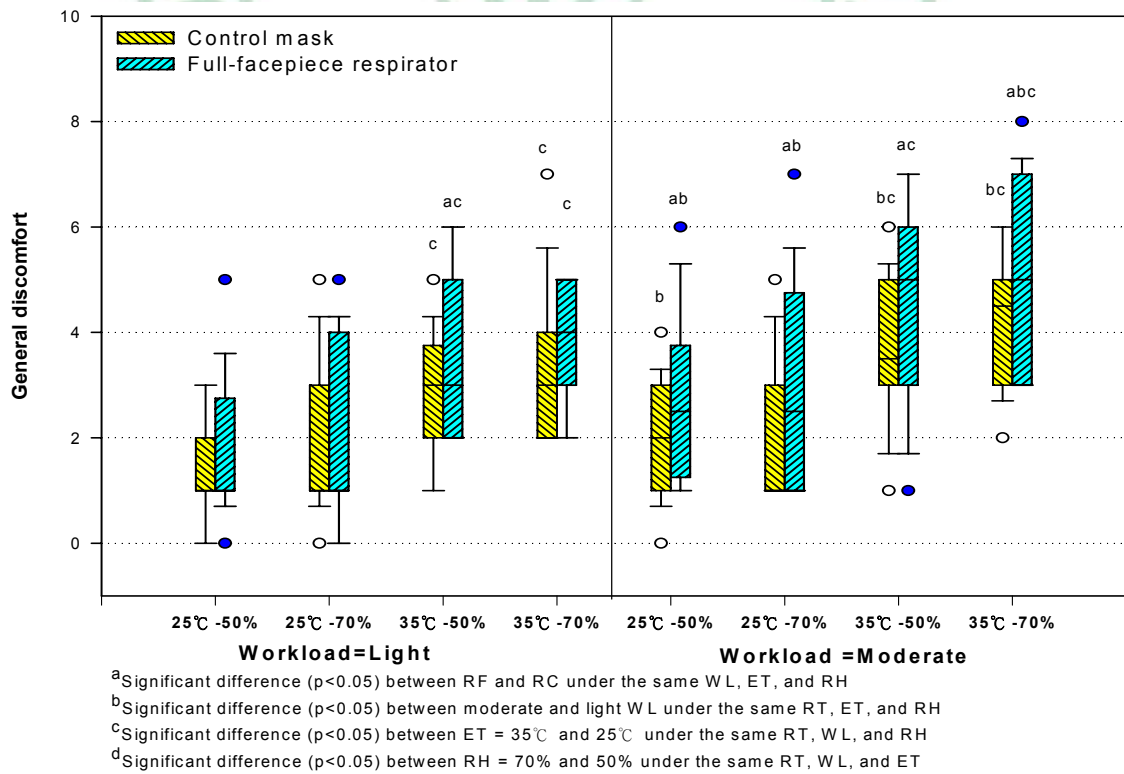


圖 4-26 各溫溼度下執行輕中工作之呼吸防護具整體不適程度

4.2.3 各種溫濕度下之耗氧量對心跳的關係

由表 4-3 可知溫度對工作時心跳有顯著影響，且心跳與耗氧量皆與身體的疲勞程度有關，耗氧量增加會使心跳上升，在此處合併探討溫度對耗氧量與工作時心跳的影響，整理如圖 4-27，可得知在相同的耗氧量下，高溫的工作時心跳比低溫時高。

由表 4-3 可知溫度和濕度對工作心跳有顯著影響，此處合併探討溫度和濕度對耗氧量與工作時心跳的影響，整理如圖 4-28，可看出在相同的耗氧量下，高溫的工作心跳比低溫時高，且高濕比低濕高了一點但主要受溫度影響程度較大。

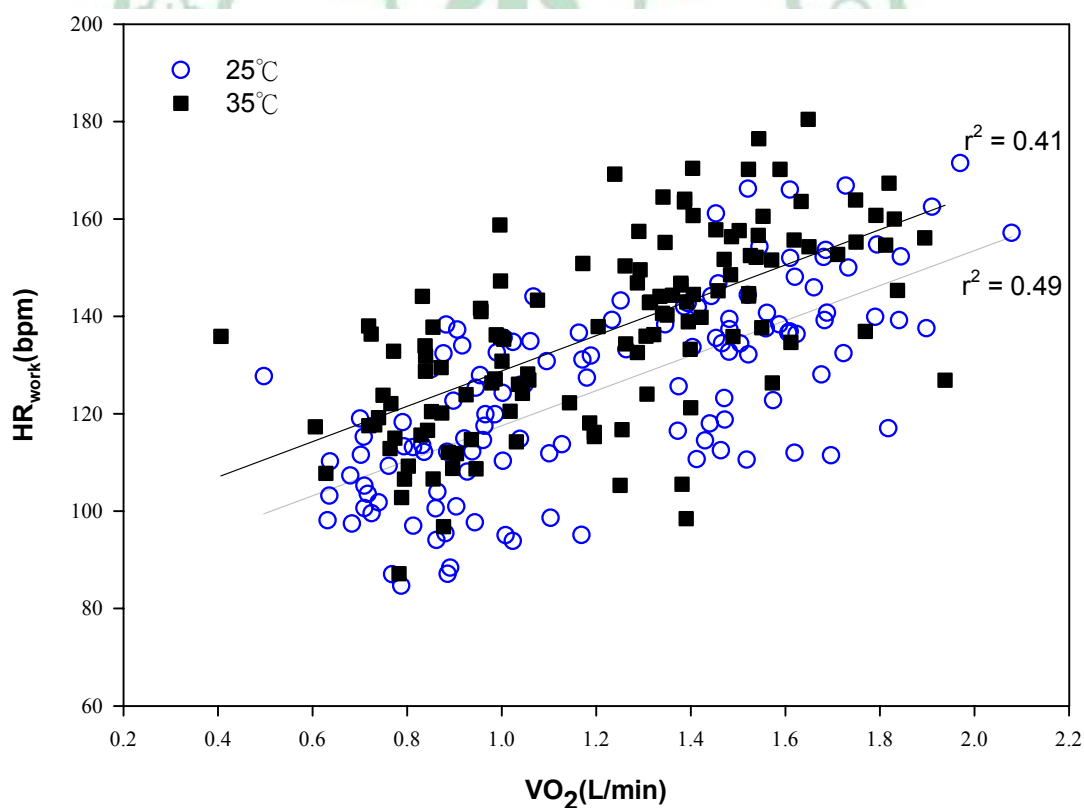


圖 4-27 各溫度下耗氧量對工作時心跳的影響

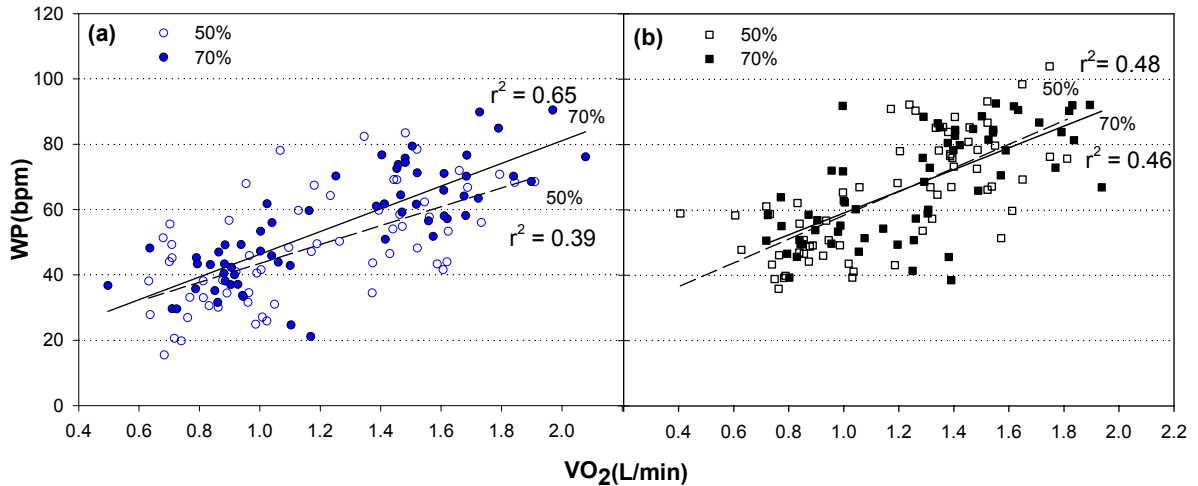


圖 4-28 各溫度和濕度下耗氧量對工作心跳的影響，(a)為 25°C(b)為 35°C

4.2.4 生理負荷與主觀不適之關聯性分析

表 4-12 為生理負荷與主觀不適之關聯性分析結果，此處以各主觀不適問項對各個客觀生理指標之相關係數較高的進行分析：工作心跳、耗氧量、吸氣時間、面罩內溫度。

各個主觀不適問項對工作心跳之相關係數在 0.48 至 0.26 之間，是相關係數最高的，其次為主觀不適問項對心率儲備百分比之相關係數，在 0.47 至 0.22 之間，其中面罩內流汗不適和溫度不適之相關係數皆相當高，可能是因環境溫度和工作負荷所導致的。各個主觀不適問項對耗氧量百分比之相關係數在 0.41 至 0.36 之間，也是相當高，最高的為吸氣困難程度，相關係數為 0.4，可能是全面式面罩或工作負荷引起的，造成主觀不適的感覺，分別整理於圖 4-29、圖 4-30。

各個主觀不適問項對吸氣時間之相關係數在-0.3 至-0.24 之間，最高的為吸氣困難程度，係數為-0.3，可能是由全面式面罩導致的，整理於圖 4-31。

各個主觀不適問項對面罩內溫度之相關係數在 0.19 至 0.04 之間，與其他生理指標比較起來相當低，其中最高的是面罩內溫度和流汗不適，相關係數為 0.18 和 0.19 並達顯著相關，可知面罩內溫度會影響到主觀不適，但在此實驗中相關性並不高，整理於圖 4-32。



表 4-12 全面式面罩與對照面罩在濕熱環境下之生理負荷與主觀不適關聯性分析

Correlation Coefficient	HR _{work}	WP	%HRR	PIP	PEP	BF	Ti	Te	V _E	V _T	V _T /V _C	VO ₂	%VO _{2max}	VO _{2mass}	M	EQv	Tm
Difficulty on inspiration	0.26 ^{***}	0.32 ^{***}	0.30 ^{***}	0.16 [*]	0.25 ^{***}	0.29 ^{***}	-0.30 ^{***}	-0.16 ^{**}	0.28 ^{***}	0.12 ⁺	0.22 ^{***}	0.28 ^{***}	0.40 ^{***}	0.35 ^{***}	0.28 ^{***}	0.06	0.05
Difficulty on expiration	0.22 ^{***}	0.26 ^{***}	0.22 ^{***}	0.21 ^{***}	0.24 ^{***}	0.28 ^{***}	-0.29 ^{***}	-0.16 [*]	0.27 ^{***}	0.1	0.22 ^{***}	0.27 ^{***}	0.38 ^{***}	0.34 ^{***}	0.27 ^{***}	0.08	0.04
Discomfort caused by temperature inside the mask	0.33 ^{***}	0.44 ^{***}	0.40 ^{***}	0.27 ^{***}	0.22 ^{***}	0.28 ^{***}	-0.25 ^{***}	-0.18 ^{**}	0.29 ^{***}	0.12 ⁺	0.18 ^{**}	0.28 ^{***}	0.36 ^{***}	0.35 ^{***}	0.28 ^{***}	0.06	0.18 [*]
Discomfort caused by sweating inside the mask	0.36 ^{***}	0.48 ^{***}	0.47 ^{***}	0.24 ^{***}	0.22 ^{***}	0.23 ^{***}	-0.24 ^{***}	-0.13 [*]	0.30 ^{***}	0.18 ^{**}	0.22 ^{***}	0.31 ^{***}	0.38 ^{***}	0.40 ^{***}	0.31 ^{***}	0.01	0.19 [*]
General discomfort	0.31 ^{***}	0.47 ^{***}	0.43 ^{***}	0.25 ^{***}	0.24 ^{***}	0.28 ^{***}	-0.28 ^{***}	-0.15 [*]	0.29 ^{***}	0.12 ⁺	0.20 ^{**}	0.27 ^{***}	0.37 ^{***}	0.39 ^{***}	0.27 ^{***}	0.07	0.16 ⁺
Total RPE	0.33 ^{***}	0.46 ^{***}	0.43 ^{***}	0.25 ^{***}	0.25 ^{***}	0.29 ^{***}	-0.29 ^{***}	-0.16 ^{**}	0.32 ^{***}	0.15 [*]	0.22 ^{***}	0.31 ^{***}	0.41 ^{***}	0.40 ^{***}	0.31 ^{***}	0.06	0.15 ⁺

⁺p<0.1, *p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001

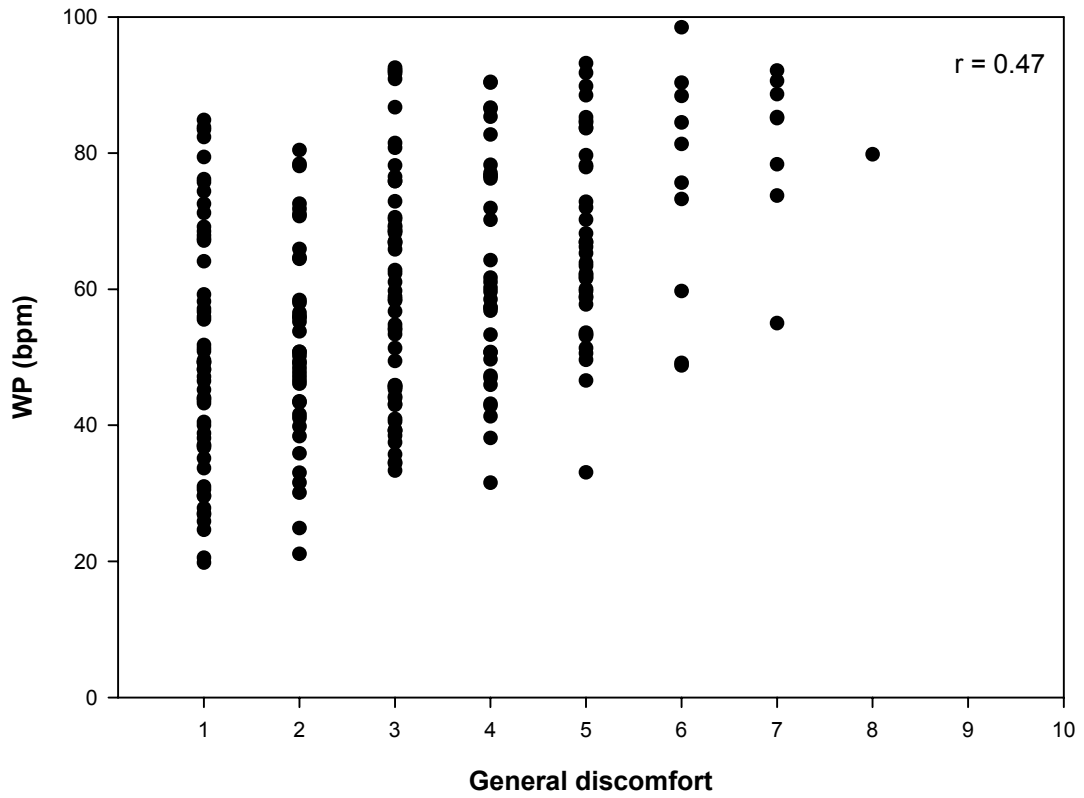


圖 4-29 整體不適對工作心跳相關圖

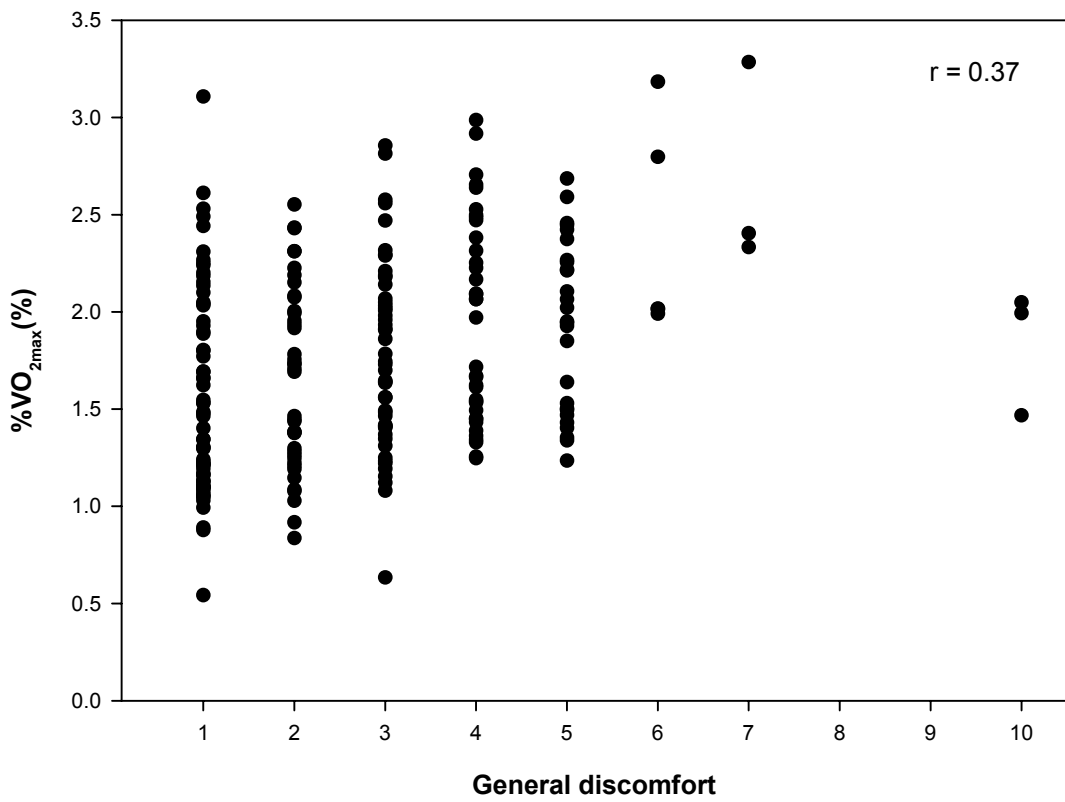


圖 4-30 整體不適對最大耗氧量百分比相關圖

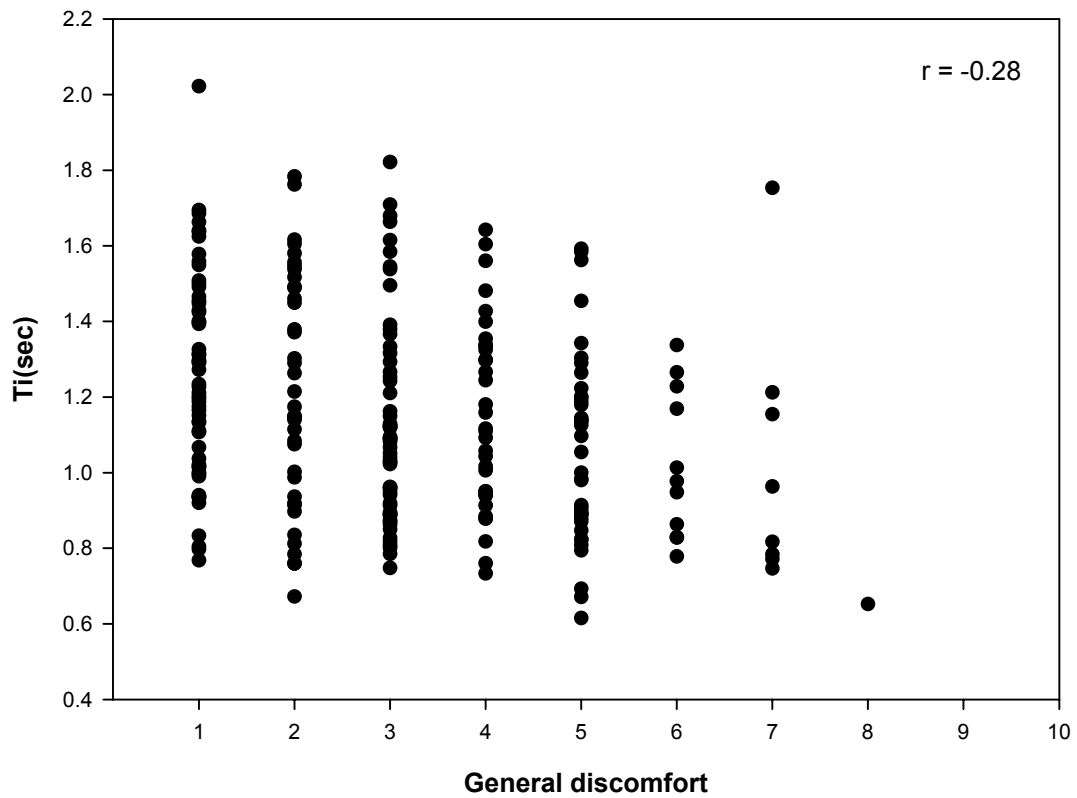


圖 4-31 整體不適對吸氣時間相關圖

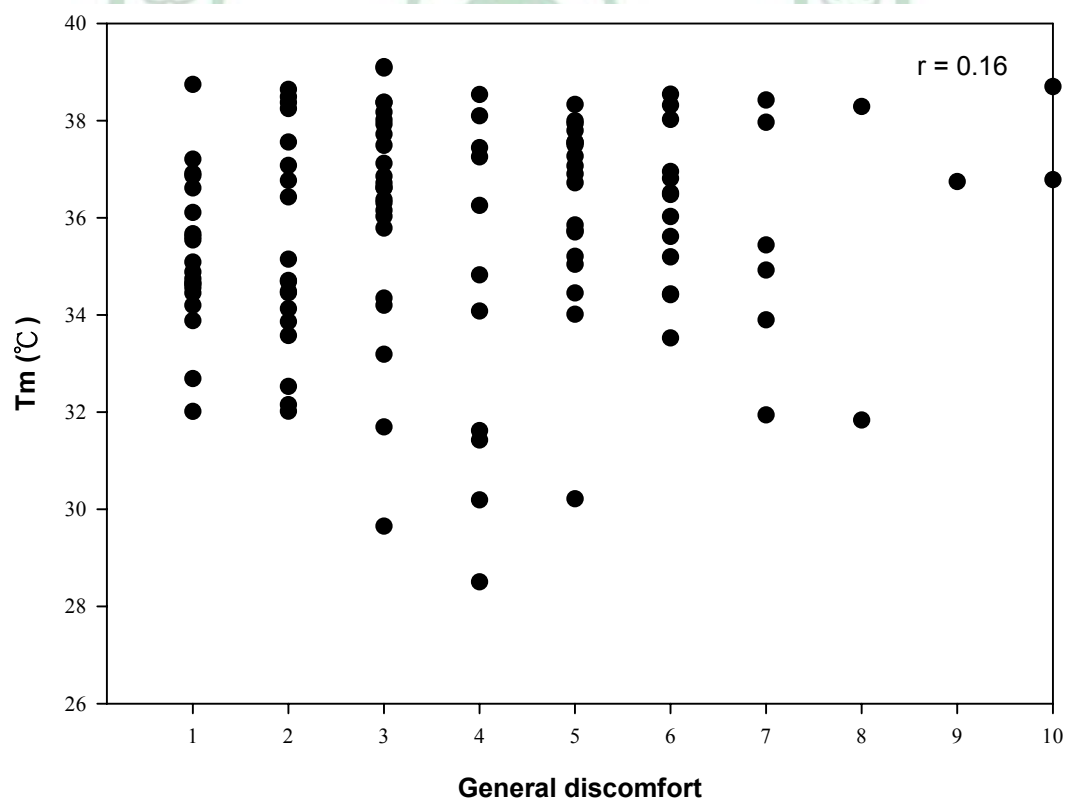


圖 4-32 整體不適對面罩內溫度相關圖

第三節 有閥與無閥 N95 口罩在濕熱環境下造成生理負荷與主觀不適之

實驗結果

實驗二的重複量數變異數分析結果如表 4-13 所示，其描述性統計數據如表 4-14 所示，表 4-15 則是主觀不適的描述性統計資料與無母數兩相依樣本威爾森檢定結果，由各表比較得知：

- (1) 在作業負荷方面，除了血氧濃度、面罩內溫度和呼氣當量之外其他生理指標與主觀不適皆有顯著變化，當負荷上升時，心跳、呼吸頻率、潮氣容積、分通氣量、吸氣與吐氣壓力、耗氧量、 V_T/VC 、主觀不適皆有顯著增加，吸氣與吐氣時間則為顯著下降，通氣當量為上升但未達顯著、血氧濃度和口罩內溫度為下降但未達顯著。
- (2) 在口罩型式方面，無閥換成有閥時，吸氣與吐氣壓力、吸氣時間、口罩內溫度皆有顯著下降，吐氣時間顯著上升，而心跳、血氧濃度皆為上升但未達顯著，呼吸頻率為下降但未達顯著，主觀不適則除了吐氣困難、面罩溫度不適和整體不適有顯著上升之外，其他皆未達顯著差異。
- (3) 在環境溫度方面，溫度上升時，心跳、吸氣壓力、呼吸頻率、口罩內溫度、主觀不適皆為顯著上升，吸氣時間和血氧濃度為顯著下降，耗氧量和分通氣量有上升但未達顯著，吐氣壓力、吐氣時間、潮氣容積、 V_T/VC 、通氣當量則為下降而未顯著。

- (4) 在環境濕度方面，濕度上升時，心跳、吸氣壓力、分通氣量、耗氧量及口罩內溫度皆為顯著上升，通氣當量為顯著下降，吐氣壓力、呼吸頻率、吐氣時間、潮氣容積和 V_T/VC 則為上升且未達顯著，吸氣時間和血氧濃度為下降未達顯著。
- (5) 在交互作用方面，溫度與濕度對耗氧量的影響會不一致，溫度與口罩型式對口罩內溫度的影響也會不同。以下會針對各細項之結果進行比較和說明。



表 4-13 無閥與有閥 N95 口罩在濕熱環境下之生理負荷與主觀不適重複量數變異數分析結果(n=16)

	Environmental Temperature (ET)	Relative Humidity (RH)	Type of Respirator (RT)	Work Load (WL)	Significant Interaction ^B
Physiological workload					
Working Pulse (bpm)	***	+		***	ET-WL,RH-WL
Work Pulse (bpm)	***	*		***	ET-WL,RH-WL
Heart Rate Reserve (%)	***	*		***	
Peak Inspiratory Pressure (mmH ₂ O)	***	+	*	***	ET-WL
Peak Expiratory Pressure (mmH ₂ O)			***	***	RT-WL,RH-RT-WL
Breathing Frequency (cycle/min)	**			**	ET-RH-RT,RH-RT-WL
Time of Inspiratory (sec)	**		*	**	RT-WL,ET-RH-RT
Time of Expiratory (sec)			*	***	
Minute Ventilation (L/min) ^A		+	na	***	
Tidal Volume (L) ^A			na	***	
V _T /V _C (%) ^A			na	**	
Oxygen Consumption (L/min) ^A		**	na	***	
Percentage of Maximal Oxygen Consumption (%) ^A		*	na	***	
Oxygen Consumption / mass (ml/min/Kg) ^A		*	na	***	
Metabolic Rate (Kcal/min) ^A		*	na	***	ET-RH
Ventilatory Equivalent ^A		*	na		
Temperature in Mask (°C)	***	*	***		ET-RT
Oxygen Saturation (%)	***				
Subjective RPE for environment					
Discomfort caused by temperature	***			**	
Discomfort caused by humidity	***	*		**	
General discomfort for environment	***			**	
Subjective RPE for respirator					
Difficulty on inspiration	***			**	
Difficulty on expiration	***		+	**	
Discomfort caused by temperature inside the mask	***		*	***	
Discomfort caused by sweating inside the mask	***	*		***	
General discomfort	***		+	**	
Total RPE	***		+	***	

[†]p<0.1, *p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001, ^AOnly for RWV, ^Bp<0.05; na = not applicable.

表 4-14 無閥與有閥 N95 口罩在濕熱環境下之生理負荷描述性統計資料(mean±S.D.)

RT	WL	ETRH	HR _{work}	WP	%HRR	PIP	PEP	BF	Ti	Te	SO ₂	Tm	V _E ^A	V _T ^A	V _T /VC ^A	VO ₂ ^A	%VO _{2max} ^A	VO _{2mass} ^A	M ^A	EQV ^A	
RNV Light	25	50	107.5±12.9	34.0±8.5	37.5±10.6	13.9±1.5	12.3±1.6	23.5±3.5	1.35±0.22	1.33±0.29	96.0±1.6	34.4±1.0	na	na	na	na	na	na	na	na	na
	70		106.5±10.0	33.9±9.6	36.6±8.5	13.8±1.7	12.9±1.1	23.1±4.2	1.40±0.42	1.37±0.30	95.1±2.4	34.7±1.0	na	na	na	na	na	na	na	na	na
	35	50	111.6±9.5	39.2±10.4	42.0±9.1	15.0±1.5	12.2±1.2	24.1±3.9	1.28±0.30	1.35±0.23	93.6±2.0	36.0±0.6	na	na	na	na	na	na	na	na	na
	70		112.9±10.8	45.0±9.2	46.2±8.2	15.2±1.6	12.1±1.4	25.0±5.4	1.25±0.36	1.54±0.59	93.9±2.3	36.5±0.6	na	na	na	na	na	na	na	na	na
Moderate	25	50	127.5±13.5	54.0±10.5	59.0±11.3	18.0±2.5	15.4±1.9	27.3±4.4	1.20±0.25	1.14±0.26	95.6±2.1	34.3±0.9	na	na	na	na	na	na	na	na	na
	70		130.1±9.4	57.5±12.4	62.4±9.1	17.9±2.2	16.3±1.4	28.0±4.9	1.19±0.27	1.13±0.28	95.1±1.9	34.8±0.8	na	na	na	na	na	na	na	na	na
	35	50	134.9±11.3	62.6±10.1	67.6±9.1	19.2±2.1	15.6±1.5	28.3±4.8	1.12±0.29	1.15±0.27	93.5±2.7	35.9±0.8	na	na	na	na	na	na	na	na	na
	70		138.3±13.0	70.4±12.2	72.3±10.5	20.2±2.1	16.5±1.8	30.6±5.5	1.05±0.29	1.07±0.20	93.5±3.6	36.4±0.6	na	na	na	na	na	na	na	na	na
RWV Light	25	50	106.1±13.2	32.6±10.2	35.8±12.1	13.2±1.4	9.5±1.4	22.1±5.2	1.36±0.37	1.67±0.88	95.5±2.1	33.1±1.8	12.0±2.9	0.6±0.2	16.2±6.7	0.45±0.1	17.3±3.9	6.3±1.4	2.3±0.4	26.3±2.2	
	70		106.0±8.9	33.5±9.4	36.0±8.1	13.4±1.3	10.4±1.7	23.0±6.3	1.23±0.42	1.74±0.77	96.0±1.2	33.7±1.1	12.0±2.8	0.6±0.2	15.8±7.3	0.48±0.1	18.3±3.7	6.6±1.4	2.4±0.5	25.0±3.0	
	35	50	112.6±10.5	40.3±10.7	43.0±8.9	14.5±1.6	9.4±1.1	25.4±3.8	1.10±0.31	1.40±0.24	94.4±2.3	36.0±0.8	11.8±2.5	0.5±0.1	12.9±3.4	0.47±0.1	17.8±3.2	6.4±1.1	2.3±0.4	25.2±2.2	
	70		113.6±12.2	45.6±11.1	46.7±9.6	15.2±1.6	9.4±1.5	25.4±4.7	1.13±0.36	1.64±0.91	93.9±2.1	36.4±0.6	14.0±3.6	0.5±0.2	14.2±4.9	0.57±0.1	21.7±5.5	7.8±1.9	2.8±0.7	24.4±2.2	
Moderate	25	50	128.1±13.6	54.6±10.0	59.9±12.1	16.9±1.9	11.6±1.0	25.8±4.9	1.25±0.36	1.24±0.28	95.2±2.1	33.4±1.0	20.6±2.7	0.8±0.2	22.7±7.2	0.81±0.1	31.0±5.5	11.3±2.2	4.0±0.4	25.5±1.9	
	70		130.4±8.3	57.8±11.1	62.8±8.4	17.5±2.4	11.9±1.8	27.3±5.2	1.17±0.35	1.23±0.34	94.9±1.5	33.3±2.0	21.0±2.9	0.7±0.3	20.1±10.6	0.83±0.1	31.9±6.0	11.7±2.8	4.0±0.8	25.2±1.7	
	35	50	136.8±11.0	64.5±11.4	69.3±8.1	18.9±2.0	11.2±1.5	29.5±4.9	1.06±0.28	1.12±0.19	94.9±1.6	35.7±0.7	20.7±2.3	0.7±0.1	19.7±4.6	0.80±0.1	30.6±5.5	11.1±2.2	3.9±0.5	26.2±3.9	
	70		139.4±12.2	71.5±12.1	73.5±10.8	19.7±3.4	11.1±1.5	28.6±5.3	1.06±0.32	1.18±0.25	94.1±2.6	36.1±0.7	22.5±4.6	0.8±0.2	22.0±5.5	0.89±0.2	34.0±7.5	12.4±3.0	4.4±0.8	25.3±1.8	

^AOnly for RWV; na = not applicable.

表 4-15 無閥與有閥 N95 口罩在濕熱環境下主觀不適描述性統計資料(mean±S.D.)與無母數兩相依樣本威爾森檢定結果

統計結果

RT	WL	ET	RH	Environment			Respirator						
				Discomfort caused by temperature	Discomfort caused by humidity	General discomfort for environment	Difficulty on inspiration	Difficulty on expiration	Discomfort caused by temperature inside the mask	Discomfort caused by sweating inside the mask	General discomfort	Total RPE	
RVN	Light	25	50	1.6±1.4	1.8±1.6	1.7±1.5	1.8±1.3	1.6±1.3	1.7±1.5	1.6±1.4	1.8±1.2	8.5±6.7	
			70	1.9±1.7	2.1±1.8	1.9±1.7	2.1±1.2	1.9±1.2	2.1±1.5	1.8±1.5	1.9±1.3	9.8±6.7	
	35	50	50	3.3±1.9 ^c	3.1±1.8 ^c	3.3±1.8 ^c	3.3±1.8 ^c	3.3±1.8 ^c	3.4±1.9 ^c	3.1±2.0 ^c	3.3±1.8 ^c	16.2±9.2 ^c	
			70	3.4±1.5 ^c	3.6±1.5 ^c	3.5±1.5 ^c	3.0±1.8 ^c	3.0±1.8 ^c	3.4±1.6 ^c	3.8±1.8 ^{cd}	3.6±1.6 ^c	16.8±8.2 ^c	
	Moderate	25	50	50	2.3±1.9 ^b	2.4±1.9 ^b	2.4±1.8 ^b	2.5±1.8 ^b	2.5±1.8 ^b	2.6±1.8 ^b	2.7±1.9 ^b	2.7±1.8 ^b	13.0±8.9 ^b
				70	2.6±2.2 ^b	2.7±2.2 ^b	2.7±2.2 ^b	2.9±2.0 ^{bd}	2.9±2.0 ^b	3.0±2.1 ^b	3.0±2.3 ^b	2.9±2.0 ^b	14.8±10.3 ^b
	35	50	70	50	4.0±2.3 ^{bc}	3.8±2.3 ^{bc}	3.9±2.3 ^{bc}	4.1±2.5 ^{bc}	4.1±2.5 ^{bc}	4.5±2.3 ^{bc}	4.4±2.4 ^{bc}	4.3±2.3 ^{bc}	21.4±11.9 ^{bc}
				70	4.2±2.2 ^{bc}	4.3±2.2 ^{bc}	4.3±2.3 ^{bc}	3.9±2.3 ^c	3.9±2.3 ^{bc}	4.5±2.3 ^{bc}	4.8±2.2 ^{bc}	4.5±2.4 ^{bc}	21.6±11.3 ^{bc}
RWV	Light	25	50	1.6±1.6	1.5±1.4	1.6±1.5	1.9±1.3	2.0±1.4 ^a	2.0±1.6	1.8±1.3	2.0±1.4	9.7±6.9	
			70	1.9±1.5	1.9±1.6	1.9±1.7	2.3±1.5	2.3±1.3	2.1±1.3	1.9±1.4	2.2±1.3	10.8±6.8	
	35	50	50	3.5±2.2 ^c	3.4±2.1 ^{ac}	3.5±2.2 ^c	3.4±2.2 ^c	3.4±2.2 ^c	3.8±2.1 ^c	3.6±2.0 ^{ac}	3.7±2.1 ^c	17.9±10.5 ^c	
			70	3.9±2.0 ^c	4.0±1.9 ^c	3.9±1.9 ^c	3.6±1.9 ^{ac}	3.6±1.9 ^{ac}	4.1±1.9 ^{ac}	4.2±1.9 ^c	3.8±1.8 ^c	19.3±9.3 ^{ac}	
	Moderate	25	50	50	2.1±1.7	2.1±1.8 ^b	2.3±1.9 ^b	2.5±1.8 ^b	2.4±1.7 ^b	2.7±2.0 ^b	2.6±1.8 ^b	2.6±1.7 ^b	12.8±8.7 ^b
				70	2.5±2.1	2.7±2.3 ^b	2.6±2.2 ^b	3.1±2.0 ^b	2.9±2.0 ^b	3.0±2.0 ^b	3.1±2.0 ^b	3.1±2.0 ^b	15.2±9.8 ^b
	35	50	70	50	4.1±2.7 ^{bc}	3.9±2.7 ^c	4.1±2.6 ^{bc}	4.0±2.6 ^{bc}	4.2±2.6 ^{bc}	4.4±2.6 ^{bc}	4.4±2.7 ^{bc}	4.4±2.7 ^{bc}	21.4±13.1 ^{bc}
				70	4.2±2.5 ^c	4.4±2.5 ^c	4.3±2.6 ^c	3.9±2.0 ^{bc}	4.0±2.1 ^{bc}	4.8±2.5 ^{bc}	5.1±2.5 ^{bcd}	4.7±2.4 ^{bc}	22.4±11.3 ^{bc}
Average				3.0±1.0	3.0±1.0	3.0±1.0	3.0±0.8	3.0±0.8	3.3±1.0	3.2±1.1	3.2±1.0	15.7±4.7	

^aSignificant difference (p<0.05) between RF and RC under the same WL, ET, and RH

^bSignificant difference (p<0.05) between moderate and light WL under the same RT, ET, and RH

^cSignificant difference (p<0.05) between ET = 35°C and 25°C under the same RT, WL, and RH

^dSignificant difference (p<0.05) between RH = 70% and 50% under the same RT, WL, and ET

4.3.1 客觀生理指標結果

4.3.1.1 工作時心跳、工作心跳、心率儲備百分比

表 4-16 為工作時心跳、工作心跳、心率儲備百分比之詳細數據，分別整理於圖 4-33、圖 4-34、圖 4-35，說明如下：

由表 4-13 可知溫度對工作時心跳有顯著影響，溼度則稍微顯著，由表 4-16 得知配戴無閥 N95 口罩執行輕度工作時，當環境溫度上升時，工作時心跳在濕度為 50%時由 107.5 增加到 111.6 bpm，濕度為 70%時由 106.5 增加至 112.9 bpm，平均上升約 4-6 bpm，執行中度工作當環境溫度上升時，工作時心跳在濕度為 50%時由 127.5 增加到 134.9 bpm，濕度為 70%時由 130.1 增加至 138.3 bpm，平均上升約 7-8 bpm；由表 4-22 得知配戴有閥 N95 口罩執行輕度工作時，當環境溫度上升時，工作時心跳在濕度為 50%時由 106.1 增加到 112.6 bpm，濕度為 70%時由 106.0 增加至 113.6 bpm，平均上升約 7-8 bpm，執行中度工作當環境溫度上升時，工作時心跳在濕度為 50%時由 128.1 增加到 136.8 bpm，濕度為 70%時由 130.4 增加至 139.4 bpm，平均上升約 8-9 bpm。可知無閥 N95 口罩和有閥 N95 口罩在相同的負荷及環境濕度下，環境溫度上升均會增加工作時心跳。環境濕度方面的影響僅稍微顯著，但在相同面罩、負荷、環境溫度下亦有增加的趨勢。

由表 4-16 之兩樣本配對差異分析結果比較可看出工作心跳與心率儲備百分比的差異情況相似，與工作時心跳比較對於相同面罩和負荷下，在 35°C 時，環境濕度的上升對工作心跳和心率儲備百分比有顯著且增加的情況。由圖 4-33、圖 4-34、圖 4-35 比較可知在面罩間皆有相同的趨勢，並且以中度負荷時上升最明顯。

表 4-16 無閥與有閥 N95 口罩在濕熱環境下之工作時心跳、工作心跳和心率儲備百分比描述性統計資料與配對樣本 t 檢定統計結果

RT	RNV								RWV							
	Light				Moderate				Light				Moderate			
ET(°C)	25		35		25		35		25		35		25		35	
RH(%)	50	70	50	70	50	70	50	70	50	70	50	70	50	70	50	70
HR _{work} (bpm)	107.5	106.5	111.6	112.9 ^c	127.5 ^b	130.1 ^b	134.9 ^{bc}	138.3 ^{bc}	106.1	106	112.6 ^c	113.6 ^c	128.1 ^b	130.4 ^b	136.8 ^{bc}	139.4 ^{bc}
S.D.	12.9	10	9.5	10.8	13.5	9.4	11.3	13	13.2	8.9	10.5	12.2	13.6	8.3	11	12.2
WP(bpm)	34.0	34.9	39.2	45 ^{cd}	54 ^b	57.5 ^b	62.6 ^{bc}	70.4 ^{bcd}	32.6	33.5	40.3 ^c	45.6 ^{cd}	54.6 ^b	57.8 ^b	64.5 ^{bc}	71.5 ^{bcd}
S.D.	8.5	9.6	10.4	9.2	10.5	12.4	10.1	12.2	10.2	9.4	10.7	11.1	10	11.1	11.4	12.1
%HRR(%)	37.5	36.6	42.0	46.2 ^{cd}	59.0 ^b	62.4 ^b	67.6 ^{bc}	72.3 ^{bcd}	35.8	36.0	43.0 ^c	46.7 ^{cd}	59.9 ^b	62.8 ^b	69.3 ^{bc}	73.5 ^{bcd}
S.D.	10.9	8.9	9.2	8.7	11.9	10.2	9.6	11.9	12.1	8.3	9.1	9.7	12.7	9.3	8.9	12

^aSignificant difference (p<0.05) between RF and RC under the same WL, ET, and RH

^bSignificant difference (p<0.05) between moderate and light WL under the same RT, ET, and RH

^cSignificant difference (p<0.05) between ET = 35°C and 25°C under the same RT, WL, and RH

^dSignificant difference (p<0.05) between RH = 70% and 50% under the same RT, WL, and ET

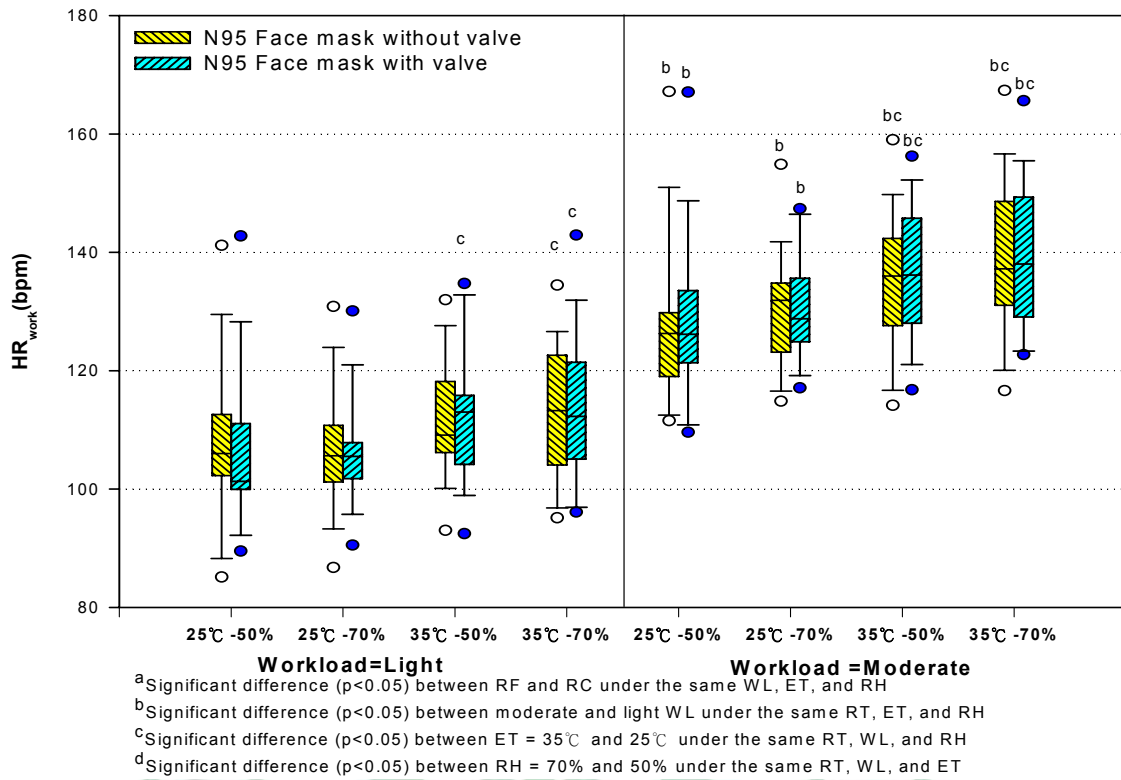


圖 4-33 各溫溼度下執行輕中工作之工作時心跳

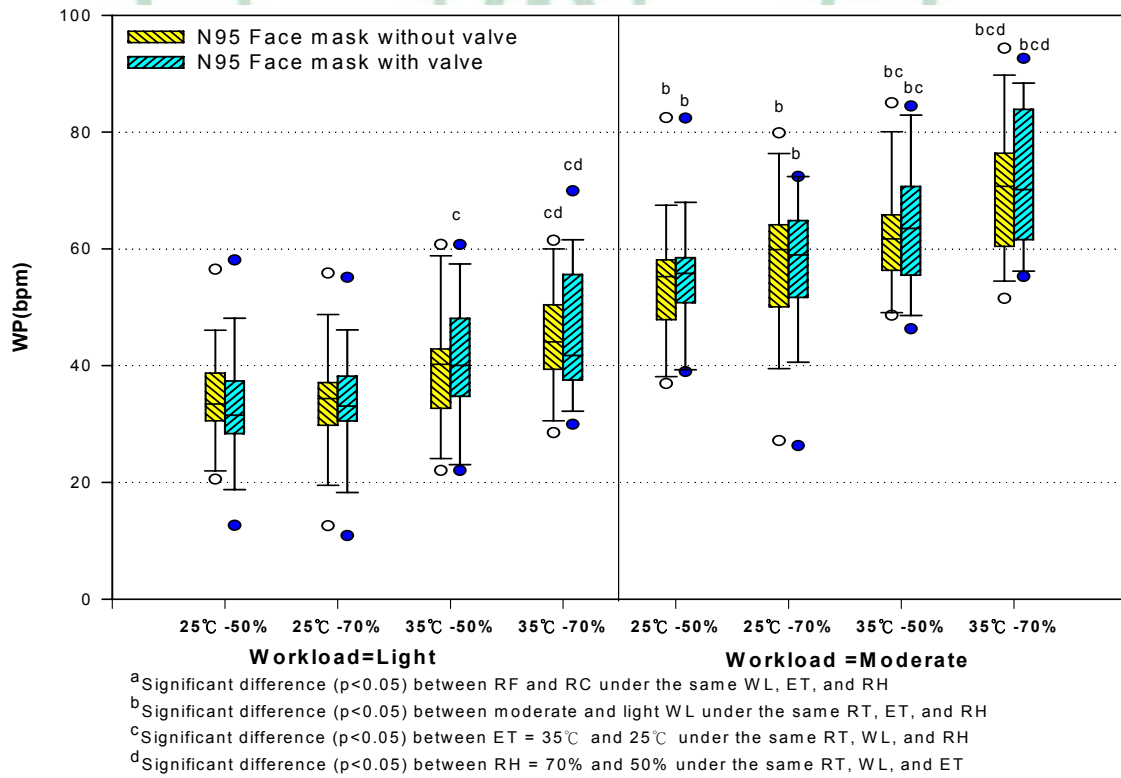


圖 4-34 各溫溼度下執行輕中工作之工作心跳

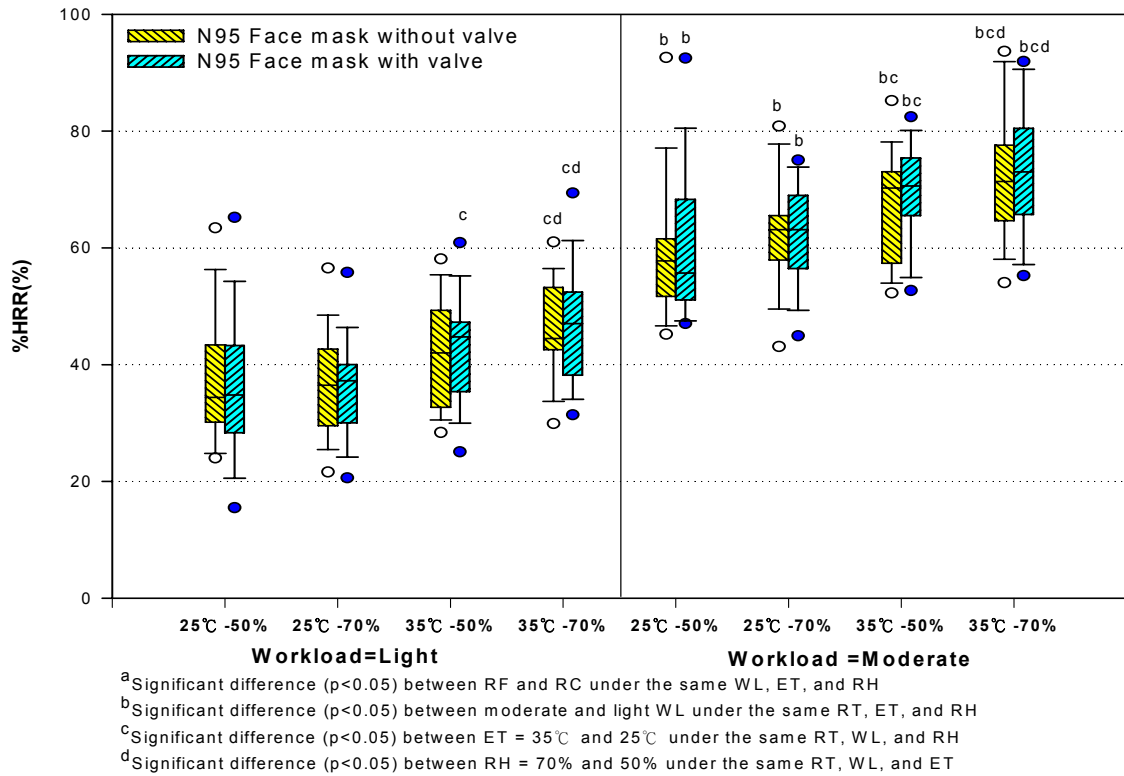


圖 4-35 各溫溼度下執行輕中工作之心率儲備百分比

4.3.1.4 吸氣壓力、吐氣壓力

表 4-17 為吸氣壓力、吐氣壓力之詳細數據，分別整理於圖 4-36、圖 4-37，說明如下：

由表 4-13 可知溫度對吸氣壓力有顯著影響，溼度則為稍微顯著。由表 4-17 可知配戴 N95 無閥口罩執行輕度（45W）工作，當環境溫度上升（由 25°C 至 35°C），吸氣壓力在濕度為 50% 時由 13.9 增加到 15 mmH₂O，濕度為 70% 時由 14.0 增加至 15.2 mmH₂O，平均上升約 1.1-1.2 mmH₂O，執行中度（85W）工作當環境溫度上升時，工作時心跳在濕度為 50% 時由 18.0 增加到 19.2 mmH₂O，濕度為 70% 時由 17.9 增加至 20.2 mmH₂O，平均上升約 1.2-2.3 mmH₂O；配戴 N95 有閥口罩執行輕度（45W）工作，當環境溫度上升（由 25°C 至 35°C），吸氣壓力在濕度為 50% 時由 13.2 增加到 14.5 mmH₂O，濕度為 70% 時由 13.4 增加至 15.2 mmH₂O，平均上升

約 1.3-1.8 mmH₂O，執行中度（85W）工作當環境溫度上升時，工作時心跳在濕度為 50%時由 16.9 增加到 18.9 mmH₂O，濕度為 70%時由 17.5 增加至 19.7 mmH₂O，平均上升約 2-2.2 mmH₂O。因此兩種 N95 口罩在相同的負荷及環境濕度下，環境溫度上升均會增加吸氣壓力，其中以有閥 N95 口罩的吸氣阻力較高，符合先前進行呼吸阻力量測的情況。

由表 4-13 可知溫度和溼度皆對吐氣壓力無顯著的影響。由圖 4-37 可看出有閥 N95 口罩的吐氣壓力均小於無閥的。



表 4-17 無閥與有閥 N95 口罩在濕熱環境下之吸氣和吐氣壓力描述性統計資料與配對樣本 t 檢定統計結果

RT	RNV								RWV							
	Light				Moderate				Light				Moderate			
	25		35		25		35		25		35		25		35	
RH(%)	50	70	50	70	50	70	50	70	50	70	50	70	50	70	50	70
PIP(mmH ₂ O)	13.9 ^a	14	15 ^c	15.2 ^c	18 ^{ab}	17.9 ^b	19.2 ^{bc}	20.2 ^{bcd}	13.2	13.4	14.5 ^c	15.2 ^c	16.9 ^b	17.5 ^b	18.9 ^{bc}	19.7 ^{bc}
S.D.	1.5	1.7	1.5	1.6	2.5	2.2	2.1	2.1	1.4	1.3	1.6	1.6	1.9	2.4	2	3.4
PEP(mmH ₂ O)	12.3 ^a	13 ^a	12.2 ^a	12.1 ^a	15.4 ^{ab}	16.3 ^{abd}	15.6 ^{ab}	16.5 ^{ab}	9.5	10.4	9.4	9.4	11.6 ^b	11.9 ^b	11.2 ^b	11.1 ^b
S.D.	1.6	1.1	1.2	1.4	1.9	1.4	1.5	1.8	1.4	1.7	1.1	1.5	1	1.8	1.5	1.5

^aSignificant difference ($p < 0.05$) between RF and RC under the same WL, ET, and RH

^bSignificant difference ($p < 0.05$) between moderate and light WL under the same RT, ET, and RH

^cSignificant difference ($p < 0.05$) between ET = 35°C and 25°C under the same RT, WL, and RH

^dSignificant difference ($p < 0.05$) between RH = 70% and 50% under the same RT, WL, and ET

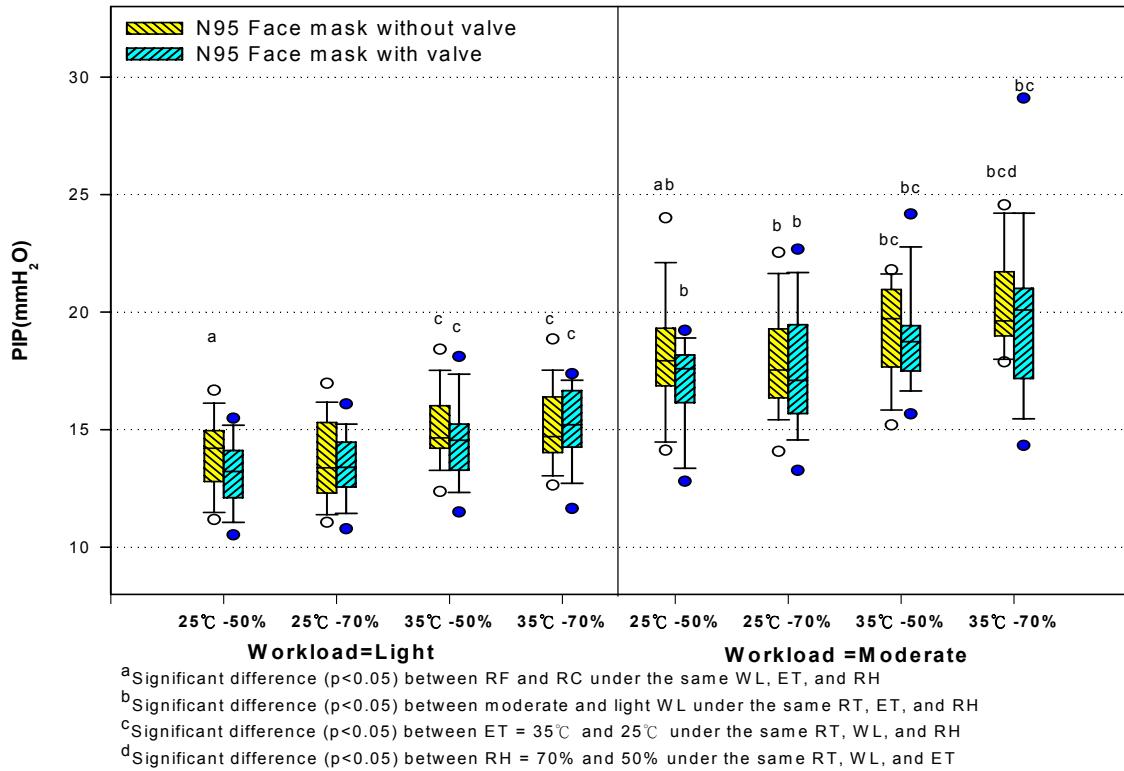


圖 4-36 各溫溼度下執行輕中工作之吸氣壓力

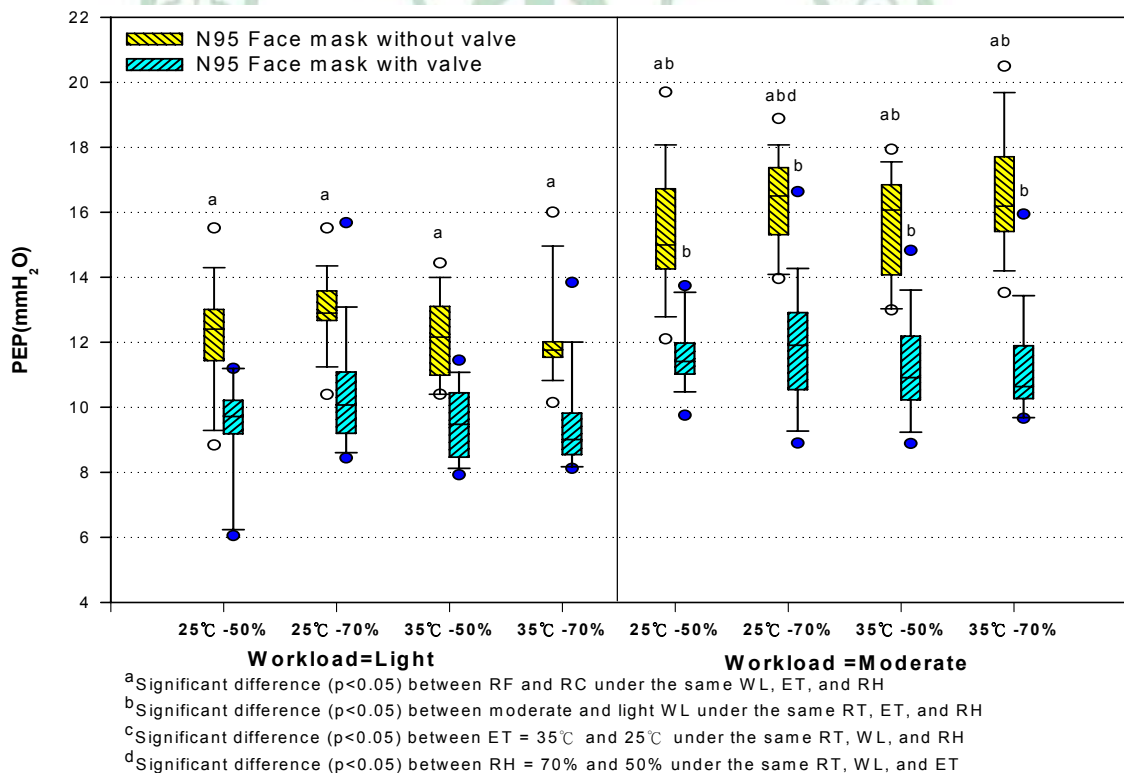


圖 4-37 各溫溼度下執行輕中工作之吐氣壓力

4.3.1.6 呼吸頻率、吸氣時間、吐氣時間

表 4-18 為呼吸頻率、吸氣時間、吐氣時間之詳細數據，分別整理於圖 4-38、圖 4-39、圖 4-40，說明如下：

由表 4-13 可知環境溫度對呼吸頻率有顯著影響。由表 4-18 可知配戴無閥 N95 口罩執行輕度 (45W) 工作，當環境溫度上升 (由 25°C 至 35°C)，呼吸頻率在濕度為 50% 時由 24.1 增加到 23.5 cycle/min，濕度為 70% 時由 25.0 增加至 23.0 cycle/min，平均上升約 0.6-2 cycle/min，執行中度 (85W) 工作當環境溫度上升時，呼吸頻率在濕度為 50% 時由 27.3 增加到 28.3 cycle/min，濕度為 70% 時由 28 增加至 30.6 cycle/min，平均上升約 1-2.6 cycle/min；配戴有閥 N95 口罩執行輕度 (45W) 工作，當環境溫度上升 (由 25°C 至 35°C)，呼吸頻率在濕度為 50% 時由 22.1 增加到 25.4 cycle/min，濕度為 70% 時由 23.0 增加至 25.4 cycle/min，平均上升約 2.4-3.3 cycle/min，執行中度 (85W) 工作當環境溫度上升時，呼吸頻率在濕度為 50% 時由 25.8 增加到 29.5 cycle/min，濕度為 70% 時由 27.3 增加至 28.6 cycle/min，平均上升約 1.3-3.7 cycle/min。可知兩種 N95 面罩在相同的負荷及環境濕度下，環境溫度上升均會增加呼吸頻率，其中以有閥 N95 口罩增加較多。

由表 4-13 可知環境溫度對吸氣時間有顯著影響。由表 4-18 可知配戴無閥 N95 口罩執行輕度 (45W) 工作，當環境溫度上升 (由 25°C 至 35°C)，吸氣時間在濕度為 50% 時由 1.35 減少到 1.28 sec，濕度為 70% 時由 1.4 減少至 1.25 sec，平均下降約 0.07-0.15 sec，執行中度 (85W) 工作當環境溫度上升時，吸氣時間在濕度為 50% 時由 1.2 減少到 1.12 sec，濕度為 70% 時由 1.19 減少至 1.05 sec，平均下降約 0.08-0.14 sec；配戴有閥 N95 口罩執行輕度 (45W) 工作，當環境溫度上升 (由 25°C 至 35°C)，

吸氣時間在濕度為 50%時由 1.36 減少到 1.1 sec，濕度為 70%時由 1.23 減少至 1.13 sec，平均上升約 0.1-0.26 sec，執行中度（85W）工作當環境溫度上升時，吸氣時間在濕度為 50%時由 1.25 減少到 1.06 sec，濕度為 70%時由 1.17 減少至 1.06 sec，平均下降約 0.11-0.19 sec。可知兩種 N95 面罩在相同的負荷及環境濕度下，環境溫度上升均會減少吸氣時間，其中以無閥 N95 口罩減少較多，亦即吸氣時間較短。

由表 4-13 可知環境溫度和環境濕度皆對吐氣時間無顯著影響，由圖 4-40 可知在環境溫度與濕度下執行輕度作業時，無閥的吐氣時間較短



表 4-18 無閥與有閥 N95 口罩在濕熱環境下之呼吸頻率、吸氣和吐氣時間描述性統計資料與配對樣本 t 檢定統計結果

RT	RNV								RWV							
	Light				Moderate				Light				Moderate			
WL	25		35		25		35		25		35		25		35	
ET(°C)	50		70		50		70		50		70		50		70	
RH(%)	50		70		50		70		50		70		50		70	
BF(cycle/min)	23.5	23	24.1	25	27.3 ^{ab}	28 ^b	28.3 ^b	30.6 ^{ab}	22.1	23	25.4 ^c	25.4	25.8 ^b	27.3 ^b	29.5 ^{bc}	28.6 ^b
S.D.	3.5	4.2	3.9	5.4	4.4	4.9	4.8	5.5	5.2	6.3	3.8	4.7	4.9	5.2	4.9	5.3
Ti(sec)	1.35 ^b	1.4 ^{ab}	1.28 ^{ab}	1.25 ^{ab}	1.2 ^c	1.19 ^c	1.12	1.05	1.36 ^{bc}	1.23 ^c	1.1	1.13	1.25 ^c	1.17	1.06	1.06
S.D.	0.22	0.4	0.3	0.36	0.25	0.27	0.29	0.29	0.37	0.42	0.31	0.36	0.36	0.35	0.28	0.32
Te(sec)	1.33	1.4 ^b	1.35	1.54	1.14	1.13	1.15	1.07	1.67 ^b	1.74 ^{ab}	1.4 ^a	1.64 ^{ab}	1.24 ^c	1.23	1.12	1.18 ^{ad}
S.D.	0.29	0.3	0.23	0.59	0.26	0.28	0.27	0.2	0.88	0.77	0.24	0.91	0.28	0.34	0.19	0.25

^aSignificant difference ($p < 0.05$) between RF and RC under the same WL, ET, and RH

^bSignificant difference ($p < 0.05$) between moderate and light WL under the same RT, ET, and RH

^cSignificant difference ($p < 0.05$) between ET = 35°C and 25°C under the same RT, WL, and RH

^dSignificant difference ($p < 0.05$) between RH = 70% and 50% under the same RT, WL, and ET

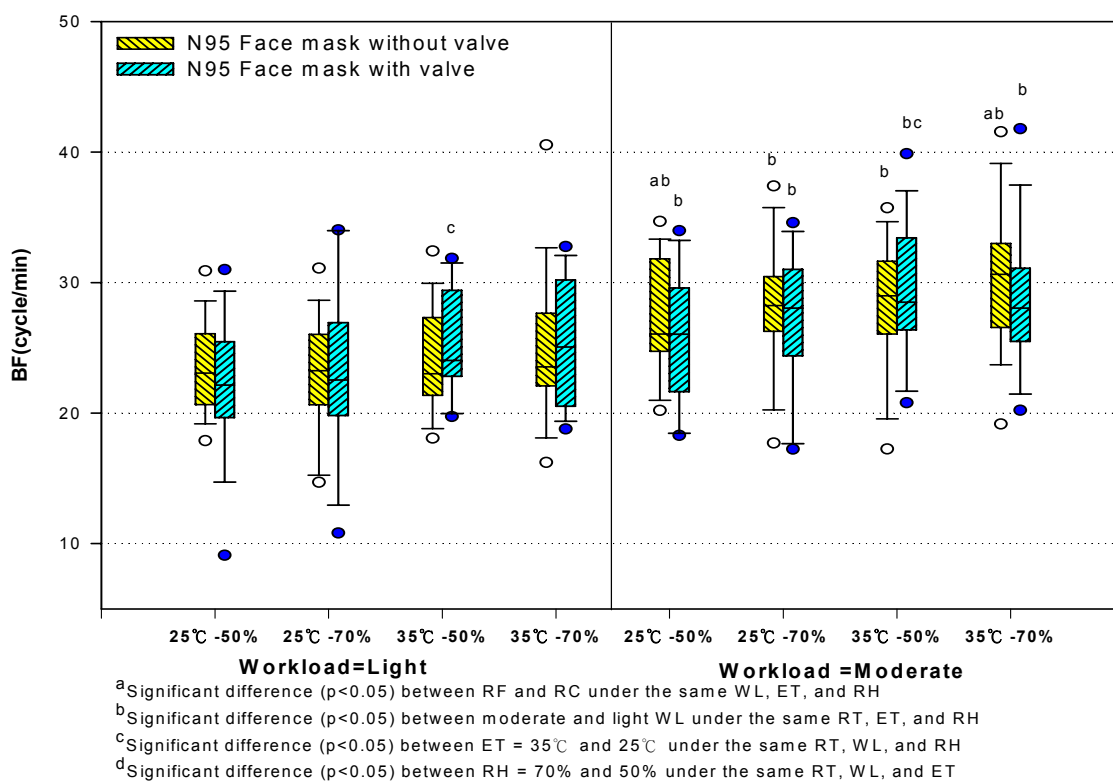


圖 4-38 各溫溼度下執行輕中工作之呼吸頻率

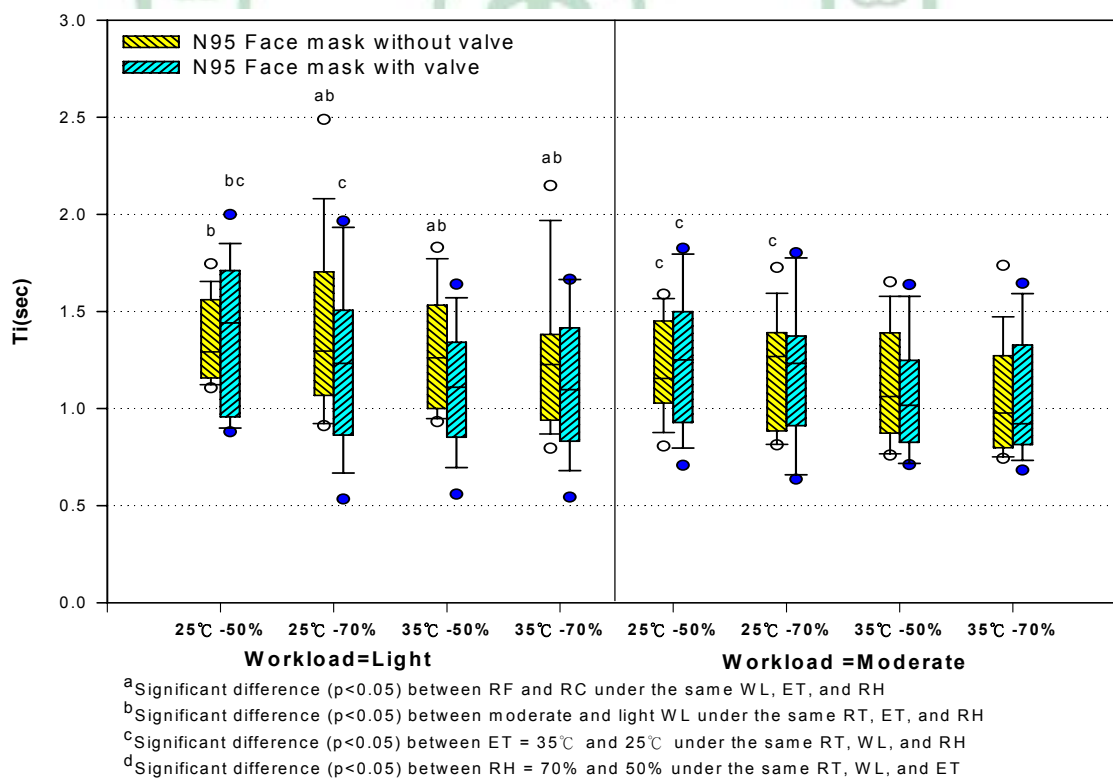


圖 4-39 各溫溼度下執行輕中工作之吸氣時間

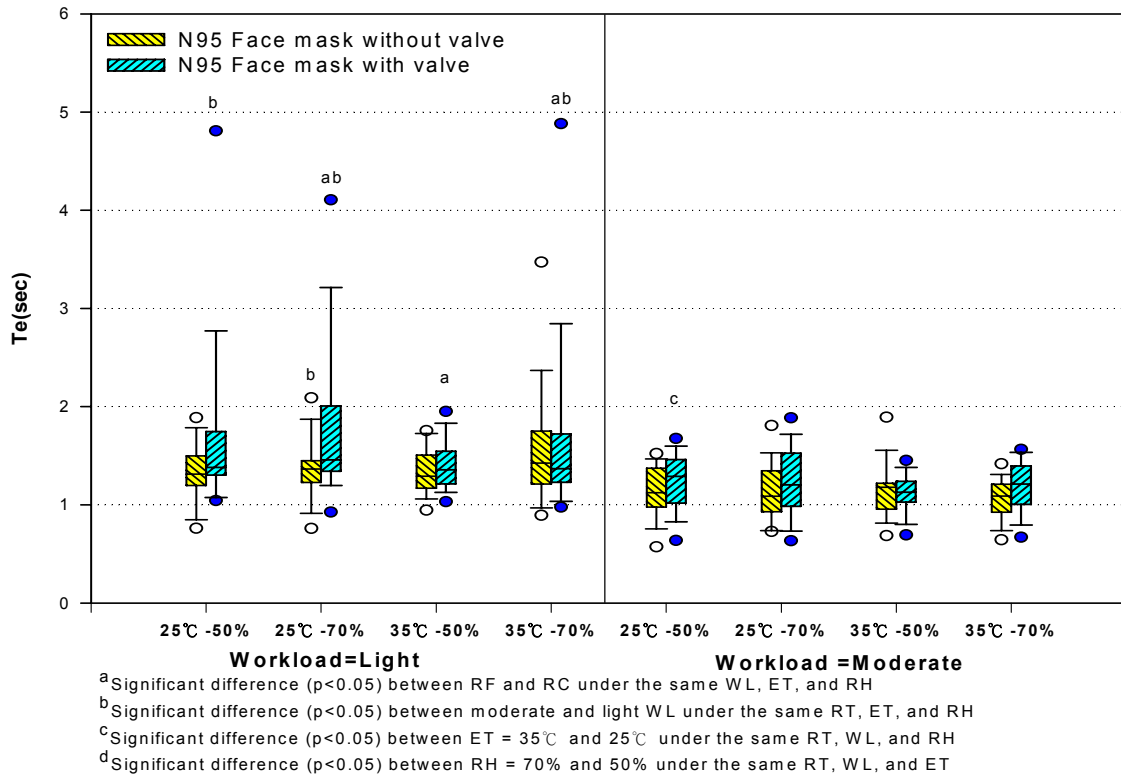


圖 4-40 各溫溼度下執行輕中工作之吐氣時間

4.3.1.9 分通氣量、潮氣容積、 V_T/VC

分通氣量、潮氣容積與 V_T/VC 只有 N95 有閥口罩可以測量，表 4-19 為其詳細數據，分別整理於圖 4-41、圖 4-42、圖 4-43，說明如下：

由表 4-13 可知環境濕度對分通氣量有稍微顯著的影響，環境溫度則無顯著影響。由表 4-19 可知，配戴有閥 N95 口罩執行輕度 (45W) 工作，當環境濕度上升 (由 50% 至 70%)，分通氣量在溫度為 25°C 時由 11.9 增加到 12.0 L/min，溫度為 35°C 時由 11.8 增加至 14 L/min，平均上升約 0.1-2.2 L/min，執行中度 (85W) 工作當環境濕度上升時，分通氣量在溫度為 25°C 時由 20.6 增加到 21 L/min，溫度為 35°C 時由 20.7 增加至 22.5 L/min，平均上升約 0.4-1.8 L/min。可知在相同的負荷和環境溫度下，環境濕度上升會增加分通氣量，且以環境溫度高時增加程度高。

由表 4-13 可知環境溫度和環境濕度對潮氣容積和 V_T/VC 皆無顯著影響，由圖 4-42 可知中度工作時潮氣容積大於輕度工作，在輕度工作時，相同溼度下環境上升有增加潮氣容積的趨勢，中度工作時則無，由圖 4-43 可知 V_T/VC 亦有相似增加的情形。



表 4-19 無閥與有閥 N95 口罩在濕熱環境下之分通氣量、潮氣容積、潮氣容積佔肺活量之百分比描述性統計資料與配對樣本 t 檢定統計結果

WL	Light				Moderate			
	25		35		25		35	
ET(°C)	25		35		25		35	
RH(%)	50	70	50	70	50	70	50	70
VE(L/min)	12	12	11.8	14 ^d	20.6 ^b	21 ^b	20.7 ^b	22.5 ^b
S.D.	2.9	2.8	2.5	3.6	2.7	2.9	2.3	4.6
V _T (L)	0.6 ^c	0.6	0.5	0.5	0.8 ^{bc}	0.7	0.7 ^b	0.8 ^b
S.D.	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.3	0.1	0.2
V _T /VC(%)	16.2 ^c	15.8	12.9	14.2	22.7 ^{bc}	20.1 ^b	19.7 ^b	22 ^b
S.D.	6.7	7.3	3.4	4.9	7.2	10.6	4.6	5.5

^aSignificant difference (p<0.05) between RF and RC under the same WL, ET, and RH

^bSignificant difference (p<0.05) between moderate and light WL under the same RT, ET, and RH

^cSignificant difference (p<0.05) between ET = 35°C and 25°C under the same RT, WL, and RH

^dSignificant difference (p<0.05) between RH = 70% and 50% under the same RT, WL, and ET

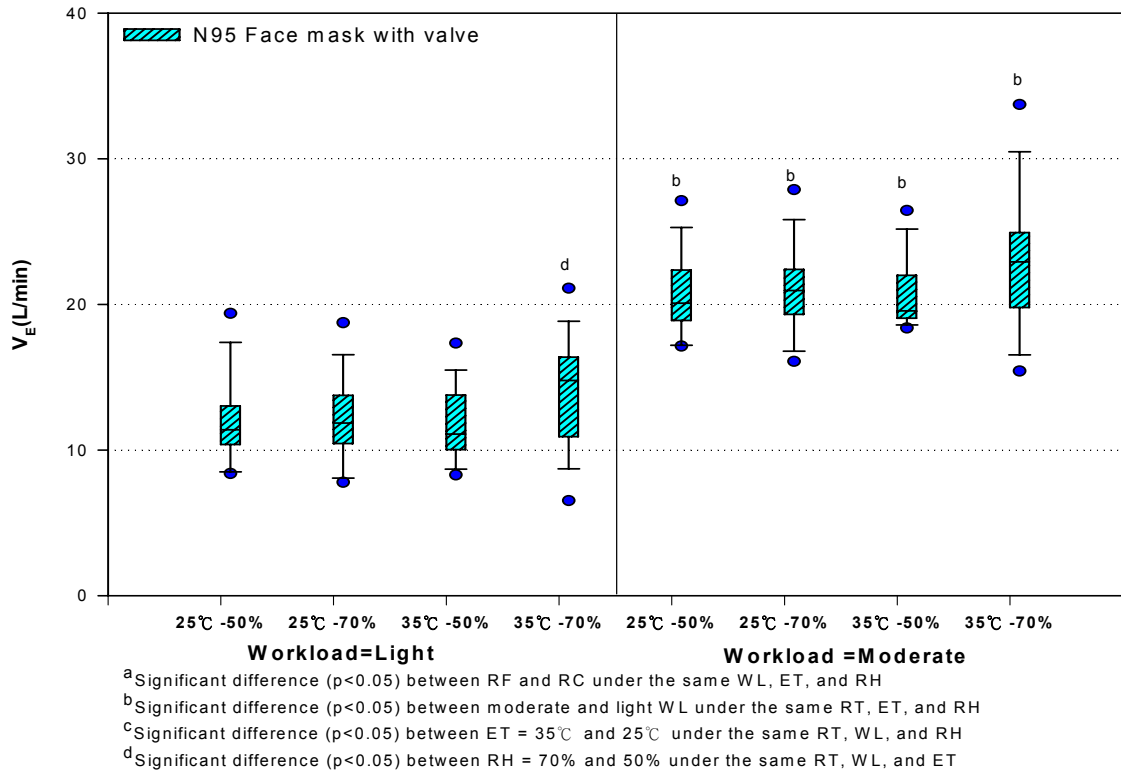


圖 4-41 各溫溼度下執行輕中工作之分通氣量

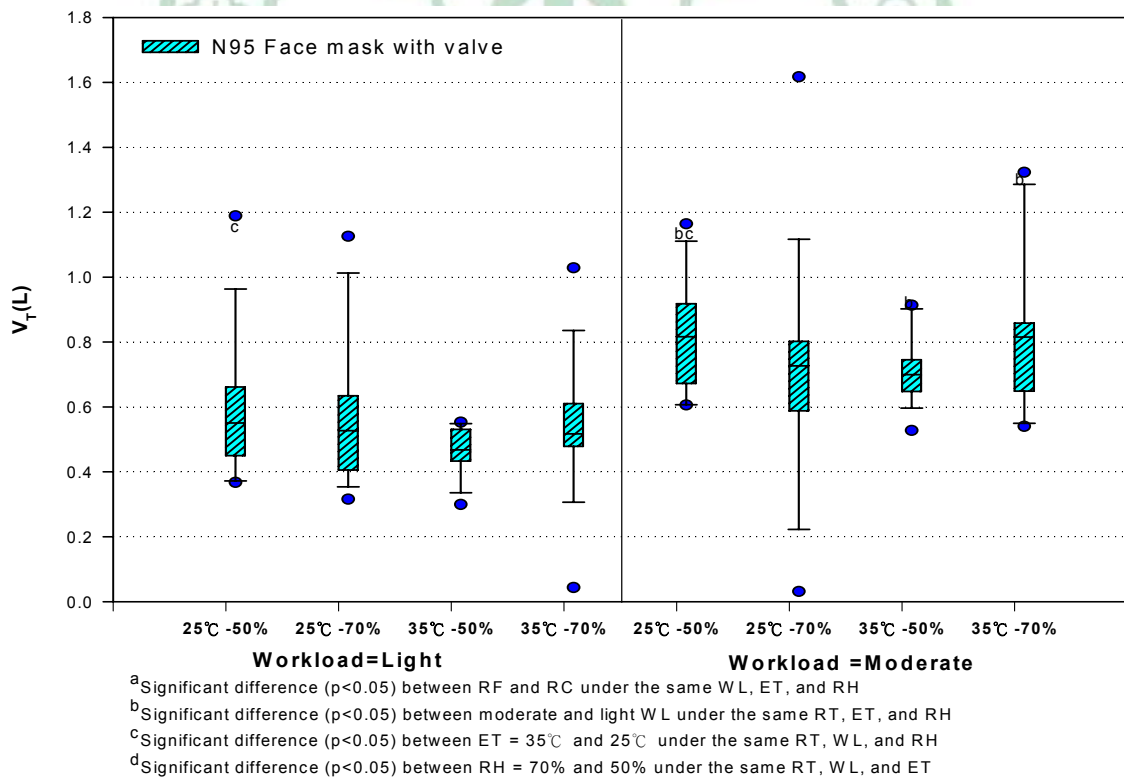


圖 4-42 各溫溼度下執行輕中工作之潮氣容積

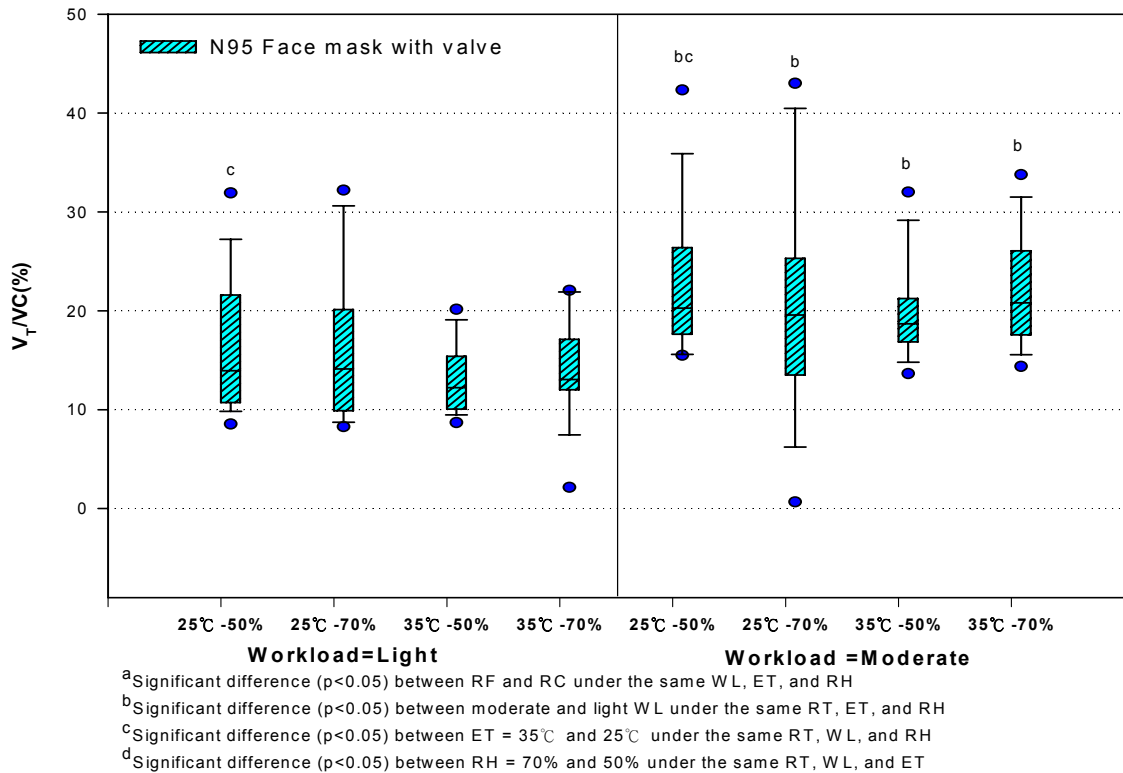


圖 4-43 各溫溼度下執行輕中工作之 V_T/VC

4.3.1.11 耗氧量、最大耗氧量百分比、單位體重耗氧量、新陳代謝量、通氣當量

耗氧量、最大耗氧量百分比、單位體重耗氧量、新陳代謝量和通氣當量僅 N95 有閥口罩可以測量，詳細數據彙整於表 4-20，整理於圖 4-44、圖 4-45、圖 4-46、圖 4-47、圖 4-48，說明如下：

由表 4-13 可知環境濕度對耗氧量有顯著影響，由表 4-20 可知配戴有閥 N95 口罩執行輕度 (45W) 工作，當環境濕度上升 (由 50% 至 70%)，耗氧量在溫度為 25°C 時由 0.45 增加到 0.48 L/min，溫度為 35°C 時由 0.47 增加至 0.57 L/min，平均上升約 0.03-0.1 L/min，執行中度 (85W) 工作當環境濕度上升時，耗氧量在溫度為 25°C 時由 0.81 增加到 0.83 L/min，溫度為 25°C 時由 0.80 增加至 0.89 L/min，平均上升約 0.02-0.09 L/min。由表 4-20 之兩樣本配對比較結果可知，最大耗氧量百分比、單位體重耗

氧量等皆與耗氧量有一致的趨勢，在相同的負荷下，環境濕度上升皆會使得這些生理指標增加。



表 4-20 無閥與有閥 N95 口罩在濕熱環境下之耗氧量、最大耗氧量百分比、單位體重耗氧量、新陳代謝率和通氣當量描述性統計資料與配對樣本 t 檢定統計結果

WL	Light				Moderate			
	25		35		25		35	
ET(°C)	50		70		50		70	
RH(%)	50	70	50	70	50	70	50	70
VO ₂ (L/min)	0.45	0.48	0.47	0.57 ^{cd}	0.81 ^b	0.83 ^b	0.80 ^b	0.89 ^{bd}
S.D.	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2
%VO ₂ (%)	17.3	18.3	17.8	21.7 ^{cd}	31 ^b	31.9 ^b	30.6 ^b	34 ^{bd}
S.D.	3.9	3.7	3.2	5.5	5.5	6.0	5.5	7.5
VO _{2mass} (ml/min/Kg)	6.3	6.6	6.4	7.8 ^{cd}	11.3 ^b	11.7 ^b	11.1 ^b	12.4 ^{bd}
S.D.	1.4	1.4	1.1	1.9	2.2	2.8	2.2	3.0
M(Kcal/min)	2.3	2.4	2.3	2.8 ^{cd}	4.0 ^b	4.0 ^b	3.9 ^b	4.4 ^{bd}
S.D.	0.4	0.5	0.4	0.7	0.4	0.8	0.5	0.8
EQv	26.3	25	25.2	24.4	25.5	25.2	26.2 ^b	25.3
S.D.	2.2	3.0	2.2	2.2	1.9	1.7	3.9	1.8

^aSignificant difference (p<0.05) between RF and RC under the same WL, ET, and RH

^bSignificant difference (p<0.05) between moderate and light WL under the same RT, ET, and RH

^cSignificant difference (p<0.05) between ET = 35°C and 25°C under the same RT, WL, and RH

^dSignificant difference (p<0.05) between RH = 70% and 50% under the same RT, WL, and ET

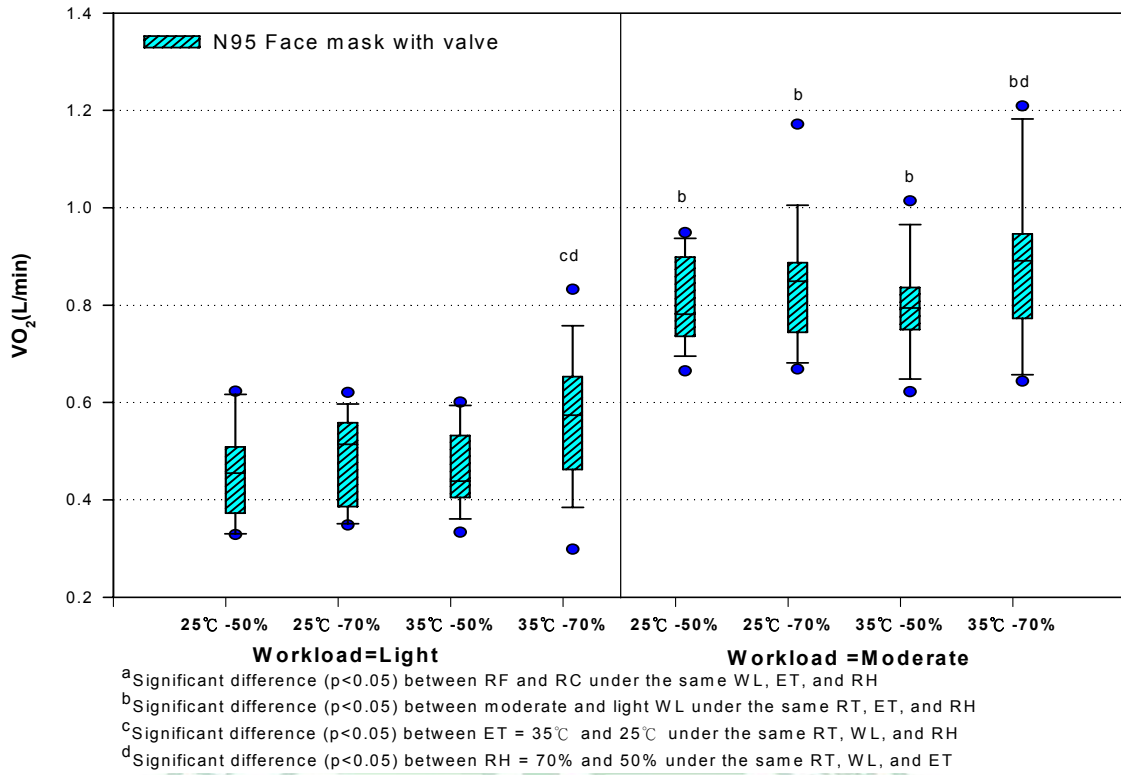


圖 4-44 在各溫溼度下執行輕中工作之耗氧量

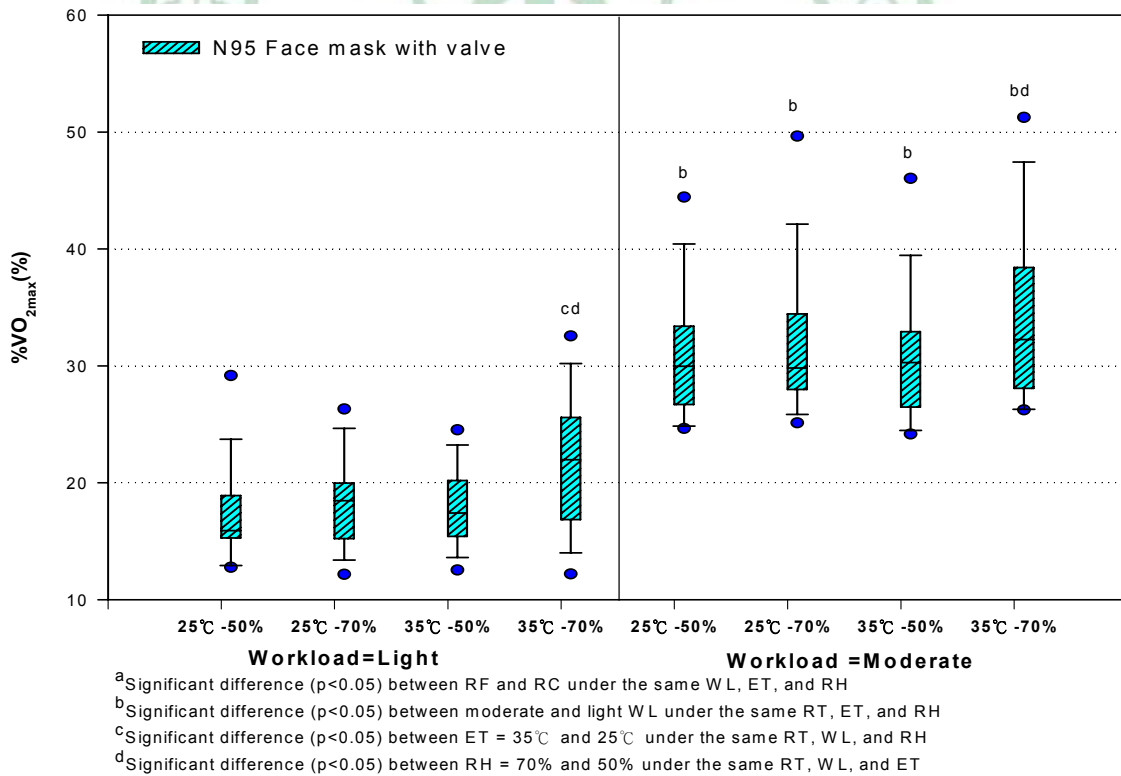


圖 4-45 各溫溼度下執行輕中工作之耗氧量百分比

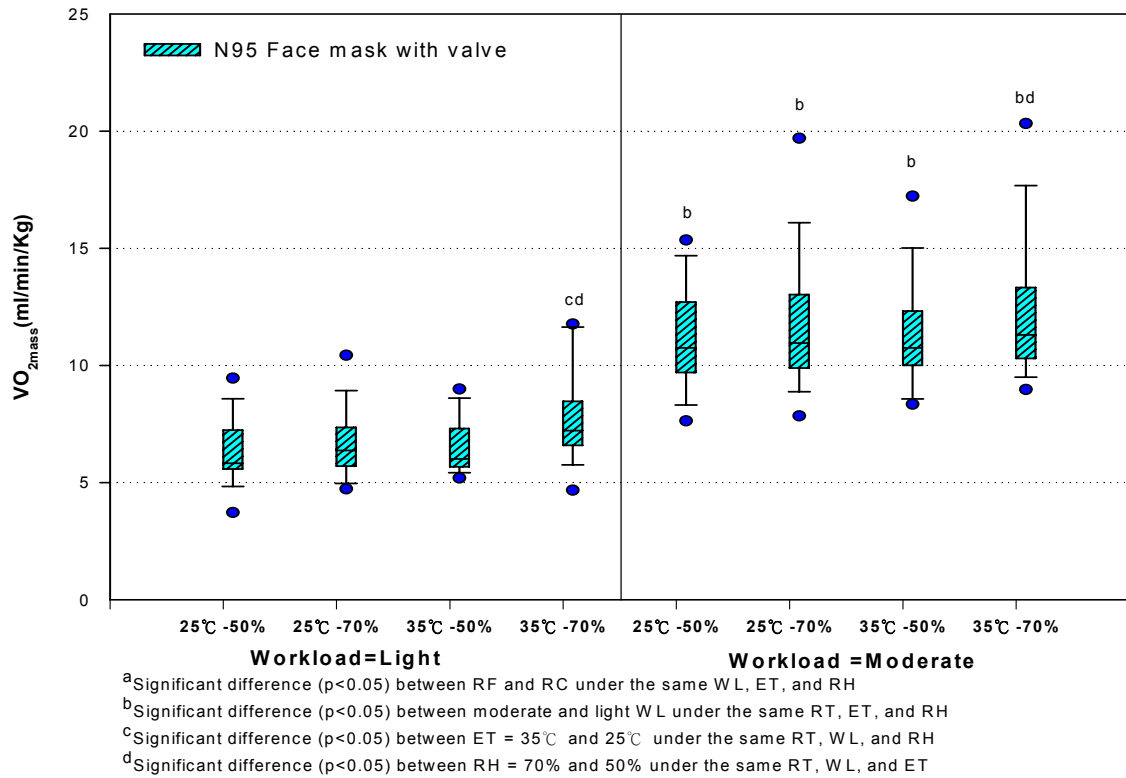


圖 4-46 各溫溼度下執行輕中工作之單位體重耗氧量

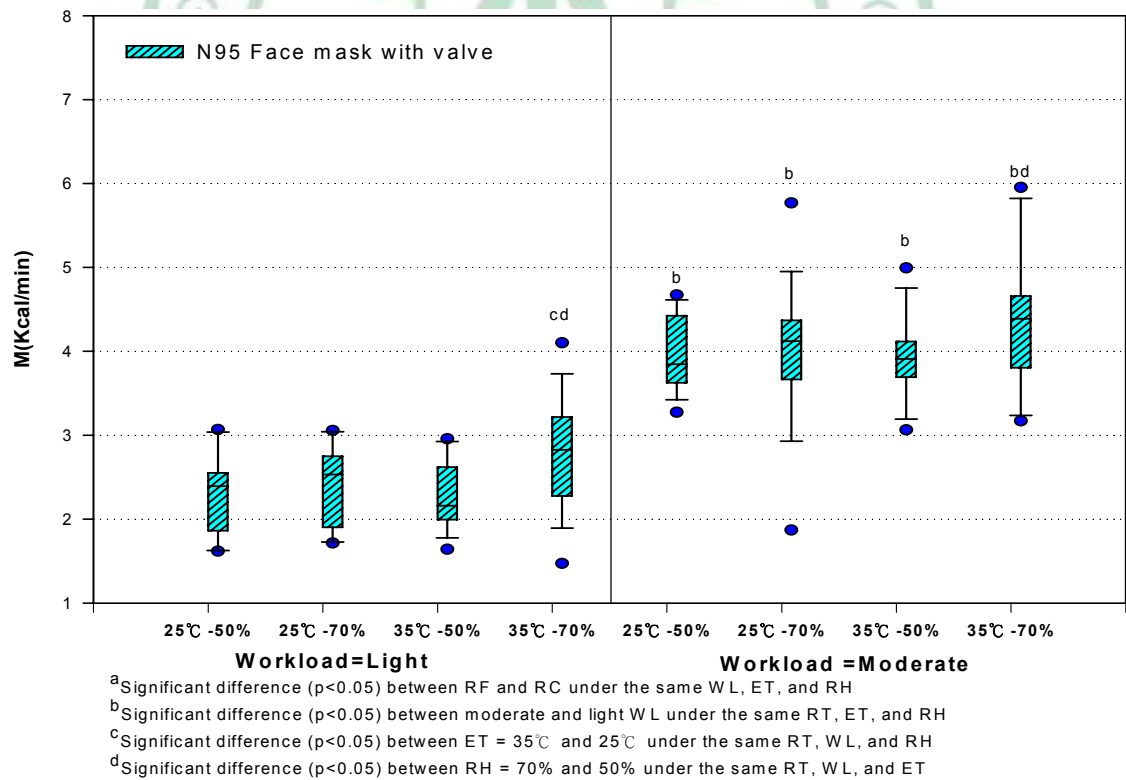


圖 4-47 各溫溼度下執行輕中工作之新陳代謝量

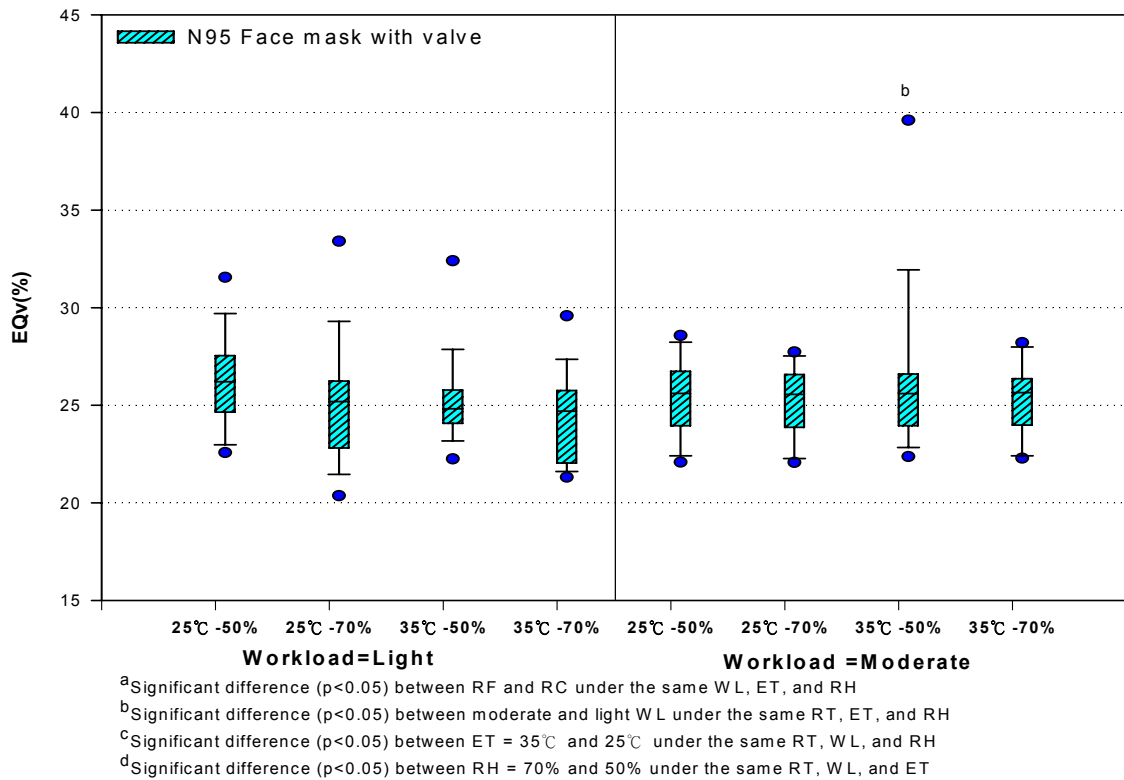


圖 4-48 各溫溼度下執行輕中工作通氣當量

4.3.1.12 面罩內溫度、血氧濃度

表 4-21 為面罩內溫度和血氧濃度之詳細數據，統計繪圖整理於圖 4-49、圖 4-50，說明如下：

由表 4-13 可知對溫度和溼度皆對面罩內溫度有顯著影響。由圖 4-49 可知溫度和濕度上升會顯著增加口罩內溫度，由表 4-21 可知配戴無閥 N95 口罩執行輕度（45W）工作，當環境溫度上升（由 25°C 至 35°C），面罩內溫度在濕度為 50% 時由 34.4 增加到 36°C，濕度為 70% 時由 35 增加至 36.5°C，平均上升約 1.5-1.6°C，執行中度（85W）工作當環境溫度上升時，面罩內溫度在濕度為 50% 時由 34.3 增加到 35.9°C，濕度為 70% 時由 34.8 增加至 36.0°C，平均上升約 1.6°C，因為口罩間亦無顯著差異，因此有閥 N95 口罩的面罩內溫度亦有相同情形。

由表 4-13 可知環境溫度對血氧濃度有顯著影響。由圖 4-50 可知在無閥口罩執行輕度作業時有較飽和的血氧濃度值。

表 4-21 無閥與有閥 N95 口罩在濕熱環境下之面罩內溫度和血氧濃度描述性統計資料與配對樣本 t 檢定統計結果

RT	RNV								RWV							
	Light				Moderate				Light				Moderate			
WL	25		35		25		35		25		35		25		35	
ET(°C)	50		70		50		70		50		70		50		70	
RH(%)	50		70		50		70		50		70		50		70	
Tm(°C)	34.4 ^a	35 ^a	36 ^c	36.5 ^{cd}	34.3 ^a	34.8 ^a	35.9 ^c	36.4 ^{acd}	33.1	33.7	36 ^c	36.4 ^{bc}	33.4	33.3	35.7 ^c	36.1 ^{cd}
S.D.	1	1	0.6	0.6	0.9	0.8	0.8	0.6	1.8	1.1	0.8	0.6	1	2	0.7	0.7
SO ₂ (%)	96 ^c	95	93.6	93.9	95.6 ^c	95.1	93.5	93.5	95.5	96 ^{bc}	94.4	93.9	95.2	94.9	94.9	94.1
S.D.	1.6	2.4	2	2.3	2.1	1.9	2.7	3.6	2.1	1.2	2.3	2.1	2.1	1.5	1.6	2.6

^aSignificant difference (p<0.05) between RF and RC under the same WL, ET, and RH

^bSignificant difference (p<0.05) between moderate and light WL under the same RT, ET, and RH

^cSignificant difference (p<0.05) between ET = 35°C and 25°C under the same RT, WL, and RH

^dSignificant difference (p<0.05) between RH = 70% and 50% under the same RT, WL, and ET

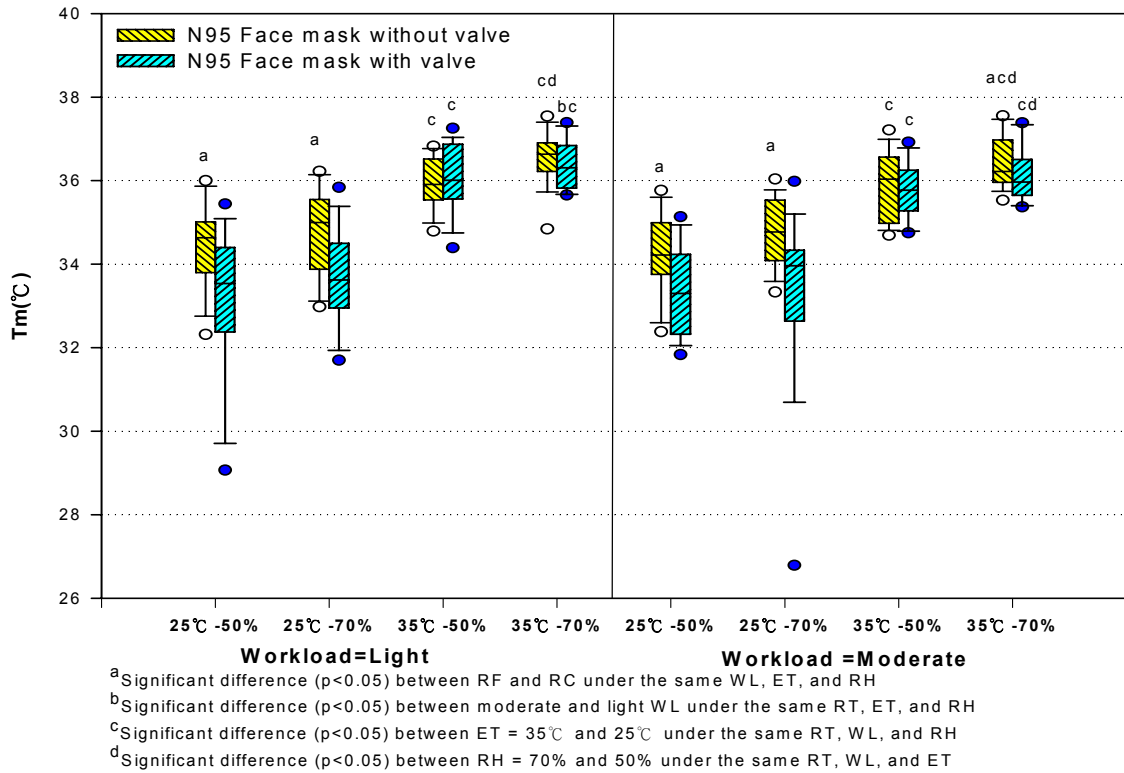


圖 4-49 配戴各口罩執行輕中工作在各溫溼度下之口罩內溫度

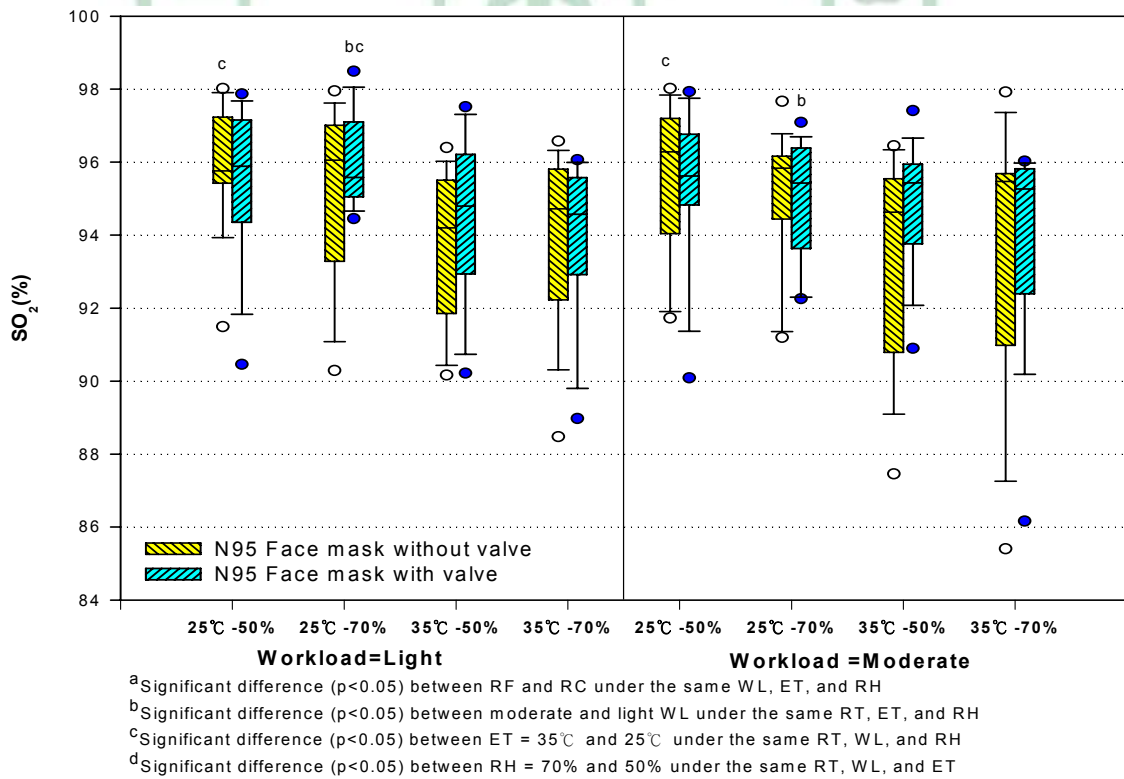


圖 4-50 配戴各口罩執行輕中工作在各溫溼度下之血氧濃度

4.3.2 主觀不適問卷結果

4.3.2.1 各呼吸防護具之主觀不適問項

由表 4-13 可知環境溫度對所有主觀不適問項皆有顯著影響，環境溼度僅對整體環境的溼度不適程度及面罩內流汗不適程度有顯著影響。

由表 4-15 可看出，配戴無閥 N95 執行輕度作業，在環境溫度 25°C 溼度 50% 時，吸氣困難的程度較高，溼度 70% 時則是多了面罩內溫度的不適程度，溫度 35°C 溼度 50% 時，面罩內不適程度最高，70% 時則以面罩內流汗不適程度為最高，執行中度作業時，除了溫度 35°C 溼度 50% 時，面罩內不適程度最高其他環境皆以面罩內流汗不適程度為最高；配戴有閥 N95 口罩時也相似，溫度 35°C 時和中度負荷時都有面罩內溫度和流汗不適程度較高的情形，可知在 25°C 時執行輕度工作，主觀不適的主要來源是面罩的呼吸困難程度，在 35°C 或執行中度工作時，主觀不適的主要來源是面罩內溫度和流汗的不舒服程度。

表 4-15 的呼吸防護具主觀不適問項平均值整理於圖 4-43，可看出平均最高的是面罩內溫度不適程度(3.3)，其次是面罩內溫度不適程度(3.2)和整體不舒服程度(3.2)，推測面罩內溫度和流汗可能是造成整體主觀不適的主因，而此溫度和流汗可能是來自環境的熱和身體產生的熱負荷所造成的。

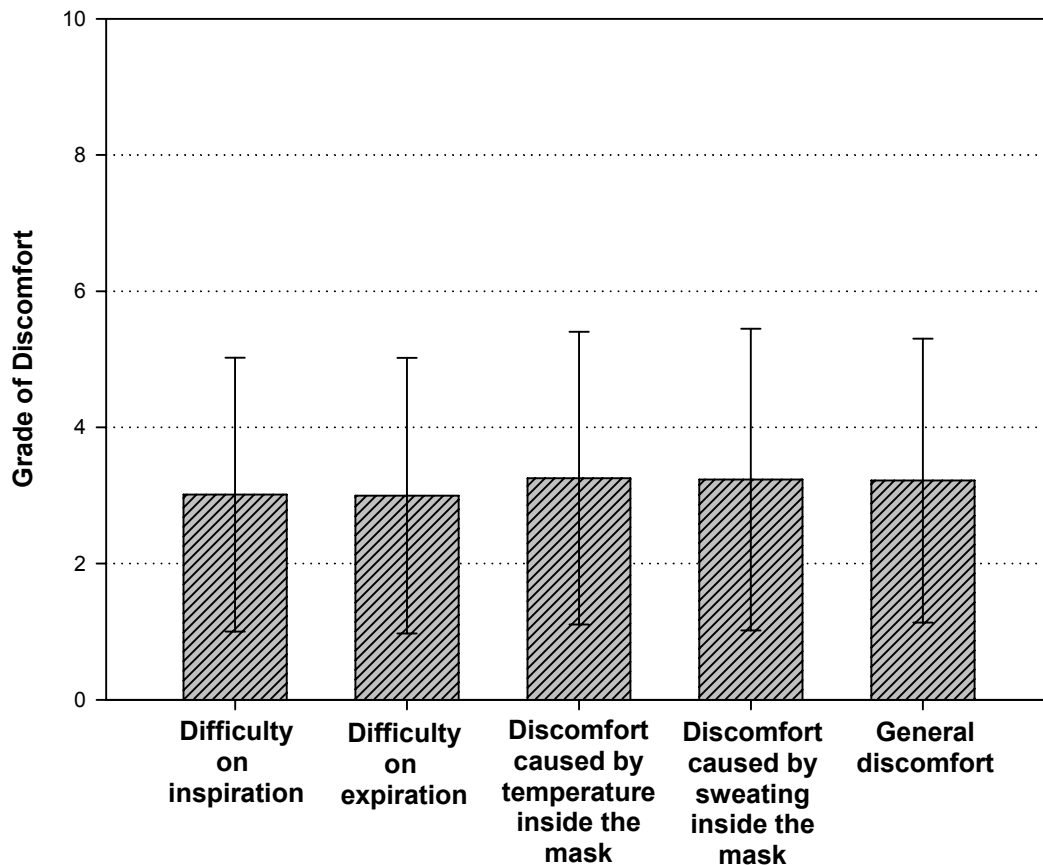


圖 4-51 呼吸防護具之主觀不適問項總平均分布圖

4.3.2.2 主觀不適程度 (Total RPE)

將呼吸防護具之主觀不適問項的程度數值加總成主觀不適程度 Total RPE 值進行整體的分析，整理與圖 4-52。

由表 4-15 可知配戴無閥 N95 口罩執行輕度 (45W) 工作，當環境溫度上升(由 25°C 至 35°C)，Total RPE 在濕度為 50% 時由 8.5 增加到 16.2，濕度為 70% 時由 9.8 增加至 16.8，平均上升約 7.0-7.7，執行中度 (85W) 工作當環境溫度上升時，Total RPE 在濕度為 50% 時由 13.0 增加到 21.4，濕度為 70% 時由 14.8 增加至 21.6，平均上升約 8.4-6.8；當環境濕度上升 (由 50 至 70%)，Total RPE 在溫度為 25°C 時由 8.5 增加到 9.8，溫度為

25°C時由 16.2 增加至 16.8，平均上升約 0.6-1.3，執行中度（85W）工作當環境濕度上升時，Total RPE 在溫度為 25°C 時由 13.0 增加到 14.8，溫度為 35°C 時由 21.4 增加至 21.6，平均上升約 0.2-1.8。由表 4-13 和圖 4-52 可知配戴有閥 N95 口罩亦有相近之趨勢，皆以環境溫度上升時，相同負荷和濕度下的增加程度為高。

表 4-15 的各呼吸防護具之主觀不適問項數據整理於圖 4-53 至圖 4-57，所有的趨勢皆與 Total RPE 相似，在相同的面罩和負荷下，環境溫度或環境溼度升高時皆會增加主觀不適程度。

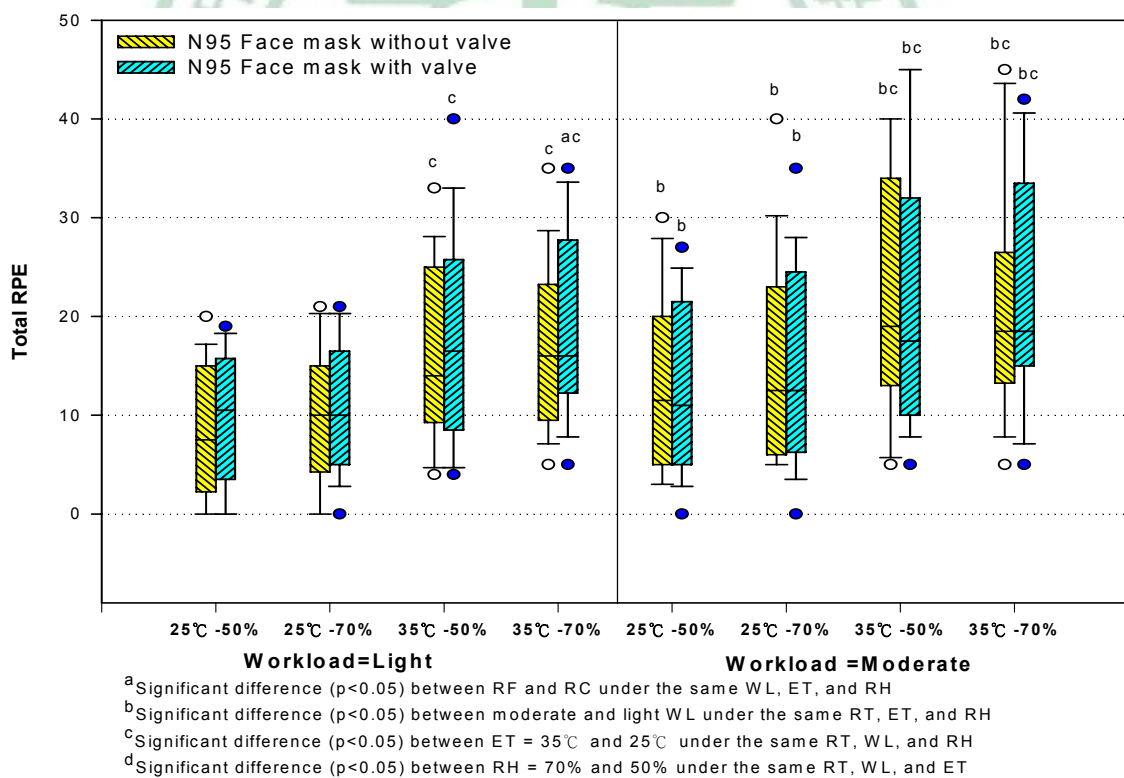


圖 4-52 各溫溼度下執行輕中工作之呼吸防護具主觀不適 RPE 值

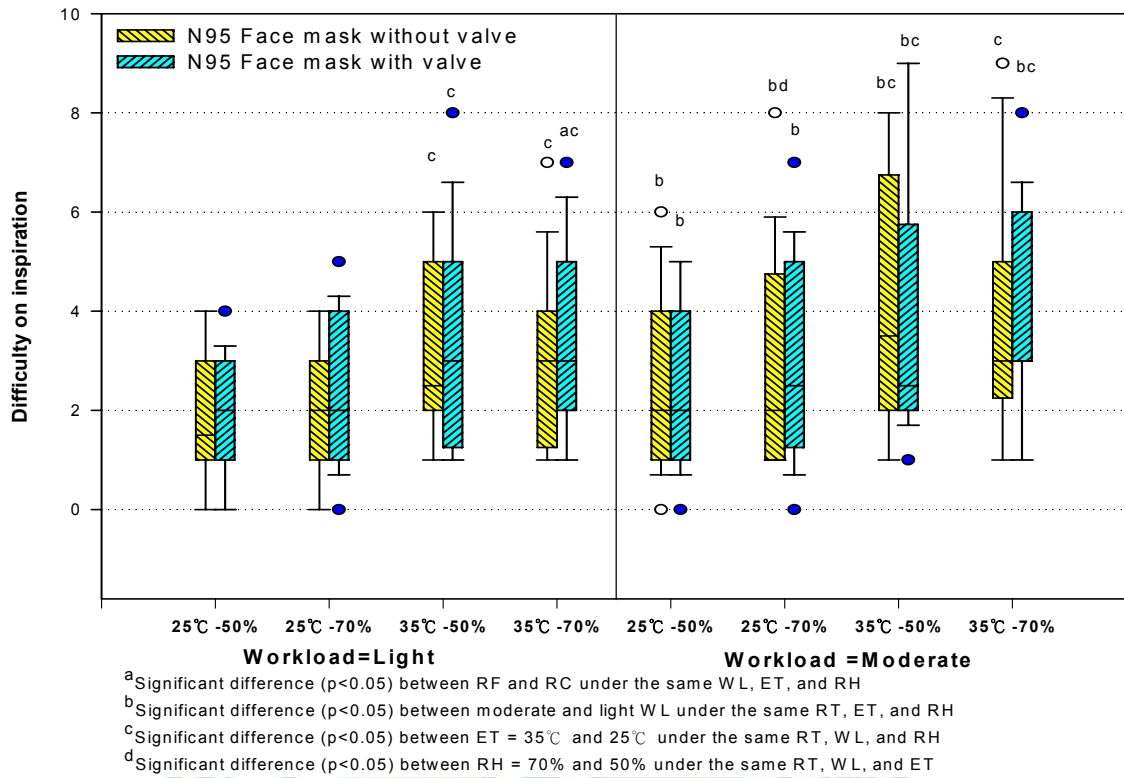


圖 4-53 各溫溼度下執行輕中工作之呼吸防護具吸氣困難程度

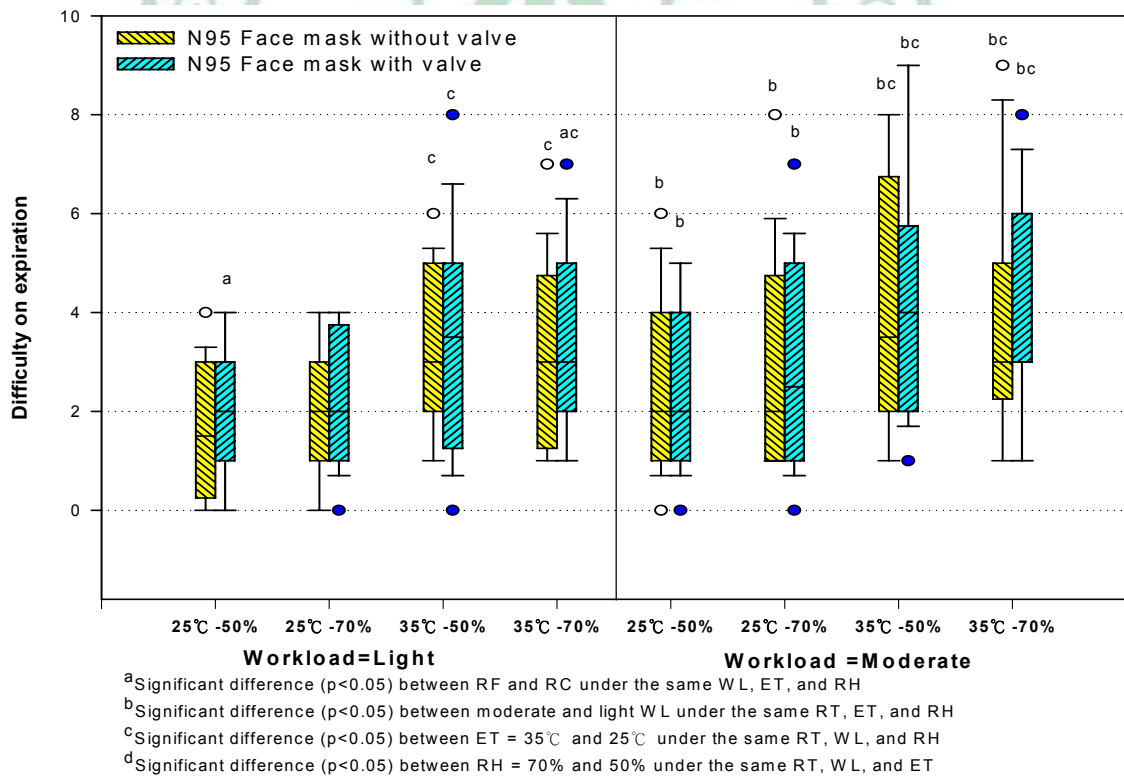


圖 4-54 各溫溼度下執行輕中工作之呼吸防護具吐氣困難程度

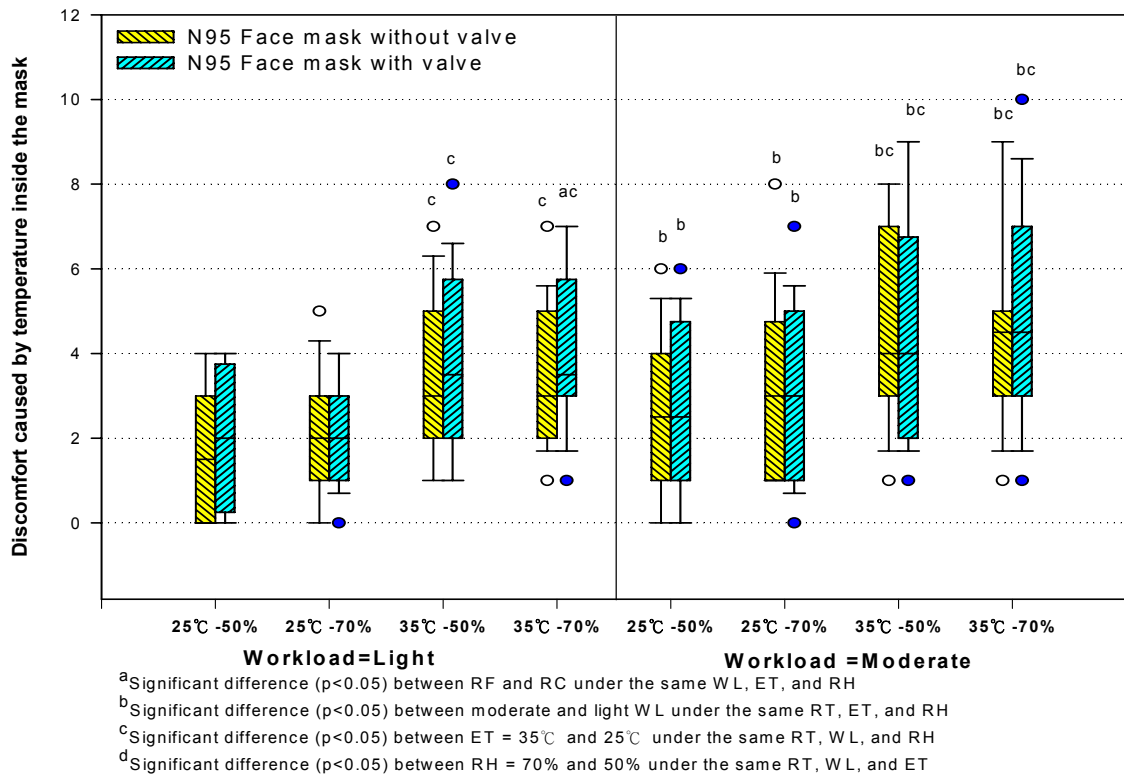


圖 4-55 各溫溼度下執行輕中工作之呼吸防護具內溫度不適程度

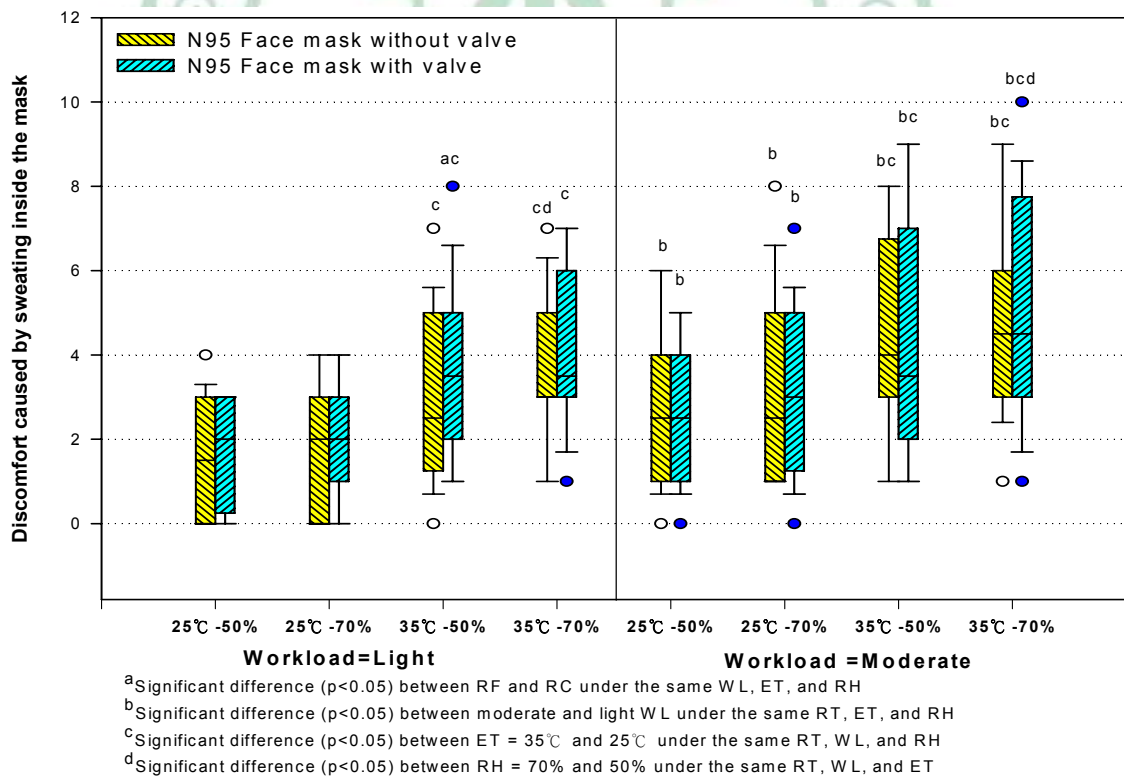
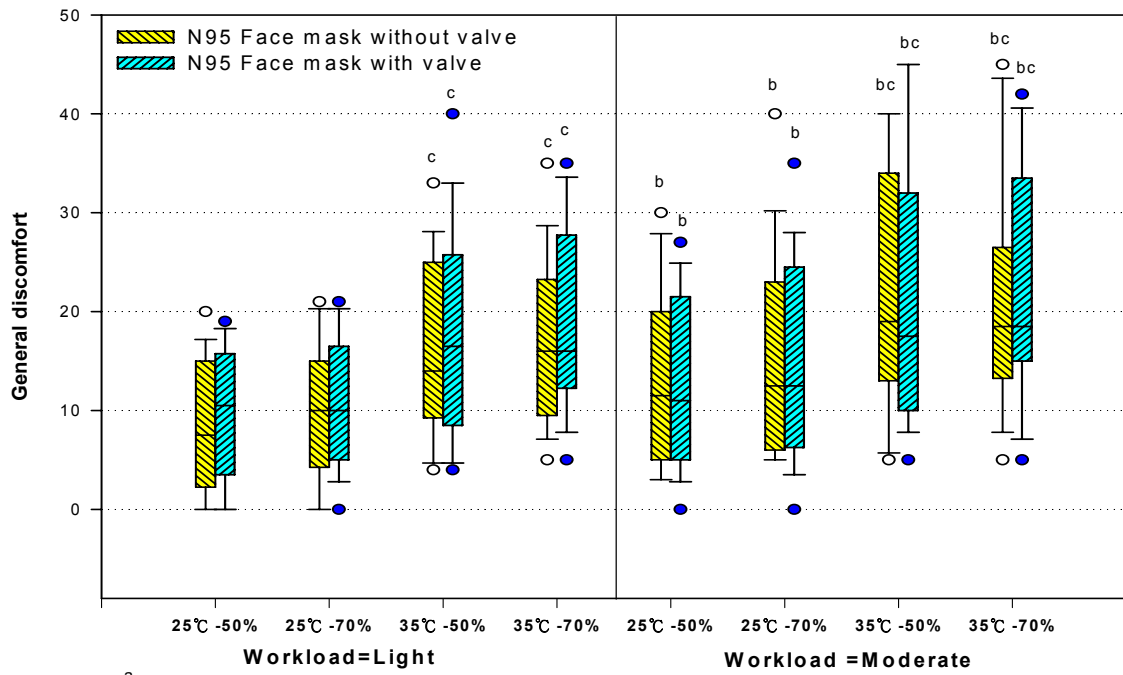


圖 4-56 各溫溼度下執行輕中工作之呼吸防護具內流汗不適程度



^aSignificant difference ($p < 0.05$) between RF and RC under the same WL, ET, and RH
^bSignificant difference ($p < 0.05$) between moderate and light WL under the same RT, ET, and RH
^cSignificant difference ($p < 0.05$) between ET = 35°C and 25°C under the same RT, WL, and RH
^dSignificant difference ($p < 0.05$) between RH = 70% and 50% under the same RT, WL, and ET

圖 4-57 各溫溼度下執行輕中工作之呼吸防護具整體不適程度



4.3.3 各種溫濕度下之耗氧量對心跳的關係

由表 4-13 可知溫度對工作時心跳有顯著影響，濕度則稍微顯著，在此處探討影響較大的溫度對耗氧量與工作時心跳的關係，由於只有有閥 N95 口罩可測量耗氧量，故此處僅有有閥 N95 口罩的數據，整理如圖 4-58，可明顯看出在相同的耗氧量下，高溫的工作時心跳比低溫的高。

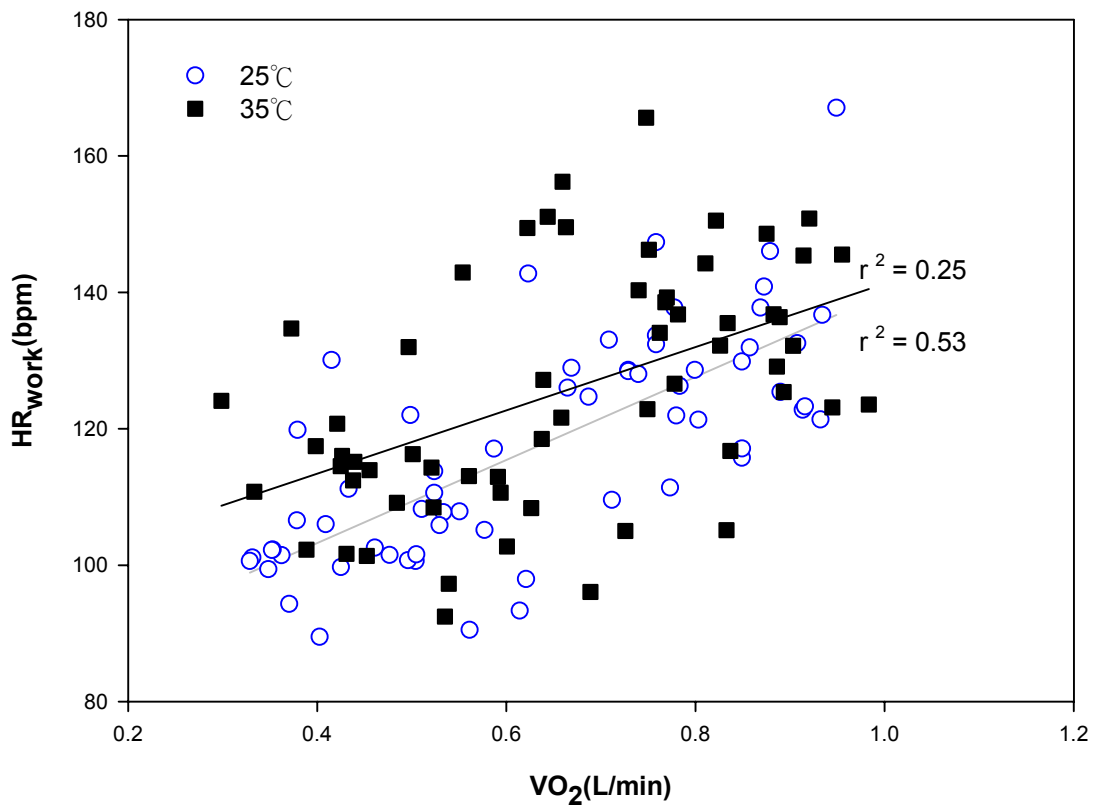


圖 4-58 各溫度下各溫度下耗氧量對工作時心跳的影響

4.3.4 生理負荷與主觀不適之關聯性分析

表 4-20 為生理負荷與主觀不適之關聯性分析結果，此處以各主觀不適問項對各個客觀生理指標之相關係數較高的進行分析：呼吸頻率、面罩內溫度、吸氣時間、工作心跳。

各個主觀不適問項對吸氣時間之相關係數在-0.41 至-0.33 之間，是相關係數最高的，其次為主觀不適問項對呼吸頻率之相關係數在 0.25 至 0.33 之間，其中面罩內流汗不適和溫度不適之相關係數皆相當高，可能是因環境溫度和工作負荷所導致的，與呼吸頻率有關的生理指標如分通氣量、吸氣時間，與整體不適的相關係數分別為 0.23 和-0.38，可能是呼吸急促造成主觀不適的感覺，整理於圖 4-59、圖 4-61。

各個主觀不適問項對面罩內溫度之相關係數在 0.32 至 0.26 之間，皆是相當高的，其中最高的是面罩內溫度和流汗不適，相關係數為 0.32，可知面罩內溫度會影響到主觀不適，整理於圖 4-60。

各個主觀不適問項對工作心跳之相關係數在 0.33 至 0.22 之間，最高的為面罩內流汗不適，係數為 0.33，與實驗一比較起來雖較低，但整體來說相關性亦相當高，整理於圖 4-62。

表 4-22 無閥與有閥 N95 口罩在濕熱環境下之生理負荷與主觀不適關聯性分析

Correlation Coefficient	HR _{work}	WP	%HRR	PIP	PEP	BF	Ti	Te	VE	V _T	V _T /V _C	VO ₂	%VO _{2max}	VO _{2mass}	M	EQv	Tm	SO ₂
Difficulty on inspiration	0.10	0.22***	0.23***	0.22***	0.15*	0.25***	-0.33***	0.00	0.22*	0.03	-0.02	0.23**	0.20*	0.15*	0.20*	-0.03	0.26***	-0.18**
Difficulty on expiration	0.10 ⁺	0.22***	0.23***	0.25***	0.15*	0.28***	-0.36***	-0.03	0.21*	0.01	-0.05	0.22*	0.19*	0.14	0.20*	-0.02	0.27***	-0.17**
Discomfort caused by temperature inside the mask	0.15*	0.28***	0.27***	0.29***	0.15*	0.32***	-0.40***	-0.05	0.22*	0.00	-0.06	0.22*	0.21*	0.15*	0.20*	0.00	0.32***	-0.16**
Discomfort caused by sweating inside the mask	0.20**	0.33***	0.31***	0.32***	0.15*	0.33***	-0.41***	-0.06	0.27**	0.04	-0.02	0.27**	0.25**	0.19*	0.25*	0.00	0.32***	-0.16**
General discomfort	0.14*	0.28***	0.27***	0.29***	0.15*	0.31***	-0.38***	-0.03	0.23**	0.02	-0.02	0.25**	0.23*	0.18*	0.22*	-0.04	0.32***	-0.17**
Total RPE	0.15*	0.27***	0.27***	0.28***	0.15*	0.31***	-0.38***	-0.04	0.24**	0.02	-0.03	0.25**	0.23**	0.17*	0.22*	-0.02	0.30***	-0.17**

註：⁺p<0.1 *p<0.05 **p<0.01 ***p<0.001

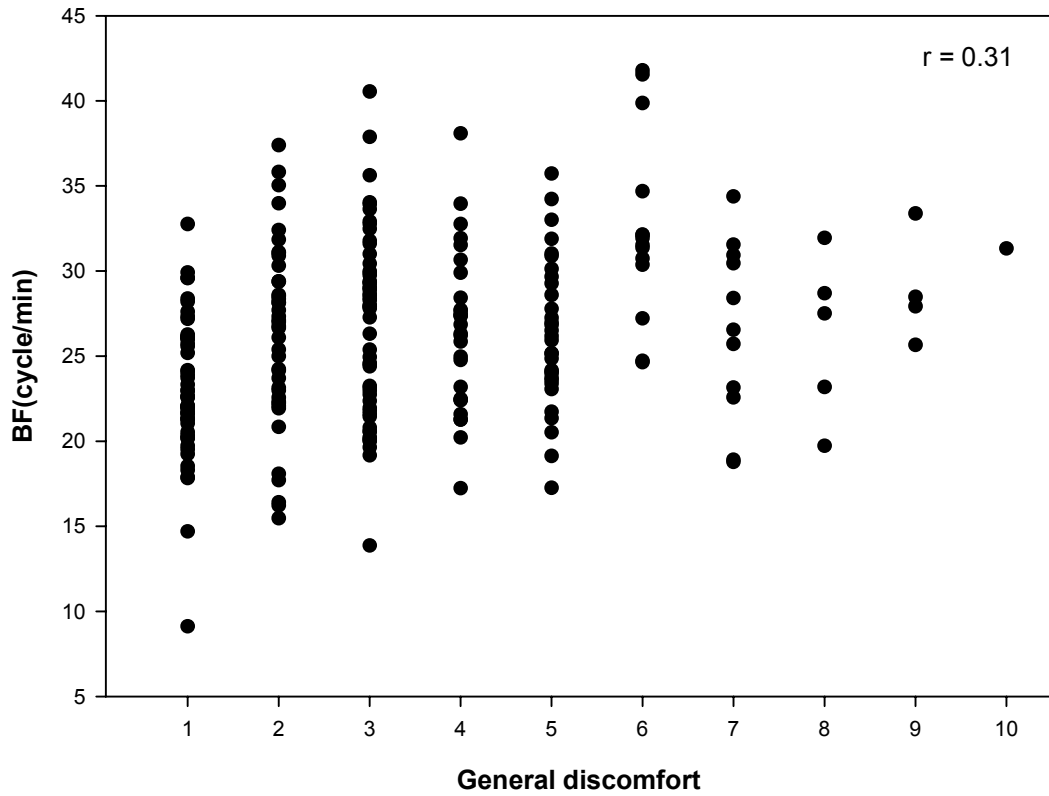


圖 4-59 整體不適對呼吸頻率相關圖

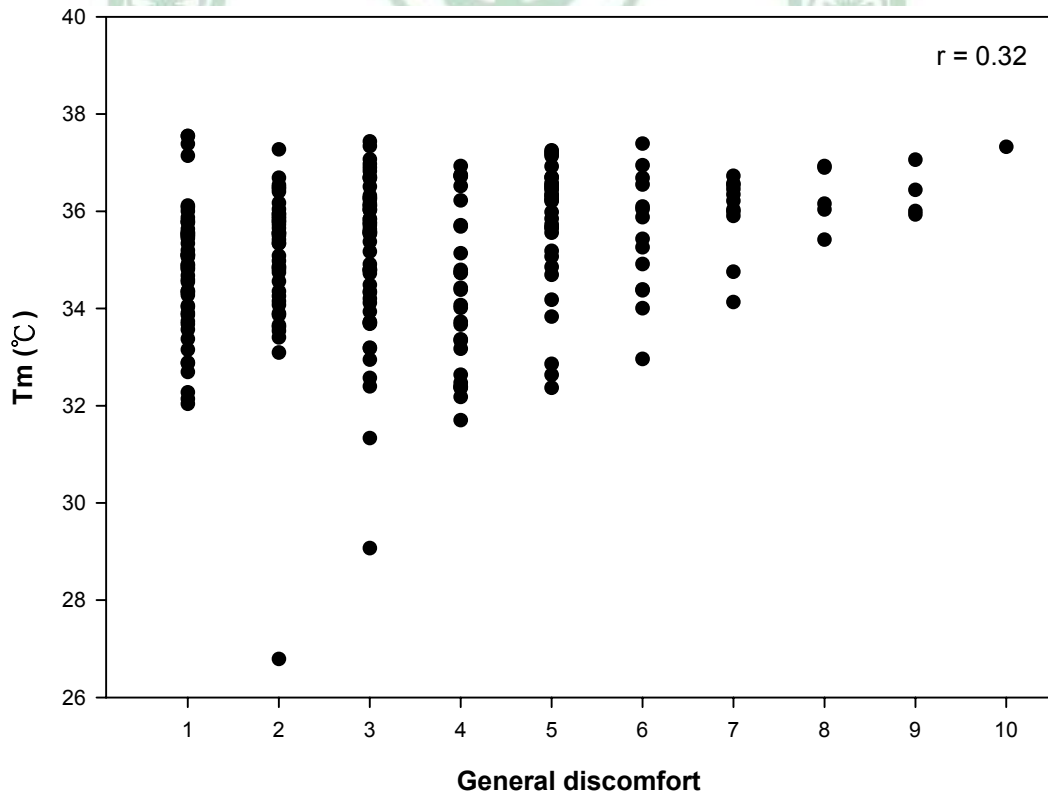


圖 4-60 整體不適對面罩內溫度相關圖

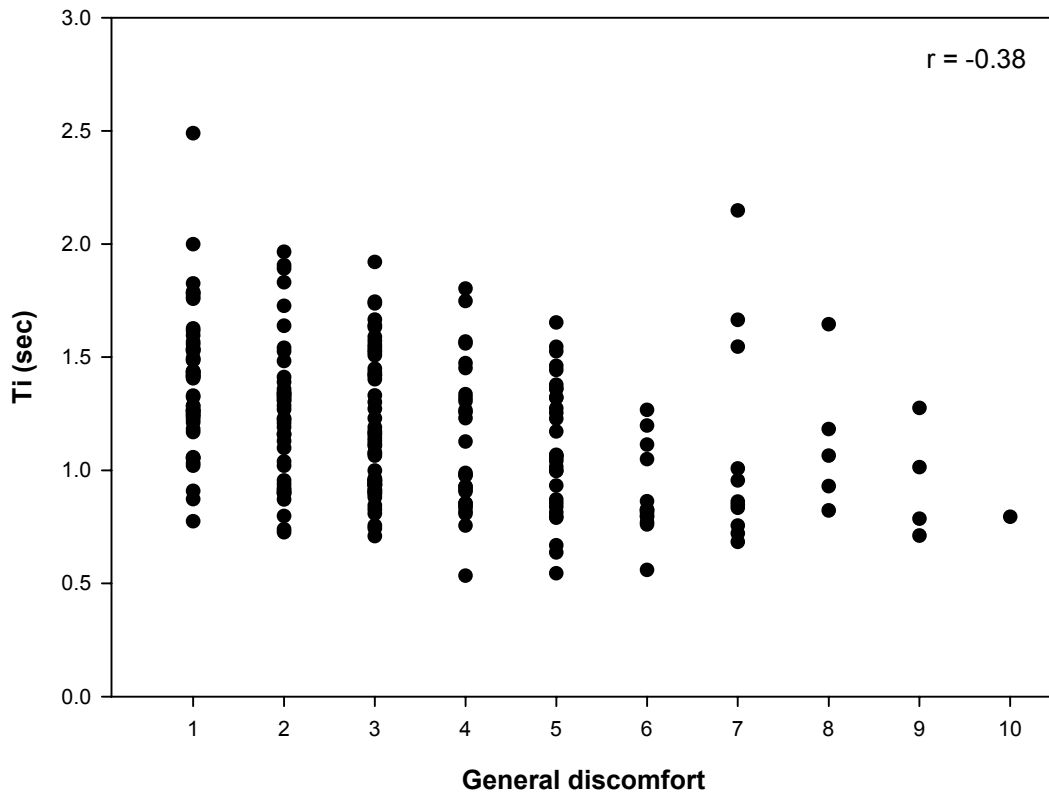
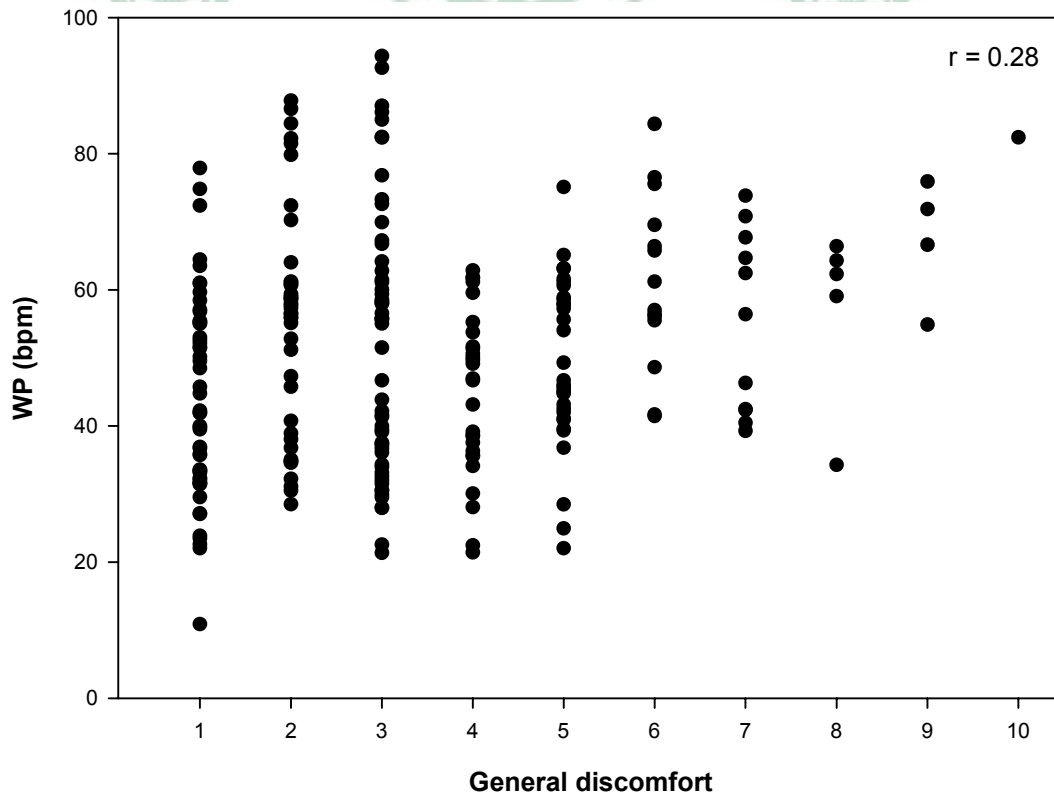


圖 4-61 整體不適對吸氣壓力相關圖



第五章 討論

本研究之目的在於對工業界常使用之全面式面罩與 N95 口罩在濕熱環境下配戴造成的生理負荷與主觀不適進行評估，預期在濕熱環境下配戴呼吸防護具的負荷程度會比一般環境還重，並探討溫濕度對生理負荷造成影響的因子與主觀不適之關聯性。

在溼熱環境下工作會造成身體的負荷，而配戴呼吸防護具時，身體除了必須負擔環境給予的熱量，還需負擔呼吸防護具給予的負荷，不僅在吸氣時多了額外的阻力，其覆蓋皮膚的部份也因為密閉而影響了熱的散發，將熱累積在防護具裡。一般來說，工業界中大部分的高溫作業皆與體力勞動有關，身體產生的熱量本就不易傳遞至環境中，若在加上呼吸或其他防護具，則更會干擾散熱的機制，環境溫度更高時甚至會使得熱量向內累積，對人體造成危害。

以下就呼吸防護具本身的吸氣和吐氣阻力實驗結果和溼熱環境下配戴呼吸防護具造成的生理負荷與主觀不適程度之實驗結果分別進行討論。

第一節 全面式面罩與 N95 口罩之吸氣與吐氣阻力

在呼吸防護具之呼吸阻力量測方面，所有防護具的吸氣和吐氣壓力皆與流量成正比關係，但並非線性，此結果與 Johnson(1999)⁽¹⁶⁾、Cooper (1960)⁽¹⁷⁾和 Bentley (1973)⁽¹⁸⁾和的研究相似，符合流量越大壓力差也越大的物理現象。吸氣阻力最大的為全面式面罩，如圖 4-1(a)，在流量為 85 L/min 時，吸氣壓力為 13.91 mmH₂O，這是因濾毒罐內材質較 N95 厚、過濾功能較好的關係，使得吸氣阻力較大，也因此環境中危害物毒性較

高的場所較適合用濾毒罐式的面罩，而在 N95 口罩中，由圖 4-1(b)可知吸氣阻力較大的為有閥 N95 口罩，由表 4-1 可知在流量 85 L/min 時有閥 N95 口罩之吸氣壓力為 9.56 mmH₂O，無閥 N95 口罩則為 7.46 mmH₂O，這是因有閥 95 口罩比無閥 N95 口罩多了出氣閥，由於是位於罩體上，相當於減少罩體的面積，使得有閥 N95 口罩的可吸氣過濾面積比無閥 N95 口罩小，造成吸氣壓力比無閥 N95 口罩大。

在吐氣壓力方面，由圖 4-2 可知最大的為無閥 N95 口罩，在流量為 85 L/min 時吐氣壓力為 10.74 mmH₂O，因為其與有閥 N95 口罩和全面式面罩比較起來少了吐氣閥，導致吐氣只能經罩體排出，增加了吐氣的壓力。NIOSH 規範 N 系列口罩吸氣阻力最高不可超過 35 mmH₂O，吐氣阻力則為 25 mmH₂O，本研究使用的無閥 N95 口罩吸氣和吐氣壓力分別為 7.46 和 10.74 mmH₂O，有閥 N95 口罩則分別為 9.56 和 3.31 mmH₂O，皆符合於 NIOSH 的規範之內。

第二節 配戴全面式面罩與 N95 口罩在濕熱環境下之生理負荷

5.2.1 受環境溫濕度影響較顯著的生理指標

本實驗由實驗一和實驗二的重複量數變異數分析結果（表 4-3 和表 4-13）與第四章結果的合併比較得知，在相同的環境濕度、面罩型式、工作負荷下，環境溫度由 25°C 上升至 35°C 皆如預期會使身體的負荷上升，以心跳、吸氣時間、呼吸頻率皆為顯著（ $P < 0.001$ ），但耗氧量無顯著；在相同的環境溫度、面罩型式、工作負荷下，環境濕度由 50% 上升至 70% 會使身體的負荷上升，以耗氧量增加最為顯著（ $P < 0.001$ ），但心跳和呼吸頻率則無耗氧量那麼明顯（ $P < 0.05$ ）。在工作負荷方面，在相同的環境溫度、濕度和面罩型式下，由輕度工作 45W 上升至中度工作 85W 時，所

有生理指標除了通氣當量、面罩溫度和血氧飽和度無顯著之外皆顯著增加；在面罩型式方面，在相同的環境溫度、濕度和工作負荷下，實驗一的對照面罩與全面式面罩之間，所有生理指標皆達顯著差異，實驗二的無閥 N95 口罩與有閥 N95 口罩之間，吸氣與吐氣壓力、吸氣與吐氣時間、面罩內溫度達顯著差異。

在工作時心跳方面，由表 4-4 得知配戴全面式面罩執行輕度（45W）工作，當環境溫度上升（由 25°C 至 35°C），工作時心跳在濕度為 50% 時由 113.3 增加到 123.7 bpm，濕度為 70% 時由 114.9 增加至 123.7 bpm，平均上升約 9-10 bpm，執行中度（85W）工作當環境溫度上升時，工作時心跳在濕度為 50% 時由 136.5 增加到 151.9 bpm，濕度為 70% 時由 139.9 增加至 152.3 bpm，平均上升約 12-15 bpm；由表 4-16 得知配戴無閥 N95 口罩執行輕度工作時，當環境溫度上升時，工作時心跳在濕度為 50% 時由 107.5 增加到 111.6 bpm，濕度為 70% 時由 106.5 增加至 112.9 bpm，平均上升約 4-6 bpm，執行中度工作當環境溫度上升時，工作時心跳在濕度為 50% 時由 127.5 增加到 134.9 bpm，濕度為 70% 時由 130.1 增加至 138.3 bpm，平均上升約 7-8 bpm；由表 4-16 得知配戴有閥 N95 口罩執行輕度工作時，當環境溫度上升時，工作時心跳在濕度為 50% 時由 106.1 增加到 112.6 bpm，濕度為 70% 時由 106.0 增加至 113.6 bpm，平均上升約 7-8 bpm，執行中度工作當環境溫度上升時，工作時心跳在濕度為 50% 時由 128.1 增加到 136.8 bpm，濕度為 70% 時由 130.4 增加至 139.4 bpm，平均上升約 8-9 bpm。可知在相同的溼度、面罩和負荷下，溫度上升皆會增加心跳，而全面式面罩比 N95 口罩增加更多。

本研究與 James⁽²⁷⁾ 的研究結果相符，溫度上升（25°C 增加至 43.3°C）會增加心跳，其中配戴全面式面罩執行輕度工作（58 W）時，心跳由 98.3

增加至 106.7 bpm，上升了 8 bpm，執行重度工作（116 W）時則由 125.9 增加至 147.3 bpm，上升了 21 bpm，而本實驗在相同的濕度下溫度上升（25°C 增加至 35°C）時，配戴全面式面罩執行輕度工作（45W），心跳增加 9-10 bpm，中度工作（85W）增加 12-15 bpm。相較之下輕度工作時增加的程度相似，而工作負荷較高時心跳增加的程度也較高，文獻中增加程度較高應該是負荷較大和溫度較高的關係。而文獻中耗氧量與新陳代謝量在工作負荷上升時會顯著增加，本研究則除了會隨工作負荷上升有顯著增加外，在溼度上升時也有顯著增加。

本實驗與 Chongvisal⁽⁷⁾的研究結果相符，配戴全面式面罩執行作業負荷（約 60W）時，溫度由 27°C 上升至 43°C 會使工作時心跳由 102 增加至 138 bpm，增加了 36 bpm，工作心跳由 28 增加至 59 bpm，增加 31 bpm，本實驗的工作時心跳如前段所示，而工作心跳方面由表 4-4 可知在執行輕度工作時，當環境溫度上升（由 25°C 至 35°C），工作心跳在濕度為 50% 時由 37.5 增加到 52.5 bpm，濕度為 70% 時由 42.9 增加至 54.0 bpm，平均上升約 11-15 bpm，執行中度工作當環境溫度上升時，工作時心跳在濕度為 50% 時由 60.7 增加到 80.6 bpm，濕度為 70% 時由 67.9 增加至 82.6 bpm，平均上升約 15-20 bpm。本研究結果在心跳增加的程度均較文獻值低，應是環境溫度的設定較低之故，文獻中並無比較環境溫度對工作時心跳的差異，但與本研究均可看出溫度上升會增加工作時心跳和工作心跳。

Chongvisal⁽⁷⁾的研究尚有吸氣壓力、吐氣壓力、分通氣量和面罩內溫度之數據，在此就本實驗中達顯著差異的面罩內和溫度吸氣壓力進行比較。

在 Chongvisal⁽⁷⁾的研究結果中，配戴全面式面罩，當溫度上升時，面罩的吸氣壓力由 48.1 增加至 59.9 mmH₂O，增加了 11.8 mmH₂O，面罩內

溫度由 30.8 增加至 38.8°C，增加了 8°C，本實驗在配戴全面式面罩執行輕度工作時，當環境溫度上升，吸氣壓力在濕度為 50% 由 21.2 增加到 23.5 mmH₂O，濕度為 70% 時由 22.7 增加至 24.3 mmH₂O，平均上升約 1.6-2.3 mmH₂O，執行中度工作當環境溫度上升時，吸氣壓力在濕度為 50% 時由 30.7 增加到 33.8 mmH₂O，濕度為 70% 時由 30.8 增加至 35.1 mmH₂O，平均上升約 3.1-4.3 mmH₂O；在執行輕度工作時，當環境溫度上升，面罩內溫度在濕度為 50% 時由 34.4 增加到 36.7°C，濕度為 70% 時由 34.5 增加至 37.1°C，平均上升約 2.3-2.6°C，執行中度工作當環境溫度上升時，工作時心跳在濕度為 50% 時由 34.3 增加到 37.0°C，濕度為 70% 時由 34.1 增加至 37.5°C，平均上升約 2.7-3.4°C。可看出文獻中配戴全面式面罩之吸氣阻力較本實驗的高出許多，可能是使用的濾毒罐阻力較大所致，造成整體負荷情況較大，設定的環境溫度亦較本實驗高，使得面罩內溫度較高，雖文獻中並無比較溫度間的差異，但仍可看出溫度增加會增加吸氣壓力和面罩內溫度，而吸氣壓力的增加可能其他應變項有關。

在 Chongvisal⁽⁷⁾ 的研究中，環境溫度上升配戴全面式面罩時，吸氣壓力由 48.1 增加至 59.9 mmH₂O，增加了 11.8 mmH₂O，吐氣壓力由 13.5 增加至 17.0 mmH₂O，增加了 3.5 mmH₂O，而本實驗則以吸氣壓力較顯著，環境溫度上升，配戴全面式面罩執行輕度工作時，溼度為 50% 時由 21.2 增加到 23.5 mmH₂O，濕度為 70% 時由 22.7 增加至 24.3 mmH₂O，平均上升約 1.6-2.3 mmH₂O；執行中度工作時，濕度為 50% 時由 30.7 增加到 33.8 mmH₂O，濕度為 70% 時由 30.8 增加至 35.1 mmH₂O，平均上升約 3.1-4.3 mmH₂O。研究者推測呼吸阻力上升可能是因為出氣閥因水汽凝結而黏住或濾毒罐因水氣或汗水濕潤濾材而增加阻力，以及分通氣量增加所造成，而本實驗因為環境溼度較高，亦有出氣閥黏滯的情形，而濾毒罐每天會放入防潮箱保存，且兩次實驗用不同的濾毒罐，以減少水氣濕潤與

濾材消耗產生的影響。

在 Chongvisal⁽⁷⁾的研究中，面罩形式和環境溫度皆對分通氣量無顯著差異，研究者推論可能是由呼吸阻力和無效腔造成的，呼吸阻力的上升會使分通氣量增加，但無效腔的存在又使得分通氣量減少，導致變化不顯著，而 James⁽²⁷⁾的研究則是環境溫度對分氣量有顯著影響，當溫度上升時，配戴全面式面罩執行輕度工作之分通氣量由 19.70 增加至 21.02 L/min，增加了 1.32 L/min，重度工作時則由 38.03 增加至 41.75 L/min，增加了 3.72 L/min，但本實驗則在實驗一和實驗二皆無觀察到環境溫度對分通氣量的顯著差異，推測可能是本實驗環境溫度較文獻中的環境溫度低的關係，以及面罩本身的無效腔影響程度大於環境溫度所致。

在本實驗中，相同工作負荷和溫度下，環境溼度上升會顯著增加配戴全面式面罩與 N95 口罩時的耗氧量，由表 4-10 可知，配戴全面式面罩執行輕度工作時，當環境濕度上升(由 50 至 70%)，耗氧量在溫度為 25°C 時由 0.90 增加到 0.93 L/min，溫度為 35°C 時由 0.93 增加至 1.04 L/min，平均上升約 0.03-0.11 L/min，執行中度工作當環境濕度上升時，耗氧量在溫度為 25°C 時由 1.46 增加到 1.54 L/min，溫度為 35°C 時由 1.52 增加至 1.61 L/min，平均上升約 0.08-0.09 L/min；由表 4-20 可知，配戴有閥 N95 口罩執行輕度工作時，當環境濕度上升，耗氧量在溫度為 25°C 時由 0.45 增加到 0.48 L/min，溫度為 35°C 時由 0.47 增加至 0.57 L/min，平均上升約 0.03-0.1 L/min，執行中度工作當環境濕度上升時，耗氧量在溫度為 25°C 時由 0.81 增加到 0.83 L/min，溫度為 35°C 時由 0.80 增加至 0.89 L/min，平均上升約 0.02-0.09 L/min。而環境溫度對耗氧量無顯著影響，但有稍微上升的趨勢，以全面式面罩為例，由表 4-10 可知，執行輕度工作時，當環境溫度上升(由 25°C 至 35°C)，耗氧量在濕度為 50%時由 0.90 增加到

0.93 L/min，濕度為 70%時由 0.93 增加至 1.04 L/min，平均上升約 0.03-0.11 L/min，執行中度工作當環境濕度上升時，耗氧量在濕度為 50%時由 1.46 增加到 1.52 L/min，濕度為 70%時由 1.54 增加至 1.61 L/min，平均上升約 0.06-0.07 L/min，由相依樣本二因子變異數分析得知溫度上升皆無顯著差異。

在濕度高的環境中，因為環境的水蒸氣壓大於皮膚表面的汗水蒸氣壓，使得汗水不易蒸發，熱蓄積在體內造成身體核心溫度和皮膚表面溫度提高，此時皮膚表面汗水的又變得較容易蒸發，身體就必須調整散熱機制以符合此時的散熱狀況，因此造成流汗率、呼吸頻率和心跳上升⁽⁶⁾，增加身體負荷。一般沒有溼熱適應的人，其流汗率在各身體部位是以軀幹多於四肢，但已有溼熱適應的人，流汗部位則是以四肢大於軀幹⁽³⁴⁾，相較之下發汗面積較大，本實驗受試者為沒有溼熱適應的受試者，因此溼度上升使得受試者無法立刻增加排汗面積，僅能增加流汗的量，造成的生理負荷增加，使得耗氧量增加。

5.2.2 各 WBGT 下的平均心跳變化

由於 WBGT 同時考量了溫度和濕度的影響，在此整理出 WBGT 對工作時心跳的關係，工作心跳與心率儲備百分比方面趨勢皆與工作時心跳相同，故此處以工作時心跳作代表。實驗一的各 WBGT 下配戴全面式面罩與對照面罩的平均工作時心跳變化結果整理於圖 5-1，可明顯看出中度負荷高於輕度負荷，且兩種負荷皆同樣以全面式面罩高於對照面罩，面罩型式與工作時心跳的回歸線皆不呈平行，表示有交互作用存在，其中配戴全面式面罩執行中度負荷時，工作時心跳上升的程度較為明顯。

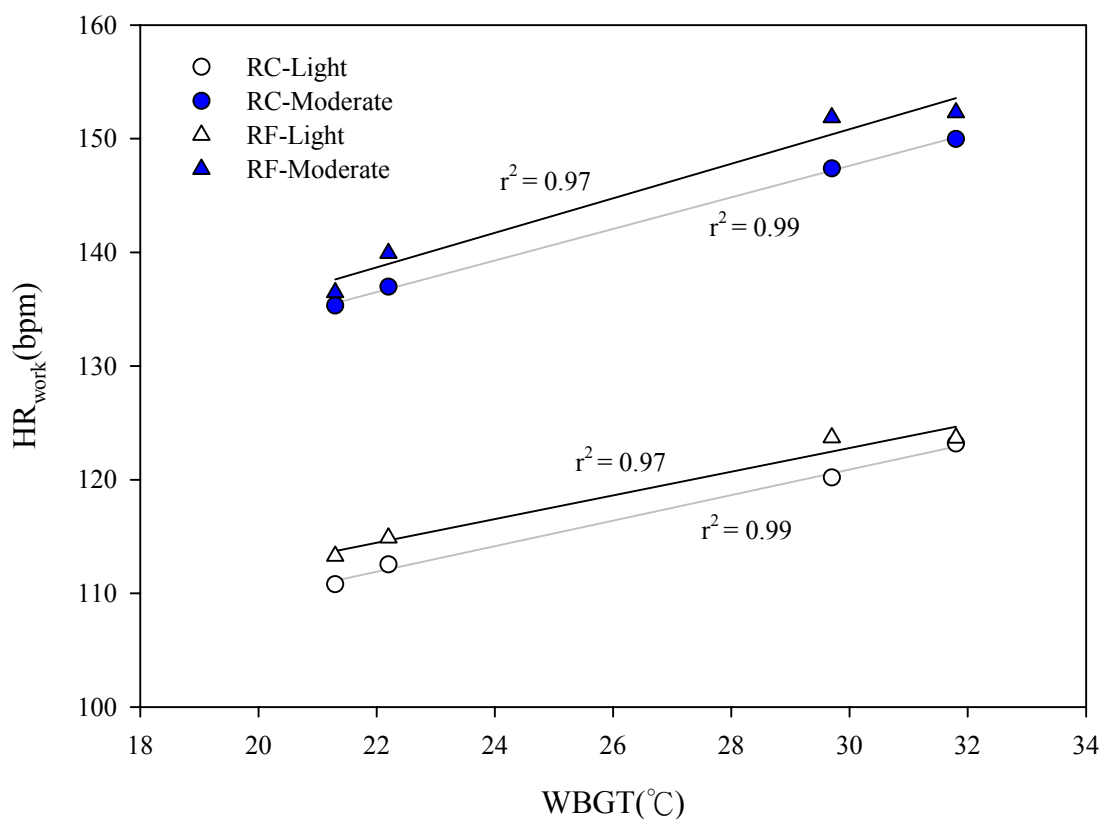


圖 5-1 各 WBGT 下配戴全面式面罩與對照面罩的工作時心跳變化平均值

實驗二的各 WBGT 下配戴無閥與有閥 N95 口罩的平均工作時心跳變化結果整理於圖 5-2，可看出執行中度負荷的工作時心跳顯著高於輕度負荷，其中以有閥 N95 口罩稍高於無閥 N95 口罩，輕度負荷時則不明顯，是因為面罩形式對工作時心跳沒有顯著差異。另外在工作心跳與心率儲備百分比方面因趨勢皆與工作時心跳相同，故僅以工作時心跳作代表。

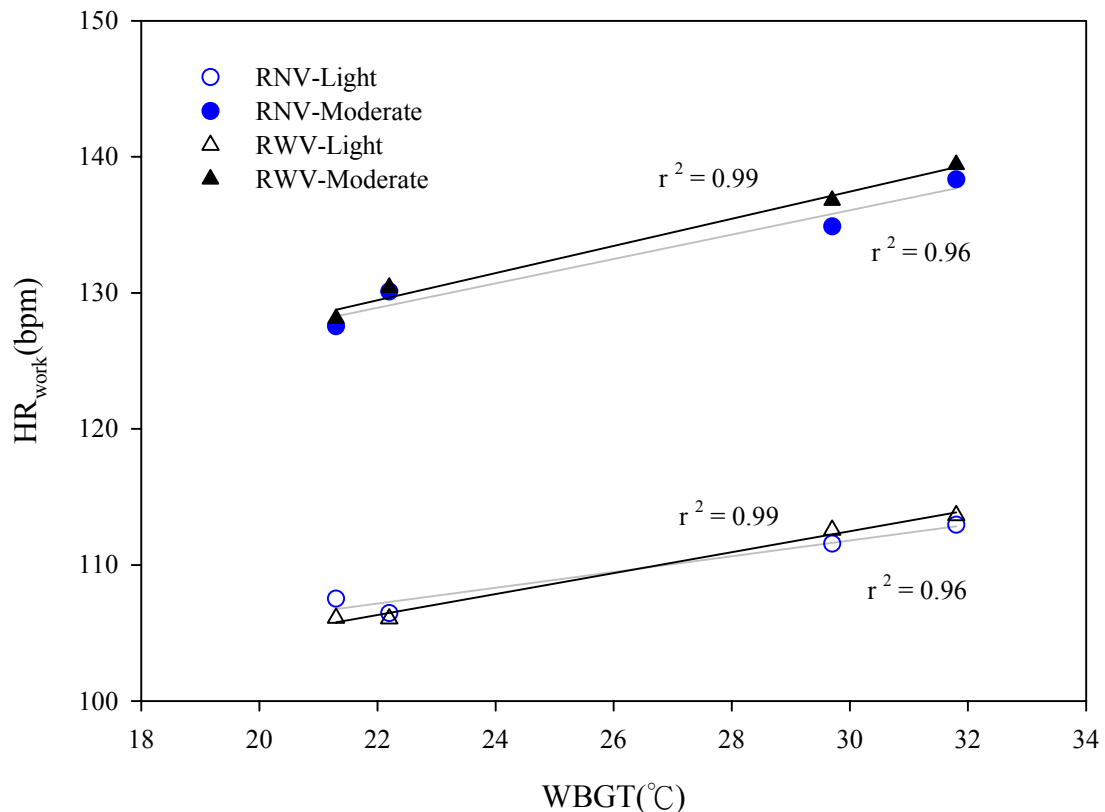


圖 5-2 各 WBGT 下配戴無閥與有閥 N95 口罩的工作時心跳變化平均值

Chongvisal⁽⁷⁾亦有進行 WBGT 對心跳的評估，OSHA 規定 WBGT 為 28°C 為時是高溫作業的建議容許值，我國亦有規定從事中度作業時可以連續作業的最高 WBGT 溫度為 28°C，研究者藉由 WBGT 對心跳的回歸線求得當 WBGT 為 28°C 時，未配戴口罩執行作業（約 60W）時工作時心跳為 106 bpm，若以 106bpm 作為可以連續進行中度工作的心跳上限值，則配戴全面式面罩時對應的 WBGT 為 26.8°C，研究者建議此作業負荷下的 WBGT 容許值降為 26.8°C 較為適當。

以本實驗的工作時心跳與 AIHA 訂定的工作負荷（表 3-2）之心跳數作比較，配戴全面式面罩執行輕度工作時，心跳範圍是 113.3-123.7 bpm，執行中度工作時則為 136.5-152.3 bpm，屬重度工作，其中 150 bpm 以上屬非常重工作；配戴無閥 N95 口罩執行輕度工作時，心跳範圍是

107.5-112.9 bpm，屬中度工作，執行中度工作時則為 127.5-138.3 bpm，屬重度工作；配戴有閥 N95 口罩執行輕度工作時，心跳範圍是 106.1-113.6 bpm，屬中度工作，執行中度工作時則為 128.1-139.4 bpm，屬重度工作，可看出配戴呼吸防護具時，工作負荷皆往上提高一個階層。

我國勞工安全衛生法之高溫作業勞工作息時間標準第五條規定，高溫作業勞工如為連續暴露達一小時以上者，以每小時計算其暴露時量平均綜合溫度熱指數，間歇暴露者，以二小時計算其暴露時量平均綜合溫度熱指數值，並依表規定，分配作業及休息時間，如表 5-1 所示。

本實驗與法規比較起來，實驗環境 WBGT 值為 21.3°C 和 22.2°C 時均低於法規所訂的容許暴露值，而 WBGT 值為 29.7°C 時在輕度作業時為可連續工作，在中度作業時應給予 75% 作業和 25% 休息，配戴呼吸防護具之後則輕度和中度皆為 75% 作業和 25% 休息；WBGT 值為 31.8°C 時在輕度作業時為 75% 作業和 25% 休息，中度作業時為 50% 作業和 50% 休息，配戴呼吸防護具之後則輕度和中度皆為 50% 作業和 50% 休息，而 WBGT 值相當接近重度工作時 75% 作業和 25% 休息的容許值 32.1°C，建議執行作業管理上應予以調整。

表 5-1 我國法規規定之高溫作業下每小時作息時間比例分配表

每小時作息時間比例	連續作業	75%作業 25%休息	50%作業 50%休息	25%作業 75%休息
輕工作	30.6	31.4	32.2	33.0
中度工作	28.0	29.4	31.1	32.6
重工作	25.9	27.9	30.0	32.1

出處：甲級物理性因子勞工作業環境測定人員訓練教材⁽¹¹⁾

由於 ACGIH 有規定未熱適應下的作息時間比，如表 5-2，因此本實驗亦對此進行比較，本實驗環境 WBGT 值為 21.3°C 和 22.2°C 時均低於連續作業的容許暴露值，而 29.7°C 時在輕度作業時為 75% 作業和 25% 休息，在中度作業時為 25% 作業和 75% 休息，配戴呼吸防護具之後則輕度和中度工作皆為 25% 作業和 75% 休息；31.8°C 時在輕度作業時為 25% 作業和 75% 休息，中度作業時應亦同，配戴呼吸防護具後輕度和中度工作亦為 25% 作業和 75% 休息，但 WBGT 值高出重度作業時 25% 作業和 75% 休息的容許值 28.0°C 相當多，因此熱負荷會更大。

表 5-2 ACGIH 規定之高溫作業下每小時作息時間比例分配表（未熱適應者）

每小時作息時間比例	連續作業	75% 作業 25% 休息	50% 作業 50% 休息	25% 作業 75% 休息
輕工作	27.5	29.0	30.0	31.0
中度工作	25.0	26.5	28.0	29.0
重工作	22.5	24.5	26.5	28.0
非常重工作			25.0	26.5

出處：ACGIH, 2006⁽¹²⁾

第三節 配戴全面式面罩與 N95 口罩在濕熱環境下之主觀不適

本實驗由實驗一和實驗二的重複量數變異數分析結果（表 4-3 和表 4-13）與第四章結果的合併比較得知，無論是配戴全面式面罩或 N95 口罩，溫度上升皆會顯著增加每個主觀不適問項的不舒服程度，濕度則僅在實驗一中主觀不適問項有顯著，實驗二則無，但大多皆為上升的情形。

與 Nielsen⁽²⁸⁾ 比較起來結果相似，環境溫度升高會減少主觀可接受程度，但其溫度改變是以 7°C、16°C 和 25°C 作比較，本實驗的溫度較高，是以 25°C 和 35°C 作比較，以高溫的整體不適感覺程度較高。

在主觀不適與生理負荷的關聯性方面，James⁽²⁷⁾的研究中並無強烈的相關性，相關係數最高的為流汗率與熱造成的不適感之間的關聯 ($T_b=0.57$)，而本實驗相關係數最高者為心率儲備百分比與面罩內流汗的不適感的關聯性 ($R=0.53$)。

比較實驗一和實驗二的關聯性分析結果 (表 4-12 與表 4-22) 得知，與整體不適程度之相關係數最高的為實驗一的心率儲備百分比 ($R=0.50$)，但與實驗二的心跳相關指標的相關係數卻不大，可能是因為配戴全面式面罩的影響程度較大，而 N95 的影響較小。第二高的為實驗一的單位體重耗氧量 ($R=0.39$)，耗氧量相關的指標的相關係數皆以實驗一大於實驗二，也可能是由於全面式面罩造成負荷較大、且心跳增加的關係。

在面罩內溫度與面罩內溫度不適的關係方面，實驗一僅對於全面式面罩的相關係數為 0.18，實驗二則為 0.32 且非常顯著，全面式面罩較低可能是因為分通氣量大使得熱氣較快排出，降低面罩內的溫度，實驗二的無閥 N95 口罩則因為沒有閥，使得面罩內溫度較高，相較於有閥 N95 口罩溫度因為通風而較低，受試者在進行實驗二時明顯感覺此不同之處，故相關係數較高。

在環境濕度對主觀不適問項的影響方面，在實驗一中各問項皆有顯著影響，實驗二則只有面罩內流汗不適程度有顯著，兩個實驗的結果不一致，可能是因為實驗一的面罩差異較大的關係。全面式面罩覆蓋臉部的面積較對照面罩廣，對臉部也會造成悶熱的感覺，在高濕環境時汗水不易蒸發，因此容易累積，實驗中也觀察到全面式面罩內的流汗量多於其他面罩，由於頭部是在其他部位有衣物覆蓋時很重要的散熱部位，一旦受到密閉物遮蓋，則更會增加受試者不舒服的感覺。

在主觀不適之 RPE 方面，溫度和濕度的上升都會增加 RPE 值，並以溫度的影響最為顯著，執行中度作業時增加的情況更明顯，表 4-5 中可知配戴全面式面罩執行輕度工作時，RPE 值在溫度 25°C 濕度 50% 時為 8.2，在溫度 35°C 濕度 70% 時為 18.6，執行中度工作時，在溫度 25°C 濕度 50% 時為 12.6，在溫度 35°C 濕度 70% 時為 23.0，輕度時上升了 10.4，中度亦上升了 10.4。

另外在表 4-5 和表 4-15 中由數據發現原本被認為無過濾功能可當作未配戴呼吸防護具情形的對照面罩，雖然 RPE 值在溫度 35°C 濕度 70% 均較其他面罩為低（對照面罩 20.1、全面式面罩 23.0；無閥 N95 口罩 21.6，有閥 N95 口罩 22.4），但溫度上升時造成不適的程度比 N95 面罩高，以執行中度負荷之 RPE 值為例，當溫度上升（由 25°C 至 35°C）時，對照面罩在濕度為 50% 時由 9.8 增加至 17.8，濕度為 70% 時由 9.4 增加至 20.1，平均上升約 8-10；全面式面罩在濕度為 50% 時由 12.6 增加至 21.0，濕度為 70% 時由 13.3 增加至 23.0，平均上升約 8-10；無閥 N95 口罩的在濕度為 50% 時由 13.0 增加至 21.4，濕度為 70% 時由 14.8 增加至 21.6，平均上升約 7-8；有閥 N95 口罩的在濕度為 50% 時由 12.8 增加至 21.4，濕度為 70% 時由 15.2 增加至 22.4，平均上升約 7-9。可能是吸氣閥與吐氣閥有水氣凝結在開口處，要將閥推開時多出額外的阻力所造成，或是對照面罩因密合度的要求，面罩後方的鬆緊帶需要拉緊可能會造成不舒服的感覺。

第六章 結論與建議

第一節 結論

實驗一：

- 當溫度由 25°C 上升到 35°C 時，配戴對照面罩執行中度作業，在濕度為 50% 時工作時心跳由 135.3 增加至 147.4 bpm，在濕度為 70% 時由 137.0 增加至 150.0 bpm，平均上升 12-13 bpm；配戴全面式面罩執行中度作業，在濕度為 50% 時工作時心跳由 136.5 增加至 151.9 bpm，在濕度為 70% 時由 139.9 增加至 152.3 bpm，平均上升 12-15 bpm，可推測在本實驗中，溫度的影響較防護具型式大。
- 在主觀不適方面，溫度和濕度上升皆會增加排汗，因此導致面罩內流汗的不適感增加，可知主要造成不適的感覺是流汗和面罩內溫度。
- 呼吸防護具之主觀不適的各個問項皆與工作心跳和耗氧量有相當高的相關係數，可能是因為受到環境溫度和工作負荷同時影響的關係。

實驗二：

- 當溫度由 25°C 上升到 35°C 時，配戴無閥 N95 口罩執行中度作業，在濕度為 50% 時工作時心跳由 127.5 增加至 134.9 bpm，在濕度為 70% 時由 130.1 增加至 138.3 bpm，平均上升 7-8 bpm；配戴有閥 N95 口罩執行中度作業，在濕度為 50% 時工作時心跳由 128.1 增加至 136.8 bpm，在濕度為 70% 時由 130.4 增加至 139.4 bpm，平

均上升 9 bpm，兩種口罩之間差異並不大，可推測在本實驗中，心跳主要受到溫度上升的影響較大。

- 在主觀不適方面，濕度僅對環境中濕度不適和面罩內流汗不適有顯著影響，可知流汗不適是影響主觀不適的主因，而面罩內溫度不適無顯著差異，應是全面式面罩造成的悶熱感較 N95 口罩高的緣故。
- 與呼吸防護具之主觀不適的各個問項有較高相關係數的有呼吸頻率、吸氣時間和面罩內溫度，可能是因為兩種口罩之間吐氣悶的有無對於呼吸的影響較明顯，因此造成主觀不適，而與實驗一相比可知各主觀不適問項與面罩內溫度的相關係數變高了，可能是因為無關 N95 口罩較悶熱所致。

實驗一與二共同點：

- 本實驗結果得知環境溫度上升會顯著增加呼吸頻率、吸氣壓力、減少吸氣時間，稍微顯著地增加潮氣容積，但分通氣量無顯著差異，可能是除了溫度上升原本就會使呼吸加快之外，環境的熱與身體執行作業產生的熱會同時影響人體，為了快速散熱，體內的溫度調節機制使呼吸頻率加快，由於當運動達到平穩的生理狀況時，潮氣容積會趨於一定值，因此可推測人體的呼吸散熱方式是以頻繁地一次排出大量熱量的方式來達成散熱的目的。
- 濕度對耗氧量比較有顯著的增加趨勢，可能是因為濕度上升使得汗水不易蒸發，身體以增加汗水的方式來達到排汗散熱的目的，亦可推測排汗的過程中會消耗許多能量。濕度上升會增加流汗率、呼吸頻率、心跳，血液循環也會因排汗而加快，導致生理負荷上升。

- 在相同的耗氧量下，溫度上升會增加心跳，導致身體的負荷增加。

第二節 研究應用

建議在配戴呼吸防護具從事高溫作業時，將 WBGT 的允許暴露標準降低，並增加工作休息時間比，才能夠有效減少工作者生理負荷。

第三節 研究限制

本研究的受試者為大專男生，相較於同年紀的勞工，在各方面的生理狀況是相似的，但從事高溫作業的勞工大多已有熱適應，並且工作經驗也有差異，本研究結果僅能提供在沒有熱適應的條件下執行工作的負荷情況之評估。

本實驗在環境穩定的暴露艙內進行，但現場的工作場所中，作業人員的熱負荷會受到環境風速、整體換氣量、與熱源距離位置等因子所影響，因此本研究僅限制在穩定的環境中作參考。

參考文獻

- (1) OSHA. Small entity compliance guide for revised respiratory protection standard. OSHA 1998.
- (2) NIOSH. 42 CFR Part 84 Respiratory protective devices. NIOSH July 10, 1995.
- (3) Aucoin TA Jr. A successful respiratory program. Am Ind Hyg Assoc J 1975; 752-754.
- (4) Vihma T. Health hazards and stress factors in small industry-prevalence study in the province of uusimaa with special reference to the occupational title as classification for the description of occupational health problem. Scand J Work Environ Health 1981; 7:suppl 3, 149.
- (5) Chompusakdi P, Austin H, William RB, Bernard ES. A comparison of heat stress indices in a hot-humid environment. Am Ind Hyg Assoc J 1980; 41: 442-449.
- (6) NIOSH. The industrial environment - its evaluation and control. NIOSH 1973.
- (7) Chongvisal, P. Effects of Wearing Respirators in Hot Environments. Ph.D. Dissertation. U. of Cincinnati 1980.
- (8) AIHA. Ergonomic guide to assessment of metabolic and cardiac costs of physical work. Akron, OH: AIHA 1971.
- (9) 洪銀忠。作業環境控制工程。揚智文化，2000。
- (10) AIHA. The Occupational environment: its evaluation, control, and management 2nd edition. AIHA 2003; 24: 636-637
- (11) 關妙如。甲級物理性因子勞工作業環境測定人員訓練教材。工業技術研究院，1996。
- (12) ACGIH. Documentation of the TLVs[®] and BEIs[®] with Other Worldwide Occupational Exposure Values. 2006 CD-ROM. Cincinnati , OH :

ACGIH 2006.

- (13) Boillinger NJ. NIOSH Guide to Industrial Respiratory Protection. DHHS NIOSH publication 1987; NO.87-116.
- (14) Louhevaara VA. Physiological effects associated with the use of respiratory protective devices. *Scand J Work Environ Health* 1984; 10:275-281.
- (15) Heus R, den Hartog EA, Kistemaker LJA, van Dijk WJ, Swenker G. Influence of inspiratory resistance on performance during graded exercise test on a cycle ergometer. *Appl Ergonomics* 2004; 35:583-590.
- (16) Johnson AT, Scott WH, Lausted CG, Benjamin MB, Coyne KM, Sahata MS, Johnson MM. Effect of respirator inspiratory resistance level on constant load treadmill work performance. *Am Ind Hyg Assoc J* 1999; 60:474-479.
- (17) Cooper EA. Suggested methods of testing and standards of resistance for respiratory protective devices. *J Appl Physiol* 1960; 15:1053-1061.
- (18) Bentley RA, Griffin OG, Love RG, Muir DCF. Acceptable levels for breathing resistance of respiratory apparatus. *Arch Environ Health* 1973; 27:273-279.
- (19) Egan DF. *Fundamentals of respiratory therapy*. St. Louis: C.V. Mosby Co 1973.
- (20) Comore JH, *Physiology of Respiration*. Chicago: The Year Book Medical Publisher 1976.
- (21) Sulotto F, Romana C, Dori S, Piolatto G, Chiesa A, Ciacco C, Scansetti G. The prediction of recommended energy expenditure for an 8-h work-day using an air-purifying respirator. *Ergonomics* 1993; 36:1479-1487.
- (22) Jetté M, Thoden J, Livingstone S. Physiological effects of inspiratory resistance on progressive aerobic work. *Euro J Appl Phys* 1990; 60:65-70.
- (23) Lerman Y, Shefer A, Epstein Y, Keren G. External inspiratory resistance

- of protective respiratory devices: effects on physical performance and respiratory function. *Am J Ind Med* 1983; 4:733-740
- (24) Haeber P, Tamimie RJ, Bhattachary A, Barber M. Physiologic effects of respiratory dead space and resistance loading. *J Occup Med* 1982; 24:289-298.
- (25) Mogan WP. Psychological problem associated with wearing of Industrial respirators: a review. *Am Ind Hyg Assoc J* 1983^a; 44:671-676.
- (26) Mogan WP. Psychometric correlates of respiration: a review. *Am Ind Hyg Assoc J* 1983^b; 44:677-684.
- (27) James R, Dukes-Dobos F, Smith R. Effects of respirators under heat/work conditions. *Am Ind Hyg Assoc J* 1984; 45:399-404.
- (28) Nielsen R, Gwosdow AR, Berglund LG, DuBois AB. The effect of temperature and humidity levels in a protective mask on user acceptability during exercise. *Am Ind Hyg Assoc J* 1987; 48:639-645.
- (29) Johnson AT, Scott WH, Coyne KM, Sahota MS, Benjamin MB, Rhea PL, Martel GF, Dooly CR. Sweat rate inside a full-facepiece respirator. *Am Ind Hyg Assoc J* 1997; 58: 881-884.
- (30) Goldman MJ. 心電圖學: Principle of Clinical Electrocardiography (原理與臨床應用)。南山堂出版社，1982。
- (31) 彭英毅、彭清次。運動生理學。合記出版社，1982。
- (32) American College of Sports Medicine. ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription. 6th ed. 2000.
- (33) Åstrand PO, Rodahl K, Dahl HA. Textbook of Work Physiology: Physiological Bases of Exercise. 4th ed. Human Kinetics, 2003.
- (34) Fregly MJ. Blatteis CM. Handbook of Physiology Section 4 Environmental Physiology. American Physiololgy Society. 1996.

附錄一 受試者同意書



受試者同意書

姓名：_____ 受測者編號：_____

- 1.本人同意參加非動力密閉淨氣式濾毒罐面罩與 N95 口罩在濕熱環境下之生理負荷與主觀不適之影響評估之研究計畫，將誠實填寫個人基本資料。
- 2.本人保證無心肺功能障礙或疾病史。
- 3.本人已詳細閱讀實驗說明並且了解實驗流程及步驟，願意配合各相關規定。
- 4.本人願意完成全部實驗即分析資料後，領取受測費用。學校將會寄受測者費用扣繳名單。
- 5.本人瞭解本實驗所蒐集到的相關個人資料，將被妥善完整保存，而本人姓名不會出現在任何報告中。

同意人簽名：_____

實驗人員簽名：_____

日期：_____年_____月_____日

附錄二 受試者基本資料調查表



中國醫藥大學 職業安全與衛生學系

※非動力密閉淨氣式濾毒罐面罩與N95口罩在濕熱環境下之生理負荷與主觀不適之影響評估※

編號: _____ 運動型態編號: _____ 填表日期: _____年____月_____

基本資料

1.姓名: _____ 2.性別: 男 女 3.生日: _____年____月____日

4.聯絡電話: _____ 5.身分證字號: _____

6.戶籍地址: _____

7.身高: _____公分、體重: _____公斤、BMI: _____

8.熬夜習慣: 無 有 9.抽煙習慣: 無 有 10.喝酒習慣: 無 有

11.您目前是否有運動習慣: 無 有; 每週大約_____次, 每次大約_____分鐘,

請問從事下列的運動種類?(可複選) (1) 籃球 (2) 網球 (3) 桌球 (4) 排球 (5) 舉啞鈴

(6) 握力器 (7) 游泳 (8) 打高爾夫 (9) 撞球 (10) 其他 _____

12.是否有心肺功能疾病史: 否 是: _____

附錄三 實驗一受試者環境主觀不適問卷



主觀不適問卷

受測者編號：_____ 日期：_____ 順序：_____ 實驗環境與運動型態：

Temp	Humd
I	D
F	W

您好！歡迎參與配戴呼吸防護具的負荷實驗，請依據您的主觀感覺，在下列表格依照其各項目在實驗過程中之感覺程度，勾選適當的選項。

編號	問卷項目	不舒服強度									
	請依據此溫濕環境下主觀的感覺，勾選適當的選項	沒感覺	很弱	弱	普通		強		很強		非常強
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
一、請依照您目前 未配戴 呼吸防護具對環境的感覺，勾選適當的選項：											
1	在目前的溫濕條件下，對整體 濕熱環境 覺得不舒服的程度										
2	在目前的溫濕條件下，對整體環境 溫度 覺得不舒服的程度										
3	在目前的溫濕條件下，對整體環境 濕度 覺得不舒服的程度										
二、請依照您目前 已配戴 呼吸防護具對環境的感覺，勾選適當的選項：											
1	在目前的溫濕條件下，對整體 濕熱環境 覺得不舒服的程度										
2	在目前的溫濕條件下，對整體環境 溫度 覺得不舒服的程度										
3	在目前的溫濕條件下，對整體環境 濕度 覺得不舒服的程度										

附錄四 實驗二受試者環境主觀不適問卷



主觀不適問卷

Temp	Humd
I	D
F	W

受測者編號：_____ 日期：_____ 順序：_____ 實驗環境與運動型態：

您好！歡迎參與配戴呼吸防護具的負荷實驗，請依據您的主觀感覺，在下列表格依照其各項目在實驗過程中之感覺程度，勾選適當的選項。

編號	問卷項目	不舒服強度									
	請依據此溫濕環境下主觀的的感覺，勾選適當的選項	沒感覺	很弱	弱	普通		強		很強		非常強
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
一、請依照您目前 未配戴 呼吸防護具對環境的感覺，勾選適當的選項：											
1	在目前的溫濕條件下，對整體 濕熱環境 覺得不舒服的程度										
2	在目前的溫濕條件下，對整體環境 溫度 覺得不舒服的程度										
3	在目前的溫濕條件下，對整體環境 濕度 覺得不舒服的程度										
二、請依照您目前 已配戴 船型 無閥 N95 口罩對環境的感覺，勾選適當的選項：											
1	在目前的溫濕條件下，對整體 濕熱環境 覺得不舒服的程度										
2	在目前的溫濕條件下，對整體環境 溫度 覺得不舒服的程度										
3	在目前的溫濕條件下，對整體環境 濕度 覺得不舒服的程度										
三、請依照您目前 已配戴 船型 有閥 N95 口罩對環境的感覺，勾選適當的選項：											
1	在目前的溫濕條件下，對整體 濕熱環境 覺得不舒服的程度										
2	在目前的溫濕條件下，對整體環境 溫度 覺得不舒服的程度										
3	在目前的溫濕條件下，對整體環境 濕度 覺得不舒服的程度										

註：第二和三大項中，無閥和有閥的順序由實驗人員控制

附錄五 實驗一與實驗二受試者執行作業主觀不適問卷



主觀不適問卷

受測者編號：_____ 日期：_____ 順序：_____ 實驗環境與運動型態：

Temp	Humd	Resp	WL
I	D	C	L
F	W	R	H

您好！歡迎參與配戴呼吸防護具的負荷實驗，經過此環境條件下的負荷作業後，請依照您針對配戴呼吸防護具的主觀感覺，勾選適當的選項。

編號	問卷項目 請依據此溫濕環境下主觀的的感覺，勾選適當的選項	不舒服強度									
		沒感覺	很弱	弱	普通		強		很強		非常強
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
一、請依照您對環境的感覺，勾選適當的選項											
1	在運動過程中對整體濕熱環境覺得不舒服的程度										
2	在運動過程中對整體環境溫度覺得不舒服的程度										
3	在運動過程中對整體環境濕度覺得不舒服的程度										
二、請針對您配戴呼吸防護具的主觀感覺，勾選適當的選項											
1	在運動過程中感覺吸氣困難的程度										
2	在運動過程中感覺吐氣困難的程度										
3	在運動過程中面罩內溫度感覺不舒服的程度										
4	在運動過程中面罩內因流汗造成感覺不舒服的程度										
5	在運動過程中整體不舒服的感覺程度										

附錄六 學術研究人權維護審查同意書



中國醫藥大學公共衛生學院

CHINA MEDICAL UNIVERSITY COLLEGE PUBLIC HEALTH

台中市北區學士路 91 號

研究倫理委員會研究計畫同意書

Tel:886-4-22053366 ext:6001 Fax:886-4-2201-9901

主持人：許文信

計畫名稱：非動力密閉淨氣式濾毒罐面罩與 N95 口罩在長時間使用後或濕熱環境下之生理負荷與主觀不適及其對配戴行為之影響評估

編號：96-10-26

中國醫藥大學公共衛生學院研究倫理委員會已審查通過上述為期十二個月的研究案。

計畫有效期限到 97 年 7 月 31 日為止。計畫進行期間，應確實遵守研究倫理。該計畫任何部分若欲更改，需向本委員會重新報可。計畫主持人對受試者任何具有危險而且未能預期之問題，需立即向本委員會主任委員提出書面報告。

中國醫藥大學公共衛生學院學術研究人權維護審查小組



鄭光南

主任委員：

中華民國 96 年 11 月 14 日

附錄七 學術研究人權維護審查同意書英文版



中國醫藥大學公共衛生學院

CHINA MEDICAL UNIVERSITY COLLEGE PUBLIC HEALTH

台中市學士路 91 號

91 Hsueh-Shih Road, Taichung 40402, Taiwan, R.O.C

TEL:(04)22053366 ext:6001

**The Institutional Review Board, China Medical
University College of Public Health, Taichung, 404 Taiwan**

Tel:886-4-22053366 ext:6001 Fax:886-4-2201-9901

Expedited Approval

Date:November14,2007

To: Professor Wen-Hsin Hsu

From:

Subject: Assessment of the physiological loads and subjective discomforts and their effects on the wearing behaviour for non-powered tight-fitting air-purifying respirator with canister and N95 facemask under prolonged use and thermo condition.

The Institutional Review Board met on November12,2007, and reviewed the above study protocol. The IRB recommended approval of the protocol for a period until July, 31, 2008.

Change in protocol in this project requires its resubmission to the Board. By the end of this period you may be asked to inform the Board on the status of your project. If this has not been completed, you may request renewed approval at that time.

Also, the principal investigator must report to the Chairman of the Institutional Review Board promptly, and in writing, any unanticipated problems involving risks to the study subjects.

King Fu Cheng

