

行政院國家科學委員會補助
大專學生研究計畫研究成果報告

* *****
* 計 畫
* : 以實驗量測呼出飛沫濃度與人體肺功能相關性分析
* 名 稱
* *****

執行計畫學生： 李嘉儀
學生計畫編號： NSC 101-2815-C-040-001-E
研究期間： 101年07月01日至102年02月28日止，計8個月
指導教授： 陳詩潔

處理方式： 本計畫涉及專利或其他智慧財產權，1年後可公開查詢

執行單位： 中山醫學大學公共衛生學系（所）

中華民國 102年02月21日

行政院國家科學委員會補助
大專學生研究計畫研究成果報告

* 計畫 *
* : 以實驗量測呼出飛沫濃度與人體肺功能相關性分析 *
* 名稱 *

執行計畫學生：李嘉儀

學生計畫編號：NSC101-2815-C-040-001-E

研究期間：一百零一年7月1日至一百零二年2月底止，計8個月

指導教授：陳詩潔 副教授

處理方式(請勾選)： 立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權，一年二年後可公開查詢

執行單位：中山醫學大學公共衛生學系

中華民國 102 年 3 月 31 日

摘要

本研究之目的為藉由飛沫採樣設備和肺功能儀器，分別量測健康者的咳嗽飛沫所產生的粒數濃度及肺功能指標，進一步以線性迴歸分析其兩者間之相關性。本研究模擬一個小型實驗，研究對象選取 18 位健康受測者，男性和女性各 9 人，分為 10-19、20-29、30-39 三個年齡層。本實驗使用 Grimm 1.108 微粒分析儀測量 1 分鐘內咳嗽 20 次產生的飛沫粒數濃度，另外結合肺功能分析儀 Spirolab II 測量肺功能指標，包括用力吐氣肺活量 FVC (forced vital capacity)、第一秒用力呼出體積 FEV₁ (forced expiratory volume in 1 second)、一秒率 (FEV₁/FVC) 及尖端呼氣流速 PEF (peak expiratory flow)。研究結果顯示，三組不同年齡層之受測者中，30-39 歲男性受測者所呼出之飛沫粒數濃度為最高，其值為 101026±59455 (Particles/L)。藉由 Mann-Whitney U test 可看出肺功能對性別差異的比較當中，20-29 歲之受測者與其他年齡層之受測者相比，其性別對於肺功能指標(FVC、FEV₁、PEF)影響較大 ($p < 0.05$)；另外在年齡層差異比較上，利用 Kruskal-Wallis test 得知，相較於女性，男性在不同年齡層下，其肺功能指標(FVC、FEV₁)是有差異的 ($p < 0.05$)。最後，18 位受測者其兩次飛沫實驗之平均粒數濃度和肺功能指標的相關性分析顯示，FVC、FEV₁、PEF 與平均飛沫濃度之相關係數 R 值分別為 0.03、0.03 及 0.20，顯示低相關性。

關鍵字:

Droplet experiment ; Number concentration ; Cough ; Lung function ; FEV₁ ; PEF

目錄

| | |
|----------------------|----|
| 摘要 | 1 |
| 目錄 | 2 |
| 第一章、前言 | 3 |
| 1.1 背景 | 3 |
| 1.2 研究動機與研究問題 | 4 |
| 第二章、文獻回顧 | 5 |
| 2.1 呼出飛沫的粒徑大小與粒數濃度 | 5 |
| 2.2 性別和年齡對呼出飛沫影響 | 9 |
| 2.3 人體肺功能 | 10 |
| 2.4 肺功能標準量測方法 | 11 |
| 2.5 肺功能指標及判定標準 | 15 |
| 2.5.1 肺功能指標 | 15 |
| 2.5.2 判定標準 | 15 |
| 第三章、材料與方法 | 17 |
| 3.1 研究對象 | 17 |
| 3.2 實驗規劃及流程 | 17 |
| 3.3 資料分析 | 19 |
| 第四章、結果與討論 | 20 |
| 4.1 實驗者基本資料和飛沫測量結果 | 20 |
| 4.2 時變的粒數濃度 | 20 |
| 4.3 性別和年齡別粒數濃度分佈 | 20 |
| 4.4 年齡別粒徑分佈大小 | 21 |
| 4.5 性別和年齡間肺功能指標差異 | 24 |
| 4.6 飛沫濃度與肺功能指標的相關性分析 | 26 |
| 第五章、結論與建議 | 29 |
| 5.1 結論 | 29 |
| 5.2 建議 | 29 |
| 5.3 研究限制 | 30 |
| 參考文獻 | 31 |

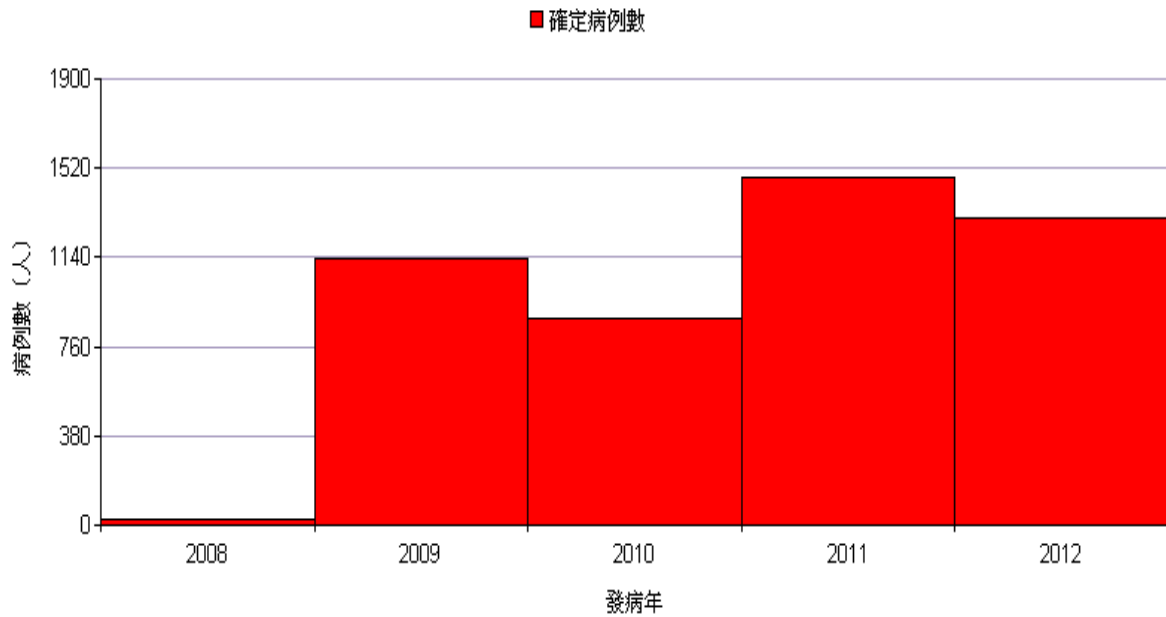
第一章、 前言

1.1 背景

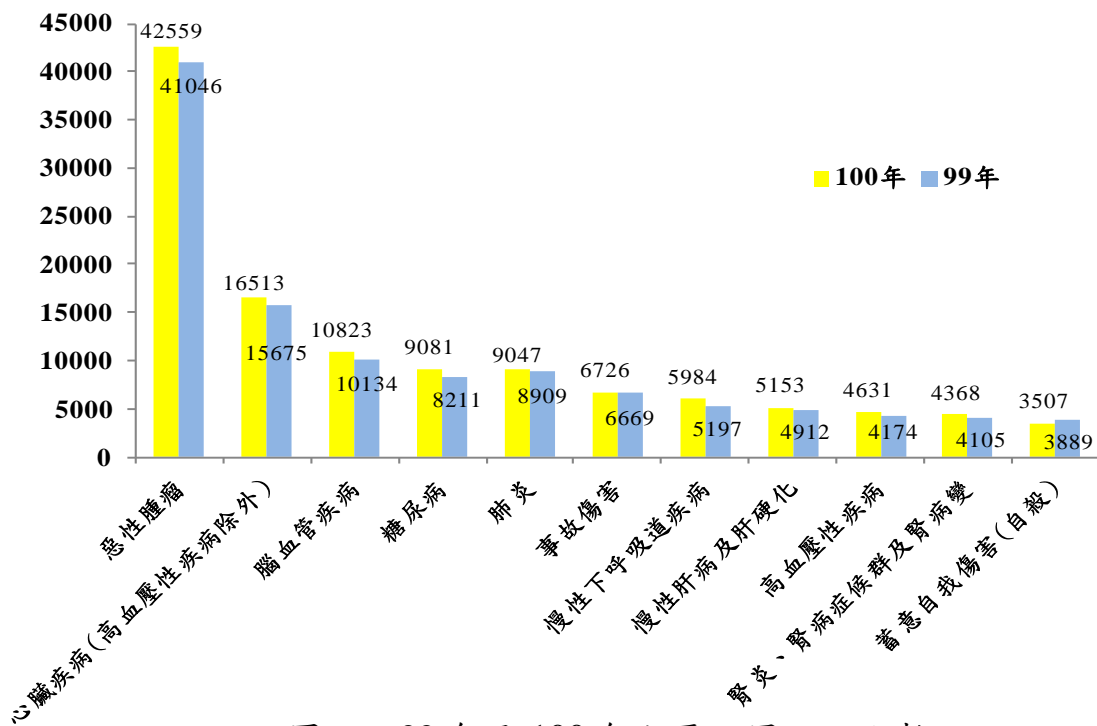
呼吸性傳染病在公共衛生史上一直佔有相當程度的地位，自1918-1919年西班牙流感(H1N1)到近年來發生嚴重急性呼吸道症候群(SARS)、H5N1 流感及流感併發症等，皆是病毒藉由呼吸活動之快速傳播而導致，因此受到各相關領域之關注；圖一為台灣行政院衛生署疾病管制局統計流感併發症的病例趨勢圖，可看出2011、2012年的病例相較於2009、2010年，有上升趨勢。這幾年來的環境變化除了造成感染病毒的變異之外，罹患呼吸系統疾病的人數也日益增加當中，不管是氣喘或是慢性阻塞性肺病(COPD)等病症都成為不可忽略的議題。

圖二為台灣行政院衛生署統計室統計民國99年與100年主要死因死亡人數，肺炎及慢性下呼吸道疾病近年在全國死因排名分別在第5位和第7位，跟99年相比，肺炎增加138人、慢性下呼吸道疾病增加787人，可見其比例上升非常快速。簡言之，不論是呼吸性傳染病或呼吸系統疾病，都會直接對肺部產生不良的效應，因此可利用肺功能測試來評估肺部的狀況，又因飛沫的產生是來自肺泡內的空氣，經由呼吸道高速振盪排出(Gralton et al, 2011)，因此肺功能與飛沫產生的相關性更值得探討。

肺功能的檢查主要分成通氣、氣體交換、氧氣與二氧化碳輸送和通氣控制等四個部份(新竹馬偕紀念醫院衛教資訊，2009)；臨床上最常用的是通氣功能檢查，因為它可為多數胸肺疾病作出診斷(鄭勁平，1999)；通氣是空氣先由大氣吸入肺泡內，隨後呼出。評估通氣功能的方法，最基本的還是測量呼吸時肺的容積和氣流的流速變化(新竹馬偕紀念醫院衛教資訊，2009)。最後，本研究肺功能測試之執行是參考美國胸腔協會(American Thoracic Society)及歐洲呼吸系統協會(European Respiratory Society)在2005年共同制定的標準。



圖一、全國流感併發症含本土及境外移入病例趨勢圖
(2008/01/01—2012/07/04)
(台灣行政院衛生署疾病管制局)



圖二、99年及100年主要死因死亡人數
(台灣行政院衛生署統計室)

1.2 研究動機與目的

呼吸性傳染病主要是由呼氣活動(如咳嗽、打噴嚏、說話)所產生之飛沫途徑來傳染，其中咳嗽是呼吸性傳染病的主要來源及傳輸方式，因它有產生大量飛沫及具高流速的性質，所以咳嗽是許多高傳染性疾病(流行性感冒、SARS)的主要症狀；另外也是一般呼吸系統疾病的基本常見症狀。咳嗽所產生的飛沫大小和數目可能會因肺部功能之差異而產生變化，為了對這些疾病有效預防與控制，故關於呼吸性傳染病的傳播和呼吸系統疾病之研究有明顯的需要性。在另一方面，人體肺功能一樣會隨著性別、年齡的不同而有所差異，使呼出飛沫濃度及粒徑大小分佈不同，故本篇研究目的是探討人類在不同性別及年齡層狀下，其肺功能與咳嗽所產生飛沫濃度之相關性。

第二章、文獻回顧

2.1 呼出飛沫的粒徑大小與粒數濃度

攜有病毒之飛沫能透過不同的呼吸道活動散佈至空氣環境中，造成疾病的傳播(Cole and Cook., 1998; Nicas et al., 2005; Yang et al., 2007; Gupta et al., 2009)。Gupta 等(2009) 指出咳嗽具有高流速，能產生大量的飛沫，是傳染性病毒的主要來源和傳輸者；類似流行性感冒、SARS 等高傳染性疾病，咳嗽也是這些疾病的主要症狀，故本篇研究主要探討人類咳嗽產生的飛沫特性。表一為早期研究者對咳嗽呼吸道活動的相關研究，分別採用了不同之量測技術方法偵測受測者咳嗽呼出之飛沫濃度和粒徑大小。

早期研究學者多數採用固、液體衝擊的偵測原理來探討咳嗽呼出之飛沫特性(Duguid et al., 1946; Loudon and Roberts., 1967; Heymannl., 1899; Eichenwald et al., 1960; Buckland et al., 1964)。Duguid 等(1946) 對量測健康受測者透過口、鼻和咽喉進行之咳嗽活動，藉由收集衝擊在載玻片之咳嗽飛沫，再使用顯微鏡觀察載玻片以探討飛沫顆粒數和粒徑大小。結果顯示 95% 飛沫粒徑 $<100\ \mu\text{m}$ ，平均飛沫大小為 $14\ \mu\text{m}$ ，當中又以 $4-8\ \mu\text{m}$ 為最多，一次咳嗽呼出之平均飛沫濃度為 5000 顆粒數；Loudon 及 Roberts (1967) 使用顯微鏡觀察載玻片發現健康受測者正常咳嗽 15 次產生之飛沫有 464 顆，當中使用染色之飛沫有 237 顆，而平均飛沫大小為 $12\ \mu\text{m}$ 。Xie 等(2009)採用顯微鏡觀察載玻片量測健康者咳嗽 20 次之每次平均咳嗽顆粒數為 108 顆，總咳嗽平均顆粒數為 800 顆。

近年來研究學者利用光學微粒子計數器(Optical particle counter) 測量不同呼吸道產生的飛沫特性。Papineni 及 Rosenthal(1997) 利用光學微粒子計數器 (Optical particle counter)測量健康者一次咳嗽之粒徑範圍為 $0.3-8.0\ \mu\text{m}$ ，69 %的飛沫粒徑為 $<0.6\ \mu\text{m}$ ，一次咳嗽呼出之飛沫粒數為 420 顆，平均飛沫粒數 50 顆；Cole 及 Cook (1998)研究顯示咳嗽所產生之飛沫粒數濃度為 10^4 。

隨著科技發展，儀器不斷地進步，近期的研究學者分別採用不同之儀

器測量飛沫的粒徑大小。Yang 等 (2007) 、 Fang 等(2008) 和 Morawska 等(2008) 採用採用氣動微粒分徑器(Aerodynamic particle size)測量健康者咳嗽產生之粒徑範圍分別為 0.62 -15.9 μm 、 $<1.0 \mu\text{m}$ 和 0.4-10.0 μm ; Li 等 (2008) 和 Xie 等(2009) 使用 Grimm1.108 微粒分析儀測量健康受測者咳嗽的粒徑分佈分別為 50-100 μm 和 $>500 \mu\text{m}$, Lindsley (2010) 採用了兩階懸浮微粒採樣器(Two-stage aerosol sampler) 測得流感患者之咳嗽粒徑 $<1.0 \mu\text{m}$ 。

Gratton 等(2011)把以往研究文獻針對於咳嗽呼出之飛沫粒徑大小作一總結，得出咳嗽飛沫粒範圍為 $<0.1-500 \mu\text{m}$ 。

綜上可知，即使採用相同和不同的之技術方法所量測的飛沫粒數濃度和粒徑大小範圍皆有所為不同。Xie 等(2009)解釋其原因與受測者當時咳嗽時的音量，唾液分泌的多寡，唇部、舌頭和牙齒之位置和運動，以及個體之健康狀況有關。

表一、人類咳嗽呼吸道活動的相關研究

| 文獻 | 量測工具 | 研究對象 | 咳嗽之方法 | 結果 |
|-------------------------------|--|--|------------------------------|---|
| Jennison (1942) | 高速照相 (1/30,000 秒) | 未知 | 咳嗽 1 次 | 飛沫粒徑大小 >100 μm |
| Duguid (1946) | 顯微鏡 | 健康受測者 | 咳嗽-嘴巴 打開和嘴 巴閉合：1 次 | 飛沫粒徑大小：100-125 μm 飛沫核粒徑：8-16 μm 平均飛沫粒數： 5×10^3 |
| Gerone et al. (1946) | ◆固、液體衝擊 ◆粒徑分析儀 ◆Particle-size analyzer | 流感患者 | 咳嗽 1 次 | 飛沫粒徑：<1-15 μm 總平均飛沫濃度： 90,838 顆粒數 |
| Loudon and Roberts (1967) | 顯微鏡 | 3 位健康受測者 | 咳嗽 15 次 | 飛沫粒徑分佈：1-1471 μm 平均飛沫粒數： 5×10^2 |
| Papineni and Rosenthal (1997) | ◆OPC* ◆AEM* | 5 位健康受測者 | 咳該 20 次 | 平均飛沫粒數： 5×10^1 |
| Yang et al. (2007) | ◆APS* ◆SMPS* | 54 位健康受測者(各組別 男女性各 9 人) 年齡層： 10-12 歲； 20-30 歲； 30-50 歲； | 使用口罩 或直接咳 嗽至塑膠 採樣袋裡 | 總平均粒徑分佈： 咳嗽飛沫：0.62-15.9 μm ， 平均大小為 8.35 μm 飛沫核：0.58-5.42 μm ， 80%之飛沫集中 0.74-2.12 μm 平均飛沫濃度： 男性 30-50 歲平均飛沫 濃度為最多 2355±663 droplets/cm ³ 女性 10-12 歲平均飛沫 濃度為為最少：881±358 droplets/cm ³ |
| Fang et al. (2008) | APS* | 80 位健康受測者 51 位上呼吸道 感染受測者 56 位下呼吸道 感染受測者 | 受測者戴 上噴射噴 霧器進行 咳嗽活動 | 健康受測者飛沫粒徑： <0.1 μm 受感染者：未知 |

表一、人類咳嗽呼吸道活動的相關研究(續)

| 文獻 | 量測工具 | 研究對象 | 咳嗽之方法 | 結果 |
|------------------------|--|---|----------------------------|--|
| Li et al. (2008) | ◆ Grimm1.108* ◆ 顯微鏡 | 健康受測者 | 使用噴霧器進行咳嗽 | 飛沫粒徑分佈：50-100 μm |
| Morawska et al. (2009) | APS* | 健康受測者 年齡： ≤ 35 歲 | 短暫的咳嗽 平均咳嗽時間間隔 1.2 秒 | 飛沫粒徑分佈：0.1-1.0 μm 飛沫濃度：0.64 (cm^{-3}) |
| Chao et al. (2009) | IMI* | 8 位健康受測者 (男性 3 位；女性 8 位) 年齡： < 30 歲 | 咳嗽 50 次 | 咳嗽飛沫粒徑在於 4-8 μm 每次咳嗽總飛沫濃度： 947-2085 顆粒數 |
| Xie et al. (2009) | ◆ Grimm1.108* ◆ 顯微鏡 | 健康受測者 7 位(男性 3 位；女性 4 位) 年齡：20-40 歲 | 計數 1-100 | 飛沫粒徑大小 $> 500 \mu\text{m}$ |
| Lindsley (2010) | 兩階懸浮微粒採樣器 (Two-stage aerosol sampler) | 58 位流感患者 (男性 38 位，女性 20 位) 年齡：18-33 歲 | 透過肺功能儀器咳嗽 3 次 | 飛沫粒徑大小 $< 1.0 \mu\text{m}$ |

*OPC: optical particle counter ; AEM: analytical transmission electron microscope; SMPS: Scanning mobility particle sizer; APS: Aerodynamic Particle Sizer; Grimm1.108: grimm particle size analyzer Model 1.108; IMI: Interferometric Mie imaging

2.2 性別和年齡對呼出飛沫影響

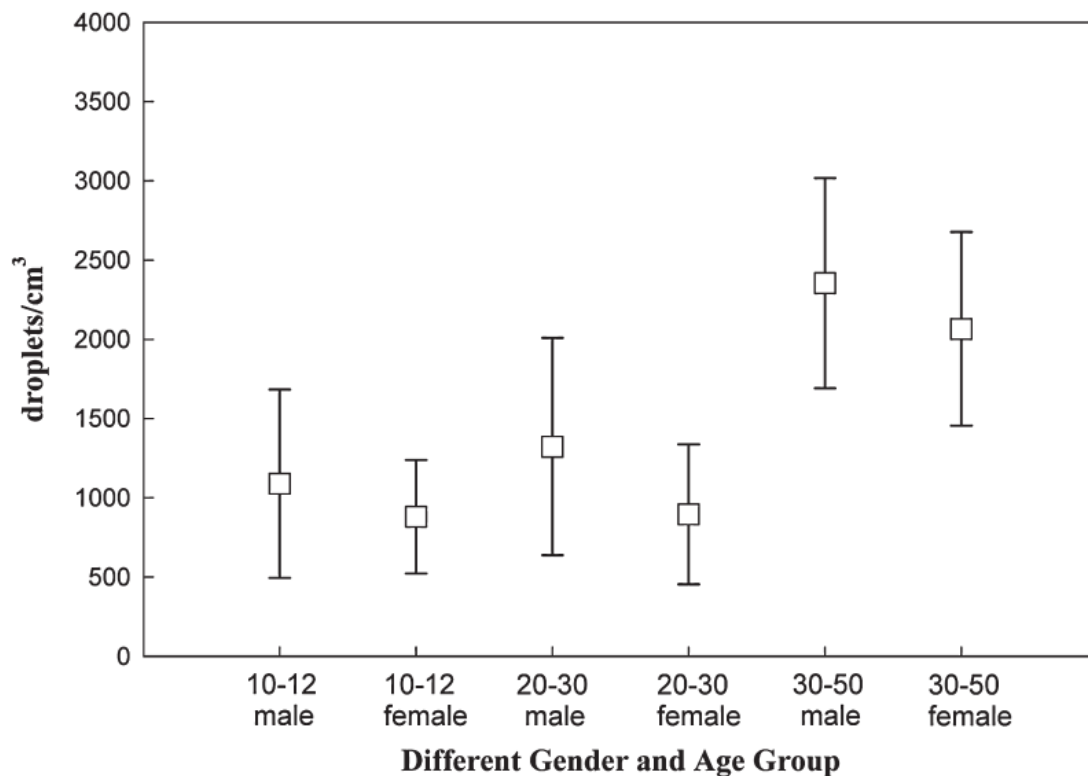
不同的文獻結果發現，人體在不同呼吸道活動所產生之飛沫特性，在個體間存在很大的差異 (Papineni and Rosenthal,1997; Holmgren et al., 2010; Schwarz et al., 2010)。

Yang 等(2007)針對特定之年齡和性別，研究在不同的個體間呼出之飛沫濃度的差異。其研究結果發現在各年齡層男、女性受測者的平均粒徑大小都沒有顯著之差異 ($p>0.1$)，當中以 20-29 歲受測者之粒徑分佈和平均飛沫大小為最大，粒徑分佈：男、女性分別為 4.37-8.35 μm 和 4.37-8.35 μm ；平均飛沫大小：男性為 6.29 μm ，女性則為 6.46 μm (表二)；其研究結果也發現在 10-50 歲之受測者呼出之飛沫濃度會隨著年齡增大而增加，並且男性大於女性(圖三)；在 10-12 歲、20-30 歲和 30-50 歲的男性受測者所呼出之飛沫濃度分別為 1089 ± 594 droplets/cm³、 1323 ± 685 droplets/cm³ 和 2355 ± 663 droplets/cm³；女性則分別為 881 ± 358 droplets/cm³、 896 ± 442 droplets/cm³ 和 2066 ± 612 droplets/cm³。Schwarz 等(2010)和 Johnson and Morawska (2009)研究發現人體在潮氣容積為 1L，正常呼吸時所產生之飛沫濃度與年齡呈正相關。

Schwarz 等(2010)研究結果表示個體間呼出之飛沫濃度差異度達 100 倍，其與受測者肺部狀況有關，當中肺餘容積與肺總容量之比率較低的受測者產生的粒數濃度較多，故造成飛沫濃度在個體差異大的原因。

表二、不同年齡層和特別的飛沫粒徑大小 (Yang et al., 2007)

| | 10-12 Years | | 20-30 Years | | 30-50 Years | |
|--------------------------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|
| | Nine males | Nine females | Nine males | Nine females | Nine males | Nine females |
| Droplet mode (μm) | 4.37-7.77 | 4.23-7.23 | 4.37-8.35 | 4.37-8.35 | 4.37-6.73 | 4.37-6.73 |
| Average size (μm) | 5.99 | 5.84 | 6.29 | 6.46 | 5.46 | 6.01 |



圖三、不同性別和年齡層之咳嗽飛沫濃度 (Yang et al., 2007)

2.3 人體肺功能

肺部主要用來進行呼吸作用，新竹馬偕紀念醫院衛教資訊(2009)內文提到，人體肺臟功能主要是把空氣吸入肺部經動脈血把氧氣送到組織，再將體內代謝產生的二氧化碳排出體外。實用生理學(2002)將肺部相關生理參數及曲線圖整理如圖四：

(一)功能肺餘容積 FRC(functional residual capacity)

指自然呼吸過程中，呼吸肌完全鬆弛，肺部彈性回縮，一平靜呼氣之後，肺部殘留體積量等於肺部此時的容積量。體積約為 2500 ml。

(二)潮氣容積 TV(tidal volume)

指在一次呼吸當中，吸入或呼出肺部的空氣量。平靜狀態下，正常人 TV 為 250-500 ml。

(三)吸氣儲備容積 IRV(inspiratory reserve volume)

一平靜吸氣之後，再盡量用力吸氣時所能吸進肺部之氣體量。體積約 3000 ml。

(四)呼氣儲備容積 ERV(expiratory reserve volume)

一平靜吐氣之後，再盡量用力吐氣時所能呼出肺部之氣體量。體積約 1000 ml。

(五)肺餘容量 RV(residual volume)

在盡最大努力呼氣之後，肺部仍有氣體滯留。體積約為 1500 ml，當值上升表示肺泡壁彈性變差。

(六)肺活量 VC(vital capacity)

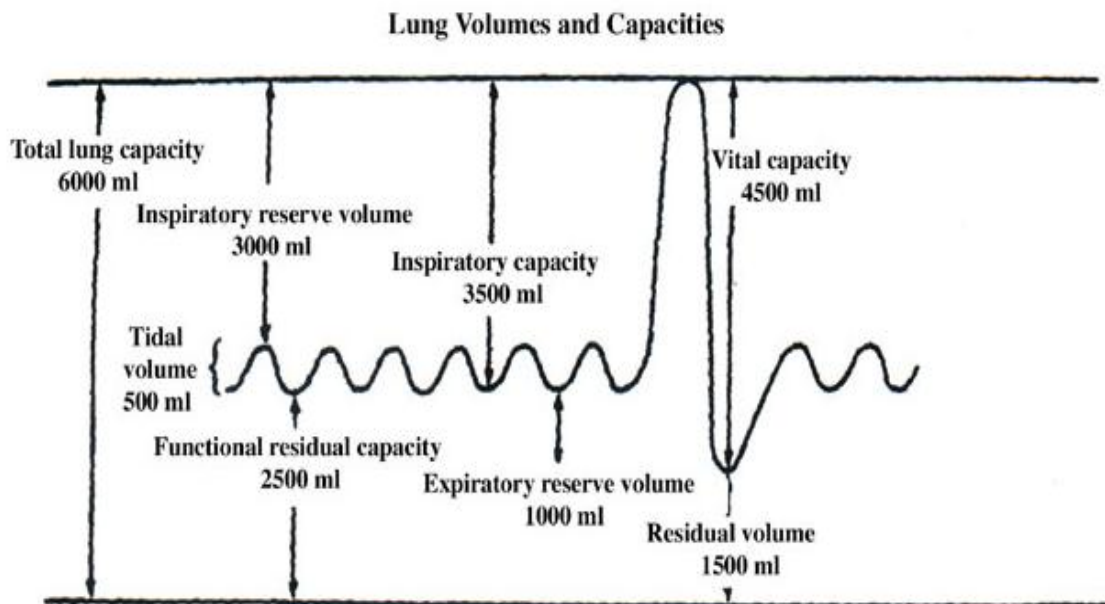
指在盡力吸氣之後，所能呼出之最大氣體量。體積約為 4500 ml。

(七)吸氣總量 IC(inspiratory capacity)

自然呼氣終止時，開始用最大力量吸氣所吸進之氣體量。體積約為 3500 ml。

(八)肺總容量 TLC(total lung capacity)

肺部實際容納氣體之總量。體積約 6000 ml。



圖四、人體肺部生理參數圖

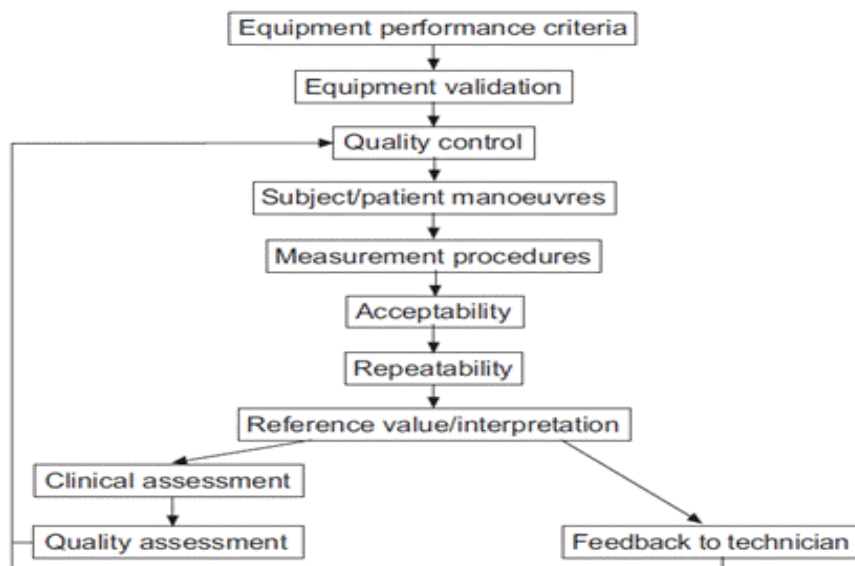
(Guyton MD; Textbook of Medical Physiology. 8th ed, 1991)

2.4 肺功能標準量測方法

肺功能檢查是臨床上胸肺疾病及呼吸生理的重要檢查內容。對於早期檢測出肺及氣道病變、鑑別呼吸困難的原因、診斷病變部位、評估疾病的病情嚴重度及其預後，評定藥物療效及肺功能對手術的耐受力等，肺功能檢查是不可少的(鄭勁平，1999)。

肺功能的檢查品質主要取決於受測者之盡力及配合，施測者是否有其相關知識來當作判讀關鍵(陳政茵等，2002)。另外因肺功能與個人的身高、體重、年齡有相對關係(Lin and Jong, 2004)，所以做肺功能檢查前，需輸入個人基本資料(性別、身高、體重、出生日、年齡及種族)，使儀器先估算出正確預測值，再以受測者量測數值除以預測值作為指標。

ATS (2005)及 ERS (2005)訂定的最新肺功能量測標準中，有明確定義其肺功能測試之應用可包括診斷、偵測、失能及受損評估和公共衛生等方面。圖五為肺功能標準操作流程，要先符合儀器設備標準和驗證後再做品質管制及肺功能測試，量測過程需隨時注意受測者之測試情形，當符合可接受性標準及再現性標準才解釋數據，最後做品質評估。



圖五、肺功能量測標準流程(ATS and ERS, 2005)

表三為肺功能測試流程，測試過程需注意：

1. 受測者若有頭暈情況立即停止測試。
2. 受測者假牙不需拿掉，維持口部形狀。
3. 若為孩童測試，施測者需再進一步接受專門訓練。
4. 測試中需夾鼻夾或用手捏住鼻子並採坐姿。
5. 受測者需貼緊吹管避免氣體洩漏情形。

表三、肺功能測試流程(ATS and ERS, 2005)

Check the spirometer calibration

Explain the test

Prepare the subject

Ask about smoking, recent illness, medication use, *etc.*

Measure weight and height without shoes

Wash hands

Instruct and demonstrate the test to the subject, to include

Correct posture with head slightly elevated

Inhale rapidly and completely

Position of the mouthpiece (open circuit)

Exhale with maximal force

Perform manoeuvre (closed circuit method)

Have subject assume the correct posture

Attach nose clip, place mouthpiece in mouth and close lips around the mouthpiece

Inhale completely and rapidly with a pause of <1 s at TLC

Exhale maximally until no more air can be expelled while maintaining an upright posture

Repeat instructions as necessary, coaching vigorously

Repeat for a minimum of three manoeuvres; no more than eight are usually required

Check test repeatability and perform more manoeuvres as necessary

Perform manoeuvre (open circuit method)

Have subject assume the correct posture

Attach nose clip

Inhale completely and rapidly with a pause of <1 s at TLC

Place mouthpiece in mouth and close lips around the mouthpiece

Exhale maximally until no more air can be expelled while maintaining an upright posture

Repeat instructions as necessary, coaching vigorously

Repeat for a minimum of three manoeuvres; no more than eight are usually required

Check test repeatability and perform more manoeuvres as necessary

表四則為一次完整測試及測試與測試間需達到之標準，受測者測試時要不咳嗽、不遲疑、不中斷、不閉住聲門、測試需持續 6 秒，才算一完整測試，且至少做 3 次完整測試但不超過 8 次，若數值超過第一次測試數值之 20%，馬上停止測試；而測試之可接受性及再現性準則必須為兩次最大 FVC 數值和 FEV₁ 數值其差異要小於 0.15 L 以內，最後以呼吸曲線圖判讀肺功能狀況。

表四、一次測試與測試間之需求標準(ATS and ERS, 2005)

Within-manoevre criteria

Individual spiromgrams are "acceptable" if

They are free from artefacts [3]

Cough during the first second of exhalation

Glottis closure that influences the measurement

Early termination or cut-off

Effort that is not maximal throughout

Leak

Obstructed mouthpiece

They have good starts

Extrapolated volume <5% of FVC or 0.15 L, whichever is greater

They show satisfactory exhalation

Duration of ≥ 6 s (3 s for children) or a plateau in the volume–time curve or

If the subject cannot or should not continue to exhale

Between-manoevre criteria

After three acceptable spiromgrams have been obtained, apply the following tests

The two largest values of FVC must be within 0.150 L of each other

The two largest values of FEV₁ must be within 0.150 L of each other

If both of these criteria are met, the test session may be concluded

If both of these criteria are not met, continue testing until

Both of the criteria are met with analysis of additional acceptable spiromgrams

or

A total of eight tests have been performed (optional) or

The patient/subject cannot or should not continue

Save, as a minimum, the three satisfactory manoeuvres

2.5 肺功能指標及判定標準

2.5.1 肺功能指標

一般來說量測之肺功能指標有：

(一)用力吐氣肺活量 FVC(forced vital capacity)

指受測者藉由最大努力吸氣後，用力吐氣之總吐氣量。此肺活量大小由肺臟的彈性、呼吸道口徑大小及其阻抗來決定。在阻塞性肺病及限制性肺病都會有下降的現象。

(二)第一秒用力吐氣容積 FEV₁(forced expiratory volume in 1 second)

指在盡最大努力吸氣後，再快速吐氣一秒內所吐出之氣體量。此呼氣容積大小由胸廓大小，胸廓、肺臟及橫隔膜彈性，及呼吸肌強弱來決定。此數值在阻塞性及限制性肺病也會下降。

(三)第一秒用力呼氣容積佔用力吐氣肺活量之比值，或稱一秒(FEV₁/FVC)

這是判斷肺功能好壞情形的重要指標。在阻塞性肺病中，FEV₁ 會有明顯下降，但 FVC 值變化較少或為正常，因此一秒率有下降現象；但在限制性肺病其 FEV₁、FVC 會呈等比例下降，所以一秒率會在正常範圍內。

(四)尖端呼氣流速 PEF(peak expiratory flow)

指藉由最大努力吸氣後，用力吐出氣體量中所測得的最高流速。由肺的大小、彈性、大氣道口徑及呼吸肌肉的收縮強度來決定；但其無法區分各種換氣異常，因受限於受測者之出力程度，通常其數值主要用來監控氣喘病人之病情。

2.5.2 判定標準

表五為肺部疾病的判別一覽表，健康的人肺部內 85% 以上的空氣可以在一秒內呼出。而一般肺功能檢測結果，FVC、PEF 的正常範圍為預測值的 80% 以上；FEV₁ 正常範圍則在 75-85% 以上(Mcardle and William, 1996)；FEV₁/FVC ≥ 70% 表示肺功能正常；有符合以上所述，則稱為肺功

能檢查結果在正常範圍內，但在身材較瘦高的人群及年輕人可能偏差較大，應予注意。肺功能在正常範圍只是表示肺臟的能力良好，而不代表肺部完全正常。

表五、肺部疾病之判別(胸腔疾病的檢查和診斷，1988)

| | FVC | FEV ₁ | FEV ₁ /FVC(%) | PEF |
|-----|-------|------------------|--------------------------|-------|
| 正常 | 80% | 80%(70%) | 75-85%(70%) | 80% |
| 阻塞性 | 正常或降低 | 降低 | 降低 | 降低 |
| 限制性 | 降低 | 降低 | 正常或增加 | 正常或降低 |
| 混合性 | 降低 | 降低 | 降低 | 降低 |

胸腔疾病的檢查和診斷(1988)亦說明限制與阻塞性肺病的判斷方式如下:

● 限制型肺病

1. 呼氣氣流流速正常，但呼出氣體總量下降。
2. FVC 會低於正常值。
3. FEV₁ 和 FVC 等比例降低。
4. FEV₁/FVC 其比值仍在正常值內。
5. 症狀疾病的產生及原因可能為肺局部或廣泛纖維化、駝背、脊柱側彎、過度肥胖、肋膜疾病、神經肌肉病變、肺腫瘤等。

● 阻塞性肺病

1. 引起呼氣流速降低(PEF 下降)。
2. 主要氣道阻塞(FVC 正常、FEV₁ 下降)。
EX:氣管內外有腫瘤或異物阻塞、氣管狹窄。
3. 周邊較大氣道阻塞(FVC 正常、FEV₁ 下降、FEV₁/FVC 下降)。
EX:慢性氣管炎。

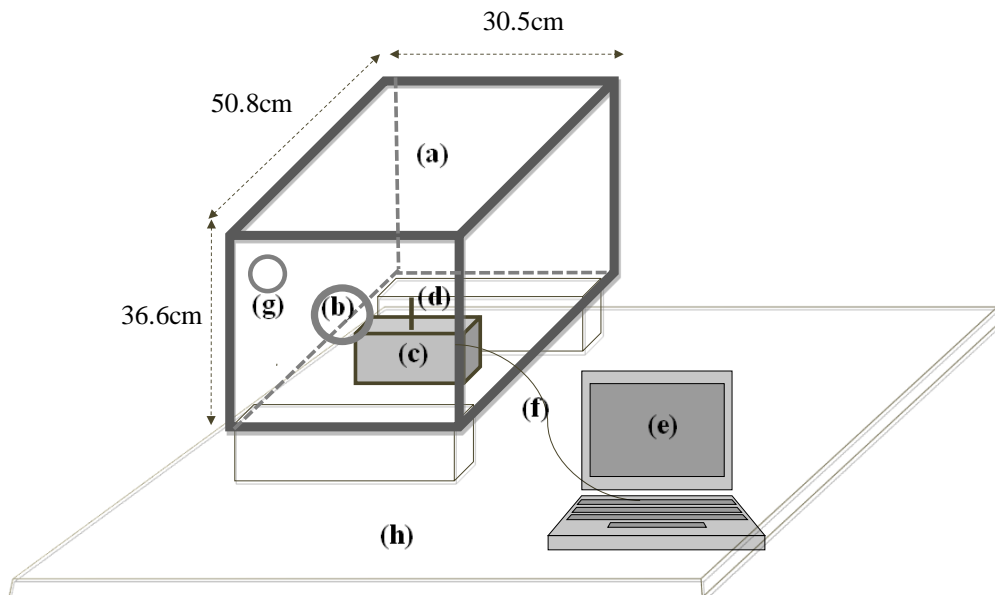
第三章、材料與方法

3.1 研究對象

本研究擬小型實驗，研究對象選取 18 位健康受測者，年齡介於 10-39 歲，且以年齡作分組，分別是 10-19 歲，20-29 歲和 30-39 歲。10-19 歲：男性和女性各 1 人；20-29 歲：男性 4 人，女性 5 人；30-39 歲：男性 4 人，女性 3 人，同時排除抽煙與患有肺部疾病者。

3.2 實驗規劃及流程

前處理部分，首先自製壓克力箱(圖六)，離壓克力箱底部 2/3 的高度挖一個圓形開口，再接著以清水清洗 1 次、一次水清洗 1 次、酒精消毒 3 次、清水清洗 3 次、一次水清洗 3 次及用乾淨紙巾擦乾後將壓克力箱架高，以利 Grimm1.108 微粒分析儀的探針插入壓克力箱底部量測飛沫粒數濃度，接下來將此偵測儀器和電腦連接並放置於桌上，微粒分析儀的探針及溫度-濕度計因在室溫下可能會遭受污染及影響到溫-濕度變化，所以將其放在乾燥箱內，等實驗前再將溫度-濕度計放入壓克力箱內。

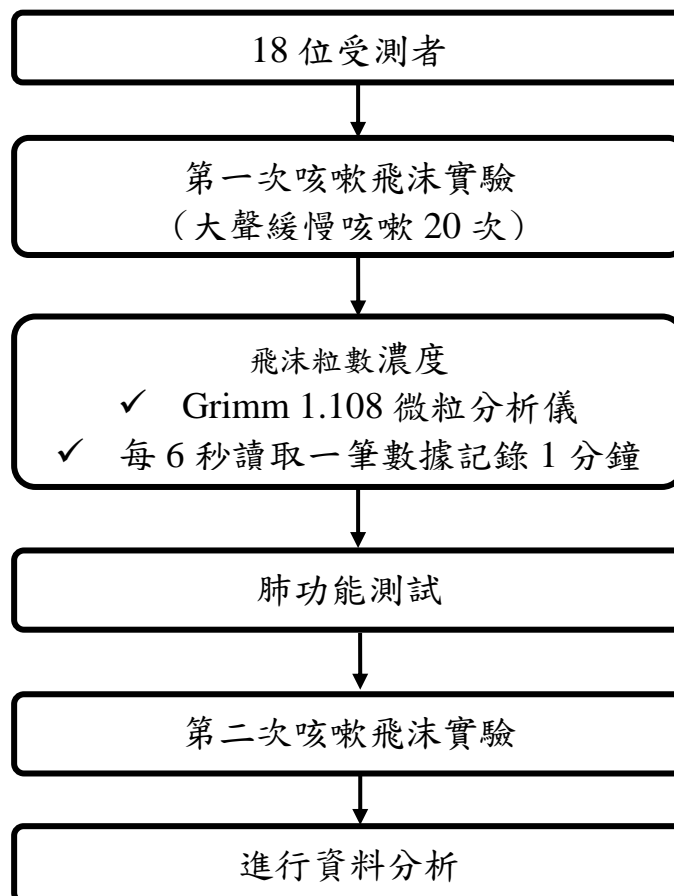


圖六、粒徑分佈和粒數濃度的實驗設計之示意圖。(a)50.8×30.5×36.6cm壓克力箱(Loudon and Roberts, 1967);(b)直徑10cm圓形開口;(c)Grimm1.108微粒分析儀;(d)探針;(e)電腦;(f)連接線;(g)溫溼度計;(h)桌子。

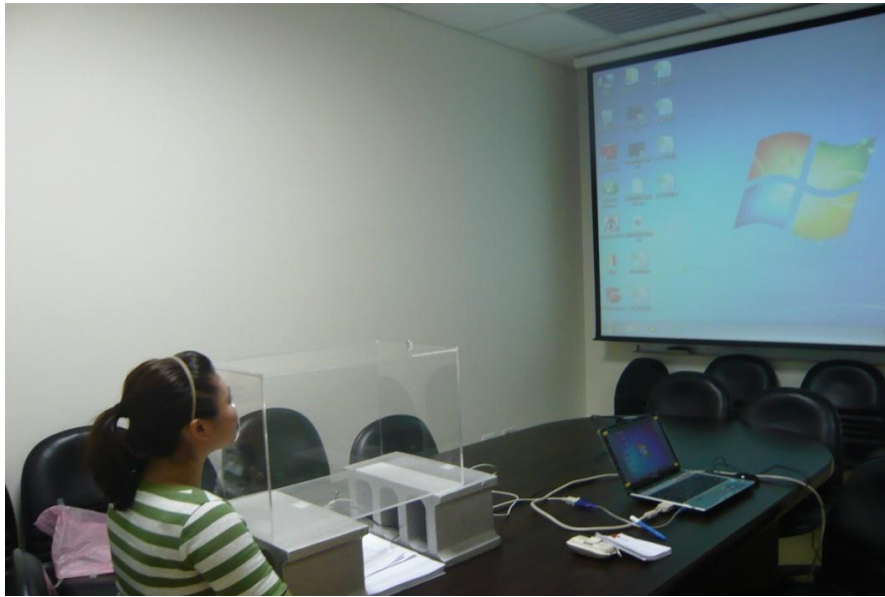
本研究選取 18 位受測者先做咳嗽飛沫實驗，受測者藉由呼吸道活動來產生飛沫，咳嗽定義為大聲且緩慢咳嗽 20 次(Xie et al, 2009)；利用 Grimm1.108 微粒分析儀量測飛沫粒數濃度，並在實驗前後紀錄溫度和相對濕度，最後才進行資料分析。

研究人員將實驗設備定位離開教室後等待 15 分鐘，受試者進入教室內，在呼吸道活動前等待 15 分鐘，呼吸道活動後等待 15 分鐘，受試者離開教室後等待 15 分鐘，研究人員即可進入實驗教室內儲存數據資料。Xie 等(2009)指出開關門和呼吸道活動會使粒數濃度升高，因此本研究等待時間的目的為降低呼吸道活動和維持開關門後的粒數濃度達到平衡，教室長×寬×高為 4.6m×3m×3m。

本研究考慮到控制呼吸道活動的頻率，使用投影片每 3 秒播放第 1 個數字直到數字 20 為止，投影片播放數字 1 時咳嗽為 1，播放數字 2 時咳嗽為 2，不能中斷。圖七為飛沫及肺功能實驗流程，圖八為受測者進行呼吸道活動時的照片。



圖七、飛沫及肺功能實驗流程圖



圖八、受測者進行呼吸道活動之實際照片

3.3 資料分析

本研究之統計分析以 SPSS for windows 17.0 統計套裝軟體(Statistical Package for Social Science, version 17.0)進行分析。肺功能之變數分析則利用 Mann-Whitney U Test 比較 3 個年齡層中，肺功能指標對男女性別的差異性；另外使用 Kruskal-Wallis Test 比較男女性別中，肺功能指標對不同年齡層的差異，最後以兩次飛沫實驗之平均粒數濃度分別和最大的 FVC、FEV₁、PEF 數值做線性迴歸，探討其相關性。

第四章、結果與討論

4.1 實驗者基本資料和飛沫測量結果

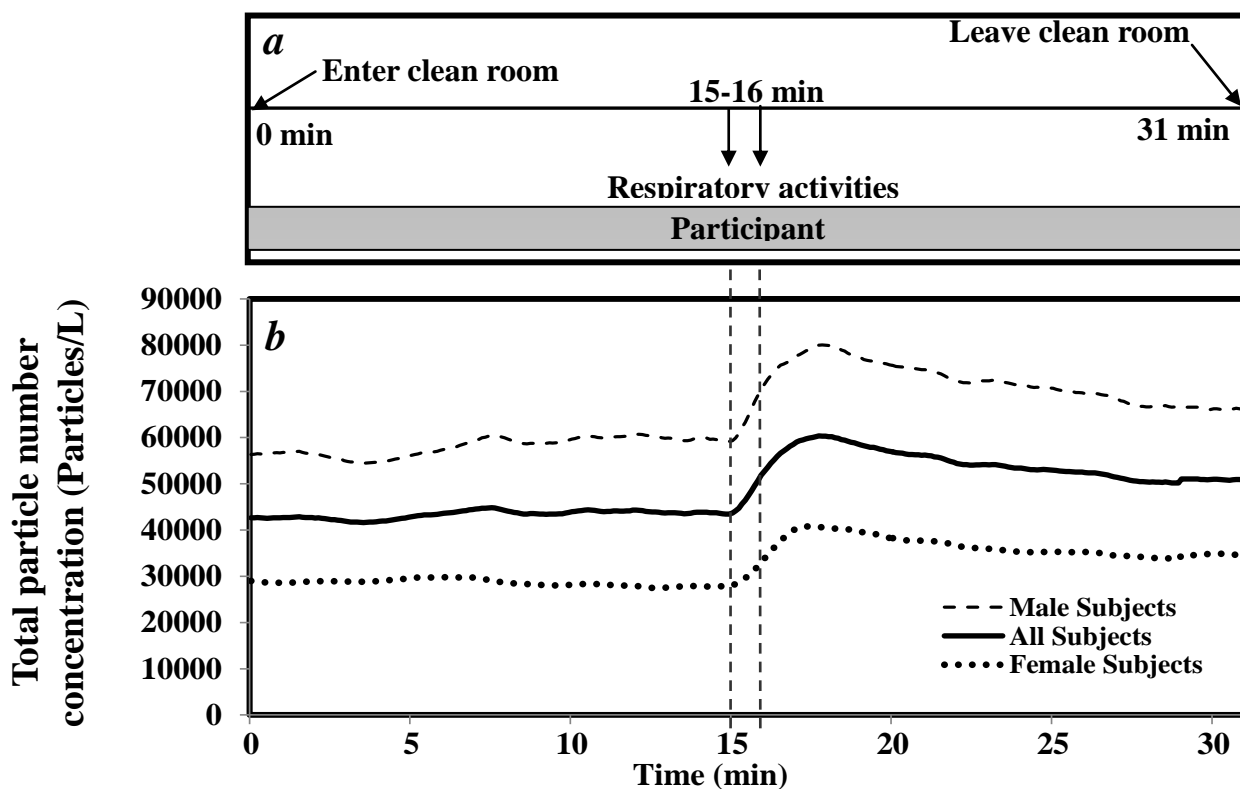
表六描述實驗基本資料和平均飛沫濃度的量測結果，18位受測者年齡在 19-31 歲之間，分別進行兩次飛沫實驗，實驗溫度範圍介於 26 °C-30 °C；相對濕度範圍為 24%-68%。在男性受測者中，M8 受測者在第二次咳嗽產生的平均飛沫濃度為最多，飛沫濃度為 226342 (Particles/L)，而 M2 受測者則在第二次咳嗽產生之飛沫濃度為最少，飛沫濃度為 3858 (Particles/L)；女性受測者中，F9 受測者在第一次咳嗽所產生之平均飛沫濃度為最多，飛沫濃度為 91549 (Particles/L)，F4 受測者在第一次咳嗽產生的平均飛沫濃度最少，飛沫濃度為 4866 (Particles/L)。以上實驗結果得出，年齡層於 30-39 歲受測者產生之飛沫濃度為最高，20-29 歲之年齡層所產生之飛沫濃度為最少，飛沫濃度在不同個體間具有很大之差異性，與 Holmgren 等(2010)結果相同。

4.2 時變的粒數濃度

圖九 a,b 呈現實驗時間為 31 分鐘之時變粒數濃度。受測者進入實驗房間第 0 分鐘至咳嗽前 15 分鐘總粒數濃度都趨於平衡，直至第 15 分鐘開始進行咳嗽有明顯上升並且持續數分鐘後總粒數濃度才逐漸下降，最後趨於平衡。所有受測者之總飛沫濃度為 47878 (Particles/L)，所有受測者和女性受測者之平均飛沫濃度在實驗的第 17 分鐘為最高，分別為 60349 (Particles/L)和 40775 (Particles/L)；男性受測者之總平均飛沫濃度在第 18 分鐘為最高，數值為 80040 (Particles/L)。

表六、實驗者基本料與飛沫數濃度量測結果

| 受測者 | 年齡 (歲) | No. | 溫度 (°C) (開始/結束) | 相對濕度 (%) | 平均飛沫濃度 (Particles/L) |
|-----|-----------|-----|--------------------|-------------|-------------------------|
| M1 | 19 | 1 | 28/27 | 24/66 | 43579 |
| | | 2 | 27/27 | 30/64 | 61292 |
| M2 | 20 | 3 | 27/27 | 51/69 | 4226 |
| | | 4 | 26/25 | 30/65 | 3858 |
| M3 | 21 | 5 | 27/27 | 32/64 | 75413 |
| | | 6 | 25/26 | 34/64 | 41245 |
| M4 | 21 | 7 | 26/27 | 30/66 | 33127 |
| | | 8 | 28/27 | 36/68 | 34832 |
| M5 | 20 | 9 | 27/26 | 34/66 | 28726 |
| | | 10 | 26/26 | 34/66 | 31737 |
| M6 | 31 | 11 | 26/26 | 32/66 | 75084 |
| | | 12 | 27/27 | 38/68 | 68633 |
| M7 | 30 | 13 | 30/26 | 28/64 | 92777 |
| | | 14 | 26/26 | 20/64 | 61769 |
| M8 | 30 | 15 | 27/26 | 54/64 | 168777 |
| | | 16 | 26/26 | 56/62 | 226342 |
| M9 | 31 | 17 | 30/26 | 32/65 | 65381 |
| | | 18 | 27/26 | 28/65 | 49442 |
| F1 | 19 | 19 | 27/26 | 38/66 | 15752 |
| | | 20 | 26/26 | 38/66 | 39790 |
| F2 | 20 | 21 | 27/26 | 40/68 | 40621 |
| | | 22 | 27/26 | 36/68 | 59500 |
| F3 | 21 | 23 | 27/26 | 38/66 | 9400 |
| | | 24 | 27/26 | 48/68 | 10876 |
| F4 | 20 | 25 | 28/27 | 36/66 | 4866 |
| | | 26 | 27/27 | 34/68 | 5365 |
| F5 | 23 | 27 | 28/27 | 42/66 | 5007 |
| | | 28 | 26/26 | 30/64 | 6129 |
| F6 | 22 | 29 | 26/26 | 33/68 | 10556 |
| | | 30 | 28/27 | 40/68 | 14386 |
| F7 | 31 | 31 | 28/26 | 46/66 | 65494 |
| | | 32 | 28/27 | 32/66 | 79136 |
| F8 | 31 | 33 | 29/27 | 42/64 | 17823 |
| | | 34 | 28/26 | 40/61 | 23996 |
| F9 | 31 | 35 | 30/27 | 28/64 | 91549 |
| | | 36 | 29/27 | 30/64 | 57133 |

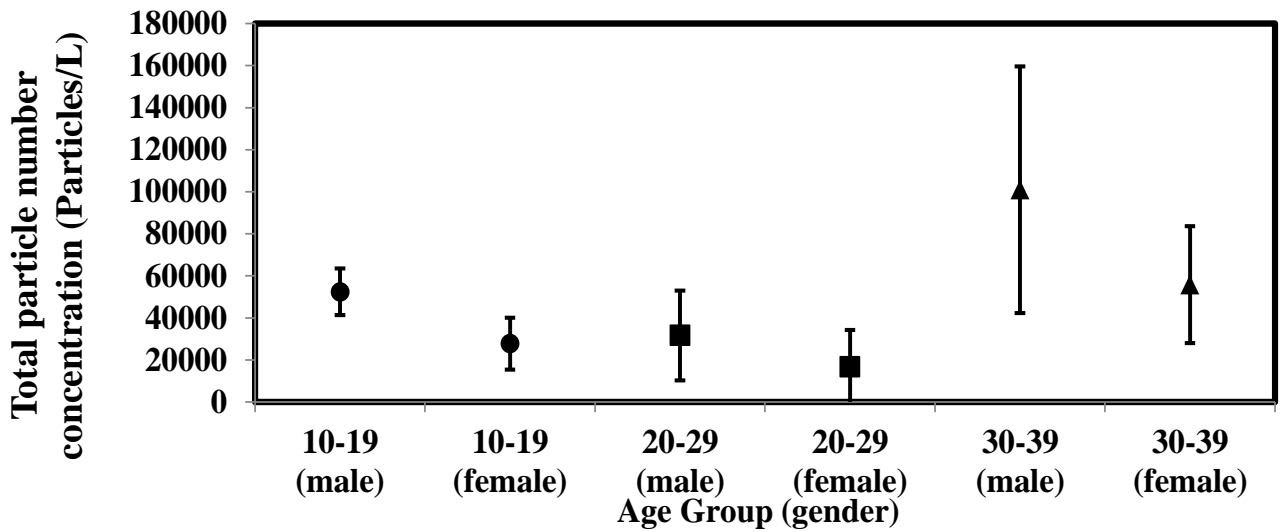


圖九、時變的總粒數濃度

4.3 性別和年齡別粒數濃度分佈

圖十為各特定性別年齡之平均飛沫濃度，結果顯示在 10-19 歲年齡族群，男性受測者之平均飛沫濃度為 52435 ± 11097 (Particles/L)，女性為 27771 ± 12381 (Particles/L)；男性 20-29 歲之平均飛沫濃度為 31645 ± 21398 (Particles/L)，女性則為 16671 ± 17607 (Particles/L)；30-39 歲男性和女性之平均飛沫濃度分別為 101026 ± 59455 (Particles/L) 和 55855 ± 27848 (Particles/L)。從以上結果看出，30-39 歲受測者所呼出之飛沫濃度為最高，依次為 10-19 歲、20-29 歲。本研究推估因為 30-39 歲肺功能相對於其他年齡層發育較成熟，故肺功能相對於較佳而產生較多飛沫濃度。在同年齡層中，男性所呼出之咳嗽飛沫濃度皆大於女性，Yang 等 (2007) 認為呼出飛沫濃度會因呼氣流速有正相關，隨著呼氣流速上升而增加，因此男性受測者的呼氣流速相對較大，也造成男生的粒數濃度高於女性的原因。而本篇研究結果與 Yang 等(2007)研究結果：30-50 歲之年齡層所呼出之飛沫濃度相較於 10-12 歲和 20-30 歲的受測者來得多，同時男性受測者呼出之飛

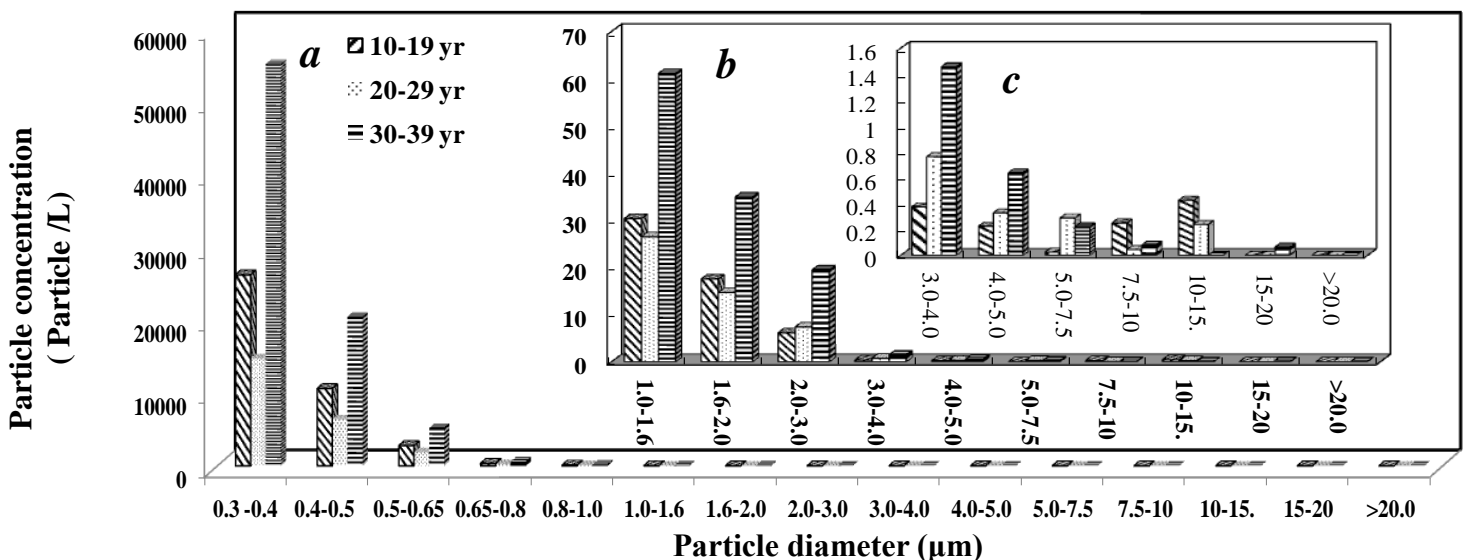
沫濃度比女性受測者多，結果相呼應。



圖十、不同性別和年齡層的咳嗽總粒數濃度

4.4 年齡別粒徑分佈大小

圖十一為特定年齡層受測者之咳嗽呼出飛沫在 0.3-20 μm 粒徑大小分佈圖。結果可以看出，在 0.3-20 μm 之粒徑範圍中， $<0.65 \mu\text{m}$ 之粒徑其飛沫粒數濃度較多(98.8%)，最多之飛沫粒數濃度主要集中在 0.3-0.4 μm 之粒徑範圍內(66.2%)。本研究結果與 Morawska 等(2008) 研究結果(利用氣動微粒分徑器量測咳嗽飛沫粒數濃度主要之粒徑範圍為 $<1 \mu\text{m}$) 相似。整體之飛沫粒數分佈，隨著粒徑增大其飛沫粒數濃度相對減少，而 10-19 歲和 20-29 歲之族群，其飛沫粒徑大小分別在 5-7.5 μm 和 7.5-10 μm 之飛沫濃度則開始有持續上升之趨勢。

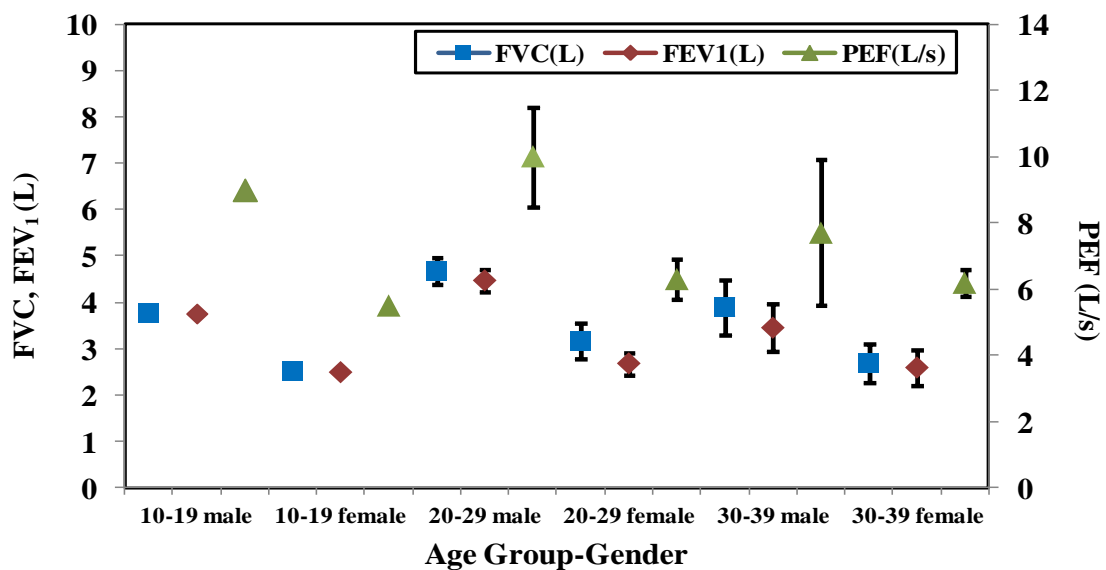


圖十一、不同年齡層在各粒徑分佈的平均粒數濃度

4.5 性別和年齡間肺功能指標差異

表七為受測者之基本資料、肺功能指標及預測百分比，將平均肺功能數值分佈以 Mean±SD 方式呈現後(圖十二)，利用 Mann-Whitney U test 及 Kruskal-Wallis test 做肺功能指標對不同性別及年齡層受測者之差異性(表表八)。結果顯示，20-29 歲和 30-39 歲年齡層在 FEV₁ 的部分，其男女有顯著差異 ($p < 0.05$)，但 10-19 歲年齡層中，男女無顯著差異；而在 FVC 及 PEF 指標上，只有在 20-29 歲年齡層，其男女有顯著差異 ($p < 0.05$)。另外在年齡層差異比較上，男性在 FVC、FEV₁ 指標部分，年齡層有顯著差異 ($p < 0.05$)；而女性在年齡層上則無顯著差異。由此可知，20-29 歲年齡層中其性別對肺功能差異比較大；而女性相較於男性，其年齡對肺功能無太大影響。

Ostrowski 及 Barud (2006)指出會造成肺功能影響因素很多，不管是性別、身高、年齡，甚至是遺傳因子及生理因素等皆會影響到肺功能，其中提到年齡可能是干擾因子，從出生至 25 歲其肺功能會持續增加，但之後會保持 5-10 年之穩定直到成年後期(約 40 歲以後)才開始下降。造成本研究之結果可能是因為年齡層的選擇太接近(集中在 19-31 歲)且 10-19 歲男女受測者各只有一人，因此年齡的影響較小。



圖十二、不同性別及年齡層之平均肺功能指標分佈

表七、受測者之基本資料及肺功能指標

| Variables | 10-19 years | | 20-29 years | | 30-39 years | |
|---------------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|
| | Male (n = 1) | Female (n = 1) | Male (n = 4) | Female (n = 5) | Male (n = 4) | Female (n = 3) |
| Age (Years) | 19 | 19 | 20.5±0.6 | 21.2±1.3 | 30.5±0.6 | 31.0±0 |
| Height (m) | 1.72 | 1.54 | 1.77±0.03 | 1.62±0.03 | 1.72±0.09 | 1.60±0.13 |
| Weight (Kg) | 56 | 38 | 73.3±9.2 | 55.4±14.9 | 75.3±3.4 | 50.3±9.3 |
| BMI (Kg/m ²) | 18.9 | 16.0 | 23.3±2.7 | 20.9±4.8 | 25.5±2.5 | 19.5±2.3 |
| FEV ₁ (L) | 3.76 | 2.49 | 4.47±0.23 | 2.68±0.24 | 3.45±0.52 | 2.59±0.40 |
| FEV ₁ % pred | 93.53 | 84.12 | 102.05 | 84.01 | 85.19 | 89.00 |
| FVC (L) | 3.76 | 2.51 | 4.68±0.30 | 3.16±0.38 | 3.89±0.59 | 2.68±0.41 |
| FVC % pred | 80.51 | 76.29 | 91.05 | 86.34 | 80.21 | 78.82 |
| FEV ₁ /FVC (%) | 100 | 99 | 95.7±8.0 | 85.3±9.7 | 89.4±12.0 | 96.9±1.8 |
| PEF (L/Second) | 9 | 5.5 | 10.0±1.5 | 6.3±0.6 | 7.7±2.2 | 6.2±0.4 |
| PEF % pred | 105.76 | 83.21 | 105.04 | 89.11 | 84.34 | 97.64 |

表八、肺功能指標對不同性別及年齡層之檢定值

| Mann-Whitney U Test | | | |
|----------------------|-------------|-------------|-------------|
| Variables | 10-19 years | 20-29 years | 30-39 years |
| FVC(L) | 0.317 | 0.014* | 0.077 |
| FEV ₁ (L) | 0.317 | 0.014* | 0.034* |
| PEF(L/s) | 0.317 | 0.014* | 0.289 |
| Krusak-Wallis Test | | | |
| Variables | Male | Female | |
| FVC(L) | 0.046* | 0.200 | |
| FEV ₁ (L) | 0.046* | 0.664 | |
| PEF(L/s) | 0.301 | 0.299 | |

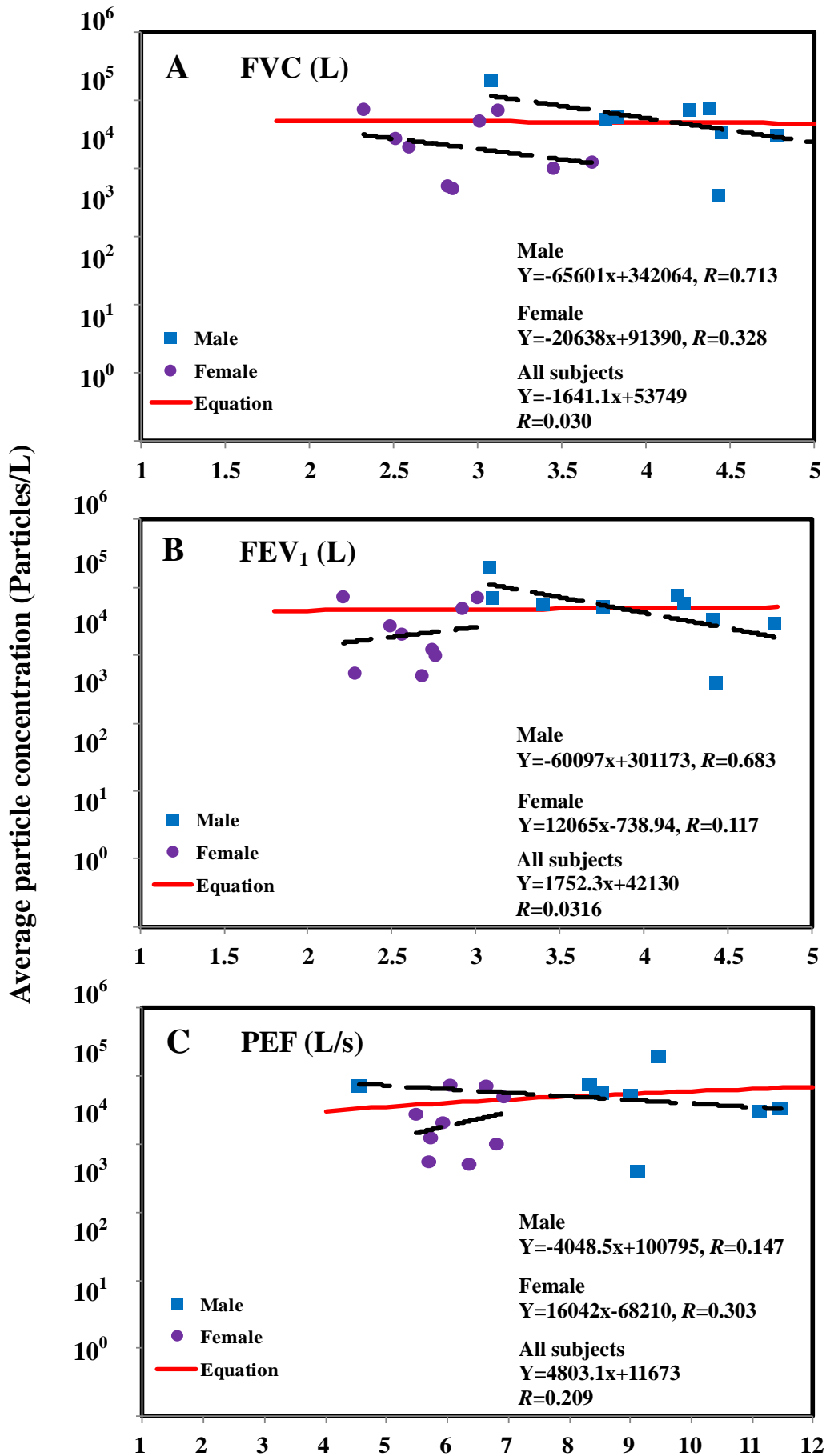
4.6 飛沫濃度與肺功能指標的相關性分析

本研究以受測者兩次飛沫實驗之平均粒數濃度和 3 個肺功能指標 (FVC、FEV₁、PEF) 其各別最大數值(表九)探討男性、女性以及全部受測者的線性迴歸圖(圖十三)。女性除了 FVC 之外，FEV₁ 及 PEF 皆和平均飛沫濃度呈些微正相關，相關係數 R 值分別為 0.33、0.12、0.30；但男性 3 個指標皆和平均飛沫濃度呈負相關， R 值分別為 0.71、0.68、0.15；全部受測者之飛沫濃度和肺功能之相關性則呈平緩直線， R 值分別為 0.03、0.03、0.20，由此可知，飛沫粒數濃度和肺功能指標在此並無太大顯著相關。

但 Schwarz 等(2010)有提到呼出顆粒數和功能肺餘容積(functional residual capacity)占肺總容量(total lung capacity)的比例(FRC/TLC)越大，則每次呼出的顆粒數越少。FRC 增加，代表肺部過度充氣或阻塞性肺病所造成的空氣滯留，若為正常或降低，則可能為限制性肺病；TLC 增加表示可能與阻塞性肺病造成的空氣滯留有關，若其值降低，可能是與限制性肺疾病有關係。只是 FRC 需用更精密之儀器才可測出，因此本研究沒有測 FRC 的部份。總結來說，肺功能和飛沫並非沒有關係，但可能本研究選擇的肺功能指標不太恰當，又亦或者是飛沫實驗所造成的變異性太大，而導致此結果。

表九、各受測者兩次飛沫平均粒數濃度及肺功能指標之最大數值

| Age | Gender | Cough 1 (Particles/L) | Cough 2 (Particles/L) | Average Particle concentration (Particles/L) | FVC(L) | FEV ₁ (L) | PEF(L/s) |
|-----|--------|--------------------------|--------------------------|--|--------|----------------------|----------|
| 19 | M1 | 43579 | 61292 | 52435 | 3.76 | 3.76 | 9 |
| 20 | M2 | 4226 | 3858 | 4042 | 4.43 | 4.43 | 9.13 |
| 20 | M3 | 28726 | 31737 | 30232 | 4.78 | 4.78 | 11.12 |
| 21 | M4 | 75413 | 41245 | 58329 | 5.07 | 4.24 | 8.45 |
| 21 | M5 | 33127 | 34832 | 33979 | 4.45 | 4.41 | 11.46 |
| 30 | M6 | 92777 | 61769 | 77273 | 4.38 | 4.2 | 8.33 |
| 30 | M7 | 168777 | 226342 | 197559 | 3.08 | 3.08 | 9.47 |
| 31 | M8 | 75084 | 68633 | 71858 | 4.26 | 3.1 | 4.55 |
| 31 | M9 | 65381 | 49442 | 57411 | 3.83 | 3.4 | 8.53 |
| 19 | F1 | 15752 | 39790 | 27771 | 2.51 | 2.49 | 5.49 |
| 20 | F2 | 40621 | 59500 | 50060 | 3.01 | 2.92 | 6.93 |
| 20 | F3 | 4866 | 5365 | 5115 | 2.85 | 2.68 | 6.36 |
| 21 | F4 | 9401 | 10876 | 10138 | 3.45 | 2.76 | 6.81 |
| 22 | F5 | 10556 | 14386 | 12471 | 3.68 | 2.74 | 5.73 |
| 23 | F6 | 5007 | 6129 | 5568 | 2.82 | 2.28 | 5.7 |
| 31 | F7 | 65494 | 79136 | 72315 | 3.12 | 3.01 | 6.64 |
| 31 | F8 | 17823 | 23996 | 20910 | 2.59 | 2.56 | 5.93 |
| 31 | F9 | 91549 | 57133 | 74341 | 2.32 | 2.21 | 6.05 |



圖十三、平均粒數濃度和肺功能指標之線性迴歸圖

第五章、結論與建議

5.1 結論

1. 在 0.3-20 μm 之粒徑範圍中，咳嗽呼出之飛沫在 $<1.6 \mu\text{m}$ 之粒徑其飛沫粒數濃度較多，最多之飛沫粒數濃度主要集中在 1-1.6 μm 之粒徑範圍內。
2. 在三組不同年齡分別為 10-19 歲、20-29 歲和 30-39 歲的受測者中，其咳嗽所產生之飛沫粒數濃度有統計上顯著差異 ($p < 0.05$)，以 30-39 歲之受測者所呼出之飛沫粒數濃度為最高，又以男性受測者為最高，其飛沫粒數濃度為 101026 ± 59455 (Particles/L)，女性則為 55855 ± 27848 (Particles/L)。
3. 20-29 歲年齡層之受測者其性別對於肺功能影響較大；而男性在不同年齡層下，其肺功能是有差異的。
4. 在飛沫濃度和肺功能指標的關係中，男性相較於女性，顯示較強負相關；18 位受測者其飛沫濃度和肺功能指標的相關性分析顯示，FVC、FEV₁ 及 PEF 與飛沫濃度之相關係數 R 值分別為 0.03、0.03 及 0.20，顯示低相關性。

5.2 建議

1. 本篇研究建議未來學者在受測者年齡分組的選擇上，可依據在肺功能有明顯差異的年齡層上加以分類，以增加個體在不同年齡層上的差異及準確性。
2. 受測者之分類組別其人數不盡相同且人數過少，未來相關研究可增加受測者個數，以加強研究結果之可信度。
3. 本篇研究受測者皆做兩次呼吸活動(咳嗽)，本研究建議可進行三次或三次以上之重複試驗，來增強可信度。
4. 肺功能測試在本研究中，受測者皆無戴鼻夾，本研究建議未來做測試時可戴鼻夾以確保鼻子不會漏氣且無多餘的呼吸影響到肺功能數值。

5. 受測者在作肺功能測試前填的基本資料必須確實，建議若有相關儀器可量測身高、體重等生理參數，則要在測試前立即量測，以避免回憶偏差。
6. 未來除了做 VC 及 FVC 測試之外，建議可做其他相關肺功能測試，例如：最大通氣量 MVV(maximum voluntary ventilation)測試，進一步詳細探討肺部情況，以便做不同的相關分析。

5.3 研究限制

1. 本研究飛沫實驗使用的教室為中央空調，因此尚未考慮到通風層面。
2. 本實驗沒有控制呼吸道活動的聲音響度及音調，因此可能會影響飛沫呼出的顆粒數。
3. 因肺功能測試是在兩次飛沫實驗之間，因此無太多時間讓施測者及受測者操作及練習，又因要配合受測者的時間，所以只能大概練習 1-2 次就必須立即測試，怕影響實際測出之肺功能數值。

參考文獻

1. American Thoracic Society, European Respiratory Society. 2005. Standardisation of spirometry. *European Respiratory Journal* 26, 319-338.
2. Buckland F.E., Tyrrell D.A.J. 1964. Experiments on the spread of Colds:1. Laboratory studies on the Dispersal of nasal Secretion. *Journal of Hygiene* 62,3,365-77.
3. Chao C.Y.H., Wan M.P., Morawska L., Johnson G.R., Ristovski Z.D., Hargreaves M et al. 2009. Characterization of expiration air jets and droplet size distributions immediately at the mouth opening. *Journal of Aerosol Science* 40,122-33.
4. Cole E.C., Cook C.E. 1998. Characterization of infectious aerosols in health care facilities: an aid to effective engineering controls and preventive strategies. *American Journal of Infection Control* 26, 453-464.
5. Duguid J.P. 1946. The size and duration of air carriage of respiratory droplets and droplets nuclei. *Journal of Hygiene* 44, 471-479.
6. Eichenwald H.F., Kotsevalov O., Fasso L.A. 1960. The “Cloud Baby”: an example of bacterial-viral interaction. *American Journal of Diseases of Children* 100, 30-43.
7. Fang M., Lau A.P.S, Chan C.K., Hung C.T., Lee T.W. 2008. Aerodynamic properties of biohazardous aerosols in hospitals. *Hong Kong Medical Journal* 14, 26-28.
8. Gerone P. J, Couch R. B., Keefer G. V., Douglas R. G., Derrenbacher E. B., Knight V. 1946. Assessment of experimental and natural viral aerosols. *Assessment of Viral Aerosols*.30.3,576-588.
9. Gralton J., Tovey E., McLaws M.L., Rawlinson W.D. 2011. The role of

- particle size in aerosolised pathogen transmission: a review. *Journal of infection* 62, 1-13.
10. Gupta J.K., Lin C.H., Chen Q. 2009. Flow dynamics and characterization of a cough. *Indoor Air* 19, 517-525.
11. Guyton A.C. 1991. Textbook of medical physiology. 8th ed. *Philadelphia* : W.B. Saunders.
12. Heymann B. 1899. Ueber die Ausstreuung infectioser Tropfchen beim Husten der Phthisiker. *Medical Microbiology and Immunology* 30, 139-62.
13. Holmgren H., Ljungström E, Almstrand A.C., Bake B., Olin A.C. 2010. Size distribution of exhaled particles in the range from 0.01 to 2.0. *Journal of Aerosol Science* 41, 439-446.
14. Jennison M.W. 1942. Atomizing of mouth and nose secretions into the air as revealed by high speed photograph. *Aerobiology Publication* 17, 106-128.
15. Li Y.G., Chwang A.T.Y., Seto W.H., Ho P.L., Yuen P.L. 2008. Understanding droplets produced by nebulisers and respiratory activities. *Hong Kong Medical Journal* 14, 29-32.
16. Lin L.C., Jong Y.J. 2004. Pulmonary function assessment in patients with spinal muscular atrophy type II and type III. *Acta Paediatric Taiwan* 45, 15-18.
17. Loudon R.G., Roberts R.M. 1967. Droplet expulsion from the respiratory tract. *The American Review of Respiratory Disease* 95, 435-442.
18. Lindsley W.G. 2010. Environmental and source measurements of airborne influenza. Current research issues - personal protective equipment for healthcare workers to prevent transmission of pandemic influenza and other viral respiratory infections. *Institute of Medicine*. June 3

19. McArdle, William D., Katch, F.I., Katch V.L. 1996. Exercise physiology: energy, nutrition, and human performance- 4th edition. Baltimore. *Williams & Wilkins*.
20. Morawska L., Johnson G.R., Ristovski Z.D., Hargreaves M., Mengersen K., Corbett S et al. 2008. Size distribution and sites of origin of droplets expelled from the human respiratory tract during expiratory activities. *Journal of Aerosol Science* 40, 256-269.
21. Nicas M., Nazaroff W.W., Hubbard A. 2005. Toward understanding the risk of secondary airborne infection: emission of respirable pathogens. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 2, 143-154.
22. Ostrowski S., Barud W. 2006. Factors influencing lung function: are the predicted values for spirometry reliable enough? *Journal of Physiology and Pharmacology* 57, 263-271.
23. Papineni R.S., Rosenthal F.S. 1997. The size distribution of droplets in the exhaled breath of healthy human subjects. *Journal of Aerosol Medicine Deposition Clearance and Effects in the Lung* 10, 105-116.
24. Schwarz K., Biller H., Windt H., Koch W., Hohlfeld J. M. 2010. Characterization of exhaled particles from the healthy human lung – a systematic analysis in relation to pulmonary function variables. *Journal of Aerosol Medicine and Pulmonary Drug Delivery* 23, 371-379.
25. Witkow A.S., 霍德義譯，1988。胸腔疾病的檢查和診斷，巨流出版社。
26. Xie X., Li Y., Sun H., Liu L. 2009. Exhaled droplets due to talking and coughing. *Journal of the Royal Society of Medicine* 6, 703-714.
27. Yang S., Lee G.W.M., Chen C.M., Wu C.C., Yu K.P. 2007. The size and concentration of droplets generated by coughing in human subjects. *Journal of Aerosol Medicine*. 20, 484-494.

- 28.馬偕紀念醫院胸腔內科，2009。肺功能檢查，*新竹馬偕紀念醫院衛教資訊*。
(http://www.hc.mmh.org.tw/Knowledge/Knowledge_Detail.asp?Csdp=7515&Writing_No=70&Page_No=00)
- 29.鄭勁平，1999。肺功能儀檢測原理與常用儀器，*中國醫療器械雜誌*，284-288。
- 30.樓迎統、陳君侃、黃榮棋、王錫五，2002。實用生理學第三版，華杏出版股份有限公司。
- 31.陳玫茵、唐憶淨、楊宗穎、劉丕華，2002。肺功能量計的判讀，*基層醫學*，21. 296-300。
- 32.台灣行政院衛生署疾病管制局(<http://www.cdc.gov.tw>)
- 33.台灣行政院衛生署統計室
(http://www.doh.gov.tw/CHT2006/DM/DM2_2.aspx?now_fod_list_no=10238&class_no=440&level_no=1)