

中國醫藥大學

碩士論文

編號：DOSH-0205

配戴非動力密閉淨氣式濾毒罐面罩與 N95
口罩之生理負荷與主觀不適評估

**Assessment of the physiological loads and
subjective discomforts while wearing
non-powered tight-fitting air-purifying
respirator with canister and N95 facemask**

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：劉惟潔 Liu, Wei-Chieh

學號：9472005

中華民國九十六年七月

致謝

研究所兩年匆匆過去了，在這兩年的時間中，體會到與之前學程不同的感受，學到人生另一層面的道理。有良師給我的指導與建議，有同儕給我的幫助與支持，有益友給我鼓勵，還有家人在背後默默的支持，要感謝的人太多了，我只能盡我所能寫下所能表達的謝意。

首先，要感謝我的指導教授許文信老師，在大學的學涯中就曾跟隨老師學習研究的方法，收穫良多，在進入研究所又有幸繼續接受老師的指導，除了加強專業科目之外，還不斷提醒我生活中該注意的事項，並在實驗之中，提醒我很多可能會忽略的事項，在研究所生涯中，是一位不可獲缺的良師。

感謝賴俊雄院長，他就像一位慈父，不時詢問實驗的進度，適時的給予意見及關心；感謝陳振羣老師，除了在課堂中給予意見，也適時的給予我一些幫助，讓我有勇氣用不流利的英文詢問外賓問題，更擔任口試委員，給予意見，讓文章更臻完美。感謝口試委員袁素娟老師細心指教，使本篇論文結構能夠加嚴謹。

在學涯中，更是不可缺少同學間的支持與幫助，感謝佩林帶給我不少歡樂，更在實驗缺少受測者時，義不容辭的馬上答應幫忙，在學業上亦是如此，短短三句謝詞不足以道盡所有的感謝。感謝鐵蛋，在實驗需在學校呆到很晚時，亦留在學校陪伴，實驗中也幫了我個大忙。感謝系辦小姐兼大學同學雯倩，因為實驗落後致使需要繳交文件的日期需延後，她也是不嫌麻煩的一再幫忙。還有學謙、思承，也是馬上答應做實驗的受測者，尤其是學謙，更是當過很多次實驗前測的受測者，心中真是萬分感激。

還有實驗室的學弟，宣俞宏，實驗能夠順利進行，他也是不可或缺的大功臣，實驗的前測、正式執行、事後的數據處理等等都幫了非常大的忙，甚至最後的口試也幫忙布置，讓一切能夠順利進行。感謝昭陽學妹，在缺乏受測者時，馬上用廣大的號召力，號召了許多學弟們幫忙。感謝毓宥、亦君、桂虹、伊均、惟馨、怡如學妹，在實驗中也給予我不少幫助，有你們的配合，實驗才能如此順利的進行。

感謝我的摯友，倩彤，當我實驗進行不順利的時候，為我擔心，給予我意見，甚至在忙完自己的事情時，飛奔至台中只為了幫我，有友如此，夫復何求。感謝阿壞學長，三不五時關心我的實驗進度，給與鼓勵。還要感謝所有參與實驗的受測者，有你們的配合，才讓如此匆忙且辛苦的實驗能夠順利完成。

最後要感謝我的家人，有他們默默的支持，無時無刻的關心，讓我在學校學習無後顧之憂，努力衝刺研究，我一切的成就，都是因為他們才能實現。

人生是一列列車，我在研究所這一站下車，得到許多珍貴的寶物，又即將上車前往下一站，我無法選擇我要與何種人事物相遇，但我能選擇與大家共創甜美的回憶，僅以此篇致謝感謝所有共創回憶的朋友，人生因有你們更加美好。

中文摘要

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，N95 口罩其面罩罩體本身即為淨氣單元，除了防塵之外，也可以作為醫護人員防護感染時使用。研究指出在被評估為需使用呼吸防護具之場所，僅有約 20%至 30%有提供呼吸防護具且被使用，造成使用者不願配戴呼吸防護具之原因可分為三大類，包括配戴時因為呼吸阻力、無效腔及防護具本身重量所增加之生理負荷、與使用者本身相關之心理因子（包含主觀不適）及因環境與防護具本身之所造成之熱負荷。

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，雖然其呼吸阻力較濾毒罐式防護具為低，但是在較長時間使用後，罩體本身會變得相當潮濕，呼吸阻力也會增加，值得加以評估。有關配戴呼吸防護具時之主觀不適缺乏系統性之研究，但相關研究均指出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。

本研究包括兩個實驗，目的在瞭解配戴 N95 口罩與一般職業常用之濾毒罐式面罩在實際使用上之生理負荷與主觀不適之情況，進而討論其對使用者配戴行為之影響，第一部份之實驗為全罩式面罩與 N95 口罩之生理負荷與主觀不適評估，第二部分的實驗則進一步探討有閥與無閥之 N95 口罩在有無講話作業之生理負荷與主觀不適。

共有 18 位醫學大學學生完整參與此二部分實驗，男女各 9 名，平均年齡為 24 歲，第一部份之實驗獨立變數包括性別、呼吸防護具型式(包括全罩式面罩搭配化學濾毒罐及 N95 濾毒匣、N95 球型有閥及無閥口罩)、工作負荷(輕度作業與中度作業)。第二部分之實驗獨立變數包括性別、N95 口罩型式(N95 船型有閥及無閥口罩)、工作負荷(輕度作業與中度作

業)及作業類型(有講話與無講話),此兩部分實驗之獨立變數除性別外,均為受試者內因子設計,受試者會參與所有實驗條件之實驗。本研究兩個實驗所評估之應變數相同,包括工作時心跳、工作心跳、吸氣壓力、吐氣壓力、呼吸頻率、口罩內溫度、分通氣量、耗氧量與單位體重耗氧量等生理負荷指標及主觀不適問卷。

第一部分實驗結果顯示,配戴呼吸防護具會使工作時心跳與工作心跳明顯高於沒有配戴呼吸防護具時之相同負荷作業,但在不同型式呼吸防護具間無顯著差異,配戴呼吸防護具的吸氣壓力明顯隨防護具之吸氣阻力增加而增加,吸氣壓力為全罩式面罩搭配化學濾毒罐時最高,N95 球型無閥口罩最低,吐氣壓力仍以全罩式面罩搭配化學濾毒罐時最高,但最低者為 N95 球型有閥口罩。在口罩內溫度的部分,則是 N95 口罩的溫度高於全罩式面罩,且無閥 N95 口罩高於有閥 N95 口罩,分通氣量及耗氧量的部分,全部皆是全罩式面罩高於 N95 口罩,在主觀不適部分,不同作業負荷有顯著差異,中度負荷的不舒服程度高於輕度負荷的不舒服程度,在不同呼吸防護具間僅有口罩內溫度之主觀不適有顯著差異,N95 球型無閥口罩不適程度顯著高於其他三種呼吸防護具。

實驗二的結果顯示配戴有閥無閥的 N95 口罩不同型式之呼吸防護具對心跳的影響不大,但配戴 N95 船型無閥口罩在吸氣壓力、吐氣壓力及口罩內溫度的結果都顯著高於 N95 有閥口罩,因此在選擇 N95 船型口罩來作為呼吸防護具時,有閥會較無閥來的好。至於作業時有無講話則對心跳有很大的影響,每分鐘大約會增加 3 至 4 下的心跳,有講話作業在心跳、吸氣壓力、吐氣壓力、呼吸頻率顯著高於無講話作業。此外主觀不適問卷結果顯示,中度作業之不舒適程度會高於輕度作業,N95 船型無閥口罩之不舒適程度會高於 N95 船型有閥口罩,溫度是主要造成配戴者不舒適的主因,有講話作業之不舒適程度會高於無講話作業,主觀不

適問卷的結果皆與生理負荷指標之結果一致。

關鍵字：呼吸防護具、呼吸阻力、呼吸生理、主觀不適、N95 口罩



ABSTRACT

This study aim to evaluate the most frequently used non-powered tight-fitting air-purifying respirators with canister and N95 facemasks. The N95 facemask which the facepiece itself is the purifying element is also used by medical personnel. Research results have indicated the respirators are available and in use in only 20-30% of the work phases evaluated as needing them. Failure to use a respirator is influenced by the physiological burden caused by such as additional respiratory resistance and dead space, by psychological factors such as subjective discomforts, and by thermo stress caused by the environment and respirator itself.

There were lots of researches addressing the physiological effects whilst wearing respirators with canister. Only little research focused on N95 facemask which is associated with smaller breathing resistance when compared with respirator with canister. However, the N95 facemask is still need to be assessed because it may become wet and the breathing resistance may increase after prolonged use. The subjective discomfort associated with respirator wearing has not been studied systematically, but it is widely agreed that user's discomfort represents a crucial issue to interfere with the use of respirators.

Two experiments were conducted in the present study. The study intended to assess 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. The first experiment aimed to evaluate and compare the physiological loads and subjective discomforts between N95 facemask and a full-facepiece respirator. The second experiment explored furthermore about the effects of wearing N95 facemask with or without expiratory valve and the effects of speaking or not while wearing the two types of N95 facemasks.

18 medical university students (9 males and 9 females) with mean age about 24 year olds completely participated in the two experiments. The evaluated independent variables in the first experiment included gender (GR), types of respirator (RT), including ball type N95 facemasks with/without valve (BWV, BNV), full-facepiece respirator with chemical canister or N95 filter(FWC, FWN) and work loads (WL, 45W and 85W). The explored independent variables in the second experiments included gender, types of respirator (ship-type N95 face mask with/without valve, SNV and SWV), work load (45W and 85W) and task (TK, speaking or not). All independent variables in the two experiments except gender were designed as within-subject variables. The evaluated dependent variables for the two experiments were identical which included working and work pulse, peak inspiratory and expiratory resistance (PIP, PEP), respiratory frequency (RF), temperature inside respirator (TIR), minute ventilation (VE), volume of oxygen consumption (VO_2) and subjective rating of perceived exertion (RPE) for five categories.

Results of the first experiments showed that wearing respirators significantly increased the working pulse and work pulse. Both of the effects of RT on working and work pulse were not significant. The PIP and PEP measured for the four experiment respirators were consistent with the measured inspiratory and respiratory resistance for each respirator. The PIP value was the highest for FWC and was the lowest for BNV. The PEP value was the highest for FWC and was the lowest for BWV. The TIR for BNV was the highest followed by BWV and were significantly higher than FWC and FWN. The VE and VO_2 for FWC and FWN were significantly higher the BWV and BNV. The effects of WL on the five RPEs were all significant. As for the effects of RT on RPE, only significantly higher RPE for the temperature inside the respirator was reported.

The results of the second experiment showed that the effects of RT on

working and work pulse were not significant. The PIP, PEP and TIR for SNV were significantly higher than those for SWV. Therefore the SWV was recommended. The effects of TK on working pulse, work pulse, PIP, PEP and RF were significant. The working and work pulse were 3-4 beats/min higher for the task with speaking than task without speaking. The effects of WL on RPE were significant. The RPE score for SNV was significantly higher than that of SWV which could be attributed to the RPE for the temperature inside the respirator. The RPEs for the task with speaking were all significantly higher than task without speaking. The results of RPE were consistent with the measured physiological work load indicators.

Keywords : Respirators, Breathing resistance, Respiratory physiology, N95 facemask



目錄

致謝	I
中文摘要	III
英文摘要	VI
目錄	IX
表目錄	XIV
圖目錄	XVIII
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	2
第四節 研究架構	3
第二章 文獻探討	5
第一節 呼吸防護具分類	5
第二節 呼吸防護具造成的生理負荷與主觀不適及其對配戴行為之影響	7

2.2.1 主要影響呼吸防護具生理負荷之因子.....	8
2.2.2 配戴呼吸防護具所造成之心理影響.....	12
第三節 作業負荷測功儀器與負荷設定方法.....	13
2.3.1 測功儀器.....	13
2.3.2 作業負荷之設定與量測方法.....	14
第三章 研究方法.....	16
第一節 研究對象.....	16
第二節 實驗儀器設備與量測方法.....	17
3.2.1 呼吸防護具.....	17
3.2.2 呼吸生理分析儀器及其測量方法.....	19
3.2.3 人因測功腳踏車.....	20
3.2.4 配戴呼吸防護具之耗氧量測量方法.....	21
3.2.5 ECG 心跳量測方法.....	22
3.2.6 呼吸防護具內壓力測量方法.....	23
3.2.7 呼吸防護具內溫度量測方法.....	24
3.2.8 呼吸防護具吸氣與吐氣阻力量測設備.....	25
3.2.9 呼吸頻率量測.....	27

3.2.10 實驗作業內容與負荷設定	27
3.2.11 呼吸防護具負荷作業之主觀不適問卷	29
第三節 實驗設計	31
3.3.1 自變項	31
3.3.2 應變項	31
3.3.3 控制因子	33
第四節 實驗流程	33
3.4.1 呼吸防護具呼吸阻力模擬測試	33
3.4.2 個人最大耗氧量量測	34
3.4.3 實驗流程	36
第五節 分析及統計方法	38
第四章 實驗結果	40
第一節 實驗用呼吸防護具呼氣與吐氣阻力曲線	40
4.1.1 吸氣阻力	40
4.1.2 吐氣阻力	43
第二節 實驗一：全罩式面罩與 N95 口罩之生理負荷與主觀不適評估結果	45

4.2.1 工作時心跳.....	45
4.2.2 工作心跳.....	49
4.2.3 吸氣壓力.....	51
4.2.4 吐氣壓力.....	53
4.2.5 呼吸頻率.....	55
4.2.6 呼吸防護具內溫度.....	56
4.2.7 分通氣量.....	58
4.2.8 耗氧量.....	60
4.2.9 單位體積耗氧量.....	62
4.2.10 主觀不適問卷結果.....	64
第三節 實驗二：有閥無閥之 N95 口罩在有無講話作業之生理負荷指標 與主觀不適結果.....	66
4.3.1 工作時心跳.....	66
4.3.2 工作心跳.....	70
4.3.3 吸氣壓力.....	70
4.3.4 吐氣壓力.....	72
4.3.5 呼吸頻率.....	73

4.3.6 呼吸防護具內溫度.....	74
4.3.7 分通氣量、耗氧量及單位體重耗氧量(僅有閥口罩).....	76
4.3.8 主觀不適問卷結果.....	79
第五章 討論.....	83
第一節 實驗用全罩式面罩與 N95 口罩呼吸阻力比較.....	83
第二節 實驗用全罩式面罩與 N95 口罩之綜合比較(實驗一).....	84
5.2.1 生理負荷.....	84
5.2.2 主觀不適.....	87
第三節 配戴有閥及無閥 N95 口罩在有無講話作業綜合比較(實驗二).....	87
5.3.1 生理負荷指標比較.....	87
5.3.2 主觀不適比較.....	91
第六章 結論.....	92
第七章 參考文獻.....	93
附錄一 受測者同意書.....	96
附錄二 個人基本資料.....	97
附錄三 主觀不適問卷.....	98

表目錄.....	XIV
表 2-1 評估呼吸阻力所造成的生理負荷時常用之生理指標	10
表 2-2 相關重要研究之實驗條件	11
表 2-3 NIOSH 針對 N、P、R 之口罩之吸氣與吐氣阻力規定	12
表 3-1 受測者基本特徵(n=18,mean±SD)	16
表 3-2 Nasal Temperature Probe 在不同溫度區間之溫度差	25
表 3-3 Result of HR and corresponding RPE score during various nursing duties (n=21)	28
表 3-4 Prolonged physical work classified as to severity of workload and to cardiovascular response	29
表 3-5 Oxygen uptake as related to work rate	29
表 3-6 最大耗氧量負荷設定	35
表 4-1 呼吸防護具吸氣阻力回歸方程式及流量為 85L/min 時的阻力 ..	41
表 4-2 呼吸防護具吐氣阻力回歸方程式及流量為 85L/min 時的阻力 ..	43
表 4-3 全罩式面罩與 N95 口罩之生理負荷與主觀不適重複量數變異數分 析結果(n=18).....	46
表 4-4 全罩式面罩與 N95 口罩之生理負荷與主觀不適描述性統計數據	47
表 4-5 各呼吸防護具的工作時心跳	48

表 4-6 各呼吸防護具之工作心跳	50
表 4-7 輕中度負荷之吸氣壓力	51
表 4-8 各呼吸防護具之吸氣壓力	52
表 4-9 輕中度作業負荷之吐氣壓力	53
表 4-10 各呼吸防護具之吐氣壓力	54
表 4-11 輕中度負荷之呼吸頻率	55
表 4-12 各呼吸防護具之呼吸頻率	55
表 4-13 輕中度負荷呼吸防護具內之溫度	56
表 4-14 各呼吸防護具內之溫度	58
表 4-15 輕中度作業之分通氣量	59
表 4-16 各呼吸防護具之分通氣量	60
表 4-17 輕中度負荷之耗氧量	61
表 4-18 各呼吸防護具之耗氧量	61
表 4-19 輕中度作業負荷之單位體重耗氧量	62
表 4-20 各呼吸防護具之單位體重耗氧量	63
表 4-21 輕中度負荷之 RPE 值	65
表 4-22 有閥無閥之 N95 口罩在有無講話作業之生理負荷指標與主觀不	

適之重複量數變異數分析結果(n=18)	67
表 4-23 有閥無閥之 N95 口罩在有無講話作業之生理負荷指標與主觀不適描述性統計資料	68
表 4-24 輕中度作業負荷之工作時心跳	69
表 4-25 有無說話作業負荷之工作時心跳	69
表 4-26 輕中度作業負荷之工作心跳	70
表 4-27 有無說話作業之工作心跳	70
表 4-28 N95 船型有無閥口罩之吸氣壓力	71
表 4-29 有無講話作業之吸氣壓力	71
表 4-30 N95 船型有無閥口罩之吐氣阻力	72
表 4-31 有無講話作業之吐氣壓力	73
表 4-32 輕中作業負荷之呼吸頻率	74
表 4-33 各呼吸防護具之口罩內溫度	76
表 4-34 輕中度作業口罩內之溫度	76
表 4-35 有無講話作業之分通氣量	77
表 4-36 有無講話之耗氧量	77
表 4-37 有無講話之單位體重耗氧量	77

表 4-38 輕中作業負荷之 RPE 值	80
表 4-39 各呼吸防護具之 RPE 值	80
表 4-40 有無說話作業之 RPE 值	80



圖目錄.....	XVIII
圖 1-1 研究流程.....	4
圖 2-1 四分面罩(Quarter-mask).....	7
圖 2-2 半罩式面罩(half-mask).....	7
圖 2-3 全罩式面罩(full-facepiece).....	7
圖 2-4 寬鬆式(Loose-Fitting).....	7
圖 3-1(a) N95 球型無閥口罩.....	18
圖 3-1(b) N95 球型有閥口罩.....	18
圖 3-1(c) 全罩式面罩搭配 N95 濾毒匣.....	18
圖 3-1(d) 全罩式面罩搭配化學濾毒罐.....	18
圖 3-2(a) N95 船型無閥口罩.....	19
圖 3-2(b) N95 船型有閥口罩.....	19
圖 3-3 生理訊號接收放大器.....	19
圖 3-4 氣體分析儀及流量計.....	19
圖 3-5 測功腳踏車(ergometry).....	21
圖 3-6 全罩式面罩轉接頭.....	22
圖 3-7 N95 口罩轉接頭.....	22

圖 3-8 胸導電極貼片位置	23
圖 3-9 ECG 接收放大器	23
圖 3-10 壓力轉換計.....	24
圖 3-11 壓力偵測位置.....	24
圖 3-12 水銀壓力計.....	24
圖 3-13 Nasal Temperature Probe.....	24
圖 3-14 假人頭模擬呼吸道之正反面圖	26
圖 3-15 模擬呼吸防護具呼吸阻力示意圖	26
圖 3-16 實驗流程圖.....	37
圖 4-1 呼吸防護具吸氣壓力對流量關係圖	42
圖 4-2 呼吸防護具吐氣壓力對流量關係圖	44
圖 4-3 各呼吸防護具工作時心跳	48
圖 4-4 輕中度作業的工作時心跳	49
圖 4-5 各呼吸防護具的工作心跳	50
圖 4-6 輕中度負荷之吸氣壓力	51
圖 4-7 各呼吸防護具之吸氣壓力	52
圖 4-8 輕中度作業負荷之吐氣壓力	53

圖 4-9 各呼吸防護具之吐氣壓力	54
圖 4-10 不同呼吸防護具之呼吸頻率	56
圖 4-11 輕中度負荷呼吸防護具內之溫度	57
圖 4-12 各呼吸防護具內之溫度	58
圖 4-13 輕中度作業之分通氣量	59
圖 4-14 各呼吸防護具之分通氣量	60
圖 4-15 各呼吸防護具之耗氧量	62
圖 4-16 輕中度作業負荷之單位體重耗氧量	63
圖 4-17 各呼吸防護具之單位體重耗氧量	64
圖 4-18 輕中度作業負荷之 RPE 值	65
圖 4-19 各呼吸防護具之罩內溫度不舒適程度	66
圖 4-20 有無講話狀態下的心跳	69
圖 4-21 有無講話作業之吸氣壓力	72
圖 4-22 有無講話之吐氣壓力	73
圖 4-23 輕中作業負荷之呼吸頻率	74
圖 4-24 各呼吸防護具之口罩內溫度	75
圖 4-25 輕中度作業口罩內之溫度	75

圖 4-26 有無講話之分通氣量	78
圖 4-27 有無講話之耗氧量	78
圖 4-28 有無講話之單位體積耗氧量	79
圖 4-29 輕中度作業負荷之 RPE 值	81
圖 4-30 各呼吸防護具之 RPE 值	81
圖 4-31 有無講話作業之 RPE 值	82
圖 5-1 中度負荷(圖上)及輕度負荷(圖下)吸氣壓力之波形	89
圖 5-2 受測者無講話(圖上)及有講話(圖下)作業時的壓力波形	90



第一章 緒論

第一節 研究背景

呼吸防護具是一種保護裝置，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；或是直接提供乾淨的氣體(通常為一般空氣)，給予作業的勞工，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⁾。

由於呼吸防護具是在工作場所經工程控制後仍具危害性時使用，因此若使用者不願或未正確使用，將導致顯著之安全與健康上之危害，因此造成使用者不願正確配戴呼吸防護具之原因一直是一個受關注之研究議題。

國外有一些研究指出，在被評估為需使用呼吸防護具之場所，僅有約20%至30%有提供呼吸防護具且被使用^(2, 3)。在國內，亦發現許多勞工不願配戴呼吸防護具之現象，而其原因大多為配戴起來不舒服，會有呼吸困難，太熱之感覺，台灣在嚴重急性呼吸道症候群流行期間，許多人有配戴N95口罩之後感覺呼吸不舒服之經驗，而影響正確配戴之意願。

N95 口罩是最基本常見的呼吸防護具，常用在一般有危害性之工作場所，但有關 N95 口罩之生理負荷與配戴行為之研究相當少，推測其原因，可能與其呼吸阻力較濾毒罐式防護具為低且多應用在較低危害之場所有關，但值得注意的是，N95 口罩本體即為其淨氣單元，且與口鼻相近，雖然多為單次使用後即丟棄，但是在較長時間使用後，尤其伴隨作業當時需進行口語溝通時，罩體本身會變得相當潮濕，呼吸阻力也會增加，因此我們覺得有必要進行相關研究以瞭解不同型式 N95 口罩使用在不同

作業負荷之呼吸阻力相對於生理負荷狀況之改變情況，以作為評估 N95 口罩適用時間之依據。有一些較新式 N95 口罩搭配單向出氣閥之設計，相較於傳統無出氣閥之設計，也許能降低罩體使用之濕度以減少因潮濕而增加之呼吸阻力情況，但相對的，其進氣面積減少，可能造成阻力增加，值得加以研究。

第二節 研究之重要性

因為配戴呼吸防護具會增加生理上的負荷，因此勞工往往不太願意配戴；亦或雖有配戴，但因不舒服調整而破壞了口罩的密合度，導致危害。N95 口罩是常被使用之呼吸防護具，但針對 N95 口罩相關的生理負荷之研究文獻相當少，鑑於在 SARS 流行過後，N95 口罩成為除了在防護懸浮微粒作業場所之外，最基本防護粉塵及生物性危害之基礎口罩，而若是禽流感再度爆發，N95 口罩將是重要的基本防護具，因此有必要量測配戴 N95 口罩時的生理及心理負荷狀況，以評估 N95 口罩所引起之生理負荷與主觀不適及其對配戴行為之影響，以作為促進正確使用 N95 口罩之參考。

第三節 研究目的

本研究係以「N95 口罩與非動力密閉淨氣式濾毒罐面罩生理負荷指標與主觀不適之評估」為研究主軸，重點在於瞭解此一般職業上常用之呼吸防護具在實際使用條件下之生理負荷情形與使用者感受到之主觀不適情況，藉以鑑認與評估主要影響使用者配戴意願與行為之因子來促進這些呼吸防護具正確使用。因此研究主要目的分別為下列兩大項：

- (1) 不同型式防護具其呼吸阻力造成之生理負荷與主觀不適之評估：其中不同型式防護具包含非動力密閉淨氣式濾毒罐面罩與N95口罩，濾毒罐面罩以往研究資料較多，故量測常用型式之生理與主觀不適指標以作為與N95口罩比較及後續研究對照數據。在N95 口罩方面，相關研究相當缺乏，雖然其呼吸阻力較濾毒罐式防護具為低且多應用在較低危害之場所，但值得注意的是，仍有許多配戴不舒服之反應，因此基本生理與主觀不適指標評估是需要的。
- (2) 有閥無閥之N95口罩在有無講話作業之生理負荷指標與主觀不適評估：由於本研究期望能對於造成使用者不願配戴呼吸防護具進行較深入之研究。針對N95口罩，由於其罩體本身即為其淨氣單元，且與口鼻相近，雖然多為單次使用後即丟棄，但是在伴隨作業當時需進行口語溝通時，罩體本身會變得相當潮濕，呼吸阻力也會增加，因此本研究亦期望評估有閥與無閥N95口罩在有無講話的情況下，其使用者之生理負荷與主觀不適之改變情況。

第四節 研究架構

本研究之研究架構如圖 1-1 所示，首先測試各型式呼吸防護具之呼吸阻力，然後進行實驗一以了解全罩式面罩與 N95 口罩之生理負荷與主觀不適，接著進行實驗二來評估有閥與無閥之 N95 口罩在有無講話作業之生理負荷指標與主觀不適。

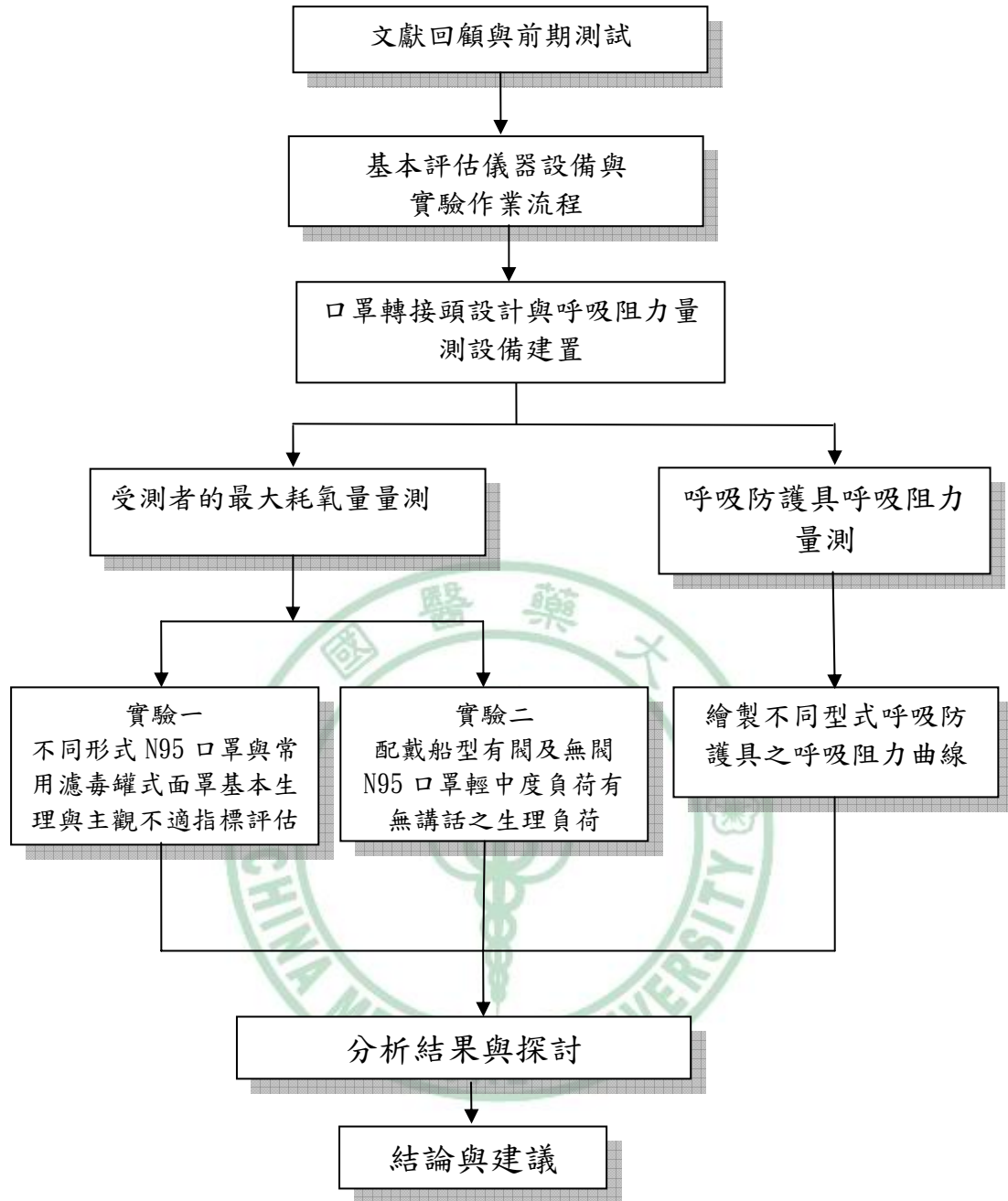


圖 1-1 研究流程

第二章 文獻探討

第一節 呼吸防護具分類

呼吸防護具依據其使用時之面罩配戴密合面(inlet covering)之構造可分為密閉式(tight-fitting)與寬鬆式(loose-fitting)兩種，此二種不同構造與使用時呼吸之空氣來源有關，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：(a)使用過濾器(filter)來過濾粉塵、煙霧(fume)、及(或)霧滴之粒狀物過濾呼吸防護具(particulate filtering respirators)與(b)使用濾毒罐(canister/cartridge)去除有害氣體和蒸汽之蒸汽與氣體脫附呼吸防護具(vapor and gas removing respirators)，而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嘴和鼻之四分面罩(quarter-mask)、包覆範圍從鼻子到下巴之半罩式面罩(half-mask)與覆蓋的範圍大約從頭部髮際線到下巴以下之全罩式面罩(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過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)⁽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，其中濾毒罐式面罩單體包含全罩式、半罩式與四分面罩，N95口罩之

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⁽⁵⁾，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。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。



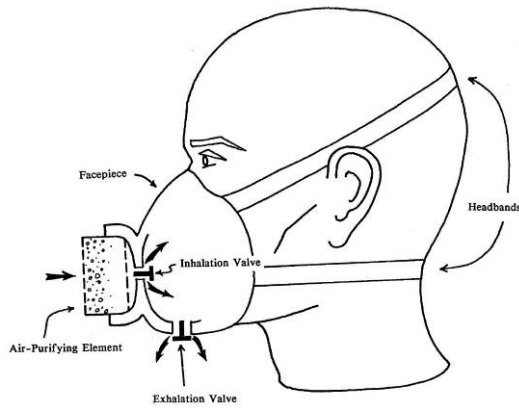


圖2-1：四分面罩(Quarter-mask)

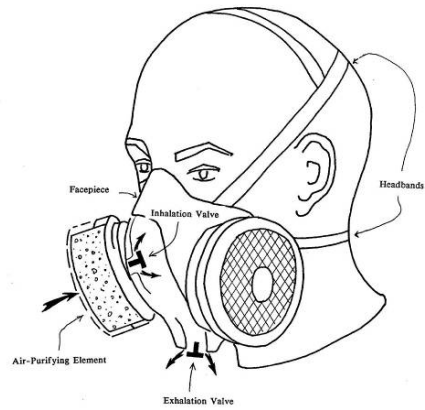


圖2-2：半罩式面罩(half-mask)

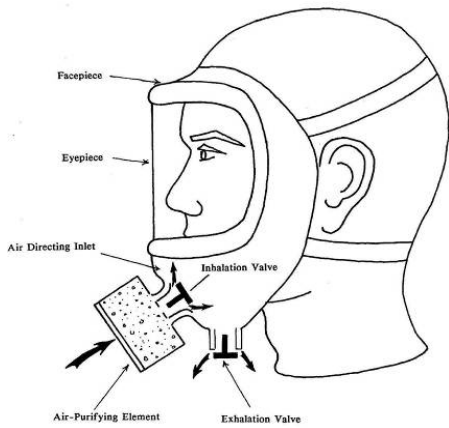


圖 2-3：全罩式面罩(full-facepiece)

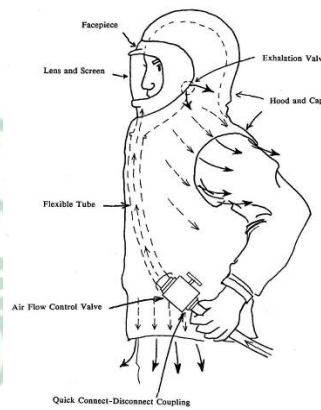


圖 2-4：寬鬆式(Loose-Fitting)

資料來源：NIOSH guide to Industrial respiratory protection⁽⁴⁾

第二節 呼吸防護具造成的生理負荷與主觀不適及其對配戴行為之影響

Louhevaara⁽⁶⁾在 1984 年針對呼吸防護具所發表綜合回顧研究指出，造成使用者不願意配戴呼吸防護具之原因可以分為三大類，包括(a)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(b)使用者本身相關之心理因子（包含主觀不適），及(c)因環境與防護具本身所造成之熱負荷(thermo stress)，分別說明如下：

2.2.1 主要造成呼吸防護具生理負荷增加之因子

使用者在配戴呼吸防護具後導致生理負荷增加的因子包括：(a)額外吸/吐呼吸阻力(inspireator/expiratory breathing resistance)、(b)因呼吸防護具面罩本身而增加之呼吸無效腔(dead space)與(c)呼吸防護具本身增加之額外重量。因本研究係針對非動力密閉淨氣式呼吸防護具，其重量通常在 1 公斤以下，相較於供氣式呼吸防護具如 SCBA(Self-contained breathing apparatus)，其重量通常超過 10 至 15 公斤，其影響顯然較輕微，但仍然會針對 N95 口罩與全罩式面罩在主觀配戴之實體重量影響加以評估。

2.2.1.1 呼吸阻力

呼吸阻力為呼吸時因氣體流動所產生的壓差(Δp)與氣體單位時間流量(f)之比值，即 $R = \Delta p / f$ ⁽⁷⁾，此壓差在防護具內吸氣時為負壓，吐氣時為正壓，單位時間流量與壓差成正相關，單為時間流量越大，壓差值越大，且隨著呼吸流量的增加，呼吸阻力越大者，其罩體內的壓力增加的越快⁽⁸⁾，但並非成線性相關⁽⁹⁾，因此有時在標示呼吸防護具之阻力時會一併標示出對應流量。

額外的呼吸阻力是造成使用呼吸防護具時生理負荷增加最主要的因素，也是以往呼吸防護具之生理負荷評估最多的因子^(7, 8, 10, 11, 12)，一般成年人配戴呼吸防護具時之呼吸道阻力約在 0.6 至 2.3 cmH₂O×sec/liter⁽¹³⁾，當呼吸阻力在休息時達到正常呼吸阻力 3 倍時，會有呼吸困難(dyspnea)之現象⁽¹⁴⁾。

評估呼吸阻力所造成的生理負荷時常用之生理指標如表 2-1 所示，Heus 等⁽⁷⁾之研究發現呼吸阻力增加時，TTE 顯著下降，VO₂、VCO₂、VE 與 BF 並無顯著改變。Johnson 等⁽⁸⁾發現呼吸阻力增加會導致過度換氣

(hyperventilation)之現象，TTE 顯著下降，並伴隨著顯著較低之 VE 與 VO₂，Sulotto 等⁽¹⁰⁾之研究指出呼吸阻力增加時，BF、VE、VO₂、VCO₂、VO_{2max} 會顯著下降，HR 則無顯著改變，Jetté 等⁽¹¹⁾之研究因為比較之呼吸阻力差異較小，因此呼吸阻力增加時，包括 TTE、VO_{2max} 與 HR 等均無顯著差異，Lerman 等⁽¹²⁾之研究發現呼吸阻力增加時，TTE、HR 與 V_T下降，PIP 則會上升。

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 cmH₂O s l⁻¹) (表2-2)，其中Heus⁽⁷⁾與Johnson⁽⁸⁾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⁽¹⁰⁾，Jetté⁽¹¹⁾與Lerman⁽¹²⁾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 cmH₂O×sec/liter間。

表 2-1：評估呼吸阻力所造成的生理負荷時常用之生理指標

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 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，去分析比較運動過程中是否顯著變化。
■ VO_{2max} ：最大氧氣消耗量 (Maximal Oxygen Production)	指在劇烈運動時，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 ml/min。一般個體最大的耗氧量為 4.6ml/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 ml/min。
■ VE：分通氣量 (Minute Ventilation)	每分鐘呼吸的氣體容積量，單位為 ml/min。
■ HR：工作時心跳 (working pulse)	再執行作業時的心跳頻率，單位為 BPM。
■ 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 次/min。
■ PIP：吸氣壓力 (Peak Inspiratory Pressure)	吸氣時口罩內的壓力，單位為 mmH ₂ O。
■ PEP：吐氣壓力 (Peak Expiratory Pressure)	吐氣時口罩內的壓力，單位為 mmH ₂ O。
■ PIP/PEP：呼吸時罩內之最大壓力 (Peak Inspiratory / Expiratory Pressure)	呼吸時罩內之最大壓力。
■ Dead space：無效腔	在本研究中指在呼吸防護具內無法進行空氣交換的空間。
■ RE：呼吸當量 (Respiratory Equivalent)	這是由 VO_2 及 VCO_2 計算所得。公式為 VCO_2/VO_2 。
■ TTE：放棄時間 (Time to Exhaustion)	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。
■ EQ_v ：通氣當量 (Ventilatory Equivalent)	由分通氣量及氧消耗量計算所得，其計算公式為： $EQ_v = VE/VO_2$
■ V_T ：潮氣容積 (Tidal Volume)	潮氣容積
■ SO_2 ：動脈血液含氧量 (Arterial Oxygen Saturation)	利用侵入式或是非侵入式的方法量得血中含氧量，此方法能夠較精確量得攝取入體內的氧氣量，而侵入式又比非侵入式來的準確使用非侵入式的儀器需注意其誤差值。

表 2-2：相關重要研究之實驗條件

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 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 等，1999
4.2 ^b	Progressive exercise to 90% max heart rate	30 位男性	25(23-46)	Sulotto 等，1993
2.49 – 3.44 ^c	Treadmill test to exhaustion	12 位男性	23±3	Jetté 等，1990
0.3 – 4.6	80% max VO ₂	20 位	19	Lerman 等，1983

a 數據經過換算，0.24 至 8.3 kPa s l⁻¹，1kpa = 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

Bently⁽¹⁵⁾之研究中利用心理生理問項(psychophysical category scale)來評估可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。

在法規方面，NIOSH (The National Institute for Occupational Safety and Health)⁽⁵⁾對呼吸防護具的阻力有所規定，如下表 2.5。NIOSH 法規適用於所有 N、P、R 之口罩，其中吸氣時的阻力訂的較吐氣來的高，這是因為人體在吸氣時，肺部呈現負壓狀況，因此不需要花費很多力氣即可

吸入空氣，但在吐氣時，人體需要用力擠壓肺部，才可將肺部的空氣推出體外，需要花費較大的力量，因此將呼吸防護具之吐氣阻力訂定的較嚴格。

表 2-3：NIOSH 針對 N、P、R 之口罩之吸氣與吐氣阻力規定

吸氣阻力(Inhalation resistance)	35 mmH ₂ O
吐氣阻力(exhalation resistance)	25 mmH ₂ O
Flow rate: 85±2 L/min	

2.2.1.2 無效腔

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，無效腔指呼吸過程中吸入之氣體無法達到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，為前次吐氣時所留下，因此較高的二氧化碳濃度，由於吸入的空氣會與在無效腔內的氣體混合，因此氧氣濃度會因無效腔中較高濃度的二氧化碳所稀釋。導致吸入氧氣數量減少，二氧化碳濃度提高，進而影響人體，使得呼吸困難、工作的執行能力降低等，因此當呼吸防護具內的無效腔體積越大，配戴著的 VE 、 V_T 也跟著越大、呼吸壓力也有增加的趨勢、呼吸時間縮短，但在 HR 的部分則不明顯^(6, 16)。

2.2.2 配戴呼吸防護具所造成之心理影響

Morgan 在 1983^{a, b} 年^(17, 18)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。而配戴呼吸防護具時之主觀不是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。

當呼吸防護具中的二氧化碳濃度升高時，除影響配戴者的生理外，也會進一步影響到心理，因為二氧化碳是呼吸、血酸平衡及行為狀態的主要調節器，若是肺泡中的二氧化碳濃度增加，會造成血液中血酸過多症(hypercapnia)，在一般正常的人體中，只會造成些微的焦慮，但對於患有恐慌症的人，則會使其更容易受到焦慮的影響。二氧化碳本身也會對人體直接造成影響，使其感覺到不舒服，增加其焦慮感進而影響到工作的執行力⁽¹⁹⁾。

Khanzadeh等⁽²⁰⁾人在1995年針對一家玻璃封裝廠內員工穿戴個人防護具之主觀不適調查，包括呼吸防護具、安全鞋、手套、護目鏡、工作服及膝蓋護墊，舒適程度分為非常舒適、稍微舒適、沒有意見、有點不舒適以及非常不舒適等五種，而呼吸防護具在非常不舒適的部分佔有53% (n=47)，為所有防護具中比例最高者，而覺得舒適者（包括非常舒適及稍微舒適），不超過10%，因而導致工作人員較不喜歡配戴呼吸防護工作。另外Khanzadeh認為員工不喜配戴的原因可能有不合身、增加額外的重量、不好看的顏色及外型。

第三節 作業負荷測功儀器與負荷設定方法

2.3.1 測功儀器

為模擬配戴呼吸防護具時的負荷作業，在實驗室操作上，主要應用三

種產生標準工作負荷的儀器包括：(1)跑步器(treadmill)，(2)腳踏車測功器(cycle ergometer)，(3)階梯測驗⁽²¹⁾。其中常被用來模擬配戴呼吸防護具負荷的儀器，主要以跑步機及腳踏車測功器這兩種方式為主。

跑步機之測試方法是設定其速度及傾斜角度，而回顧相關文獻發現，在使用跑步機來模擬負荷作業時，通常先固定其傾斜角度，然後增加或維持固定的跑步機的速度，以達到需要之負荷。跑步機通常較適合年輕及健康的受測者測試，可以用來量測次大(submaximal)及最大(maximal)負荷，且常用來做臨床的測試⁽²²⁾。跑步機優點是在於其主動傳動，因此較能夠測出受測者的最大耗氧量及最大心跳等，其缺點包括必須使受測者在受測時習慣或減少焦慮感、跑步機通常都比較昂貴與不易搬運，且也不容易在運動過程中做其他測量(例如血壓)。

腳踏車測功器的測試方法，是設定腳踏車的阻力(通常為瓦特)，並固定踩踏的轉速，達到所需負荷。腳踏車測功計也是非常好的測量次大及最大負荷之測功器，它的優點是可以比較容易做工作負荷的微調增加，而受測者在使用這個設備時也較不會有焦慮感⁽²⁴⁾，且在使用腳踏車測功計也較容易量得血壓、心跳等相關生理變化，相較於跑步機而言，其花費也比較便宜，且運送也較為方便。而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^(21, 22)。而使用腳踏車測功計的缺點在於，若不是習慣使用這種工具運動，很容易因為局部的肌肉疲勞，而使得運動結果受到限制，因而造成低估⁽²²⁾。

2.3.2 作業負荷設定與量測方法

本實驗模擬負荷實驗採用腳踏車測功計來進行，腳踏車負荷模擬測驗

大致上可以分為三種：(1)最大有氧呼吸能力(Max VO₂)測試，(2)固定負荷作業測試，(3)漸進式負荷作業測試，說明如下：

- (1) 最大有氧呼吸能力：即為量測受測者的最大耗氧量，常見測試方法為，將腳踏車測功計的起始負荷值訂為受測者的體重，在第一及第二分鐘增加其體重的二分之一，之後每分鐘增加其體重四分之一，直到受測者無法繼續為止，這期間所測量到最大的 VO₂ 值就是最大耗氧量⁽⁷⁾。
- (2) 固定負荷作業：由腳踏車測功計設定欲量測之負荷值，如 30%或 50% MAX VO₂，在依據受測者個人之 Max VO₂ 轉換為 Watt 值，量測時間為固定時間⁽¹²⁾或量測 TTE⁽⁸⁾。
- (3) 漸進式負荷作業：同固定式負荷作業，但負荷作業漸進增加，通常設定負荷最大值在80-85% Max VO₂^(7, 8, 10, 11)。

第三章 研究方法

第一節 研究對象

本研究有 18 名大學學生參與，男女各 9 名，其基本量測資料如表 3-1。受測者參加時會先確認他們沒有心肺功能問題和疾病史，且無抽煙習慣才可參與實驗。實驗開始前會先與受測者講解實驗過程，並讓受測者詳讀過受測者同意書(附錄一)之後並簽名。

在測試之前受測者需先填寫基本資料(附錄二)，其中身高體重為本實驗室中由同一人量測。身高量測是讓受測者脫鞋靠牆立正，以皮尺測量其身高，單位為公分；體重則是使用可精確量至小數點下第一位之電子體重計，受測者脫鞋站上體重計直到體重計穩定顯示數值，即為受測者之正確體重。而受測者之身體質量指數，則是在量測完身高體重後，由實驗者統一計算至小數點下第一位。

表 3-1：受測者基本特徵(n=18, mean±SD)

	男性 (n=9)	女性 (n=9)	綜合(n=18)
年齡(歲)	24.0 ± 1.5	24.6 ± 1.3	24.1 ± 1.6
身高(cm)	171.1 ± 4.7	163.3 ± 6.3	168.3 ± 8.1
體重(kg)	71.1 ± 4.7	64.0 ± 15.7	67.9 ± 13.1
身體質量指數(kg/m ²)	23.5 ± 2.2	21.7 ± 2.8	23.9 ± 4.0
最大耗氧量(L/min)	2.4 ± 0.4	2.3 ± 0.4	2.4 ± 0.4
休息心跳(BPM)	72.3 ± 11.9	77.0 ± 13.3	74.7 ± 12.5

第二節 實驗儀器設備與量測方法

3.2.1 呼吸防護具

本分為兩個實驗，實驗一主要是評估不同型式之呼吸防護具其生理負荷狀況，因此所選用的呼吸防護具包括 N95 球型有閥口罩、N95 球型無閥口罩、全罩式面罩搭配 N95 濾毒匣與全罩式面罩搭配化學濾毒罐，如圖 3-1(a)至(d)。

其中球型 N95 口罩皆為 3M 公司所生產，N95 球型無閥口罩型式為 3M™ 8210 N95 拋棄式防塵口罩，其無效腔體積為 120ml；N95 球型有閥口罩型式為 3M™ 8511 N95 拋棄式防塵口罩，其無效腔體積為 120ml。全罩式呼吸防護具、N95 濾毒匣及化學濾毒罐皆為 MSA 公司生產，全罩式面罩為半面式面具(雙罐)，型號 Comfo Elite，其無效腔體積為 800ml。化學濾毒罐為 GMA 有機，型號：815355；N95 濾毒匣之型號：818346。

N95 球型口罩有閥及無閥的材質其內襯不一樣，因而口罩的厚度也不一致，而選擇此兩種的口罩作測試的原因，是因為在查詢過 N95 口罩後，此兩種口罩的防護性質最相似，且形狀一致，因此選擇此兩種口罩來做測試。全罩式呼吸防護具的選擇分別搭配 N95 濾毒匣與化學濾毒罐，則是為了與 N95 口罩來做比較。

實驗二主要目的是要評估有閥無閥及有無講話作業對生理負荷之影響，因此選擇材質、防護效果一致 N95 船型有閥與無閥口罩進行評估，如圖 3-2(a)及(b)，除其材質、口罩厚度一致，屬於可摺疊再使用的船型 N95 口罩，因此兩個 N95 船型無閥口罩所量得的無效腔體積均為 220ml。

在本研究中，N95 球型無閥口罩簡稱為 BNV(Ball type without valve)，

N95 球型有閥口罩簡稱 BWV(Ball type with valve)，全罩式面罩搭配 N95 濾毒匣簡稱為 FWN(Full-facepiece with N95 filter)，全罩式面罩搭配化學濾毒罐簡稱為 FWC(Full-facepiece with chemical canister)，N95 船型無閥口罩簡稱 SNV(Ship type without valve)，N95 船型有閥口罩簡稱 SWV(Ship type with valve)，在結果的圖表中將以簡稱顯示。



圖 3-1: (a) N95 球型無閥口罩(BNV)，(b) N95 球型有閥口罩(BWV)，(c) 全罩式面罩搭配 N95 濾毒匣(FWN)，(d) 全罩式面罩搭配化學濾毒罐(FWC)



(a)



(b)

圖 3-2: (a) N95 船型無閥口罩(SNV)，(b) N95 船型有閥口罩(SWV)

3.2.2 呼吸生理使用分析儀器及其測量方法

本實驗紀錄之儀器記錄主機為 ADInstruments 公司(澳大利亞)所設計之生理訊號記錄器(Power Lab System)，如圖 3-3 所示，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，以將原始數據做進一步分析。



圖3-3：生理訊號接收放大器



圖3-4：氣體分析儀及流量計

吐氣氣體分析部份，則是使用氣體分析儀來分析(圖 3-4)，其包括氣

體分析儀及呼吸流量計偵測兩部份。氣體分析分析受測者所吐出的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；流量計(spirometry)所量測單位為 L/s，可量測的範圍為 1000L/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直接釋放於氣體抽取孔，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(Mixchanber)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 人因測功腳踏車

本實驗模擬工作負荷之測功計為Lode B.V.公司所生產之人因測功腳踏車Lode Corival Ergometer V2，如圖3-5所示，其最大可以負荷之重量為 160kg；阻力的設定可由0-999 W (瓦特)，精確度在100 W以下小於3 W，100-500W時小於3%，大於500 W時小於5%；踏板轉速可由0-180

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。其面板可以顯示即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 3-5：測功腳踏車(ergometry)

3.2.4 配戴呼吸防護具耗氧量測量方法

本實驗為量測配戴呼吸防護具時之耗氧量，特針對所使用全罩式面罩及3M有閥之N95口罩自行開發轉接頭(圖3-6、3-7)。在實驗開始前將轉接頭固定至全罩式面罩及N95有閥口罩之出氣閥，並利用熱容膠加以密合，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。其中全罩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執行作業時之準確耗氧量，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執行作業時之耗氧量。



圖 3-6：全罩式面罩轉接頭



圖 3-7：N95 口罩轉接頭

3.2.5 ECG 心跳量測方法

本研究是使用 ECG 測量心跳，其程序是利用電極貼片接收心跳之電位。電極貼片的位置可分為肢導及胸導(圖 3-8)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邊由下向上數之第三根肋骨、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，肩膀則是連接地線。因本實驗需踩踏腳踏車模擬工作負荷，因此選擇干擾最小的胸導，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，若是使用肢導方法，則容易因肢體擺動，使得干擾值增加，造成數據偵測的困難。

心跳量測時訊號先經過為生理訊號放大器(圖3-9)，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，在黏貼之前會先在將要黏貼處以酒精棉片擦拭，以去除皮膚表面的油脂，以免阻擾電位的傳遞，造成儀器錯誤的判讀。

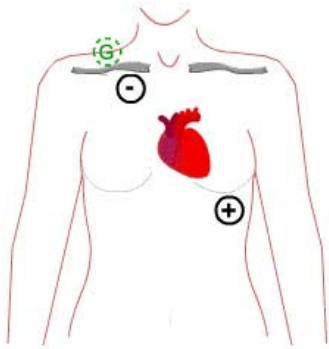


圖 3-8：胸導電極貼片位置



圖 3-9：ECG 接收放大器

資料來源：Internet

3.2.6 呼吸防護具內壓力測量方法

本實驗量測呼吸阻力使用的儀器為 Validyne Engineering 公司所生產之壓力轉換器(Pressure Transducer) (VAL-P55D-IN232S4A)，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。

量測口罩阻力的方法，是一律在呼吸防護具(包括 N95 口罩及全罩式面罩)的左上方使用 N95 面具測試組件(N95 kit)固定一個連接孔(如圖 3-11)，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 3-12)校正，確認實驗時的壓力皆為同一固定值。



圖 3-10：壓力轉換計



圖 3-11：壓力偵測位置



圖 3-12：水銀壓力計



圖 3-13：Nasal Temperature Probe

3.2.7 呼吸防護具內溫度量測方法

本實驗使用 Nasal Temperature Probe(圖 3-13)來偵測呼吸防護具內的溫度，其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 Nasal Temperature Probe 在不同溫度區間內的溫度差。

表 3-2：Nasal Temperature Probe 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 Nasal Temperature Probe 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，採用兩點校正法，校正其正確溫度。呼吸防護具內溫度的測試方法，是將 Nasal Temperature Probe 放置在口罩內靠近口鼻處，以精確量測口罩內呼吸溫度，訊號也是直接由生理訊號記錄器接收紀錄。

3.2.8 呼吸防護具吸氣與吐氣阻力量測設備

各種呼吸防護具因材質不同，因此具有不同的呼吸阻力，而本實驗為瞭解當呼吸防護具在不同的呼吸流量時，其流量對阻力的關係，因此以假人頭模擬配戴呼吸防護具，在不同吸氣及吐氣流量之呼吸阻力。為使實驗更接近實際狀況，因此將假人頭改造，於腦後方至假人鼻孔處裝置兩條塑膠管，模擬一般人之呼吸道狀況(圖 3-14)，再將模擬之呼吸道連接至一可抽氣及吹氣馬達，以模擬吸氣或吐氣狀況(圖 3-15)。本實驗所使

用之馬達為 HITAH 所製造，最大流量可達 200L/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為 180L/min。



圖 3-14：假人頭模擬呼吸道之正反面圖

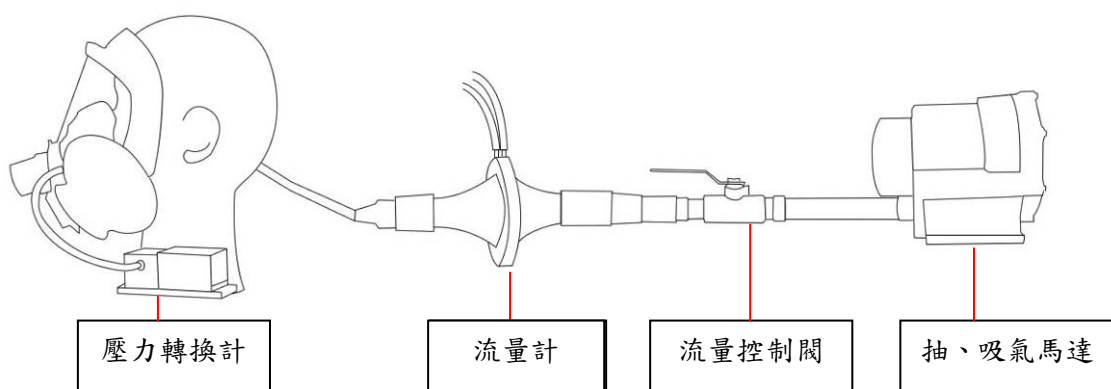


圖 3-15：模擬呼吸防護具呼吸阻力量測示意圖

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推估。因完整呼吸的呼吸壓力為包括吸氣與吐氣，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 實驗作業內容與負荷設定

由於 N95 口罩在醫療場所中使用機率較高，尤其是護理人員，本研究實驗作業負荷的大小是根據護理人員工作的負荷來設定。Hui⁽²³⁾在 2001 年針對護理人員評估其生理負荷，其中有量測護理人員在執行工作時的心跳數，發現其心跳數從 60 beat/min 到 130 beat/min 以上皆有(表 3-3)，且心跳數在 110 beat/min 以下者，主要是從事文書作業，而心跳數達 110 beat/min 以上者，則是從事搬運病人等較重度之作業，因此本實驗以心跳數 110 來劃分輕度及中度負荷。

由於有關心跳及耗氧量的相關研究已有不少，根據表 Åstrand 之研究報告，心跳在 90-110 beat/min 之間時，耗氧量會介於 0.5-1.0 L/min 之間，而心跳數在 110-130 beat/min 之間時，耗氧量會介於 1.0-1.5 L/min 之間⁽²⁴⁾，如表 3-4。因此本實驗將負荷的大小設定為輕度負荷耗氧量為 0.75 L/min，中度負荷耗氧量為 1.25 L/min。而關於腳踏車測功計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一定值⁽²⁴⁾，其相對應值如表 3-5，因此可以計算出當耗氧量為 0.75 L/min 時對應的負荷為 52.7 W，耗氧量為 1.25 L/min 時對應的負荷為 87.8 瓦。在經過

實驗前測後，決定將輕度負荷訂為 45 W，中度負荷訂為 85 W。

在有無講話負荷方面，為了模擬正常人在工作時的交談，並考慮說話時間均等分配於實驗的 10 分鐘內，採用 Power Point 製作固定字數與時間間格播放的文字投影片讓受試者閱讀，並請受試者依照投影片上顯示的文章以正常講話的速度唸出。而為考慮儀器的採樣時間是每 10 秒採一次，因此訂定每張投影片顯示時間每 17 秒跳換至下一張。每張投影片字數經前測結果，考慮一般人正常之唸字的速度，每一頁設定顯示字數約為 50 字左右。

文章內容之選用，為蒐集一般網路上常見的勵志小短文，並篩選不會讓受測者心情起伏過大之內容，文章內容長度皆超過實驗時間內可念的總字數。將放映投影片之顯示螢幕架設於受試者前方便閱讀的架子上，並調整至受測者覺得舒適可見之高度，於進行有講話作業負荷後一分鐘開始放映，直到階段負荷作業結束。

表 3-3： Result of HR and corresponding RPE score during various nursing duties (n=21)

Nursing duties	Heart rate(beats/min) ^a
Turning of patients	128 ± 7.4
Solo transfer	129 ± 10.9
Showering	127 ± 11.1
Shared transfer	118 ± 17.1
Changing pads and bed sheets	95 ± 13.6
Paper work	79 ± 10.2
Feeding	80 ± 8.1

^aValues given are means±standard deviations.

資料來源：Hui, 2001⁽²³⁾

表 3-4：Prolonged physical work classified as to severity of workload and to cardiovascular response

Workload	Oxygen uptake (L · min ⁻¹)	Heart rate (beat · min ⁻¹)
Light work	up to 0.5	up to 90
Moderate work	0.5-1.0	90-110
Heavy work	1.0-1.5	110-130
Very Heavy work	1.5-2.0	130-150
Extremely heavy work	over 2.0	150-170

資料來源：Åstrand, 2003⁽²⁴⁾

表 3-5：Oxygen uptake as related to work rate

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⁽²⁴⁾

3.2.11 呼吸防護具負荷作業之主觀不適問卷

本實驗採用之主觀不適問卷，主要根據 Lerman⁽¹⁾等的研究來設計以評估使用者配戴呼吸防護具時所感受到之不適 (Rate of Receptual Exortion)，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)，分析時除個別問項亦將全部問項分數進行加總。

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

實驗一的部分，共有三個自變相，包括：

- (1) 性別(gender, GR)：兩個 level。
- (2) 呼吸防護具種類(respirator type, RT)：包括四種呼吸防護具，分別為 N95 球型有閥口罩、N95 球型無閥口罩、全罩式面罩搭配 N95 濾毒匣與全罩式面罩搭配化學濾毒罐，及對照未配戴防護具負荷值，分析時視應變相可能有五個或四個 level。
- (3) 實驗作業負荷(workload, WL)：兩個 level，分別為輕度負荷 45W 及中度負荷 85W。

實驗二的部分共有四個應變項，包括：

- (1) 性別(GR)：兩個 level。
- (2) 呼吸防護具種類(respirator type, RT)：有出氣閥與無吐氣閥，兩個 level。
- (3) 實驗作業負荷(WL)：兩個 level，同實驗一。
- (4) 有無講話(Talk, TK)：作業時是否有講話兩個 level。

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、耗氧量、單位體重耗氧量、吸氣壓力、吐氣壓力、口罩內的溫度、呼吸流量、呼吸頻率與分通氣量，以及受測者之主觀不適問卷。定義說明如下：

- (1) 工作時心跳：在執行作業時的心跳頻率，單位為 BPM。
- (2) 工作心跳：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。
- (3) 耗氧量：指人體活動時每分鐘消耗氧氣的量，單位為 ml/min。
- (4) 單位體重耗氧量：指人體活動時每分鐘每公斤重消耗氧氣的量，有去除體重對耗氧量的影響，單位為 ml/min/kg。
- (5) 吸氣壓力：吸氣時口罩內的壓力，單位為 mmH₂O。
- (6) 吐氣壓力：吐氣時口罩內的壓力，單位為 mmH₂O。
- (7) 口罩內的溫度：執行作業負荷時，配戴的呼吸防護具罩內的溫度，單位為 °C。
- (8) 呼吸流量：執行作業負荷時吐氣的流量，單位為 L/s。
- (9) 呼吸頻率：執行作業負荷時呼吸的頻率，單位為 次/min。
- (10) 分通氣量：執行作業負荷時每分鐘呼吸的氣體容積量，單位為 ml/min。
- (11) 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。
- (12) 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。
- (13) 在運動過程中口罩內的溫度，會讓你覺得不舒服的程度：在運動過

程中，呼吸防護具內溫度而感到不舒服的程度。

(14) 戴呼吸防護具影響身體可運動的程度：配戴呼吸防護具因為其重量等因素影響執行作業能力的程度。

(15) 因為配戴呼吸防護具而造成的不舒服感覺：由於配戴呼吸防護具整體上覺得不舒適的感覺。

3.3.3 控制因子

本實驗之控制因子為實驗室環境，包括實驗進行中之溫度、濕度，溫度控制在大約 24°C，濕度大約在 55% 左右。受測者衣著方面，則是告知每次測驗穿著的型式皆須固定，及每次實驗穿著的衣量皆為一致。

第四節 實驗流程

3.4.1 呼吸防護具呼吸阻力模擬測試

在呼吸防護具生理負荷測試開始之前，本研究先測量實驗一二所選六種呼吸防護具之吸氣與吐氣阻力，以瞭解這些防護具之呼吸阻力。量測前，會先開啟馬達，確認假人頭與呼吸防護具的密合度，避免低估呼吸阻力，採漸進式，流量範圍設定在 0 至 180L/min。偵測採樣時間，為使每個流量時的壓力值穩定，因此採每次增加 5L/min 來量測，流量的紀錄時間皆為 1 分鐘，儀器採樣頻率為 1000/s，然後再將每分鐘內的壓力及流量加以平均，並將測得之數值繪出對應的流量壓力曲線圖。

3.4.2 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。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。為確認受測者是否達到最大耗氧量時，可藉由下列指標來判定：(1) 心跳：當受測者的心跳數達到並維持再 180 BPM 時，便視為已達最大負荷；(2) VO_2 是否穩定：觀察受測者之 VO_2 是否維持在同一水平，若負荷增加而 VO_2 卻無增加，即可視為已達最大耗氧量。

負荷增加設定的方式，參考 Heus⁽⁷⁾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，而轉速則不需固定在 55 rpm，直到一分鐘為止。本研究測量最大耗氧量負荷設定的值如表 3-6 所示。

表 3-6：最大耗氧量負荷設定

時間 \ 體重	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
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

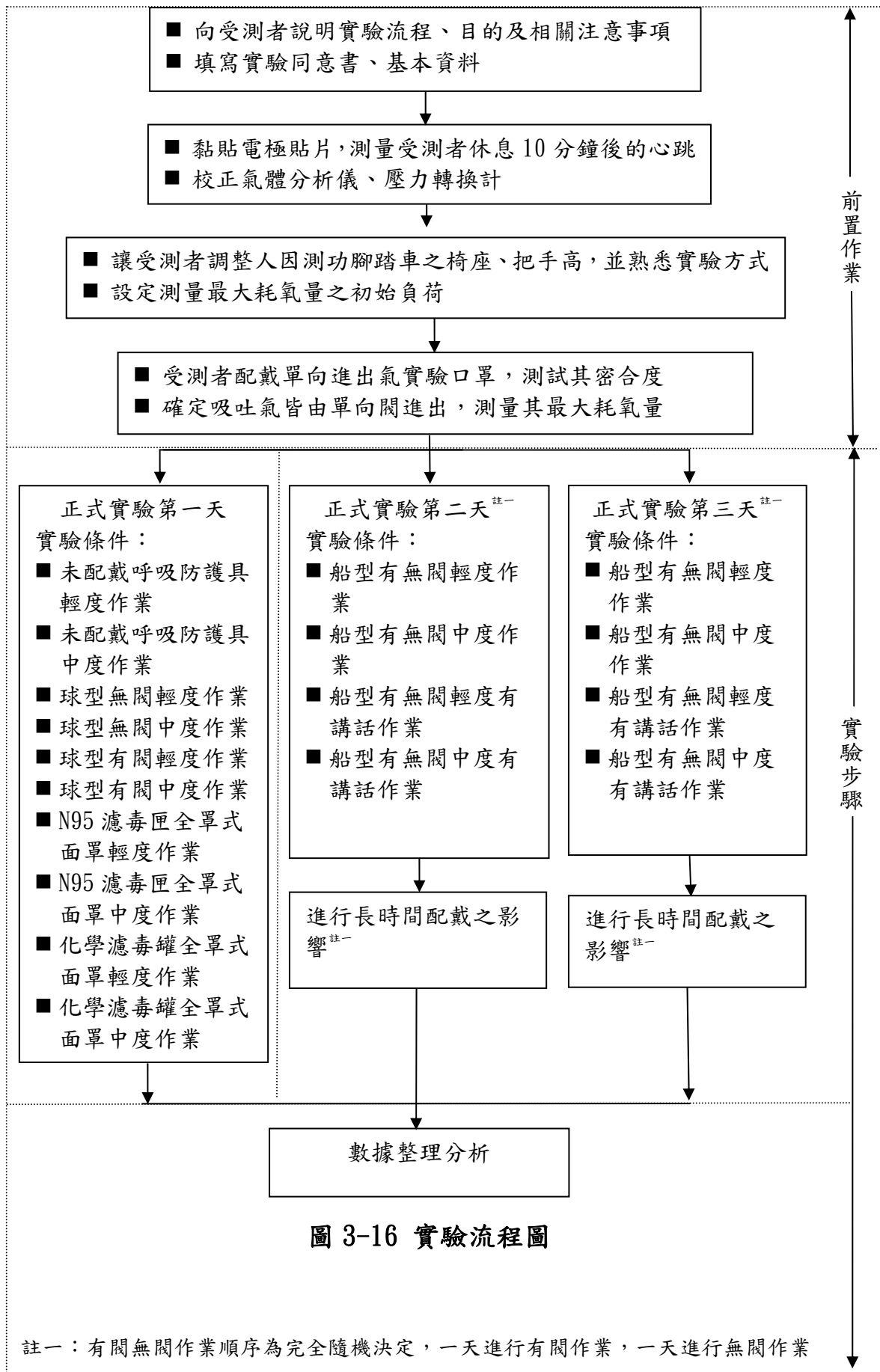
資料來源：修改 Heus⁽⁷⁾ test protocol

3.4.3 實驗流程

本研究實驗流程如圖 3-16，每一位受測者接需完成實驗一級實驗二共 18 種不同作業條件之實驗。實驗分別於四個不同工作天進行，每個工作天至少間隔一天，其中一天為前測(量測最大耗氧量)，實驗一於同一工作日完成，實驗二分成有閥與無閥於兩個不同工作日完成，說明如下：

- (1) 正式實驗第一天：測試圓型有閥 N95 口罩、圓型無閥 N95 口罩、N95 濾毒匣全罩式、化學濾毒罐全罩式面罩，每一種型式之呼吸防護具皆分別執行輕度及中度負荷 10 分鐘，中間的休息時間為 10 分鐘。為避免疲勞累積造成的偏差，本實驗將這四種呼吸防護具與輕度及中度負荷的測試順序隨機分配。
- (2) 正式實驗第二與第三天分別針對船型有閥或無閥口罩：執行輕度、中度負荷作業及輕度、中度負荷有講話等四種作業，並測試長時間配戴的影響。輕度負荷、中度負荷、輕度負荷且有講話、中度負荷且有講話之作業分別執行 10 分鐘，中間休息 10 分鐘，為減少疲勞累積造成的影響，此四種作業順序採隨機分配。長時間負荷評估則是在測試這四種作業結束後，受測者需繼續佩戴，且只可於於有空調之場所自由活動，經過 80 分鐘後再度執行前述四種作業，評估長時間配戴的影響，此部分數據不納入本報告中分析討論。

每一個實驗工作天實驗開始之前，皆要求受測者坐著休息，並測量休息時的心跳一分鐘，另外為了要瞭解未配戴呼吸防護具踩踏輕中度作業負荷時的生理狀況，因此正式實驗第一天實驗，請受測者在尚未配戴呼吸防護具的狀態下，執行輕中度負荷各 5 分鐘，中間一樣休息 10 分鐘，結束後再休息 10 分鐘以量測未配戴任何呼吸防護具時之心跳數據後再開始正式測試。



第五節 分析及統計方法

本研究紀錄受測者的心跳、吐出氣體的氧氣及二氧化碳濃度，吐氣的流量、口罩內的溫度及口罩內呼吸的壓力，實驗過程受測者踩踏腳踏車 10 分鐘，採用 5 分鐘後的數據來分析，因此時之受測者生理狀況已達穩定狀況。

每位受測者的耗氧量及分通氣量由 chart 5 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 Excell 軟體中，計算後五分鐘的平均耗氧量、分通氣量，及其標準差。為去除因體重而影響耗氧量的可能性，以及可與之前文獻結果比較，因此再將平均後的耗氧量除以每位受測者的體重，得其去除體重因素後的耗氧量值。

受測者呼吸頻率的計算部份，因並非所有的呼吸防護具皆有出氣閥的設計，因此為了避免因計算上的誤差，本研究選擇使用受測者之呼吸壓力波形來計算受測者的呼吸頻率，因此使用 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呼吸頻率，並計算出其標準差。

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。

溫度及心跳的部分，則是由先由 Chart 5 軟體計算出每分鐘的數值，再由 Excel 軟體計算分析其後 5 分鐘之平均值及標準差，心跳的部份，則是在計算其因為作業負荷而增加的心跳，將平均求得的心跳減去受測者

休息時的心跳，即為其因為作業負荷而增加的心跳。

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，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 英文版，並使用重覆量數變異數 (Repeated Measurement ANOVA) 分析方法對實驗之自變項與主觀不適問卷進行分析檢定，探討在不同呼吸防護具及作業狀況下的生理影響。



第四章 實驗結果

本章分別針對模擬呼吸防護具之呼吸阻力、第一與第二部份及主觀不適問卷的結果做說明及探討，針對根據第一部份及第二部分實驗共六種呼吸防護具、兩種作業負荷及兩種作業狀況進行重複量數變異數分析，其結果如表 4-3 及表 4-21 所示。

第一節 實驗用呼吸防護具呼氣與吐氣阻力曲線

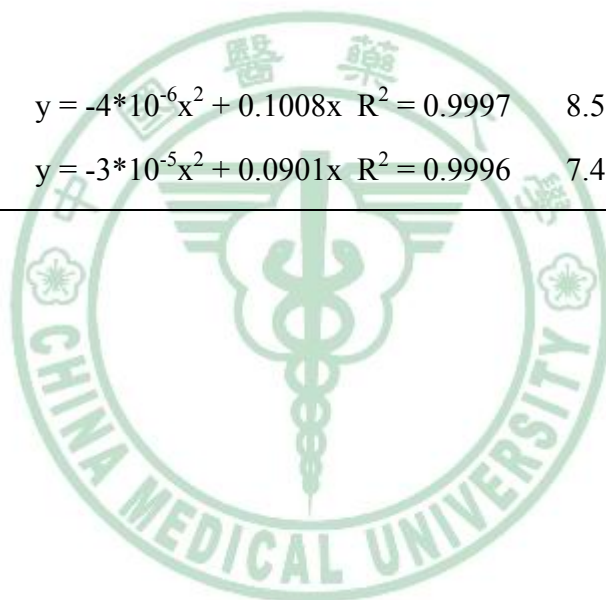
4.1.1 吸氣阻力

六種不同呼吸防護具之吸氣阻力結果如圖 4-1，由圖中曲線可以發現，吸氣阻力最高者，為化學濾毒罐全罩式面罩，接著是 N95 球形有閥口罩，而吸氣阻力最低的分別為 N95 球形無閥口罩及 N95 船型無閥口罩。

表 4-1 列出各呼吸防護具之吸氣阻力回歸方程式，所有方程式的 R^2 值皆有達到 0.99，由回歸方程式估計當流量為 85L/min 時的吸氣壓力及阻力，也可以很明顯的看出阻力最高的是化學濾毒罐全罩式面罩的阻力，達到 $1.22 \text{ cmH}_2\text{O} \times \text{min}^{-1} \times \text{l}^{-1}$ ，而所有球型及船型之 N95 口罩的吸氣阻力介於 $0.5 \sim 0.9 \text{ cmH}_2\text{O} \times \text{min}^{-1} \times \text{l}^{-1}$ 之間，由表 4-1 也可發現本研究所使用之 N95 口罩其吸氣阻力均合乎 NIOSH 在流速為 85L/min 時，低於 35mmH₂O 之規定。

表 4-1：呼吸防護具吸氣阻力回歸方程式及流量為 85L/min 時的阻力

呼吸防護具型式	回歸方程式	R 平方值	流量 85L/min 時壓力 (mmH ₂ O)	流量 85L/min 時 阻力 (cmH ₂ O*min ⁻¹ *l ⁻¹)
實驗一				
N95 球形有閥	$y = 2 \times 10^{-4}x^2 + 0.1254x$	$R^2 = 0.9999$	12.1	0.85
N95 球形無閥	$y = -4 \times 10^{-6}x^2 + 0.0889x$	$R^2 = 0.9998$	7.5	0.53
全罩式 N95 濾毒罐	$y = 2 \times 10^{-4}x^2 + 0.0758x$	$R^2 = 0.9997$	7.9	0.56
全罩式化學濾毒罐	$y = 3 \times 10^{-4}x^2 + 0.1776x$	$R^2 = 0.9998$	17.3	1.22
實驗二				
N95 船型有閥	$y = -4 \times 10^{-6}x^2 + 0.1008x$	$R^2 = 0.9997$	8.5	0.60
N95 船型無閥	$y = -3 \times 10^{-5}x^2 + 0.0901x$	$R^2 = 0.9996$	7.4	0.53



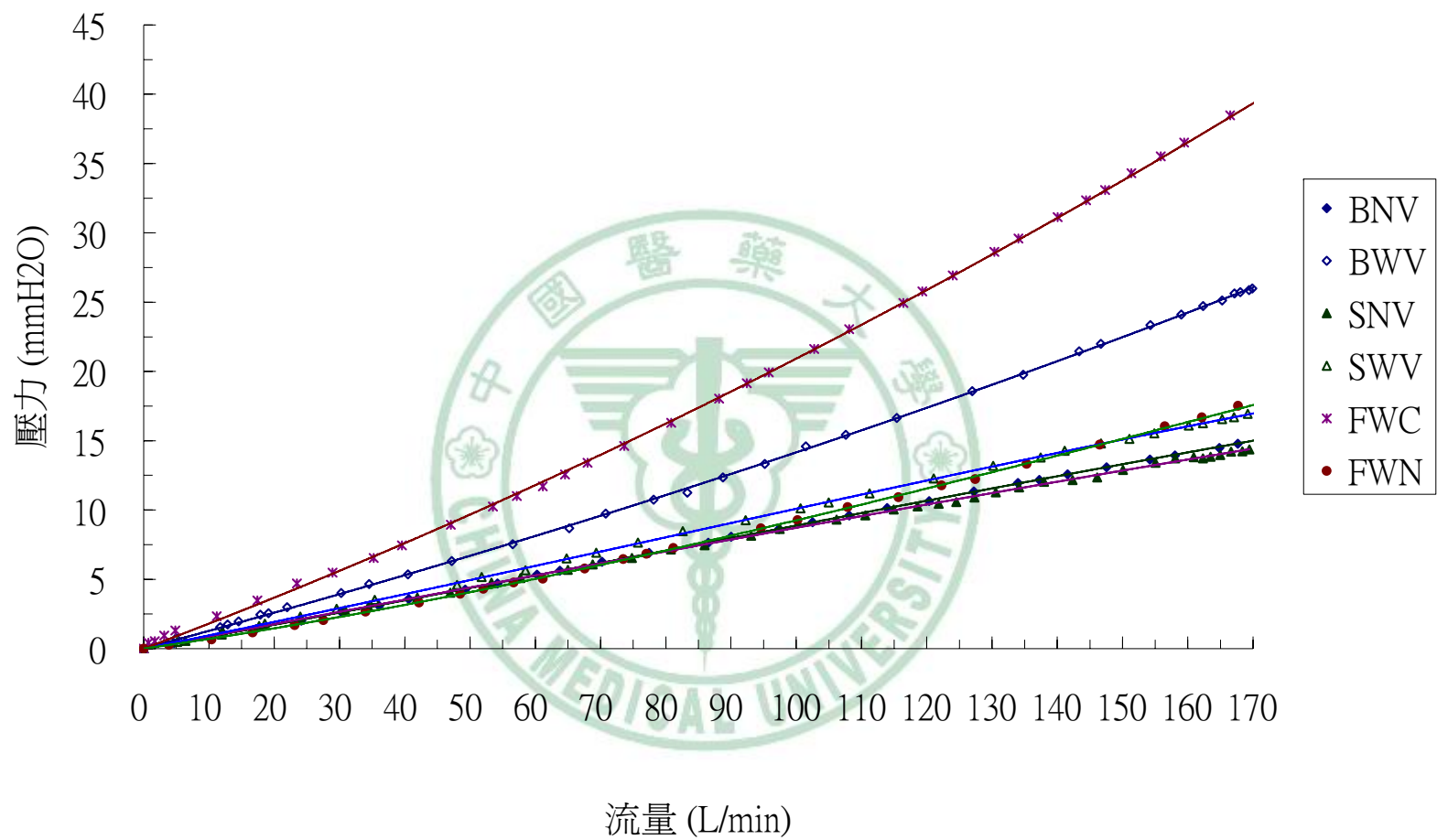


圖 4-1：呼吸防護具吸氣壓力對流量關係圖

4.1.2 吐氣阻力

五種不同呼吸防護具之吐氣阻力結果如圖 4-2 所示其中全罩式面罩搭配化學濾毒罐或 N95 濾毒匣之數據相同，由圖中曲線可以發現，吐氣阻力最高者，為 N95 球形無閥口罩，N95 船型無閥口罩次之，而有閥的呼吸防護具其吐氣阻力則差不多，數值明顯較低。

表 4-2 列出各呼吸防護具之吐氣阻力回歸方程式，所有方程式的 R^2 值皆有達到 0.9 以上，由回歸方程式估計流量為 85L/min 時的吐氣壓力及阻力，也可以很明顯的看出阻力最高的是 N95 球形無閥口罩的阻力，達到 $1.22 \text{ cmH}_2\text{O} \times \text{min}^{-1} \times \text{l}^{-1}$ ，而其他有閥之呼吸防護具的吸氣阻力介於 $0.1 \sim 0.5 \text{ cmH}_2\text{O} \times \text{min}^{-1} \times \text{l}^{-1}$ 之間，由表 4-2 也可發現本研究所使用之 N95 口罩其吸氣阻力均合乎 NIOSH 在流速為 85L/min 時，低於 25mmH₂O 之規定。

表 4-2：呼吸防護具吐氣阻力回歸方程式及流量為 85L/min 時的阻力

呼吸防護具型式	回歸方程式	R 平方值	流量 85L/min 時 壓力 (mmH ₂ O)	流量 85L/min 時阻力 (cmH ₂ O*min ⁻¹ *l ⁻¹)
實驗一				
N95 球形有閥	$y = 9 \times 10^{-5}x^2 + 0.0353x$	$R^2 = 0.9931$	2.4	0.17
N95 球形無閥	$y = 1.1 \times 10^{-4}x^2 + 0.1106x$	$R^2 = 0.9973$	17.3	1.22
全罩式	$y = -1 \times 10^{-4}x^2 + 0.0738x$	$R^2 = 0.9405$	6.2	0.44
實驗二				
N95 船型有閥	$y = 6 \times 10^{-5}x^2 + 0.0579x$	$R^2 = 0.9893$	4.5	0.32
N95 船型無閥	$y = 6 \times 10^{-4}x^2 + 0.0753x$	$R^2 = 0.9949$	9.3	0.65

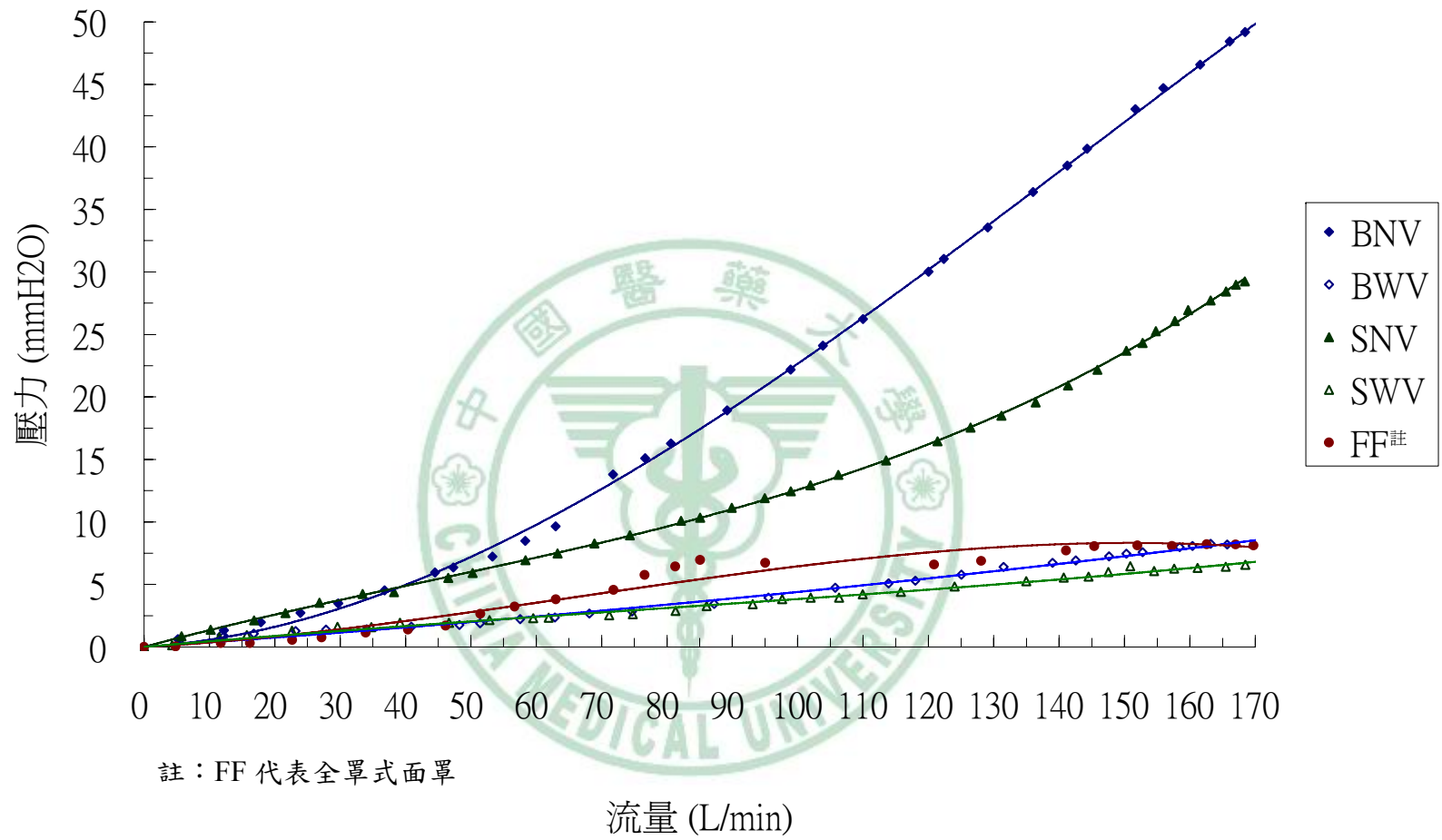


圖 4-2：呼吸防護具吐氣壓力對流量關係圖

第二節 全罩式面罩與 N95 口罩之生理負荷與主觀不適結果

實驗一的重複量數變異數分析結果如下表 4-3 所示，其描述性統計數據如下表 4-4，由表中可清楚看出配戴呼吸防護具之生理負荷及主觀不適主要與作業負荷及呼吸防護具之種類有關，在性別的部分沒有很大的差異，以下分別針對細項之生理負荷指標及主觀不適問卷結果進行說明。

4.2.1 工作時心跳

由表 4-5 受測者在不同呼吸防護具間的工作時心跳並無顯著的差異。但與未配戴呼吸防護具且相同作業負荷下的心跳皆有顯著的差異，如圖 4-3 所示。此結果顯示受測者只要配戴呼吸防護具，無論任何型式，皆會對配戴者造成顯著之工作中心跳增加，增加的範圍在 13.7 次/分鐘至 21.5 次/分鐘之間。在相同負荷作業下，女性的心跳皆顯著較男性高，如圖 4-4 所示。

表 4-3 全罩式面罩與 N95 口罩之生理負荷與主觀不適重複量數變異數分析結果(n=18)

	性別 (GR)	呼吸防護 具型式 (RT)	工作負荷 (WL)	RT xWL	RT xGR	GR xWL	個別差異
生理負荷							
工作時心跳 ^A	*	***	***				***
工作心跳 ^A		***	***				***
工作時心跳 ^B	+		***				
工作心跳 ^B			***				
吸氣壓力 ^B		***	***	***	+		***
吐氣壓力 ^B		***	***	***			***
呼吸頻率 ^B		**	***				***
口罩內溫度 ^B	*	***	*		+		***
分通氣量 ^C		***	***	***			***
耗氧量(L/min) ^C		***	***	***			***
單位體積耗氧量(ml/min/kg) ^C		***	***	**			***
主觀不適問卷(RPE)							
吸氣不舒適程度			***				***
吐氣不舒適程度			***				***
溫度不舒適程度		+	***				***
重量等影響作業程度		+	***			+	***
整體不舒服程度			***				***
總和 RPE			***				***

註：⁺p<0.1 *p<0.05 **p<0.01 ***p<0.001

^ART level 為五個，包括四種呼吸防護具與未配戴之比較

^BRT level 為四個，四種呼吸防護具之比較

^C僅有全罩式呼吸防護具和球型有閥口罩比較

表 4-4 全罩式面罩與 N95 口罩之生理負荷與主觀不適描述性統計數據

	N95 球型無閥口罩		N95 球型有閥口罩		全罩式面罩搭配 N95 濾毒匣		全罩式面罩搭配化學濾毒罐	
	輕度負荷	中度負荷	輕度負荷	中度負荷	輕度負荷	中度負荷	輕度負荷	中度負荷
工作時心跳 (BPM)	123	149	124	150	125	151	125	152
工作心跳 (BPM)	48	74	49	76	51	76	51	78
吸氣壓力 (mmH ₂ O)	10.8	16.0	12.6	19.2	12.0	18.0	18.3	30.4
吐氣壓力 (mmH ₂ O)	7.9	12.4	5.1	8.3	11.9	18.9	12.1	19.9
呼吸頻率 (cycle/min)	27.0	31.9	26.8	32.4	30.2	35.3	28.5	34.5
口罩內溫度(°C)	34.1	33.8	33.7	33.2	32.4	31.9	32.2	31.9
分通氣量(L/min)	NA	NA	11.87	22.31	27.75	47.32	28.36	48.34
耗氧量(L/min)	NA	NA	0.47	0.83	0.89	1.47	0.90	1.47
單位體積耗氧量 (ml/min/kg)	NA	NA	6.78	12.95	13.82	22.64	13.87	22.70

表 4-5 各呼吸防護具的工作時心跳

呼吸防護具種類	工作負荷	平均數	標準誤	95%信賴區間	
		次/分鐘	次/分鐘	下限	上限
未戴口罩	輕度負荷	109	3	102	116
	中度負荷	131	3	124	138
N95 球形無閥口罩	輕度負荷	123	4	115	131
	中度負荷	149	4	141	157
N95 球形有閥口罩	輕度負荷	124	2	119	128
	中度負荷	150	3	143	156
N95 濾毒匣全罩式面罩	輕度負荷	125	3	119	132
	中度負荷	151	3	144	157
化學濾毒罐全罩式面罩	輕度負荷	125	4	117	133
	中度負荷	152	3	146	159

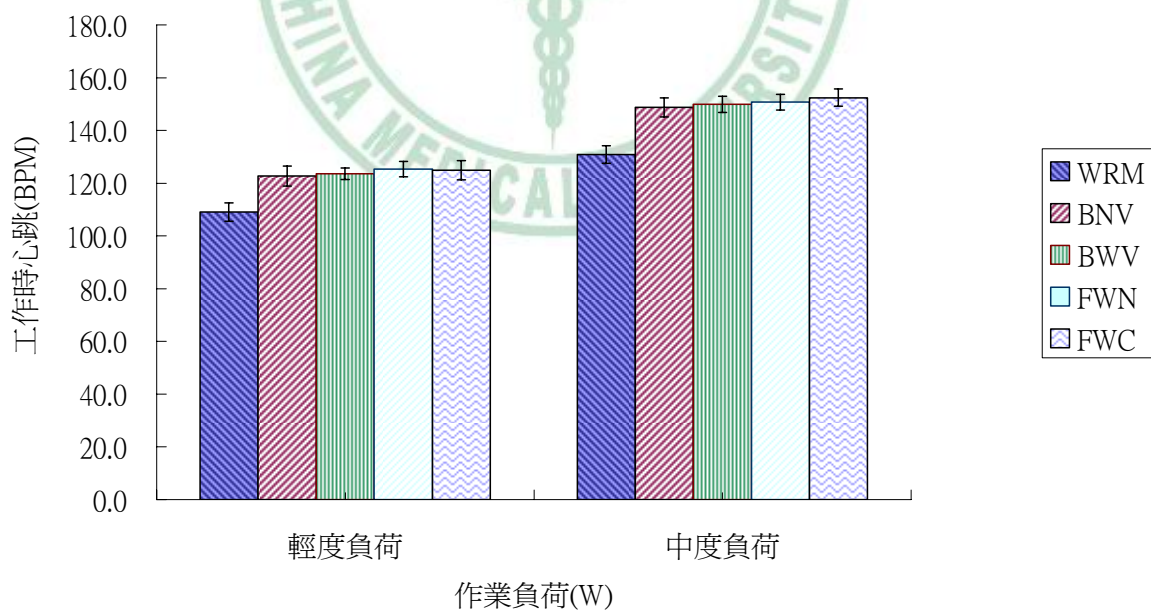


圖 4-3 各呼吸防護具的工作時心跳

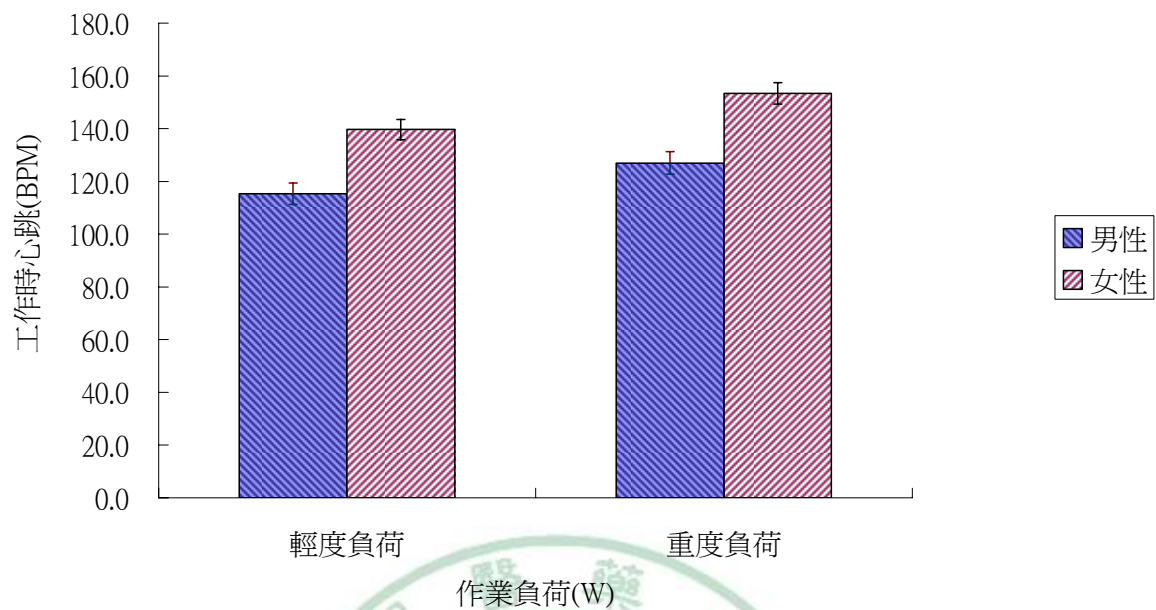


圖 4-4 輕中度作業的工作時心跳

4.2.2 工作心跳

由表 4-3 可發現性別、防護具種類與工作負荷對工作心跳之影響是類似的。以下為實驗一不同作業條件下之工作心跳如表 4-6 所示，由此表可以看出其與工作時心跳的結果一致，在不同型式之呼吸防護具間平均心跳增加的次數差不多，無顯著的差異，但較未配戴呼吸防護具時的心跳增加則有顯著的差異，因此配戴呼吸防護具對受測者心跳的增加也有明顯的影響。在性別的部分，對於作業負荷增加的心跳趨勢一致，女性皆較男性高，且有達顯著差異，如圖 4-5。

表 4-6 各呼吸防護具之工作心跳

呼吸防護具種類	工作負荷	平均數	標準差	95%信賴區間	
		次/分鐘	次/分鐘	下限	上限
未戴口罩	輕度負荷	35	4	26	44
	中度負荷	57	4	49	64
N95 球型無閥口罩	輕度負荷	48	4	41	56
	中度負荷	74	3	67	82
N95 球型有閥口罩	輕度負荷	49	3	42	56
	中度負荷	76	3	69	82
N95 濾毒匣全罩式面罩	輕度負荷	51	4	43	59
	中度負荷	76	3	69	83
化學濾毒罐全罩式面罩	輕度負荷	51	4	43	58
	中度負荷	78	3	72	85

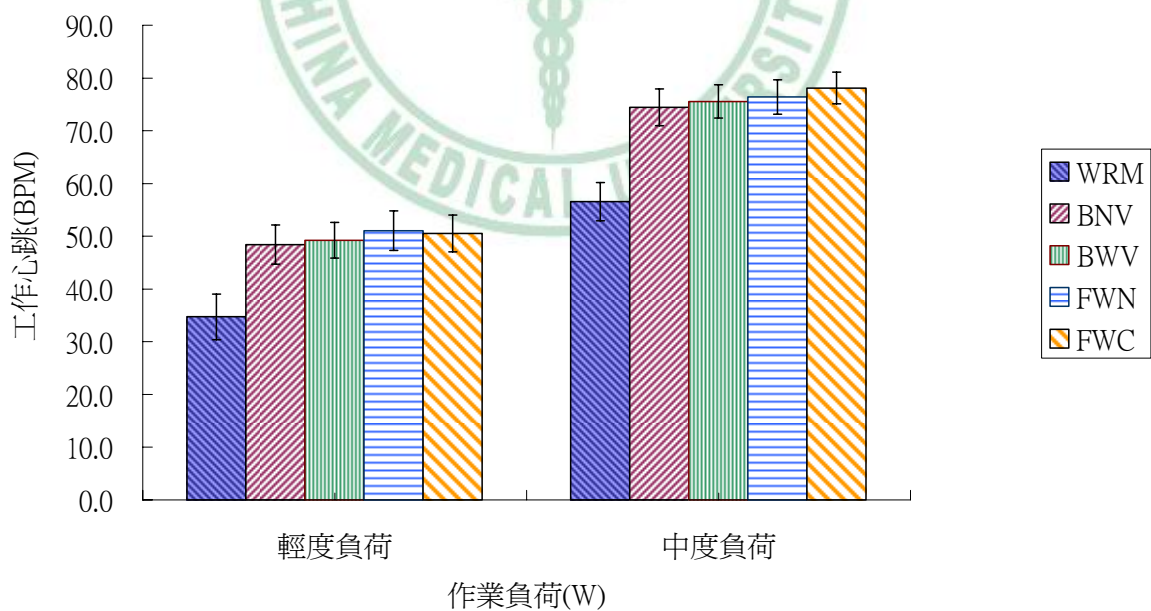


圖 4-5 各呼吸防護具的工作心跳

4.2.3 吸氣壓力

在輕度及中度作業負荷時的吸氣壓力整理如表 4-7，在中度負荷時的吸氣壓力皆高於輕度負荷，且與性別無關，如表 4-3 所示。由圖 4-6 可以看出，吸氣壓力無論在輕度負荷或是中度負荷，男女性的吸氣壓力值是非常相近的，並無差異。

表 4-7 輕中度負荷之吸氣壓力

性別	工作負荷	平均數	標準差	95%信賴區間	
				mmH ₂ O	mmH ₂ O
男性	輕度負荷	13.57	0.67	12.14	15.00
	中度負荷	20.42	1.22	17.84	23.00
女性	輕度負荷	13.25	0.67	11.82	14.68
	中度負荷	21.43	1.22	18.85	24.01

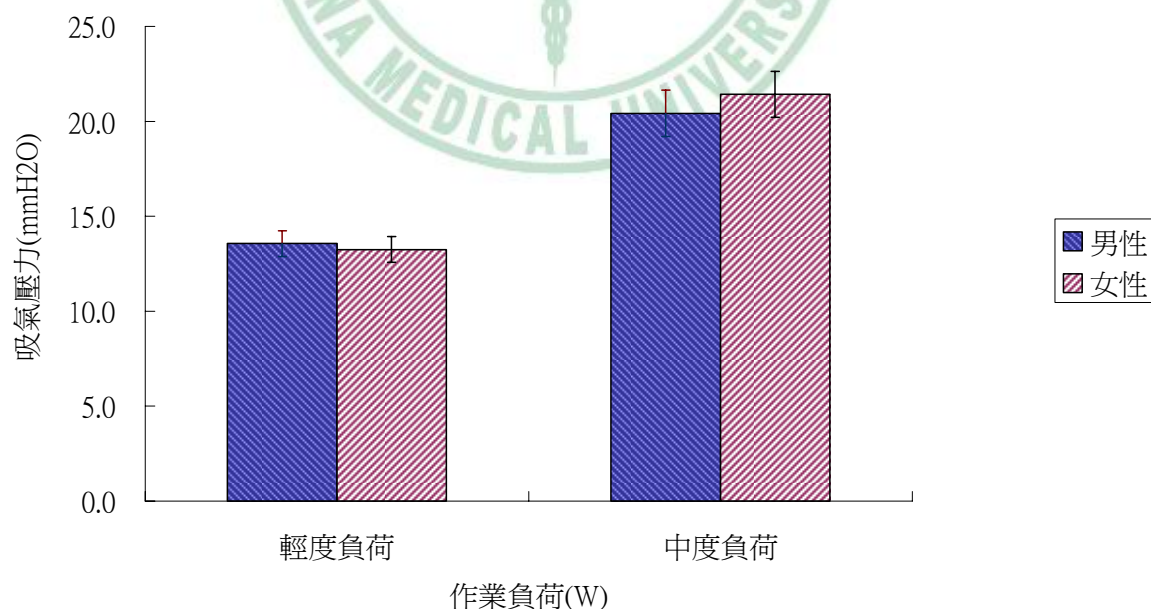


圖 4-6 輕中度負荷之吸氣壓力

而不同呼吸防護具間的吸氣壓力則有顯著的差異，整理如表 4-8，且由圖 4-7 可以清楚看出化學濾毒罐全罩式面罩的吸氣壓力最高，而 N95 無閥口罩之吸氣阻力最低，而 N95 有閥口罩與 N95 濾毒匣全罩式面罩的吸氣壓力則很相近。

表 4-8 各呼吸防護具之吸氣壓力

呼吸防護具種類	工作負荷	平均數	標準差	95%信賴區間	
		mmH ₂ O	mmH ₂ O	下限	上限
N95 球型無閥口罩	輕度負荷	10.79	0.41	9.93	11.65
	中度負荷	16.02	0.72	14.50	17.53
N95 球型有閥口罩	輕度負荷	12.55	0.66	11.15	13.95
	中度負荷	19.25	1.01	17.11	21.38
N95 濾毒匣全罩式面罩	輕度負荷	12.00	0.72	10.48	13.51
	中度負荷	18.03	0.93	16.06	20.00
化學濾毒罐全罩式面罩	輕度負荷	18.30	0.86	16.46	20.13
	中度負荷	30.40	1.81	26.56	34.24

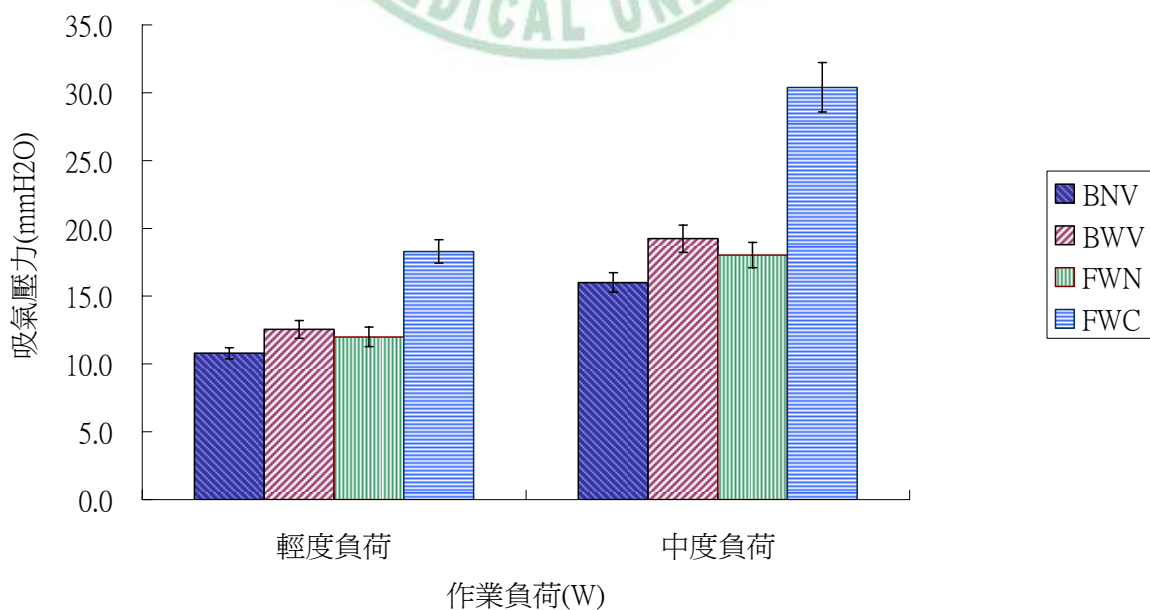


圖 4-7 各呼吸防護具之吸氣壓力

4.2.4 吐氣壓力

在不同負荷下的吐氣壓力也有顯著的差異，整理如表 4-9，可發現受測者在輕中度負荷時的吐氣壓力影響也很明顯，而在性別的部分，雖有些差異，但未達顯著水準，不過仍可以察覺男性的吐氣壓力稍高於女性，如圖 4-8。

表 4-9 輕中度作業負荷之吐氣壓力

性別	工作負荷	平均數	標準差	95%信賴區間	
		mmH ₂ O	mmH ₂ O	下限	上限
男性	輕度負荷	9.85	0.84	8.07	11.62
	中度負荷	15.53	1.32	12.73	18.33
女性	輕度負荷	8.66	0.84	6.88	10.44
	中度負荷	14.17	1.32	11.38	16.97

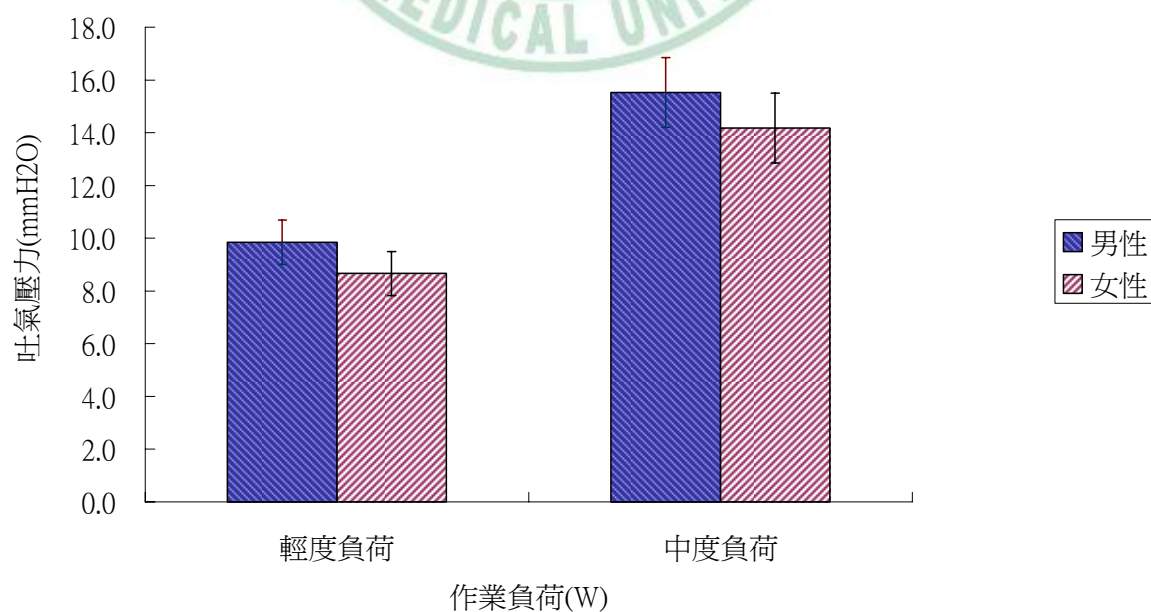


圖 4-8 輕中度作業負荷之吐氣壓力

而不同呼吸防護具的吐氣壓力，整理如表 4-10，吐氣壓力最高為 N95 圓型無閥口罩，最低為化學濾毒罐全罩式面罩，與吸氣壓力的結果相反，差異的程度也有達到顯著水準($p<0.001$)，如圖 4-9。

表 4-10 各呼吸防護具之吐氣壓力

呼吸防護具種類	工作負荷	平均數	標準差	95%信賴區間	
		mmH ₂ O	mmH ₂ O	下限	上限
N95 球型無閥口罩	輕度負荷	7.87	0.39	7.05	8.70
	中度負荷	12.37	0.84	10.59	14.15
N95 球型有閥口罩	輕度負荷	5.10	0.42	4.20	6.00
	中度負荷	8.27	0.51	7.18	9.35
N95 濾毒匣全罩式面罩	輕度負荷	11.90	0.88	10.02	13.77
	中度負荷	18.90	1.44	15.84	21.96
化學濾毒罐全罩式面罩	輕度負荷	12.14	0.99	10.04	14.24
	中度負荷	19.87	1.74	16.18	23.57

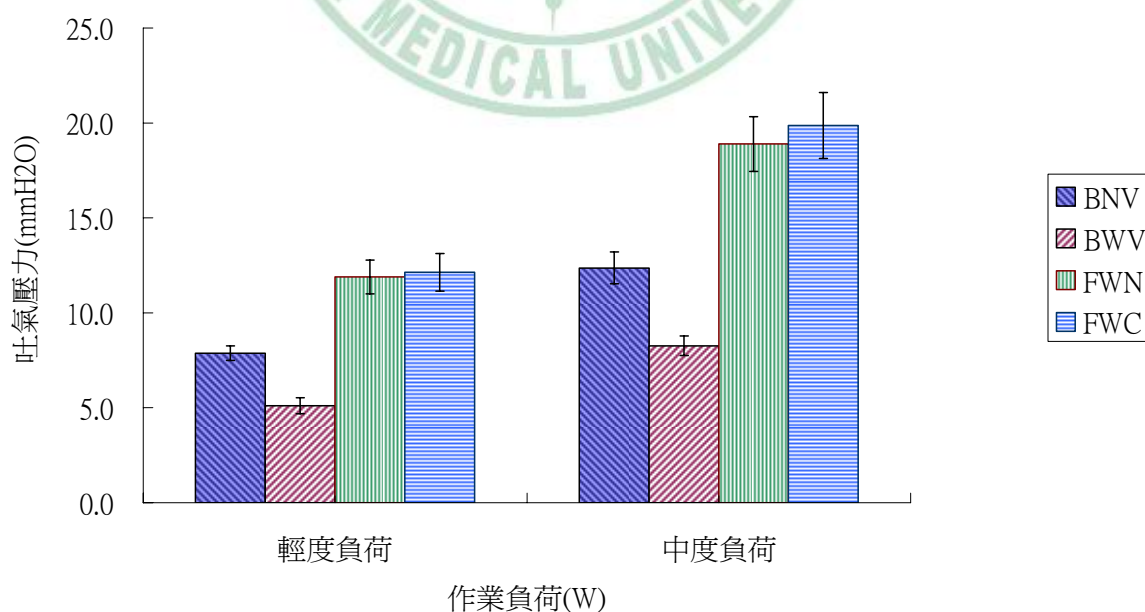


圖 4-9 各呼吸防護具之吐氣壓力

4.2.5 呼吸頻率

呼吸頻率在作業負荷中也有很明顯的差異($p < 0.001$)，整理如表 4-11。在表 4-11 中可以發現呼吸頻率在性別中皆是女性高於男性，但並無達到顯著的差異。在不同型式之呼吸防護具的呼吸頻率，也有達到顯著上的差異($p < 0.001$)，且為 N95 球型有無閥口罩與全罩式面罩之間有達到顯著差異，在 N95 口罩之間則無差異，全罩式面罩之間亦是無差異，整理如表 4-12，由圖 4-10 中可以明顯看出上述的趨勢。

表 4-11 輕中度負荷之呼吸頻率

性別	工作負荷	平均數	標準差	95%信賴區間	
		次/分鐘	次/分鐘	下限	上限
男性	輕度負荷	26.10	1.81	22.26	29.95
	中度負荷	30.59	2.54	25.21	35.98
女性	輕度負荷	30.15	1.81	26.31	33.99
	中度負荷	36.47	2.54	31.09	41.86

表 4-12 各呼吸防護具之呼吸頻率

呼吸防護具種類	工作負荷	平均數	標準差	95%信賴區間	
		次/分鐘	次/分鐘	下限	上限
N95 球型無閥口罩	輕度負荷	26.97	1.25	24.31	29.62
	中度負荷	31.93	1.84	28.02	35.84
N95 球型有閥口罩	輕度負荷	26.79	1.06	24.54	29.05
	中度負荷	32.43	1.61	29.01	35.84
N95 濾毒匣全罩式面罩	輕度負荷	30.24	1.76	26.51	33.98
	中度負荷	35.25	1.92	31.19	39.32
化學濾毒罐全罩式面罩	輕度負荷	28.50	1.43	25.47	31.53
	中度負荷	34.52	2.05	30.17	38.87

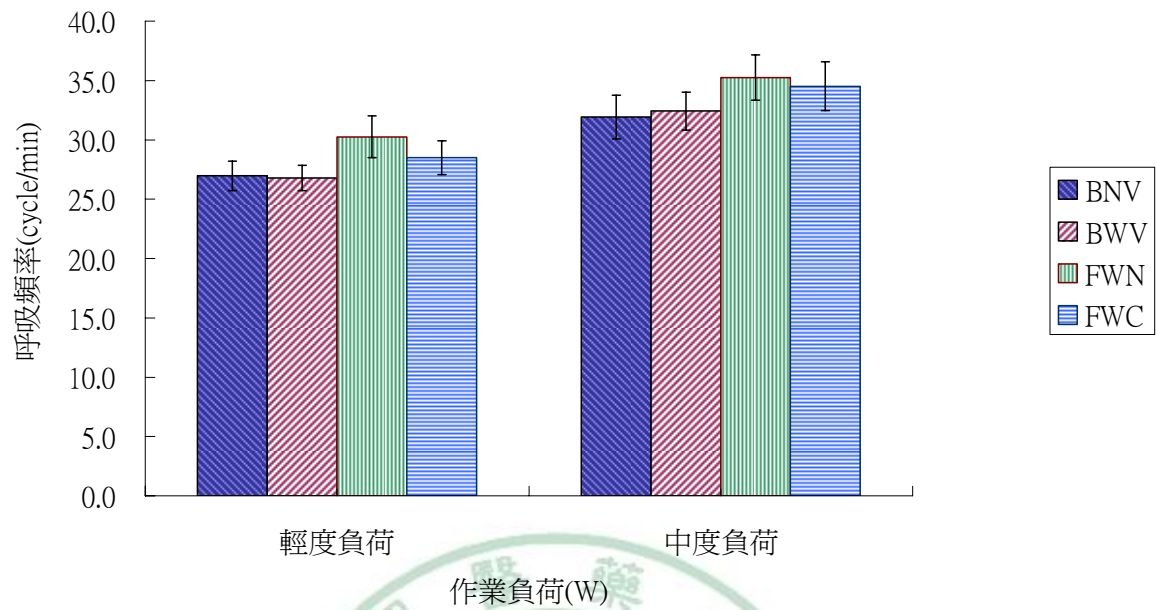


圖 4-10 各呼吸防護具之呼吸頻率

4.2.6 呼吸防護具內溫度

在不同作業負荷下呼吸防護具內的溫度有達到顯著上的差異 ($p < 0.05$)，且在不同性別之間也有顯著的差異，呼吸防護具內的溫度皆為男性高於女性，整理如表 4-13。

表 4-13 輕中度負荷呼吸防護具內之溫度

性別	工作負荷	平均數	標準差	95%信賴區間	
				下限	上限
		度	度		
	$p < 0.05$				
男性	輕度負荷	33.49	0.30	32.84	34.13
	中度負荷	33.18	0.29	32.57	33.79
女性	輕度負荷	32.67	0.30	32.03	33.31
	中度負荷	32.15	0.29	31.54	32.76

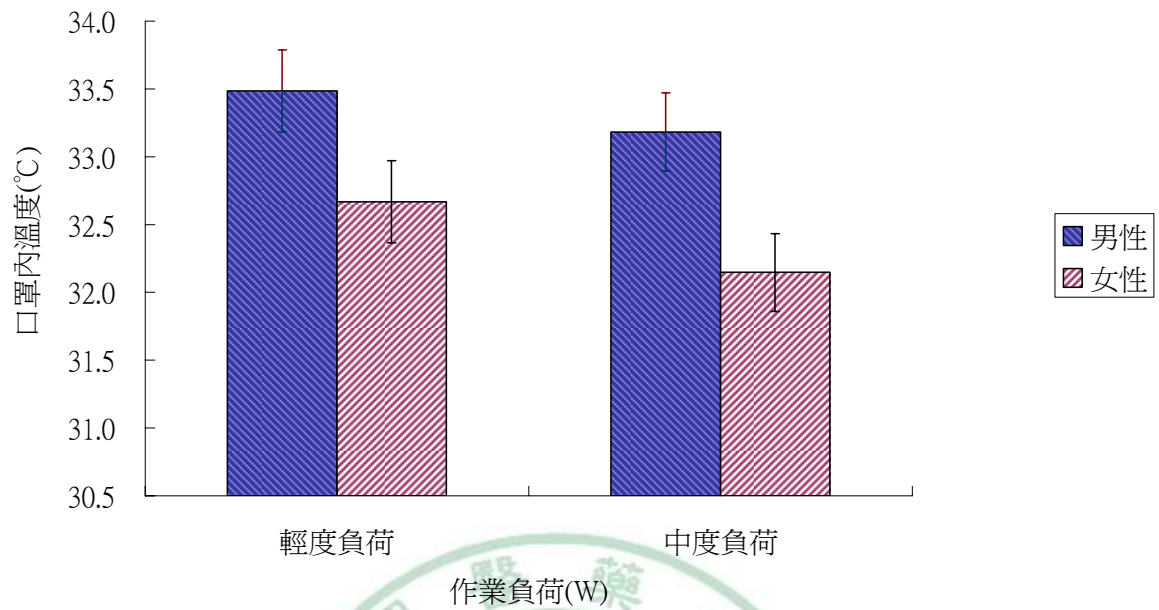


圖 4-11 輕中度負荷呼吸防護具內之溫度

在呼吸防護具種類之溫度部分，也有達到顯著差異($p < 0.05$)，整理如表 4-14。除全罩式面罩之間的溫度沒有顯著差異之外，N95 口罩與全罩式面罩，及 N95 有無閥口罩之間，溫度皆有明顯的差異，顯示 N95 口罩內的溫度皆高於全罩式面罩，且無閥之 N95 口罩又高於有閥之 N95 口罩，由圖 4-12 可以明顯看出此趨勢。

表 4-14 各呼吸防護具內之溫度

呼吸防護具種類	工作負荷	平均數	標準差	95%信賴區間	
		度	度	下限	上限
N95 球型無閥口罩	輕度作業	34.05	0.16	33.71	34.39
	中度作業	33.76	0.17	33.41	34.12
N95 球型有閥口罩	輕度作業	33.69	0.16	33.36	34.02
	中度作業	33.15	0.30	32.51	33.79
N95 濾毒匣全罩式面罩	輕度作業	32.41	0.42	31.53	33.29
	中度作業	31.88	0.32	31.20	32.57
化學濾毒罐全罩式面罩	輕度作業	32.16	0.42	31.27	33.05
	中度作業	31.87	0.33	31.17	32.56

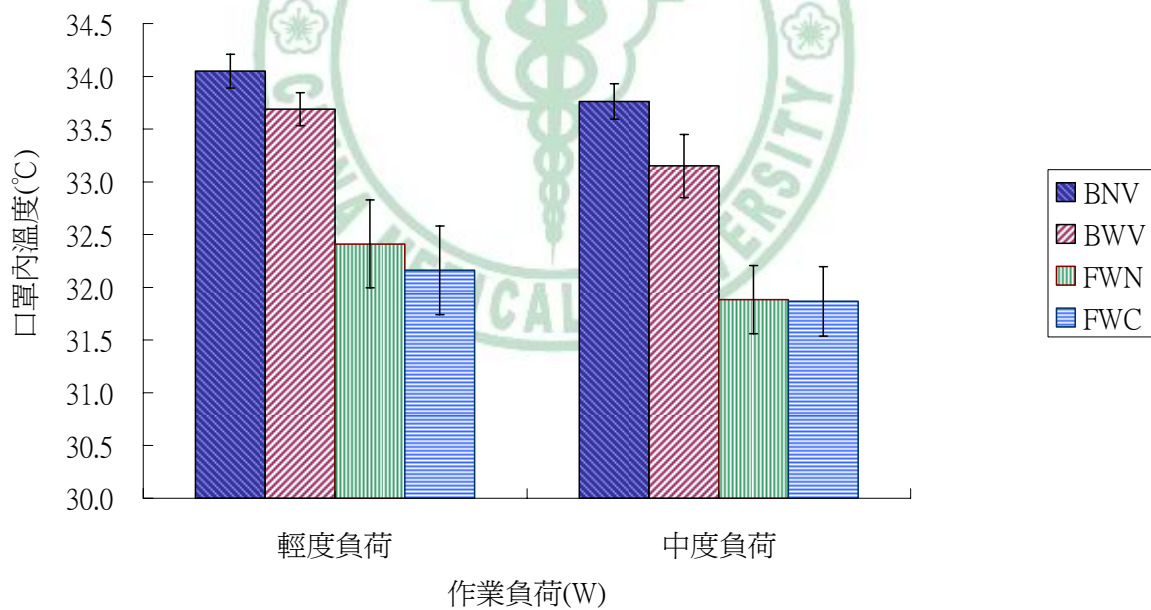


圖 4-12 各呼吸防護具內之溫度

4.2.7 分通氣量

在分通氣量的部分，只能針對有閥的呼吸防護具做測試，其結果顯示

在輕及中度負荷有達顯著差異，整理如表 4-15，而其結果在性別的部分是一致的，由圖 4-13 中可明顯看出，分通氣量與性別無關。

表 4-15 輕中度作業之分通氣量

性別	工作負荷 p<0.001	平均數	標準差	95%信賴區間	
		L/min	L/min	下限	上限
男性	輕度作業	23.06	1.18	20.56	25.56
	中度作業	38.80	1.74	35.11	42.48
女性	輕度作業	22.26	1.18	19.77	24.76
	中度作業	39.85	1.74	36.16	43.53

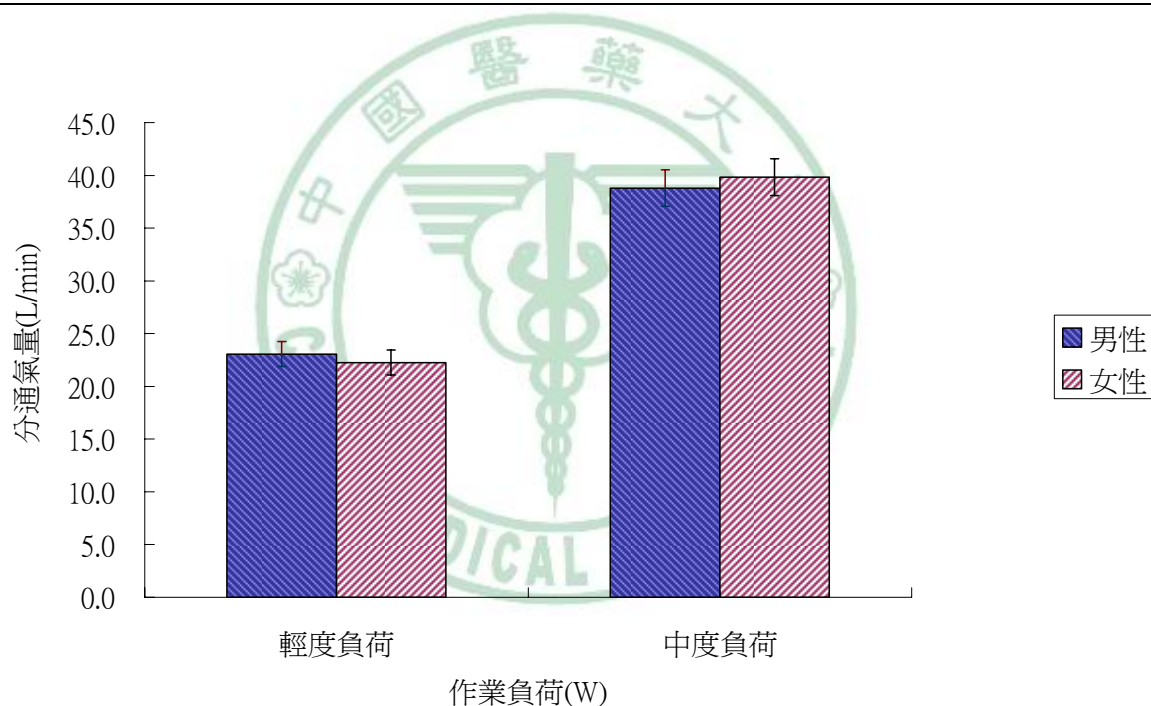


圖 4-13 輕中度作業之分通氣量

而在不同型式之呼吸防護具間，其分通氣量也有達到統計上的差異，整理如表 4-16，並且由圖 4-14 可以明顯發現全罩式面罩之分通氣量高於 N95 口罩，而全罩式面罩之間之分通氣量則非常相近，無顯著的差異。

表 4-16 各呼吸防護具之分通氣量

呼吸防護具種類	工作負荷	平均數	標準差	95%信賴區間	
		L/min	L/min	下限	上限
N95 球型有閥口罩	輕度負荷	11.87	0.89	9.98	13.76
	中度負荷	22.31	0.83	20.56	24.06
N95 濾毒匣全罩式面罩	輕度負荷	27.75	1.20	25.21	30.28
	中度負荷	47.32	1.68	43.77	50.88
化學濾毒罐全罩式面罩	輕度負荷	28.36	1.51	25.17	31.56
	中度負荷	48.34	2.33	43.40	53.28

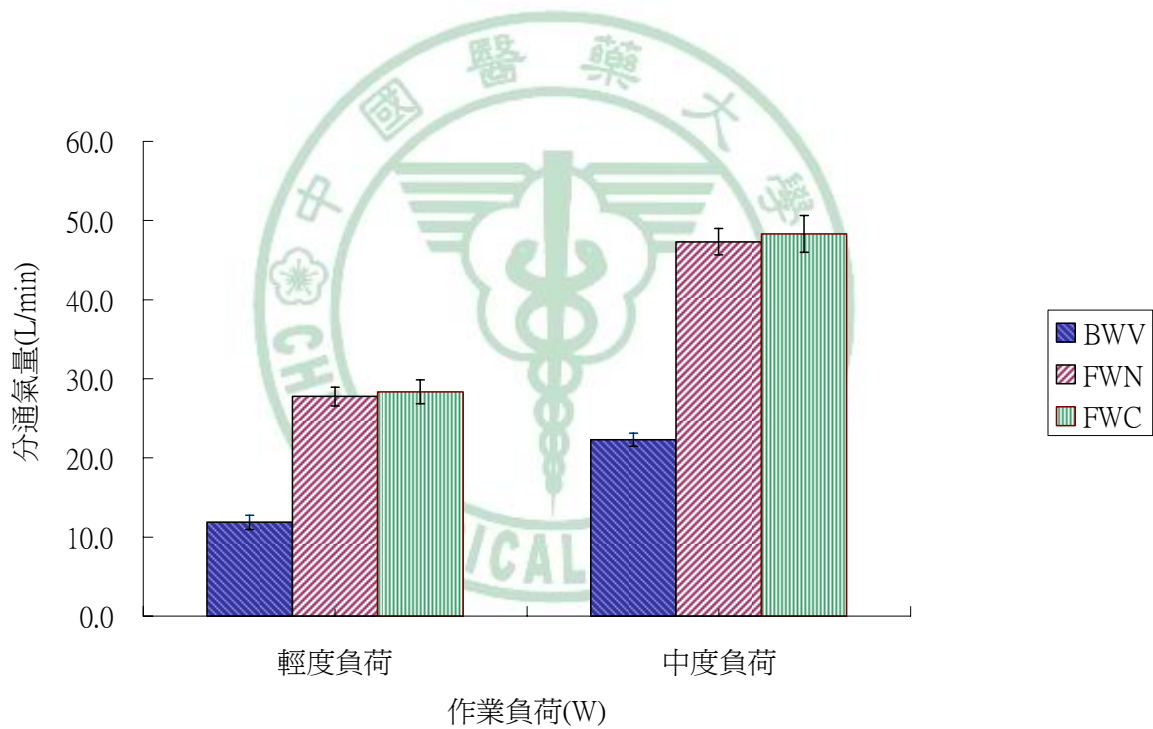


圖 4-14 各呼吸防護具之分通氣量

4.2.8 耗氧量

耗氧量部分僅能針對有閥之呼吸防護具進行測試。其在不同作業負荷之耗氧量有達到顯著差異，整理如表 4-17，而在性別的部分雖呈現男性

較高於女性，不過並沒有達到顯著的差異。其耗氧量結果在輕度工作為 0.75 L/min - 0.8 L/min 之間，在中度負荷為 1.2 L/min - 1.3 L/min 之間，與實驗開始的設定一致。

表 4-17 輕中度負荷之耗氧量

性別	工作負荷	平均數	標準差	95%信賴區間	
		L/min	L/min	下限	上限
	p<0.001				
男性	輕度作業	0.79	0.04	0.71	0.87
	中度作業	1.31	0.05	1.20	1.43
女性	輕度作業	0.72	0.04	0.63	0.80
	中度作業	1.20	0.06	1.08	1.32

而在不同呼吸防護具的部份，其耗氧量有達顯著的差異，整理如表 4-18，而由圖 4-15 可以發現，N95 口罩之耗氧量低於全罩式面罩之耗氧量，全罩式面罩之間的耗氧量則非常相近，並無顯著差異。

表 4-18 各呼吸防護具之耗氧量

呼吸防護具種類	工作負荷	平均數	標準差	95%信賴區間	
		L/min	L/min	下限	上限
	p<0.001				
N95 球型有閥口罩	輕度負荷	0.47	0.04	0.40	0.55
	中度負荷	0.83	0.02	0.79	0.88
N95 濾毒匣全罩式面罩	輕度負荷	0.89	0.04	0.81	0.97
	中度負荷	1.47	0.05	1.36	1.58
化學濾毒罐全罩式面罩	輕度負荷	0.90	0.04	0.81	0.98
	中度負荷	1.47	0.06	1.33	1.60

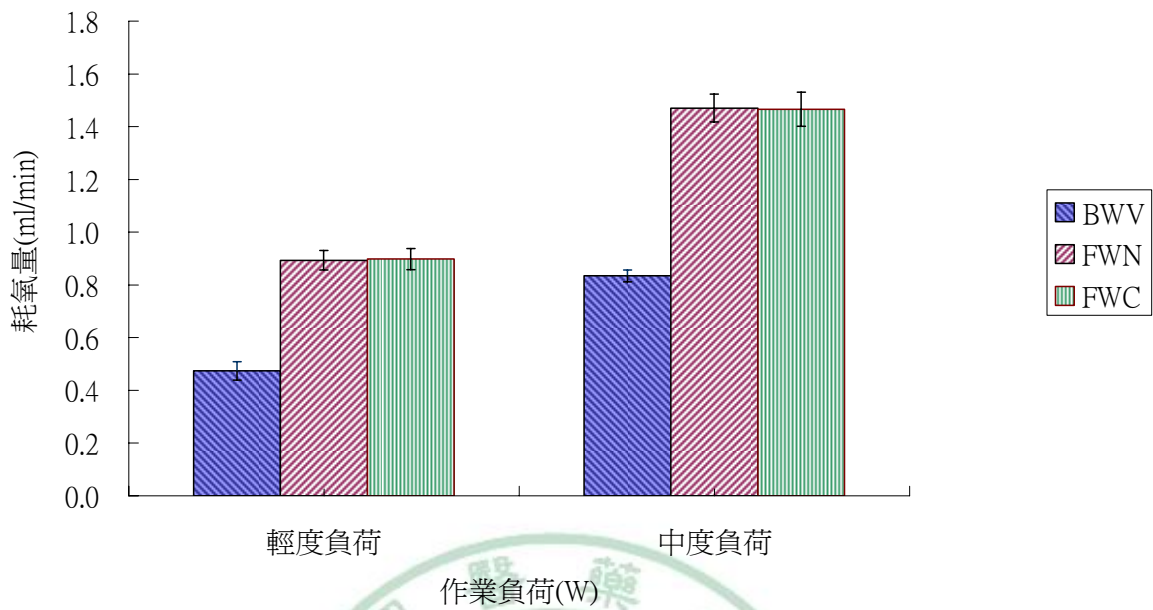


圖 4-15 各呼吸防護具之耗氧量

4.2.9 單位體重耗氧量

本研究再將耗氧量除以每位受測者之體重，以分析其單位結果，發現其在不同作業負荷下有達到顯著差異，整理如表 4-19。由圖 4-16 可以發現，去除體重影響後得到之耗氧量也與未去除體重影響之耗氧量結果一致，雖女性稍高於男性，但並無達到統計上的顯著差異。

表 4-19 輕中度作業負荷之單位體重耗氧量

性別	工作負荷	平均數	標準差	95%信賴區間	
				下限	上限
		ml/min/kg	ml/min/kg		
男性	輕度作業	11.20	0.63	9.85	12.54
	中度作業	18.53	1.09	16.21	20.84
女性	輕度作業	11.78	0.63	10.44	13.13
	中度作業	20.34	1.09	18.02	22.66

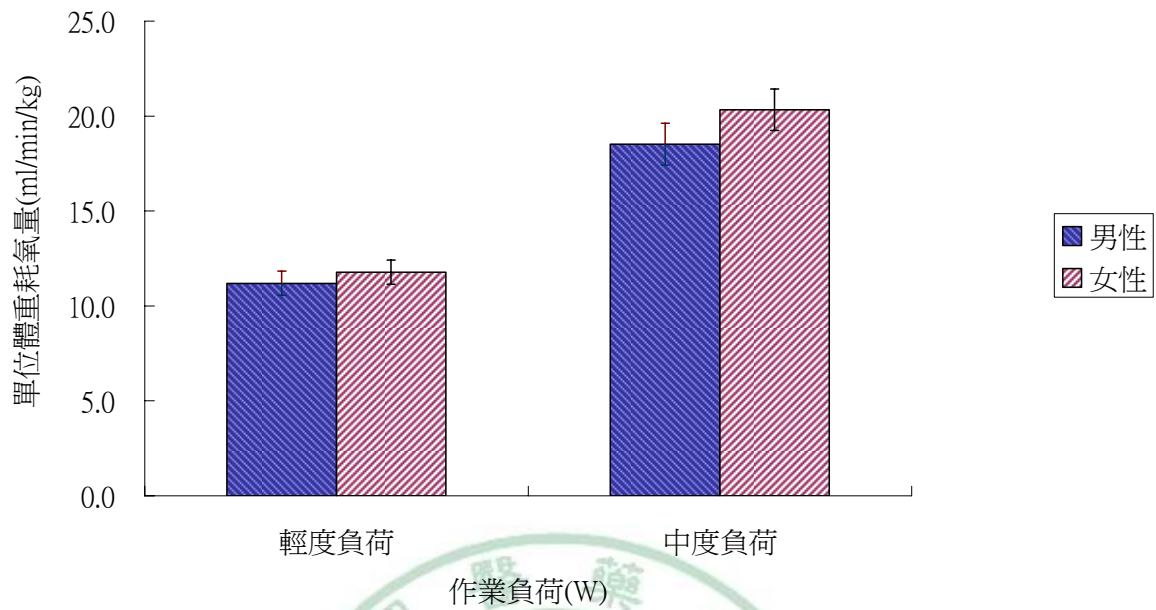


圖 4-16 輕中度作業負荷之單位體重耗氧量

而不同呼吸防護具的耗氧量結果也是有達到統計上的顯著差異 ($p < 0.001$)，整理如表 4-20，其結果也是 N95 口罩與全罩式面罩有顯著的差異，而全罩式面罩之間則無差異，如圖 4-17。

表 4-20 各呼吸防護具之單位體重耗氧量

呼吸防護具種類	工作負荷	平均數	標準差	95%信賴區間	
		ml/min/kg	ml/min/kg	下限	上限
N95 球型有閥口罩	輕度負荷	6.78	0.73	5.22	8.33
	中度負荷	12.95	0.55	11.79	14.11
N95 濾毒匣全罩式面罩	輕度負荷	13.82	0.64	12.45	15.18
	中度負荷	22.64	0.93	20.66	24.62
化學濾毒罐全罩式面罩	輕度負荷	13.87	0.67	12.45	15.29
	中度負荷	22.70	1.12	20.33	25.07

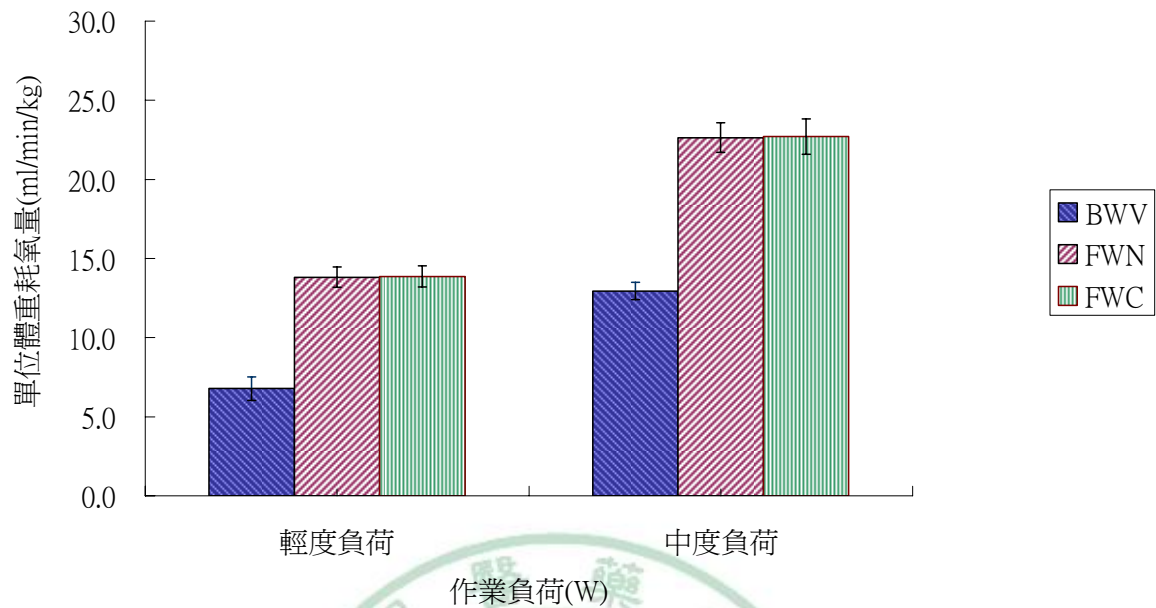


圖 4-17 各呼吸防護具之耗氧量(ml/min/kg)

4.2.10 主觀不適問卷結果

在主觀不適問卷部分，發現其不適程度主要與作業負荷大小有關，整理如表 4-21 所示，由圖 4-18 發現綜合 RPE 分數在不同性別並無顯著差異。在個別五大項的問題中，只有口罩內的溫度不舒適程度在不同呼吸防護具間有顯著差異，從圖 4-19 中可以明顯的發現，N95 球型無閥口罩無論在輕度或中度負荷，其主觀溫度不舒適的程度皆是所有呼吸防護具中最高。

表 4-21 輕中度負荷之 RPE 值

性別	工作負荷	平均數	標準差	95%信賴區間	
				下限	上限
男性	輕度作業	10.1	1.8	6.3	14.0
	中度作業	17.4	2.9	11.2	23.6
女性	輕度作業	8.6	1.8	4.7	12.4
	中度作業	17.7	2.9	11.5	23.9

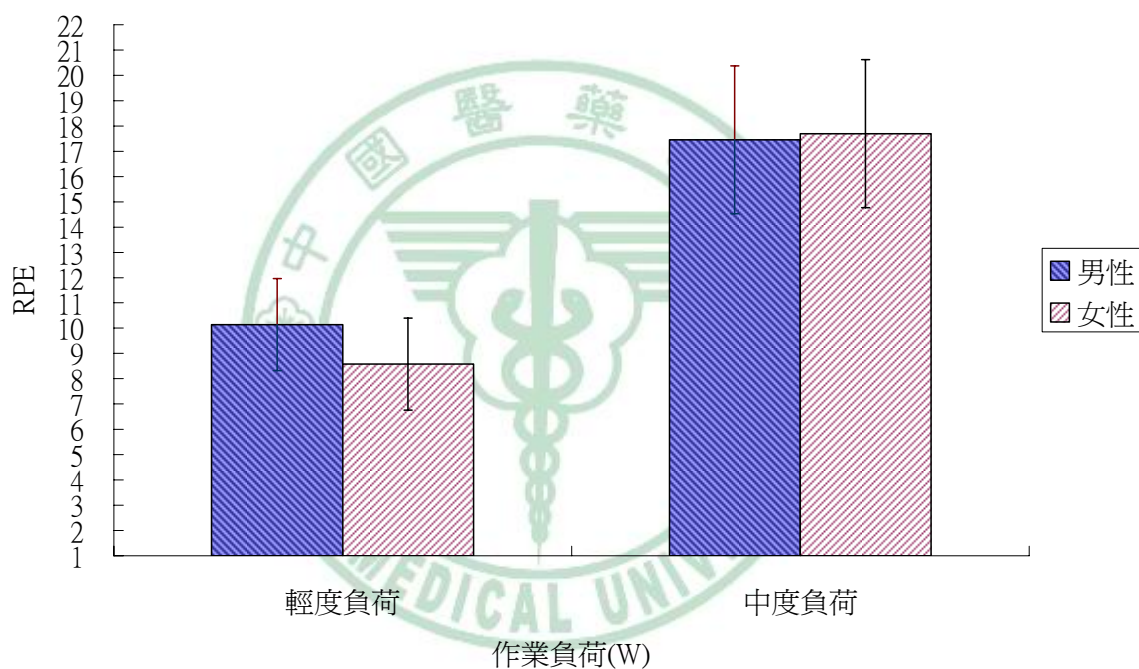


圖 4-18 輕中度作業負荷之 RPE 值

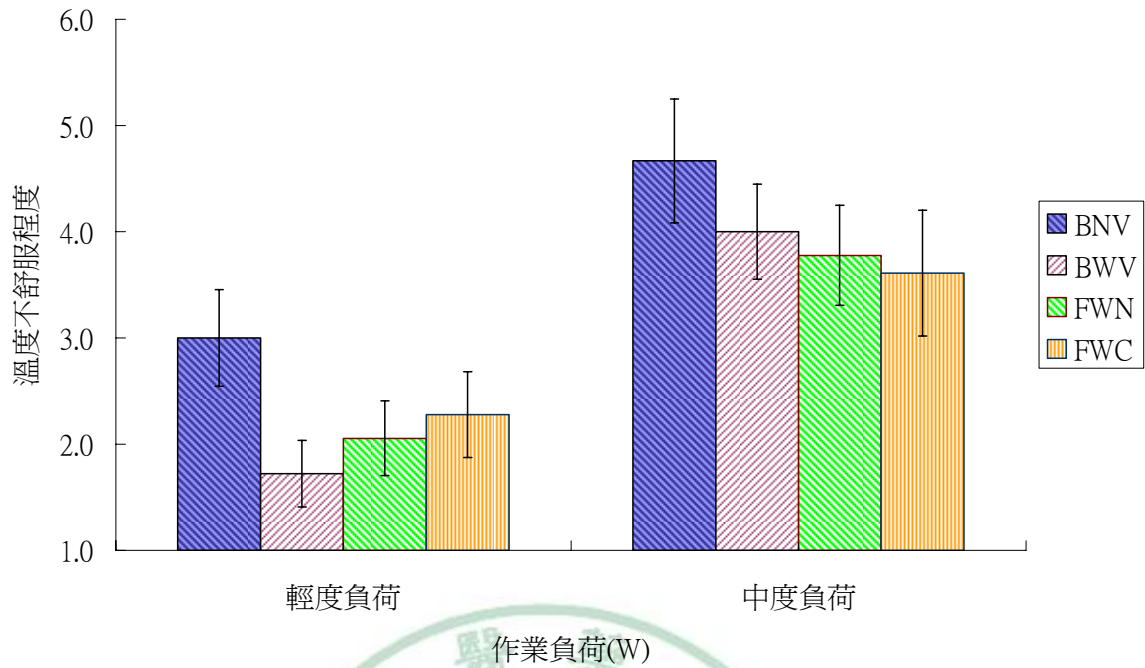


圖 4-19 各呼吸防護具之罩內溫度不舒適程度

第三節 實驗二：有閥無閥之 N95 口罩在有無講話作業之生理負荷指標與主觀不適結果

實驗二的重複量數變異數分析結果如表 4-22 所示，其描述性統計數據如表 4-23 所示，由表中可清楚看出有生理負荷及主觀不適主要與作業負荷與無講話作業有關，口罩類型其次，在性別的部分沒有很大的差異，以下分別針對細項之生理負荷指標及主觀不適問卷結果進行說明。

4.3.1 工作時心跳

受測者的心跳在有閥及無閥 N95 口罩的執行各種負荷狀況下並無顯著的差異，性別的部分跟第一部份實驗的結果一致，皆是女性較男性高，且有達到顯著的差異，整理如表 4-24。有無講話的對心跳的影響有顯著的差異，整理如表 4-25。由圖 4-19 可以發現有講話及無講話狀態下，作業負荷增加時對心跳增加的趨勢一致，也有達到顯著的差異。

表 4-22 有閥無閥之 N95 口罩在有無講話作業之生理負荷指標與主觀不適之重複量數變異數分析結果(n=18)

	性別 (GR)	呼吸防護具 型式 (RT)	工作負荷 (WL)	有無講話 (TK)	GRxRT	GRxWL	GR x TK	RTxWL	RT xTK	WLxTK	TKxGR	個別差異
生理負荷												
工作時心跳	**		***	***		*						***
工作心跳	**		***	***		*						***
吸氣壓力		*	***	***								***
吐氣壓力		***	***	***				***	**			***
呼吸頻率	*		***	+		*					+	***
口罩內溫度		***	**									***
分通氣量 ^A		NA	***	**								***
耗氧量(L/min) ^A	+	NA	***	+		*						***
單位體積耗氧量(ml/min/kg) ^A	**	NA	***	+		**						***
主觀不適問卷(RPE)												
吸氣不舒適		*	***	***								***
吐氣不舒適		*	***	***								***
溫度不舒適		***	***	*								***
重量等影響作業程度			***	**				*				***
整體不舒服程度			***	***			+					***
總和 RPE		*	***	***								***

註：⁺p<0.1 *p<0.05 **p<0.01 ***p<0.001
^A 只有 N95 船型有閥口罩有無講話作業之比較
 NA 不適用

表 4-23 有閥無閥之 N95 口罩在有無講話作業之生理負荷指標與主觀不適描述性統計資料

	N95 船型有閥口罩				N95 船型無閥口罩			
	輕度負荷	中度負荷	輕度負荷有講話	中度負荷有講話	輕度負荷	中度負荷	輕度負荷有講話	中度負荷有講話
工作時心跳 (BPM)	118	144	121	147	119	146	123	149
工作心跳 (BPM)	45	70	47	73	43	70	47	73
吸氣壓力 (mmH ₂ O)	10.1	13.9	20.0	25.0	11.1	16.4	21.7	26.1
吐氣壓力 (mmH ₂ O)	4.3	6.7	7.6	10.4	8.4	13.6	15.2	21.3
呼吸頻率 (cycle/min)	25.2	30.1	25.2	28.7	25.5	23.1	30.1	29.0
口罩內溫度	33.7	33.2	33.4	32.9	34.3	33.9	34.3	33.9

表 4-24 輕中度作業負荷之工作時心跳

性別	工作負荷	平均數	標準差	95%信賴區間	
		次/分鐘	次/分鐘	下限	上限
		p<0.001			
男性	輕度作業	115	2	109	120
	中度作業	138	3	131	146
女性	輕度作業	126	2	121	131
	中度作業	154	3	147	161

表 4-25 有無講話作業負荷之工作時心跳

說話	工作負荷	平均數	標準差	95%信賴區間	
		次/分鐘	次/分鐘	下限	上限
		p<0.001			
沒講話	輕度作業	119	1	115	122
	中度作業	145	3	139	150
有講話	輕度作業	122	2	117	127
	中度作業	148	2	143	153

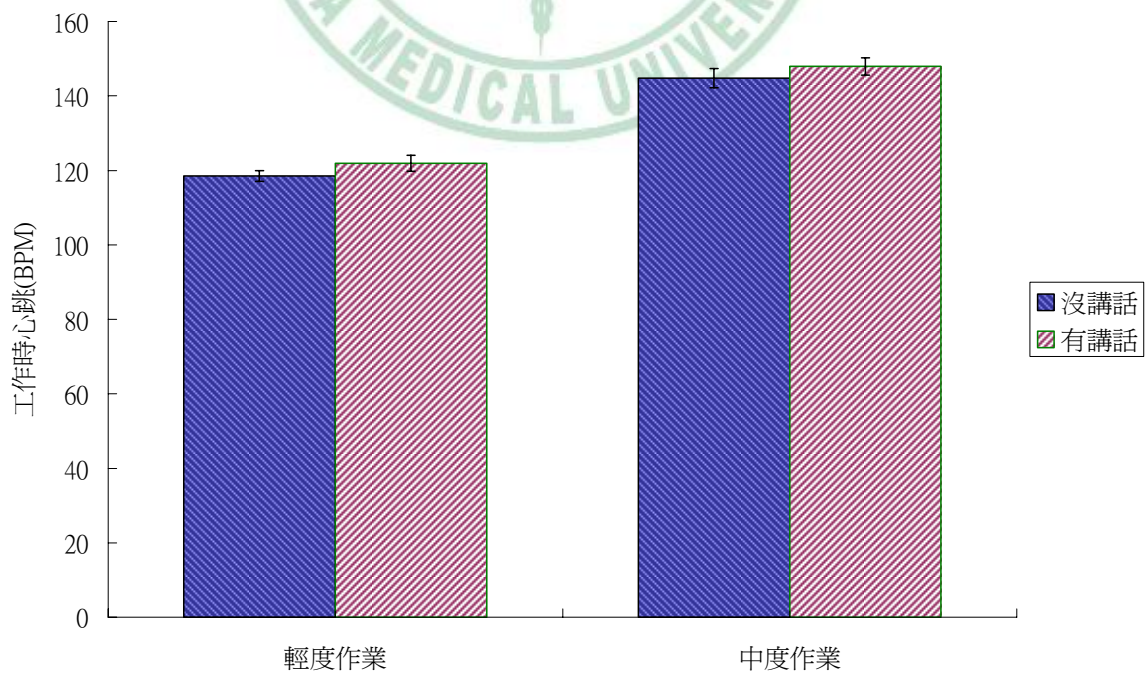


圖 4-20 有無講話作業的心跳

4.3.2 工作心跳

工作心跳與配戴船型有閥及無閥口罩無關，只與工作負荷大小以及有無講話有關，整理如表 4-26、4-27。其中講話會使得同一負荷下，心跳每分鐘約增加 3 下。

表 4-26 輕中度作業負荷之工作心跳

性別	工作負荷	平均數	標準差	95%信賴區間	
		BPM	BPM	下限	上限
男性	輕度作業	42	2	38	46
	中度作業	66	2	60	71
女性	輕度作業	49	2	45	54
	中度作業	78	2	73	83

表 4-27 有無講話作業之工作心跳

說話	工作負荷	平均數	標準差	95%信賴區間	
		BPM	BPM	下限	上限
沒講話	輕度作業	44	2	40	47
	中度作業	70	2	66	74
有講話	輕度作業	47	2	44	51
	中度作業	73	2	70	77

4.3.3 吸氣壓力

船型有閥的吸氣壓力則較高於船型無閥，且達顯著水準($p < 0.001$)，如表 4-28，顯示有閥的設計，可能會增加配戴者吸氣的困難度。

表 4-28 N95 船型有無閥口罩之吸氣壓力

口罩類型	工作負荷	平均數	標準差	95%信賴區間	
		mmH ₂ O	mmH ₂ O	下限	上限
p<0.001	p<0.001				
船型無閥	輕度作業	16.40	0.65	15.01	17.78
	中度作業	21.28	0.92	19.32	23.24
船型有閥	輕度作業	15.04	0.64	13.68	16.39
	中度作業	19.47	0.75	17.87	21.07

吸氣壓力在有無講話狀態的負荷下，也呈現顯著的差異，如表 4-29，可以發現有講話時的吸氣壓力大於沒講話時的吸氣壓力，且在輕中度負荷的差異非常明顯，由圖 4-20 可很清楚的看出此結果。

表 4-29 有無講話作業之吸氣壓力

說話	工作負荷	平均數	標準差	95%信賴區間	
		mmH ₂ O	mmH ₂ O	下限	上限
p<0.001	p<0.001				
沒講話	輕度作業	10.59	0.51	9.50	11.68
	中度作業	15.18	0.68	13.75	16.62
有講話	輕度作業	20.84	0.75	19.25	22.43
	中度作業	25.57	1.01	23.42	27.72

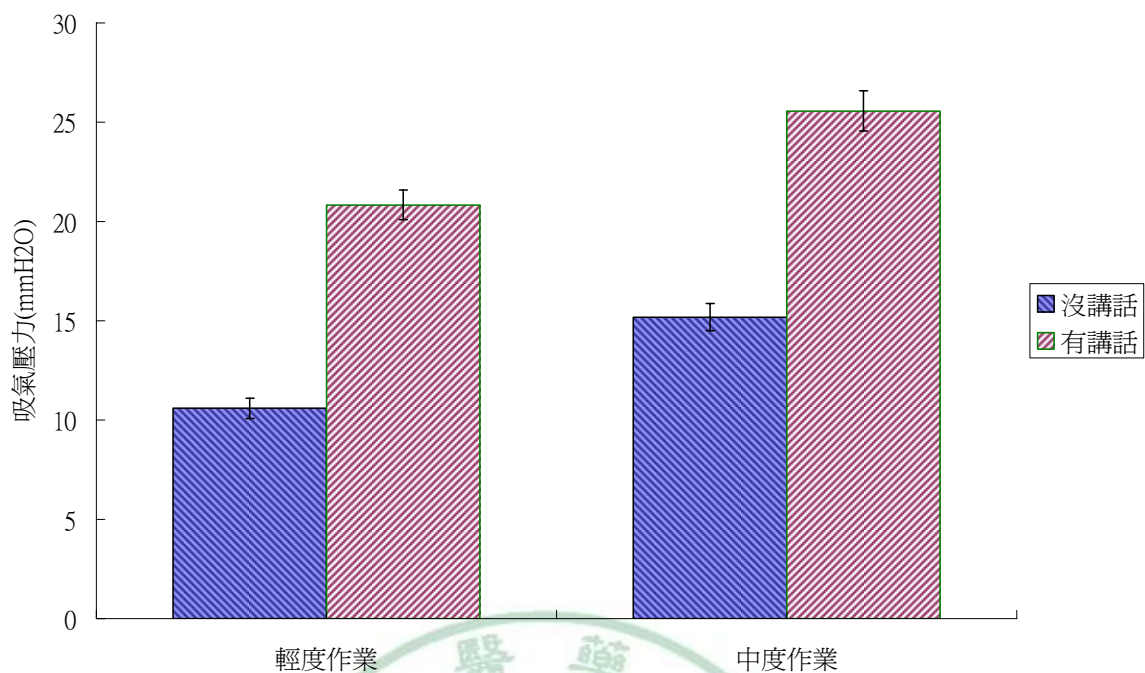


圖 4-21 有無講話作業之吸氣壓力

4.3.4 吐氣壓力

在 N95 船型有無閥口罩的部分，船型無閥口罩的吐氣壓力則高於有閥的 N95 口罩，且達顯著水準($p < 0.001$)，整理如表 4-30，此結果與模擬呼吸阻力的結果一致，N95 有閥口罩的吐氣阻力小於 N95 無閥口罩的吐氣阻力。

表 4-30 N95 船型有無閥口罩之吐氣阻力

口罩類型	工作負荷	平均數	標準差	95%信賴區間	
				下限	上限
$p < 0.001$	$p < 0.001$	mmH ₂ O	mmH ₂ O		
船型無閥	輕度作業	11.84	0.78	10.19	13.48
	中度作業	17.44	1.19	14.91	19.97
船型有閥	輕度作業	5.92	0.35	5.19	6.66
	中度作業	8.54	0.63	7.21	9.88

有無講話作業在吐氣壓力部分的差異也是有達到顯著的差異，整理如表 4-31。有講話作業時的吐氣壓力皆較無講話時的吐氣壓力大，且在輕中度負荷時增加的趨勢一致，如圖 4-21。

表 4-31 有無講話作業之吐氣壓力

說話	工作負荷	平均數	標準差	95%信賴區間	
		mmH ₂ O	mmH ₂ O	下限	上限
p<0.001	p<0.001				
沒講話	輕度作業	6.35	0.35	5.61	7.09
	中度作業	10.13	0.61	8.84	11.42
有講話	輕度作業	11.41	0.58	10.18	12.63
	中度作業	15.85	0.92	13.89	17.81

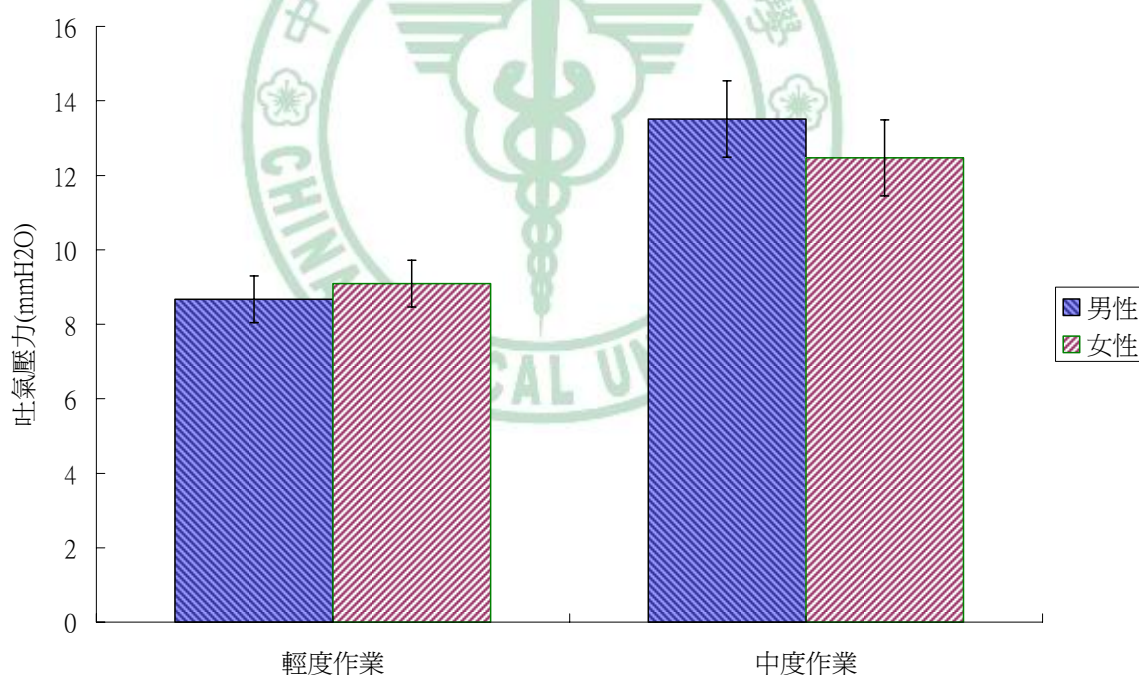


圖 4-22 有無講話之吐氣壓力

4.3.5 呼吸頻率

呼吸頻率在有無講話作業負荷僅達到邊緣顯著(p<0.1)，在 N95 船型

有無閥之間亦無顯著差異，只與作業負荷大小及性別有關，整理如表 4-32。由圖 4-23 可以明顯的看出在作業負荷及性別間的差異。

表 4-32 輕中作業負荷之呼吸頻率

性別	工作負荷	平均數	標準差	95%信賴區間	
		次/分鐘	次/分鐘	下限	上限
p<0.05 男性	輕度作業	22.71	1.00	20.59	24.84
	中度作業	26.71	1.43	23.68	29.75
女性	輕度作業	25.74	1.00	23.61	27.86
	中度作業	32.53	1.43	29.49	35.56

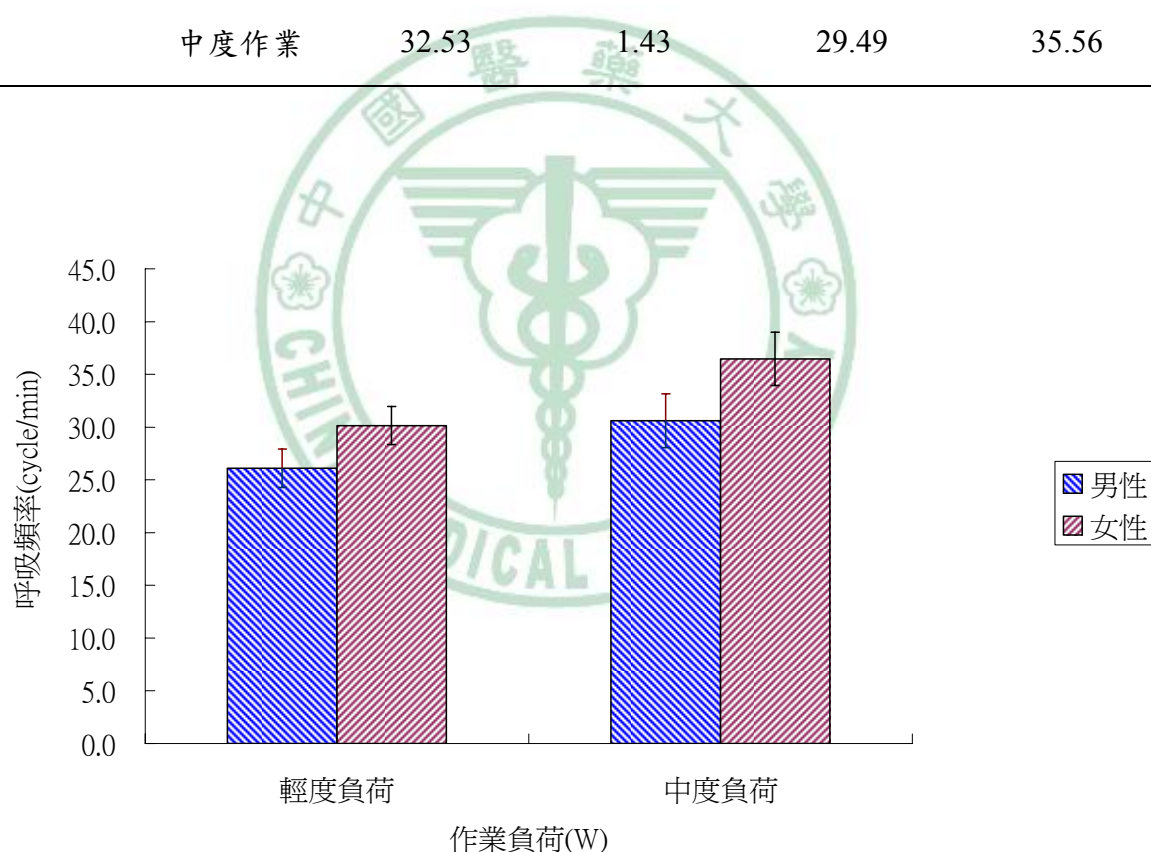


圖 4-23 輕中作業負荷之呼吸頻率

4.3.6 呼吸防護具內溫度

口罩內溫度的部分，由表 4-22 中可以看出有閥及無閥之間有顯著的

差異($p < 0.001$)，如圖 4-24 所示，且作業負荷也是中度負荷高於輕度負荷 ($p < 0.01$)，如圖 4-25 所示，其詳細數據整理如表 4-33 及 4-34。至於在有無講話的作業部分，則對溫度無顯著之影響。

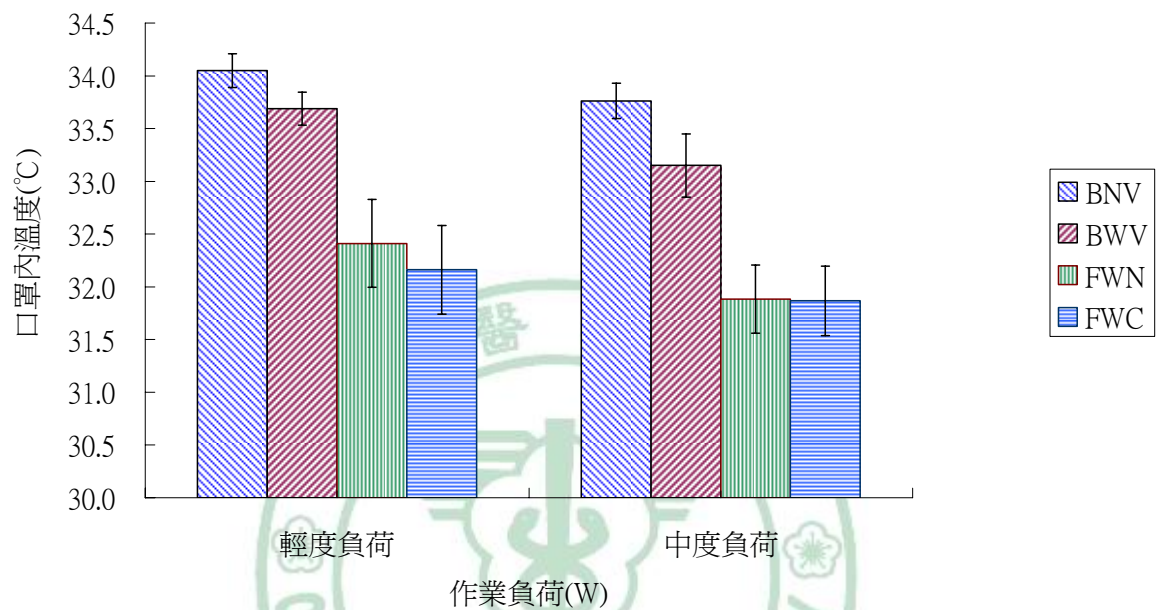


圖 4-24 各呼吸防護具之口罩內溫度

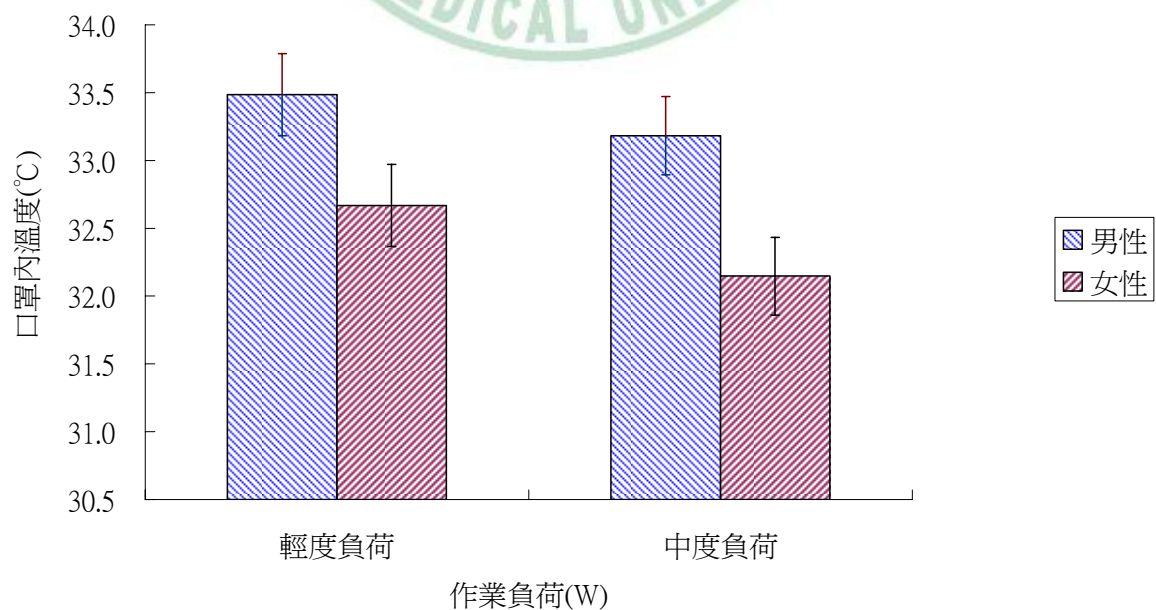


圖 4-25 輕中度作業口罩內之溫度

表 4-33 各呼吸防護具之口罩內溫度

rtype	workload	平均數	標準差	95%信賴區間	
		°C	°C	下限	L/min
SNV	輕度作業	34.29	0.13	34.01	34.58
	中度作業	33.87	0.14	33.57	34.18
SWV	輕度作業	33.16	0.20	32.74	33.58
	中度作業	32.98	0.17	32.61	33.35

表 4-34 輕中度作業口罩內之溫度

subgen	workload	平均數	標準差	95%信賴區間	
		°C	°C	下限	L/min
男性	輕度作業	33.87	0.17	33.52	34.23
	中度作業	33.51	0.19	33.12	33.91
女性	輕度作業	33.58	0.17	33.23	33.94
	中度作業	33.34	0.19	32.95	33.74

4.3.7 分通氣量、耗氧量及單位體重耗氧量(僅有閥口罩)

N95 船型有閥口罩之分通氣量、耗氧量及單位體重耗氧量在中度負荷作業時一樣會高於輕度作業，但在有無講話作業部分，則發現無講話時的結果會高於有講話時的結果，整理如表 4-35 至 4-37，由圖 4-23 至 4-25 可以很明顯的看出此趨勢。

表 4-35 有無講話作業之分通氣量

說話	工作負荷	平均數	標準差	95%信賴區間	
		L/min	L/min	下限	上限
p<0.01	p<0.001				
沒講話	輕度作業	11.89	0.53	10.77	13.01
	中度作業	20.18	0.80	18.48	21.89
有講話	輕度作業	9.72	0.46	8.74	10.70
	中度作業	17.91	0.71	16.41	19.40

表 4-36 有無講話之耗氧量

說話	工作負荷	平均數	標準差	95%信賴區間	
		L/min	L/min	下限	上限
p<0.1	p<0.001				
沒講話	輕度作業	0.57	0.03	0.50	0.64
	中度作業	0.93	0.06	0.80	1.05
有講話	輕度作業	0.52	0.03	0.46	0.58
	中度作業	0.86	0.05	0.75	0.96

表 4-37 有無講話之單位體重耗氧量

說話	工作負荷	平均數	標準差	95%信賴區間	
		L/min	L/min	下限	上限
p<0.1	p<0.001				
沒講話	輕度作業	8.64	0.48	7.63	9.65
	中度作業	14.00	0.77	12.36	15.64
有講話	輕度作業	7.81	0.38	7.00	8.62
	中度作業	12.94	0.72	11.42	14.47

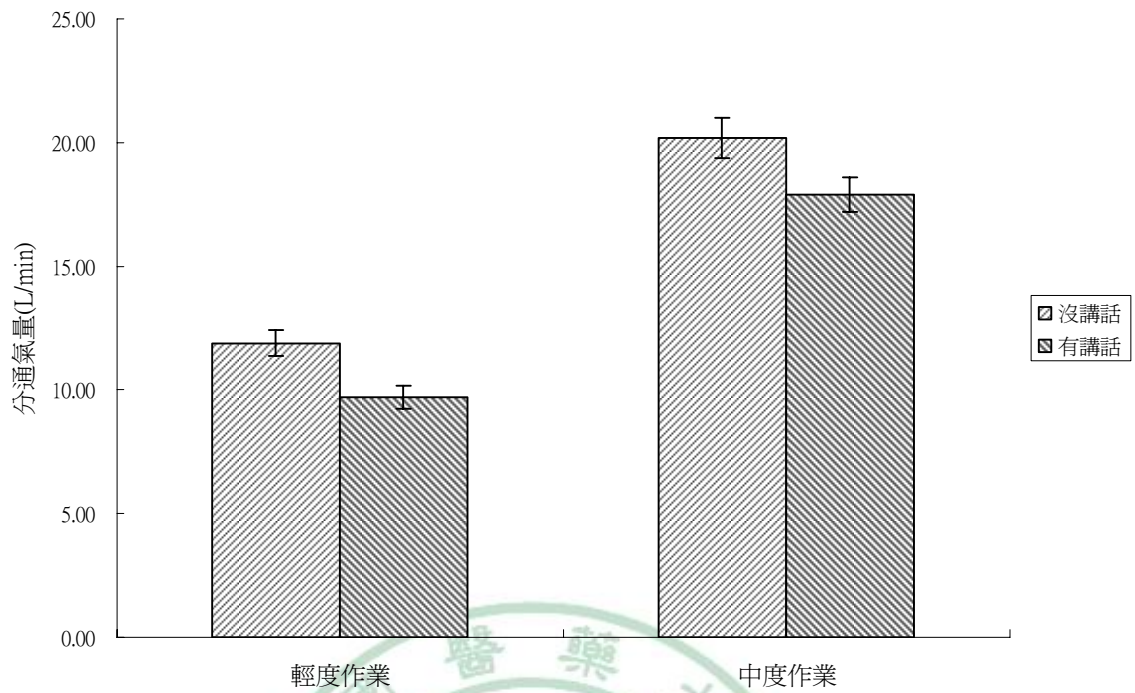


圖 4-26 有無講話之分通氣量

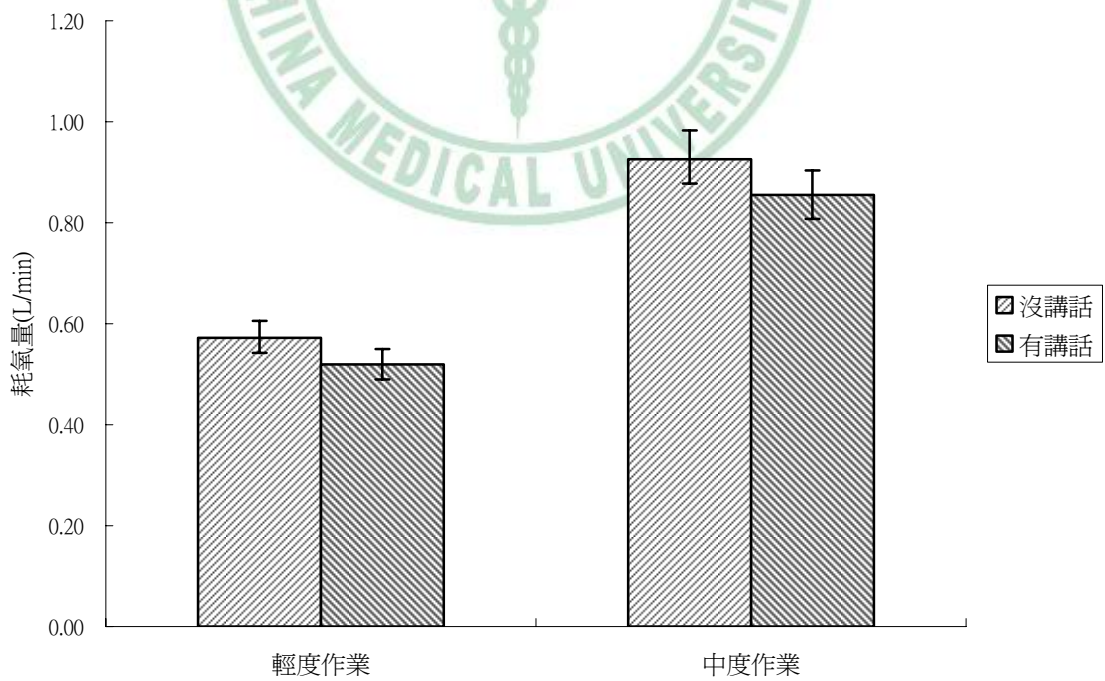


圖 4-27 有無講話之耗氧量

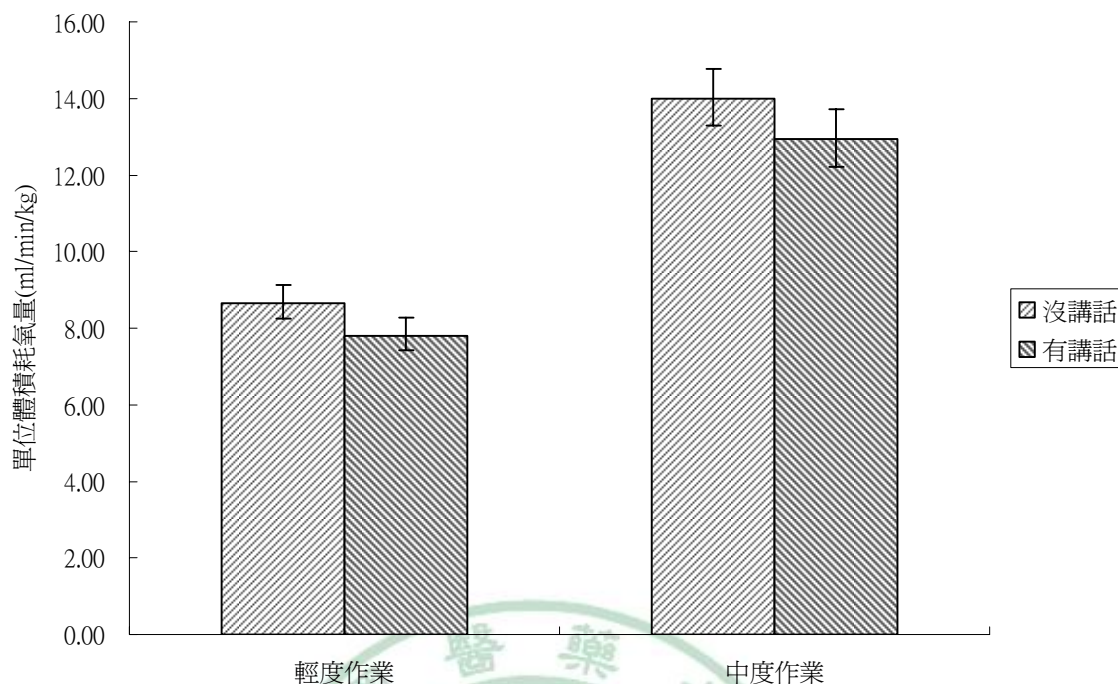


圖 4-28 有無講話之單位體積耗氧量

4.3.8 主觀不適問卷結果

由表 4-21 中可發現受測者在吸氣困難、吐氣困難、溫度不舒適程度及 RPE 值這四大項皆與作業負荷、呼吸防護具型式及有無講話作業有顯著相關，而防護具影響作業之程度及整體不舒適程度則與工作負荷即有無講話有顯著相關。總和 RPE 值在呼吸防護具類型、作業負荷及有無講話項目之整理如表 4-38 至表 4-40 所示。由圖 4-26 至圖 4-28 中，可以發現女性在作業負荷及防護具種類中的 RPE 值無論在輕度或是中度負荷皆小於男性，只有在有無講話的部分高於男性，不過性別之間對於 RPE 結果並無達到顯著差異。

表 4-38 輕中作業負荷之 RPE 值

性別	工作負荷	平均數	標準差	95%信賴區間	
				下限	上限
	p<0.001				
男性	輕度作業	11.9	1.6	8.5	15.3
	中度作業	17.8	1.7	14.1	21.5
女性	輕度作業	10.2	1.6	6.8	13.6
	中度作業	16.1	1.7	12.4	19.8

表 4-39 各呼吸防護具之 RPE 值

口罩類型	工作負荷	平均數	標準差	95%信賴區間	
				下限	上限
	p<0.05				
N95 船型無閥口罩	輕度負荷	12.0	1.3	9.3	14.7
	中度負荷	18.3	1.4	15.3	21.3
N95 船型有閥口罩	輕度負荷	10.1	1.2	7.6	12.6
	中度負荷	15.6	1.2	13.0	18.3

表 4-40 有無說話作業之 RPE 值

說話	工作負荷	平均數	標準差	95%信賴區間	
				下限	上限
	p<0.001				
沒講話	輕度作業	9.3	1.2	6.9	11.8
	中度作業	15.3	1.3	12.5	18.0
有講話	輕度作業	12.8	1.3	10.1	15.4
	中度作業	18.7	1.3	15.8	21.5

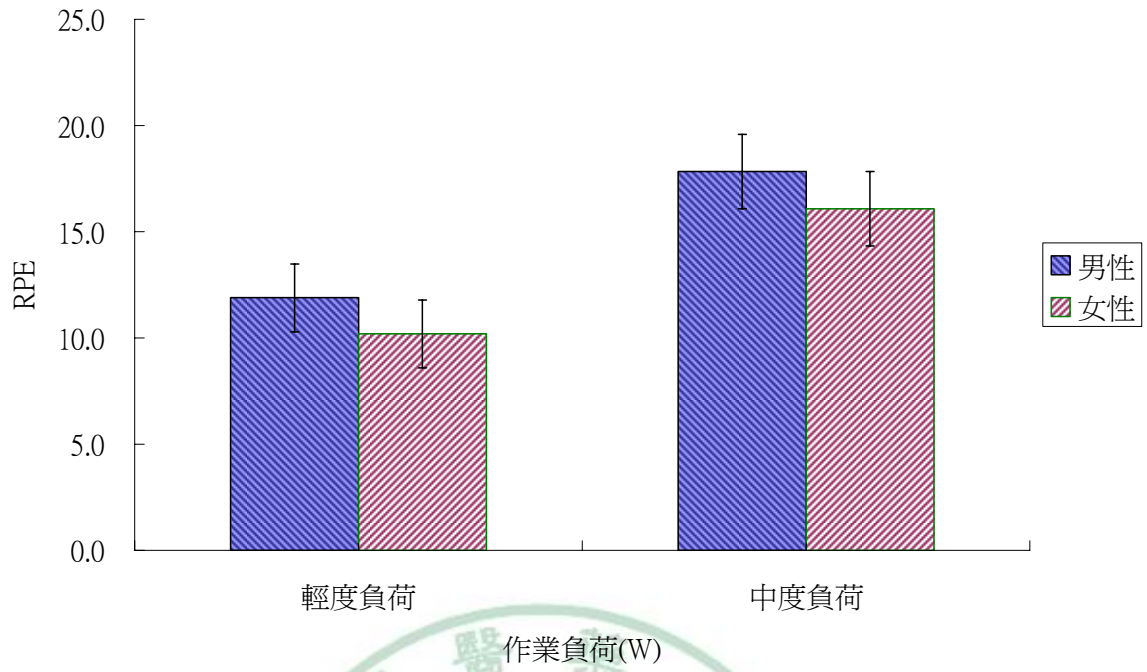


圖 4-29 輕中度作業負荷之 RPE 值

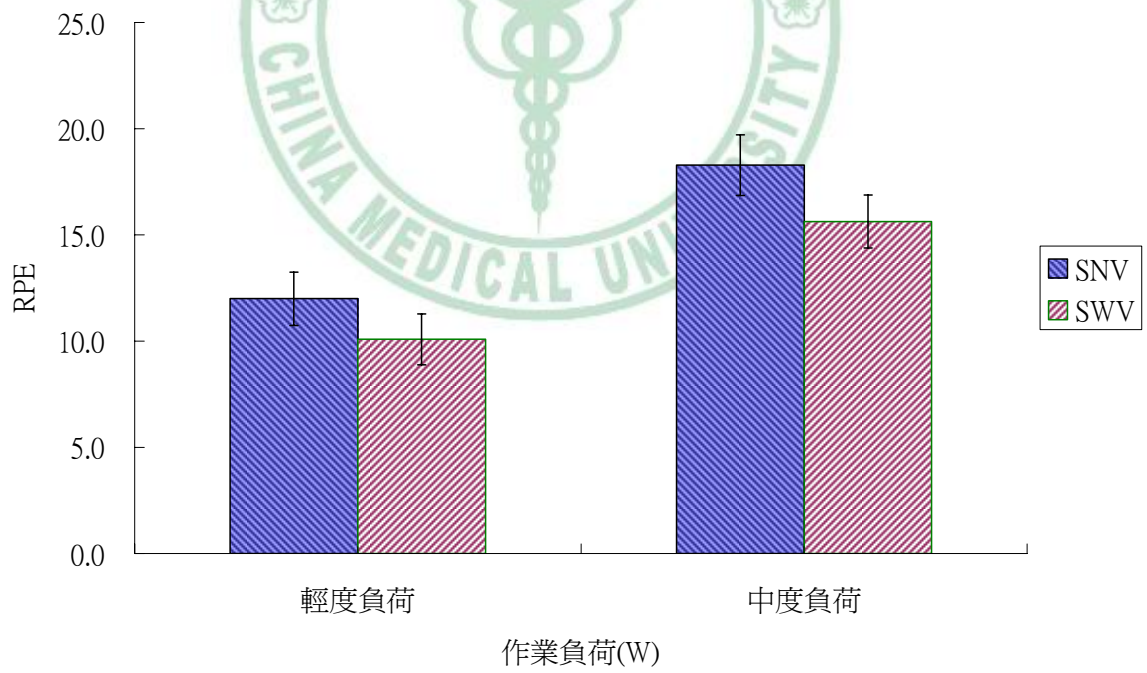


圖 4-30 各呼吸防護具之 RPE 值

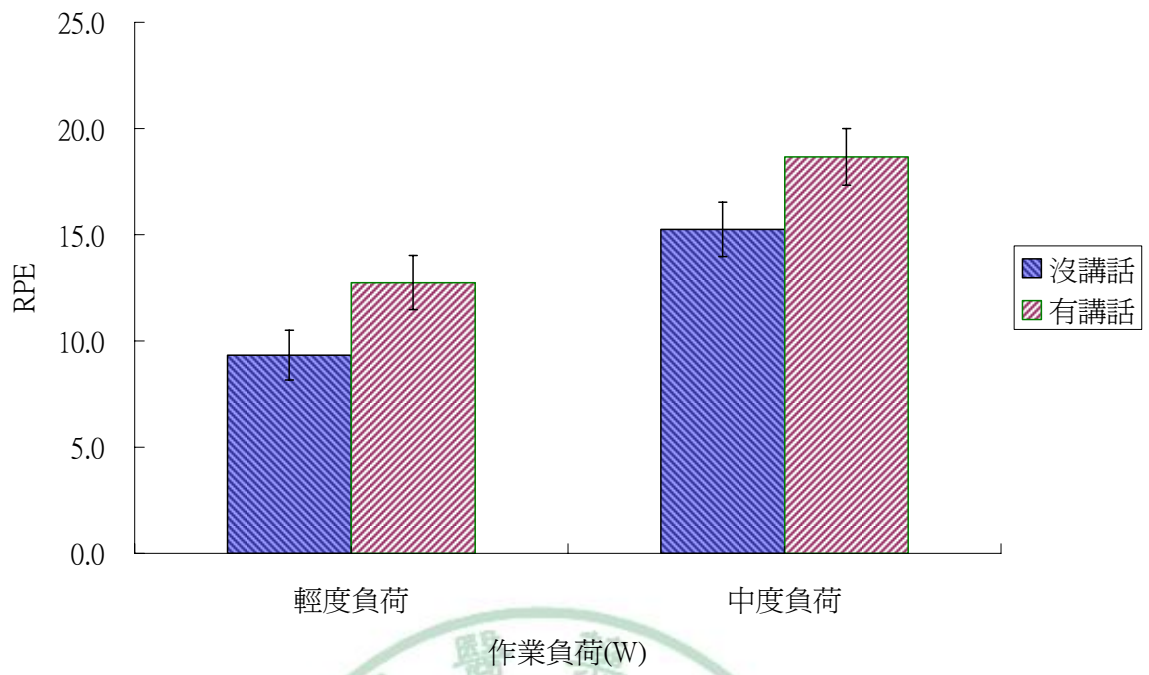


圖 4-31 有無講話作業之 RPE 值



第五章 討論

第一節 實驗用全罩式面罩與 N95 口罩呼吸阻力比較

由 4.1 節發現，有閥口罩在吐氣阻力部分皆為偏低，但在吸氣阻力部分皆高於 N95 無閥呼吸防護口罩，其可能的原因，應是 N95 口罩單體加裝出氣閥，的確會減少吐氣時單體對氣體排出的阻力，使吐出的氣體容易排出單體之外，但加裝了出氣閥後，會使得吸氣時可進氣的面積減少，反而使得吸氣阻力增加。

在不同型式之 N95 口罩方面，圓型 N95 口罩無論在吸氣或吐氣的阻力皆高於船型，可能的原因有二：(1)材質不同，雖同為 N95 口罩，但其防護對象及效果不同，材質上也會有差異存在，而在選擇實驗條件時，本實驗是以其防護效果為條件而挑選，但除 N95 船型有無閥口罩防護效果一致之外，其他並無找到完全一樣防護效果但形狀不同之 N95 口罩。(2)單體表面積：船型 N95 口罩為可折疊式，因此在完全撐開後，其表面積可能大於圓型之 N95 口罩，因此使得無論是在吸氣或是吐氣方面，阻力皆小於 N95 圓型口罩。

對照 NIOSH 42CFR Part 84 針對 N95 口罩做訂定之吸氣及吐氣壓力，其分別為 35 mmH₂O 及 25 mmH₂O，經由計算過後，N95 圓型有、無閥及 N95 船型有、無閥口罩之吸氣及吐氣阻力皆小於規定，因此屬於合格的範圍，且無論何種型式之呼吸防護具，其吐氣阻力皆小於吸氣阻力。

第二節 實驗用全罩式面罩與 N95 口罩之綜合比較(實驗一)

5.2.1 生理負荷

各呼吸防護具之生理負荷指標結果整理如表 5-1。由表 5-1 所示，可以發現在工作時心跳、工作心跳、吸氣壓力及吐氣壓力部分，皆是全罩式面罩搭配化學濾毒罐比較高，顯示全罩式面罩在吸氣及吐氣阻力部分皆高於其他形式之呼吸防護具，所造成的生理負荷也會比較高。但在溫度的部分較 N95 有無閥球型口罩低，表示罩內溫度較不會蓄積，在分通氣量、耗氧量及單位體重耗氧量部分，其數值與全罩式面罩搭配 N95 濾毒匣的結果一樣，且都顯著高於 N95 球型有閥口罩，綜合各項生理負荷指標後，可以看出全罩式面罩搭配化學濾毒罐的整體生理負荷最高。

全罩式面罩搭配 N95 濾毒匣在呼吸頻率的結果是最高的，工作時心跳、工作心跳、吐氣壓力則次之，吸氣壓力較 N95 球型有閥口罩，罩內溫度則是略高於全罩式面罩搭配化學濾毒罐。因此配帶全罩式面罩就可能造成較高的生理負荷，也需要較高的耗氧量，但其罩內的溫度相較於 N95 口罩，則可以降低，減少因溫度而造成的不舒適感。

N95 球型有閥口罩在工作時心跳、工作心跳吸氣壓力的部分，都只稍微高於 N95 無閥口罩，也沒有顯著的差異，但在口罩內溫度的部分，卻顯著地低於 N95 球型有閥口罩，溫度差大約達 1°C。表示出氣閥的設計可以降低的口罩內的溫度，但比起全罩式面罩，仍是偏高。而 N95 球型有閥口罩分通氣量、耗氧量與單位體重耗氧量會比較低的原因可能是下列兩點：1) 罩體與全罩式面罩相較之下輕便很多，因此在執行作業負荷時感覺會較輕鬆些，2) N95 口罩本身罩體較鬆，且氣體除了由出氣閥排出，亦可以由罩面逸出，因此所偵測到的吐氣流量就會偏低，使得分通氣量低估。

N95 球型無閥口罩只有在罩內溫度的部分顯著高於另三種呼吸防護具，吐氣壓力則是稍高於 N95 球型有閥口罩，其他項目的結果皆是最低，分通氣量與耗氧量則因為無法量測，因此無法判斷。

綜合所有心跳結果發現，受測者的心跳稍微隨著呼吸防護具的阻力增加而有稍微增高的趨勢，不過沒有達到顯著上的差異，工作心跳亦是如此。若是與未配戴呼吸防護具時的心跳相比，發現有配戴呼吸防護具時的工作時心跳與工作心跳皆與未配戴呼吸防護具時有顯著的差異，顯示只要配戴呼吸防護具就會對身體增加一定的負荷，且增加的幅度很大。工作時心跳在輕度負荷會因為配戴呼吸防護具而至少增加 13 下左右，在中度負荷時，更會增加至 19 下左右；工作心跳的部分，在輕度負荷則會因為配戴呼吸防護具而增加 15 下左右，在中度負荷時則會因此而增加 19 下左右。

吸氣阻力的結果與實驗開始前測試呼吸防護具的呼吸阻力結果一致，吐氣壓力部分，最高者仍為全罩式面罩，這部分雖與測試呼吸防護具吐氣阻力的結果不太一致，但仍可發現，有出氣閥的 N95 口罩，其吐氣壓

力會較無閥者低，使得配戴者吐氣的阻力降低，進而更容易吐氣。

本實驗的研究結果顯示，呼吸頻率在 N95 球型口罩與全罩式面罩間有顯著的差異，無論在輕或中度負荷，呼吸頻率最高者為全罩式面罩搭配 N95 濾毒匣，全罩式面罩搭配化學濾毒罐次之，N95 有無閥口罩最低。但在 Sulotto⁽¹⁰⁾及 Lerman 等⁽¹²⁾的研究結果卻顯示呼吸頻率會隨著呼吸阻力的增加而增加，這與本研究的結果不太一致。

造成實驗結果不同的原因，有可能是因為本研究的呼吸防護具是由市面上直接購買，而非同一種呼吸防護具，因此會受到材質及防護效果不同等因素的影響。而文獻所進行的研究材料，則是使用同一種呼吸防護具，改變其呼吸阻力來進行實驗，因此得到呼吸頻率會隨著吸氣阻力增加而降低的結果。

另在溫度上呈現一現象，即當受測者在執行輕度負荷時的溫度會高於執行中度負荷時的溫度，其溫度大約相差 0.4°C 左右，且無論是何種形式的呼吸防護具皆呈現此結果。據觀察的結果，有可能是因為從事較重負荷的作業時，因為呼吸較急促，且需要大量的氧氣，因此增加呼吸的頻率，如表 4-16，加上吸氣的時間會高於吐氣的時間，使得罩內的溫度多次置換，且進氣時間高於出氣時間，使得罩內的溫度會比較接近室溫，因而產生此現象。

耗氧量在性別方面則無顯著的差異，男性與女性在相同負荷下的耗氧量非常相近，顯示執行一樣負荷的作業時影響的耗氧量是固定的，與性別無關。

5.2.2 主觀不適

由受測者在填寫主觀不適問卷的部分，對於配戴呼吸防護具的部分吸氣及吐氣困難的部分，在呼吸防護具種類的部分並沒有達到顯著的差異，而實驗開始測量所有呼吸防護具的吸吐、氣阻力，發現所有呼吸防護具在氣體流量為 85 L/min 時的阻力皆無超過 NISOH 所規範之阻力，因此有可能所有的呼吸防護具的吸吐氣阻力皆不高，使得受測者不會因呼吸防護具的不同而覺得會因此而影響吸吐氣的能力，因此沒有顯著的差異。

根據主觀不適問卷的結果發現，覺得呼吸防護具內的溫度導致不舒服的問題這一大項，全罩式面罩的評分很接近，而 N95 球型無閥口罩的分數，會顯著高於全部的呼吸防護具，表示受測者對於 N95 球型無閥口罩的溫度也感覺到較不舒服。而在 N95 球型有閥溫度不舒適感覺，則沒有覺得特別不舒適，這部分有可能是因為罩體本身較輕，且溫度的提升沒有像無閥的這麼多，所以就不會覺得非常的不舒服。

整體而言，配戴 N95 口罩的生理負荷會較配戴全罩式面罩呼吸防護具低，但是其口罩內的溫度是需要高度考量的重要不舒適原因，就這一方面的改善，有閥的 N95 口罩會比無閥的 N95 口罩來的舒適，但仍會使配戴者感到不舒適，而影響配戴的意願。

第三節 配戴有閥及無閥 N95 口罩在有無講話作業綜合比較(實驗二)

5.3.1 生理負荷指標比較

N95 船型有閥及無閥口罩之生理負荷指標結果整理如表 5-2 所示。由

表中我們可以發現，N95 船型無閥口罩在工作時心跳、吸氣壓力、吐氣壓力、呼吸頻率及口罩內溫度的結果都顯著或是稍微高於 N95 有閥口罩，由這些數據顯示，當受測者在配戴 N95 船型無閥口罩時，其對生理的負荷都會較 N95 船型有閥口罩來的高，因此在選擇 N95 船型口罩來作為呼吸防護具時，有閥會較無閥來的好。

在吸氣壓力的部分，在先前量測呼吸防護具吸氣阻力的結果顯示，N95 船型有閥的吸氣阻力會高於 N95 船型無閥，但在實際執行作業負荷時所量得的數值，卻顯示 N95 船型無閥的吸氣阻力較高，探討所有可能的因子後，有可能會造成此結果的原因，可能在模擬呼吸防護具之吸氣阻力時，只是單純的由抽氣馬達執行固定流量抽氣，因此口罩內的溫度無論在何種流量皆相同，所得到的結果為相同溫度下的阻力，但在實際執行作業負荷時，口罩內的溫度會升高，且無閥口罩的溫度會高於有閥口罩，使得配戴者感到不舒適，因此增加其生理上的負荷，使得心跳加速，呼吸頻率增加，因而使得吸氣阻力上升。

在口罩內的溫度的部分，則呈現了輕度負荷時的溫度會高於中度負荷時的溫度，這是因為當從事中度負荷作業時，其所需要的耗氧量較大，吸氣的壓力也會較大，如圖 5-1 即為其吸氣的波形，表示受測者吸氣的流量會較大，因此帶入較多的空氣，因此降低口罩內的溫度，形成執行中度負荷作業，口罩內的溫度卻反而較低的情形。

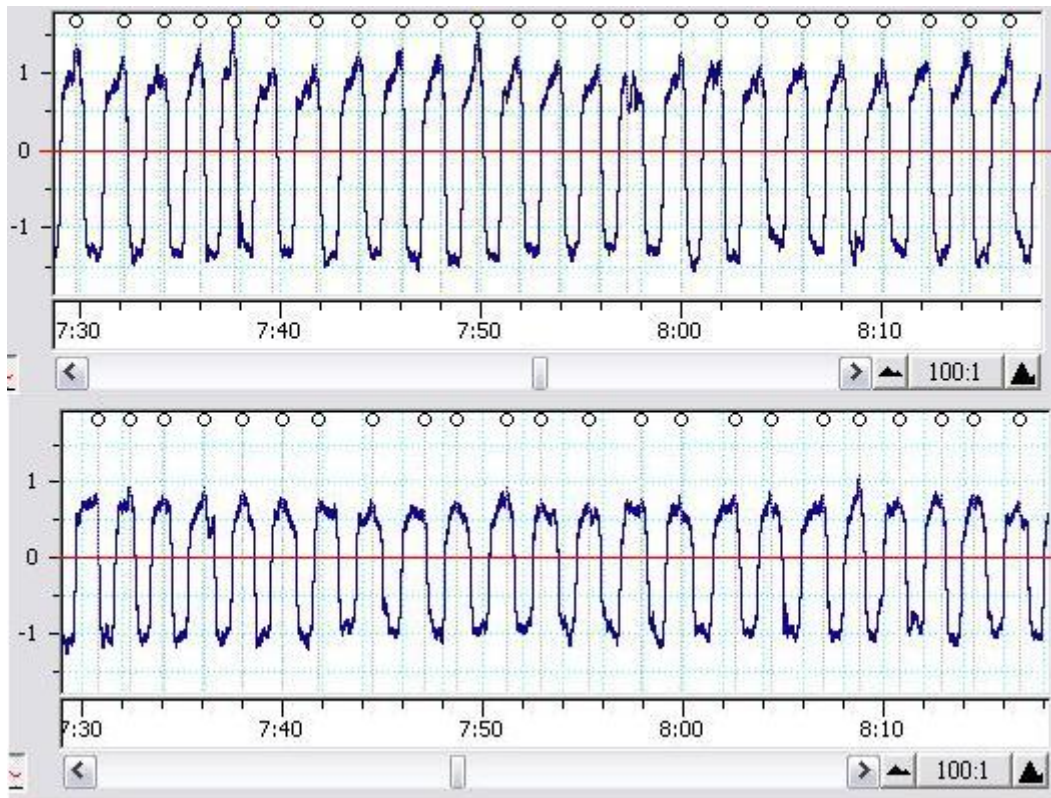


圖 5-1 中度負荷(圖上)及輕度負荷(圖下)吸氣壓力之波形

在有講話與沒講話作業中，發現只要有講話就會增加工作時心跳及工作心跳，但在不同呼吸防護具的型式無顯著的差異。因此可發現配戴有閥之呼吸防護具對心跳的影響不大，但有無講話則對心跳有很大的影響，每分鐘大約會增加 3 至 4 下的心跳，由 Hui⁽²⁵⁾的研究中，發現護理人員在從事護理工作時的心跳，在未配帶呼吸防護具時就會因為工作的負荷，甚至達到 130 下以上，若是在配戴上呼吸防護具，護理人員的生理負荷必然會增加，進而影響執行工作的能力，而護理人員又需要講話溝通，對生理負荷增加程度更是需要高度注意。

有無講話對於吸吐氣的壓力影響也很大，講話時的壓力大約是沒有講話時的 1 倍左右，這是因為若是有講話，則吸吐氣的時間減少，而一次吸吐氣的流量就會急速增加，使得口罩內的壓力急速上升，如圖 5-2，波

形與零齊的線及受測者講話時的壓力，講話作業時的波形，都是急速增加或是減少的，表示此時受測者的呼吸急促，需快速的吸吐氣以得到氧氣的補充，因此使得口罩內的壓力上升。

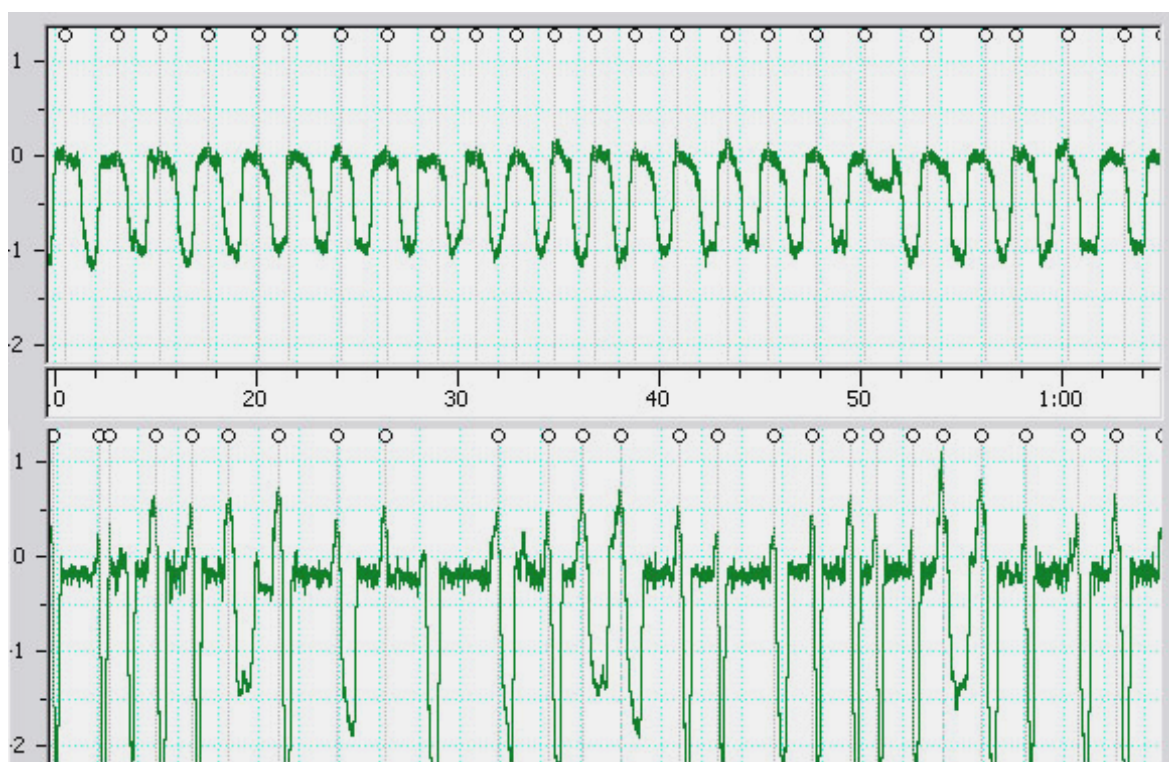


圖 5-2 受測者無講話(圖上)及有講話(圖下)作業時的壓力波形

呼吸頻率減少的原因也可由圖 5-2 中得知，因為中間需要講話，使得可呼吸的時間及次數因此減少。在口罩內溫度的部分，有無講話對溫度沒有影響，其口罩內的溫度是一樣的。

在分通氣量、耗氧量、單位體積耗氧量的部分，三者明顯的皆是執行有講話作業時比較低，應為講話使得受測者整體的換氣量降低，因此分通氣量降低，而耗氧量及單位體積耗氧量的計算包括吐氣的流量，因此當整體之換氣量降低，耗氧量與單位體積之耗氧量也隨之降低，而並非從事講話作業反而比較輕鬆。

5.3.2 主觀不適比較

主觀不適問卷方面，吸氣困難程度、吐氣困難程度、口罩內溫度不舒服程度以及總和之 RPE 指數皆是 N95 船型無閥比較高，顯示在執行負荷作業時，受測者也覺得配戴 N95 船型無閥口罩時比較不舒服。另外在吸氣困難程度的部分，我們也可以發現是 N95 船型無閥口罩的不舒服程度比較高，且有達到顯著差異，顯示在真實配戴情況下，N95 無閥船型口罩的吸氣壓力顯然是會高於 N95 船型有閥口罩。

有講話時在吸氣困難、吐氣困難、口罩內溫度不舒服程度、影響運動執行能力、整體不舒適感以及總和 RPE 指數皆高於沒有講話，顯示配戴呼吸防護具且需要講話時，會增加生理上的負荷且增強主觀不舒適感，這部分的結果與客觀生理負荷指標的結果相符。



第六章 結論

配戴呼吸防護具之生理負荷指標評估在經過分析與討論之後，可歸納下列重要之結論：

- (1) 配戴呼吸防護具就會顯著增加人體的生理負荷。
- (2) 配戴全罩式面罩之呼吸防護具對人體增加的負荷會高於 N95 口罩，尤其在中度負荷最為明顯。
- (3) N95 口罩在配戴時，口罩內的溫度是造成主要主觀不舒適的來源。
- (4) 在相同的作業負荷下，有講話的作業對生理負荷的影響，顯著高於沒有講話之作業。



第七章 參考文獻

- (1) OSHA. Small Entity Compliance Guide for Revised Respiratory Protection Standard. OSHA 1998.
- (2) Aucoin TA Jr. A successful respiratory program. *Am Ind Hyg Assoc J* 1975; 752-754.
- (3) 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.
- (4) Boillinger NJ. NIOSH guide to Industrial respiratory protection. DHHS NIOSH publication 1987; NO.87-116.
- (5) NIOSH, 42CFR Part 84: Respiratory protective device 1995.
- (6) Louhevaara VA. Physiological effects associated with the use of respiratory protective devices. *Scand J Work Environ Health* 1984; 10:275-281.
- (7) 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.
- (8) Johnson AT, Scott WH, Lausted CG, Benjamin MB, Coyne KM, Sahata MS, Johnson M.M. Effect of respirator inspiratory resistance level on constant load treadmill work performance. *Am Ind Hyg Assoc J* 1999; 60:474-479.
- (9) Cooper EA. Suggested methods of testing and standards of resistance for respiratory protective devices. *J Appl Physiol* 1960; 15:1053-1061.
- (10) 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.
- (11) Jetté M, Thoden J, Livingstone S. Physiological effects of inspiratory

- resistance on progressive aerobic work. *Euro J Appl Phys* 1990; 60:65-70.
- (12)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.
- (13)Egan DF. *Fundamentals of respiratory therapy*. St. Louis: C.V. Mosby Co 1973; p85.
- (14)Comore JH, *Physiology of respiration*. Chicago: The year book medical publisher 1976; p139.
- (15)Bentley RA, Griffin OG, Love RG, Muir DCF. Acceptable levels for breathing resistance of respiratory apparatus. *Arch Environ Health* 1973; 27:273-279.
- (16)Haeber P, Tamimie RJ, Bhattachary A, Barber M. Physiologic effects of respiratory dead space and resistance loading. *J Occup Med* 1982; 24:289-298.
- (17)Mogan WP. Psychological problem associated with wearing of Industrial respirators: a review. *Am Ind Hyg Assoc J* 1983^a; 44:671-676.
- (18)Mogan WP. Psychometric correlates of respiration: a review. *Am Ind Hyg Assoc J* 1983^b;44:677-684.
- (19)Johnson AT, Scott WH, Lausted CG. Effect of external dead space volume on performance while wearing a respirator. *Am Ind Hyg Assoc J* 2000; 61:678-684.
- (20)Khanzadeh FA, Bisesi MS, Rivas RD. Comfort of personal protective equipment. *Appl Ergonomics* 1995; 26:195-198.
- (21)彭英毅,彭清次. 運動生理學第十章以測驗檢查為基礎評估體能工作
量。 1982; p285-317.
- (22)*American College of Sports Medicine: ACSM's guidelines for exercise testing and prescription*, 6th ed. 2000.
- (23)Hui L, Gabriel YF, Yeung SSM, Hui-Chan CWY. Evaluation of physiological work demands and low back neuromuscular fatigue on

- nurses working in geriatric wards. *Appl Ergonomics* 2001; 32:479-483.
- (24) Åstrand PO, Rodahl K, Dahl HA. *Textbook of work physiology: physiological bases of exercise*, 4th ed. 2003.





附錄一：受測者同意書 同意書

姓名：_____ 受測者編號：_____

- 1.本人同意參加 N95 呼吸防護具造成的呼吸負荷評估研究計畫，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：個人基本資料

中國醫藥大學 職業安全與衛生學系

※呼吸生理負荷評估※

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

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：主觀不適問卷

主觀不適問卷

受測者編號：_____ 運動型態：_____ 日期：_____

您好！經過一段時間配戴呼吸防護具的負荷實驗以及適當休息，請依據你主觀感覺，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。

例如：

		症狀	不舒服程度										
			沒感覺	很弱	弱	普通	強	很強	非常強				
	配戴呼吸防護具之生理影響	是否感到不舒適	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	吸氣困難程度	<input checked="" type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 無				<input checked="" type="checkbox"/>							

		症狀	不舒服程度										
			沒感覺	很弱	弱	普通	強	很強	非常強				
	配戴呼吸防護具之生理影響	是否感到不舒適	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	在運動過程中吸氣困難的程度	<input type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 無											
2	在運動過程中吐氣困難的程度	<input type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 無											
3	在運動過程中口罩內的溫度，會讓你覺得不舒服的程度	<input type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 無											
4	戴呼吸防護具影響身體可運動的程度	<input type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 無											
5	因為配戴呼吸防護具而造成的不舒服感覺	<input type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 無											