



行政院環境保護署

108 年度土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案

本土性暴露參數建置研究計畫：成人淋浴時 呼吸速率之建置

期末報告（定稿）

主 辦 單 位： 行政院環境保護署

專案執行單位：臺北醫學大學／公共衛生學系

專案主持人：簡伶朱 教授

專案執行期間：108 年 1 月 4 日起至
108 年 11 月 30 日止





行政院環境保護署「土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案」

☐申請計畫書 ☐期中報告

☒修正計畫書 ☐期末報告

審查意見回覆對照表

計畫年度	108 年度	計畫類型	☒ 研究型 ☐ 模場型
計畫類別	☐ 整治 ☐ 調查 ☒ 其它(風險評估參數建置)		主持人：簡伶朱 NO：12
計畫名稱	本土性暴露參數建置研究計畫：成人淋浴時呼吸速率之建置		
委員審查意見		計畫單位回覆	
委員一： 建議注意地域不同與習慣的差異性。		感謝委員意見。未來將於報告中探討。	
委員二： 1. 本研究除了實際量成人淋浴的短時間暴露呼吸速率，並同監測情境下卡路里消耗量。建議補充說明卡路里消耗量的量測方式。本案所提之呼吸器是否具有監測卡路里消耗量的功能。 2. 相關數據與受測者的背景資料如何進行評估。 3. 建議招募測試對象時應涵蓋具代表性的樣本。 4. 建議實際測量受測者所暴露之有害物質含量。		感謝委員意見。 1. 受試者研究期間透過配戴攜帶式能量代謝系統收集數據能量代謝與肺功能氣體交換等相關指標，以呼吸對呼吸的方式採取氣體。透過二氧化碳增加量、氧氣攝取量以及通氣量的改變，可用來瞭解肺部氣體交換與能量代謝狀況。 2. 本研究針對相關數據與受測者的背景資料將透過統計分析模式，進行數值驗證、探討相關性與校正個體間的差異性。 3. 本計畫規劃成人淋浴年齡設定為 20 歲至 30 歲族群，主要是參考美國環保署最新的暴露參數手冊上成人族群中各年齡層的呼吸速率值都相近，另考量研究設計需配戴呼吸速率量測機器於淋浴狀態下，實際測量成人淋浴的短時間暴露的呼吸速率，因而設定受試者對象年齡範圍在 20 至 30 歲。 4. 本計畫主要在收集本國人成人淋浴情境下的呼吸速率，建構一可實之以實際量測法模擬淋浴狀態實驗設計，協助環保署建置健康風險評估方法第一層次風險評估中的本土化預設數值。希望未來能以此研究為基礎，提供其它衍生相關模擬情境實驗設計的參考。本計畫現階段以參數建置為主要目的，未	



	來的計畫可建議使用地下水的人口為調查對象進行實際量測受測者所暴露之有害物質含量。
委員三：	感謝委員意見。
1. 此試驗因個人肺功能、氧代謝量影響大，在試驗宜作相關評估並記錄。 2. 建議針對相關結果宜以統計分析，並評估差異是否過大與其代表性。	1. 受試者研究期間透過配戴攜帶式能量代謝系統收集數據能量代謝與肺功能氣體交換等相關指標，以利結果統計分析與探討。 2. 未來將於報告中探討。
委員四：	感謝委員意見。
1. 主持人的學術研究能力與土水污染技術發展能力均佳，其專業能力足以勝任本計畫。主持人近五年研究與土水污染技術發展績效亦佳(風險)。 2. 本計畫執行團隊的學術研究能力與土水污染技術發展能力佳，其研發能力足以勝任本研究計畫。本計畫執行團隊近五年執行與土水污染相關計畫的執行績效佳(風險)。 3. 本計畫的執行對國內未來土壤及地下水污染調查及整治工作推動有其貢獻，但實務應用的限制或是適合情境的應用仍待進一步說明。 4. 依申請計畫書內所提出的成果績效自評表，可推估本專案所預估的執行成果對國內土水污染的技術研發有其貢獻。 5. 本計畫書撰寫具體，計畫書中對研究方法的說明具可行性。 6. 本計畫書中對相關文獻蒐集尚完整。計畫主持人對國內外本研究領域現況了解。 7. 本計畫書所規畫之執行期限合理，本計畫書對預期成果已有適當的說明。	本計畫主要在收集本國人成人淋浴情境下的呼吸速率，建構一可行之以實際量測法模擬淋浴狀態實驗設計，實務應用的限制或是適合情境的應用，未來將於報告中說明與探討。



8. 本計畫書已將原初審意見加以說明 (或修正)。	
本署審查意見	計畫單位回覆
無。	



行政院環境保護署「土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案」

☐申請計畫書 ☒期中報告

☐修正計畫書 ☐期末報告

審查意見回覆對照表

計畫年度	108 年度	計畫類型	☒ 研究型 ☐ 模場型
計畫類別	☐ 整治 ☐ 調查 ☒ 其它	主持人：簡伶朱 NO：C2	
計畫名稱	本土性暴露參數建置研究計畫：成人淋浴時呼吸速率之建置		
委員審查意見		計畫單位回覆	
委員一 本計畫是以成人安靜及運動狀態下進行，若有運動較淋浴激烈，其結果可能亦不同，不知是否可予以探討？		感謝委員意見。本計畫主要調查成人於安靜及淋浴狀態下的呼吸速率，未調查不同運動狀態下的呼吸速率，期末報告時會納入運動狀態呼吸速率的相關文獻並與本研究的結果進行比較與討論。	
委員二 1. 本研究招募對象設定為 20~30 歲族群，涵蓋面會是愈廣愈好，請依問卷內容，分析 50 名人員之差異(區隔)是否有分散多元性。 2. 目前建立之參數值與國內使內者之間有不同，請研判在風險評估時可能之影響與差異。		感謝委員意見。 1. 本研究招募 50 位受試人員，男女生各 25 位，13 位是上班族、37 位是學生(25 名一般生、12 名體育生)，受試人員間具分散多元性。 2. 目前本研究測量之安靜及淋浴狀態時呼吸速率皆略低於目前 SGM 系統公告的數值，因此在評估呼吸途徑的暴露風險時與 SGM 系統原設定值相比會有較低的情形。	
委員三 1. 本計畫對本土化之土壤地下水污染人體健康風險評估參數的建立極有幫助。 2. 可提供食入飲用水暴露途徑之呼吸率計算相關之參數。 3. 可加強收集國外是否確有類似參數之建立或計算，並應用在飲用水健康風險評估之文獻或案例。		感謝委員意見。 1. 感謝委員給予肯定。 2. 感謝委員給予肯定。 3. 本研究主要調查成人於安靜及淋浴狀態下的呼吸速率，以應用於評估呼吸途徑的風險，並未納入飲用水食入途徑之風險評估。	



委員四 1. 報告應雙面印刷，以符合環保要求，另外報告內容有多頁出現空白情況，應留意報告之編輯。 2. 表 5-5 顯示男女於安靜與淋浴狀態時呼吸速率及肺部氣體交換呈顯著差異，其對可能吸入空氣污染物之影響為何？年齡差異又是否造成顯著影響？應再深入探討。	感謝委員意見。 1. 感謝委員建議，由於頁數不足以製作書背，因此採單面列印，將於期末報告時修正。 2. 男生於安靜與淋浴狀態時呼吸速率及肺部氣體交換呈顯著差異，而女生則否，即男生若使用受污染水源淋浴時有較高的吸入性風險；文獻指出年齡差異會對安靜與淋浴狀態時呼吸速率及肺部氣體交換率造成影響，將於期末報告中進行討論。
委員五 1. 受測者是否都是學生？如果是，會不會該數據只代表年輕族群，尚無法代表其他年齡層？ 2. 受測時，受測者是否有特別賣力，呼吸型態是否異於正常生活？ 3. FVC 與身高有關，少數受測男女平均身高，如何代表國人平均身高？ 4. FEV_{1.0} 與吸煙等其他暴露或生理心理狀況有關，本計畫如何知道受測者，能代表一般國人之暴露及生理、心理狀況？	感謝委員意見。 1. 本研究招募 50 位受試人員，男女生各 25 位，13 位是上班族、37 位是學生(25 名一般生、12 名體育生)，受試人員間具分散多元性；此外，基於美國環保署最新的暴露參數手冊中指出 11 歲以上至 60 歲以下的人平均呼吸速率差異不大，本研究 20~30 歲受試者之分析結果可以應用於成年人的呼吸速率，但無法被直接應用於孩童及老年人。 2. 由於呼吸速率量測機器會記錄每次呼吸下的呼吸速率，可由監測數據判讀是否有不正常的呼吸型態，同時本研究有進行 10 位受試人員重複實驗，經由統計分析結果，不論安靜與淋浴狀態之重複實驗皆無顯著差異。 3. 將本研究結果與台灣一般民眾暴露參數彙編內數據進行比較，本研究受試人員平均身高為 167.1 公分，接近手冊中 19-29 歲成年人的平均身高 166.3 公分。 4. 以目前的樣本數並無法代表一般國人之暴露與心理、生理狀況，本研究問卷有調查受試者是否抽菸，抽菸比例為 2%，遠低於國人的抽菸率，沒抽菸者其 FEV₁ 較大，從風險評估角度上考量，FEV₁ 大者可視為高風



	險暴露族群，因此，本研究所調查之數據較不會產生低估風險值的情形。
委員六 1. 本計畫成果(或階段性成果)建議可彙整後送本署「土壤及地下水污染場址環境影響與健康風險評估小組」提供意見。 2. 本計畫主要研究對象年齡範圍為20~30歲，倘風險試算之情境對象為幼兒或老年人，其參數是否宜直接應用？或有方法可進行轉換推估？	感謝委員意見。 1. 感謝委員建議。 2. 由於成年人與孩童、老年人之呼吸速率差異頗大，故不宜直接應用；需再收集相關文獻評估是否能進行轉換推估。



行政院環境保護署「土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案」

☐申請計畫書 ☐期中報告

☐修正計畫書 ☒期末報告

審查意見回覆對照表

計畫年度	108 年度	計畫類型	☒ 研究型 ☐ 模場型
計畫類別	☐ 整治 ☐ 調查 ☒ 其它	主持人：簡伶朱 NO：C2	
計畫名稱	本土性暴露參數建置研究計畫：成人淋浴時呼吸速率之建置		
委員審查意見		計畫單位回覆	
委員一 本計畫已建立成人淋浴時呼吸速率之本土性暴露參數，以供健康風險評估使用。		感謝委員肯定。	
委員二 建議於摘要或內文適當處表達此呼吸速率之研究用於場址風險評估的何種情境(例如在加油站 VOC 散逸等)。		感謝委員建議，本研究實測淋浴時呼吸速率可用於評估人體淋浴過程中暴露於含揮發性有機物地下水的吸入性風險，安靜時的呼吸速率則可應用於有揮發性有機物的場址如：加油站，已新增於摘要中。	
委員三 研究結果顯示安靜及淋浴時國人之呼吸速率皆低於環保署健康風險評估手冊之建議值，但本研究僅以 50 人為測試對象，且年齡層集中於 20~30 歲，所得數據是否具代表性？宜再討論之。		感謝委員意見，本研究未來會招募更多 20-30 歲成人來進行模擬實驗，以提高數據的代表性；同時也會招募 31-40 歲成人進行相同實驗來進行 20-30 歲本土化修正公式之驗證。	
委員四 1. 研究結果呼吸速率低於環保署風險評估手冊建議值，請分析可能原因。 2. 本計畫研究「方法」，是否亦適用於孩童或老年人？未來如進行更廣泛族群研究時，是否需建立一致性的測試方法？請補充說明。		1. 感謝委員意見，本研究測得呼吸速率低於環保署風險評估手冊建議值，可能原因為 SGM 系統的參數是引用國外的數據，因生活習慣、文化背景、人種及人體生理之差異，導致數值上的差異。 2. 感謝委員意見，由於成年人與孩童、老年人之呼吸速率差異頗大，故不宜直接應用；需再收集相關文獻評估是否能進行轉換推估。未來本研究預計招募 31-40 歲成人進行相同實驗進行 20-30 歲本土化修正公式之驗證。	



委員五

1. 本研究的成果對本土化之土壤地下水污染對人體健康風險評估參數的建立很有幫助。
2. 本報告已有採納期中報告委員意見。
3. 第 6 章結論與建議，建議增加檢討章節。

1. 感謝委員肯定。
2. 感謝委員肯定。
3. 感謝委員建議，已新增檢討章節於內文中。



專案基本資料表

專案性質		☐ 實驗性質 ☒ 非實驗性質		專案類別(單選)		☒ 研究型 ☐ 模場型	
研究主題		☐ 整治 ☐ 調查 ☒ 其他					
申請機構系所		臺北醫學大學公共衛生學系					
機構地址		臺北市信義區吳興街 250 號					
專案主持人		簡伶朱		職等／職稱		教授	
協同主持人		陳重信		職等／職稱		講座教授	
協同主持人		許正一		職等／職稱		教授	
協同主持人		陳永盛		職等／職稱		副教授	
專案 名稱	中文	本土性暴露參數建置研究計畫：成人淋浴時呼吸速率之建置					
	英文	Special report on local exposure factors for adult inhalation rate					
	關鍵字	本土性暴露參數,成人淋浴時呼吸速率,健康風險評估					
執行期程		自民國 108 年 1 月 4 日起至民國 108 年 11 月 30 日止					
專案主持人		姓名：簡伶朱		E-mail：lcchien@tmu.edu.tw		專線：27361661 分機 6516 手機：0988503782	
專任助理		姓名：		E-mail：		專線： 手機：	
經費 分析 總 表		專 案 預 估 總 經 費		申請金額		編列說明	
		1.	人事費用	433,929	含主持人及協同主持人津貼，兼任助理費用。工作內容需大量人力始可進行；填寫人體試驗研究倫理的申請計畫書及受試者同意書，招募 50 個有效樣本加 10 個有效的品質管制樣本(共計 60 人次)20-30 歲的研究對象(有效樣本)，模擬淋浴狀態實驗設計與建置，量測受試者身高、體重、心跳速率用力肺活量、第一秒用力呼氣容量，量測安靜狀態與淋浴期間的呼吸速率時需人力協助穿		



			戴裝置並設定參數、肺部氣體交換與能量代謝狀態的測量。Key in 問卷調查人口學資料與居住環境情形，建置 coding book。呼吸速率數據擷取與資料管理操作設置與分析，實際量測與運用公式所估算的呼吸速率進行驗證，報告的撰寫。
2.	貴重儀器使用含維護費	0	
3.	消耗性器材與主要費用	166,000	攜帶式能量代謝系統所需耗材費用(標準校正氣瓶、面罩、流量計及流量計讀取裝置、面罩用轉接器及清潔消毒組等)；受試者費用(含車馬費，以禮物卡形式核銷)
4.	其它研究相關費用	0	
5.	雜項費用	40,071	計畫書印製、問卷、受試者執行同意書、文具與人體試驗審查費
6.	行政管理費	60,000	支應分攤計畫相關水電與研究計畫需要之保險支出
7.	自籌款	0	
申請補助金額(1~6 項)			總金額：700,000
計畫總金額(1~7 項)			總金額：700,000

說明：

1. 本署以部份補助為原則，得指定不補助項目，不補助項目應為自籌款項，應自行核銷不得申請。
2. 非實驗性質之專案，若第一項費用編列金額超出比率，須於申請時向本署專簽說明，俾利審查。
3. 補助專案經費編列自申請起經專案核准後，經費編列中各項費用單價與需求只可減少與下修。

專案主持人：_____（簽名及蓋章） 日期： 2019 年 12 月 04 日



行政院環境保護署土壤及地下水污染整治基金管理會
土壤及地下水污染整治基金補助研究與模場試驗專案
108 年度專案成果績效自評表

一、專案基本資料

填表日期：108 年 12 月 04 日

專案性質	☐ 實驗性質 ☒ 非實驗性質	專案類別	☒ 研究型 ☐ 模場型
研究主題	☐ 整治 ☐ 調查 ☒ 其他		
申請機構系所	臺北醫學大學	專案主持人	簡伶朱教授
專案名稱	本土性暴露參數建置研究計畫：成人淋浴時呼吸速率之建置		
專案執行期程	☐ 申請階段 ☐ 期中 ☒ 期末(定稿)		

二、成果績效自評

「計畫總預估數」應與計畫審查核定值相符，請執行單位依實際達成之量化成果填寫於欄位中。

(一) 學術面

項目 \ 目標達成程度			申請 預估數	期中 達成數	期末 達成數	結案後半年 達成率	備註 (說明未達成 原因或學術產 出發表名稱)
A 學 術 產 出 及 活 動	1.國內投稿 (篇數)	(1)論文					
		(2)研討會論文	1	0	1	100%	
	2.國外投稿 (篇數)	(1)期刊論文	1	0	0	0%	
		(2)研討會論文					
	3.報告 (篇數)	(1)技術報告					
		(2)研究報告					
	4.專著 (本數)						
	5.辦理學術 會議(場數)	(1)研討/說明會					
		(2)成果發表會					
		(3)論壇					
6.研發改良 技術(項數)	(1)已開發技術						
	(2)技術平台						
B 人 才 培 育	7.研發人員 (人數)	(1)碩士					
		(2)博士	1	1	1	100%	
	8.研究團隊 (個數)	(1)跨領域團隊					
		(2)跨機構團隊					
		(3)形成研究中 心					
		(4)形成實驗室					
9.其他指標 (請自行命名)		(請自填)					



(二) 產業面

項目 \ 目標達成程度				申請 預估數	期中 達成數	期末 達成數	結案後半年 達成率	備註 (說明未達成原因 或專利、技術轉移 相關詳細資料)
A 智慧財產權	1.專利 (件數)	已核准	發明					
			新型/設計					
			合計					
		申請中	發明					
			新型/設計					
			合計					
B 研發技術轉移	2.先期技術 成果移轉	件數						
		授權金(仟元)						
		衍生利益金(仟元)						
	3.技術移轉 (專利)	件數						
		授權金(仟元)						
		衍生利益金(仟元)						
	4.技術移轉 (應用技術)	件數						
		授權金(仟元)						
		衍生利益金(仟元)						
	5.可移轉 產業技術	(1)技術(件數)						
		(2)品種/系(件數)						
C 產學研合作	6.促成合作 研究	件數						
		金額(仟元)						
	7.促成投資	件數						
		投資金額(仟元)						
	8.促成取得 業界科專	件數						
		業界投資金額(仟元)						
9.其他指標 (請自行命名)		(請自填)						



(三) 政策面

項目		目標達成程度	申請預估數	期中達成數	期末達成數	結案後半年達成率	備註 (說明未達成原因 或其他詳細資料)
A 服務 便民	1.技術服務	次數					
		收入(仟元)					
	2.諮詢服務	次數					
		收入(仟元)					
B 支 援 合 作	3.協助政府制定 (件數)	(1)政策					
		(2)法規					
		(3)規範	1	0	1	100%	
		(4)標準					
D 社 會 效 益	4.獲得認證(件數)						
	5.獲得獎項(件數)						
	6.提升能源效率(%)						
	7.節能減碳效率(%)						
8.其他指標 (請自行命名)		(請自填)					

三、請依學術成就、技術創新、經濟效益、社會影響等方面，評估研究成果對現況或本署之學術或應用價值。（簡述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性，500字為限）

土壤及地下水污染整治法條文中已納入執行健康風險評估之規定，顯示健康風險評估是目前政府施政管理的方向。目前環保署的「土壤及地下水污染場址健康風險評估方法」中所採用之成人淋浴呼吸速率預設值較為參考國外規範所引用，然而美國環保署最新的暴露參數手冊與過去的研究數據皆低於預設值，且缺乏臺灣本土性呼吸速率的參數。

透過本計畫的成果，實際量測成人的呼吸速率，能建構本國的人體暴露參數數值，提供健康風險評估吸入相關途徑之重要本土化預設數值，來提出更符合本土需求之污染整治目標。此外，透過實際量測呼吸速率參數實驗設計基礎，以利未來進行相關參數本土化研究或模擬情境試驗設計的參考依據，並希望透過本計畫建立實際量測與所需氧氣量所推估呼吸率的關聯迴歸模式為基礎，未來能更進一步探討與建立起此關聯性模式，發展出更簡便、省成本的方式來擴大收集相關本土化呼吸速率參數值，以更真實模擬人體暴露情況。





研究成果中文摘要

從風險評估的角度來看，暴露途徑如食入、吸入或皮膚接觸等參數多參考美國的數據，其中，呼吸速率指的是呼吸期間的吸氣率和呼氣率，正常成人在休息期間每分鐘呼吸 12-20 次。呼吸速率會因年齡、性別而有很大的差異，特別與肺結構，功能和呼吸模式有關。然而，在評估暴露於空氣污染物時，有地域、生活習慣、文化背景、人種及人體生理之差異，並不適合直接引用國外數據進行評估，因此建立本土化暴露參數及呼吸速率有其必要性。

本研究以配戴可攜式氣體交換分析儀收集呼吸速率，呼吸模式以及休息和淋浴時的基礎能量代謝率。參與者首先以坐姿使用肺功能機來評估用力肺活量和第 1 秒用力呼氣容量，然後將指導受試者在休息和淋浴期間測量呼吸通氣、呼吸模式和基礎能量代謝率，接著根據與淋浴時間段的能量消耗相關的耗氧量來估算呼吸速率。這也是首次比較不同國家和/或不同文化的呼吸速率數據的研究，特別是當評估台灣民眾因使用地下水時其暴露於空氣污染物和潛在的健康風險時，安靜及淋浴時的呼吸率可分別評估人體暴露於含揮發性有機物之加油站或地下水之吸入性風險，因此，呼吸速率是一非常重要的暴露參數。

本研究已完成 50 位受試者(25 位男生、25 位女生)，在安靜和淋浴狀態下的成人呼吸速率為 $12.5 \pm 2.82 \text{ m}^3/\text{day}$ 和 $14.9 \pm 3.01 \text{ m}^3/\text{day}$ ，低於環保署給予的建議值($17.14 \text{ m}^3/\text{day}$ 和 $24 \text{ m}^3/\text{day}$)。由年齡差異比較結果，發現 20-24 歲及 25-30 歲之間的各項數值均無顯著差異；重複試驗結果可知 10 位受試者在首次實驗和重複試驗之間並無顯著差異，代表本研究測得的數據具有可信度和良好的再現性。公式驗證部分，本研究除利用 COSMED K5 實測之平均換氧當量 VQ(31.6)、攝氧因子 H(0.207)來修正 Layton 提出之建議值外，此外，本研究亦參考江舟峰以熱量攝取率推估呼吸速率建置較接近本土化呼吸速率的修正公式。



研究成果英文摘要

From the perspective of risk assessment, exposure factor through the exposure routes such as ingestion, inhalation or dermal contact perspective, all in the reference from the available published data from US. Respiratory frequency is the rate of inspiration and expiration during breaths. Normal adults breathe with a rate of 12-20 times per minute during resting. The inhalation rates are highly age and gender related differences in lung structure, function, and breathing patterns. However, geography, life style, ethnicity, cultural background, physiological differences between foreign and domestic data, it is not suitable for foreign direct respiratory rates when evaluating exposure to air contaminants. Therefore, to establish a localized exposure factor of respiratory rates becomes very important.

Our research proposes to collect the respiratory ventilation, respiratory patterns, and metabolism during rest and shower via a portable gas exchange analyzer. The participants will first be subjected to the forced vital capacity and forced expiratory volume in 1st second analysis by using a spirometry in sitting position. Afterward, the participants will be instructed to measure the respiratory ventilation, respiratory patterns, and metabolism during rest and shower. We also estimate respiratory rates on the basis of oxygen consumption associated with energy expenditures for shower periods of time. It is also the first study that could compare the available respiratory rates from different countries and/or different cultures. The respiratory rates play an important role in estimating the inhalation exposures to air contaminants. The results in the current study are particularly important when assessing the exposure and potential health risk of citizens in Taiwan who use underground water on the daily basis. The respiratory rate for the resting and showering conditions is used to assess the inhalation risk from exposure to volatile organic compounds in petrol station or groundwater, respectively.

There were 50 subjects (25 males and 25 females) recruited in this study. The respiratory rates were $12.5 \pm 2.82 \text{ m}^3/\text{day}$ and $14.9 \pm 3.01 \text{ m}^3/\text{day}$ for the resting and showering conditions, respectively. The results also showed that the current default value recommended by EPA for the respiratory rate during rest ($17.14 \text{ m}^3/\text{day}$) and shower ($24 \text{ m}^3/\text{day}$) was overestimated, and it should be modified based upon the results of this study. In addition, there was no significant difference of respiratory rate between 20-24 age group and 25-30 age group. Replicate trials among 10 subjects



also demonstrated the well reliability and reproducibility in this study. As validated in Layton's equation, the input parameter of average ventilatory quotient (VQ) (31.6) and oxygen uptake factor (H) (0.207) were obtained by the COSMED K5 data. We also modified the food-energy intake to the current model proposed by Jiang et al. for appropriately predicted the respiratory rate in Taiwan.



目次

第 1 章	前言	1
第 2 章	研究目的	3
第 3 章	文獻探討	5
3.1	受體參數	5
3.2	國內外呼吸速率相關研究	5
3.3	人體呼吸頻率	8
3.4	人體肺部氣體交換及能量代謝相關研究	9
第 4 章	研究方法與過程	13
4.1	研究對象招募與基本資料收集	13
4.2	問卷設計內容	14
4.3	身體指數及肺功能檢測	17
4.4	安靜及淋浴期間呼吸速率量測	18
4.5	品質管制	20
4.6	公式驗證與提出修正公式	20
4.7	研究進度及預期完成之工作項目(甘特圖).....	20
4.7.1	應完成之工作項目	20
4.7.2	執行成果方面之貢獻及成果效益	21
4.7.3	研究進度甘特圖.....	21
第 5 章	結果與討論	23
5.1	人體試驗研究倫理審核及受試者招募	23
5.2	人口學統計	23
5.3	安靜與淋浴狀態實驗設計與建置	25
5.3.1	安靜狀態實驗設計與建置	25
5.3.2	淋浴狀態實驗設計與建置	26
5.4	男女差異比較	27
5.4.1	受試者身體指數	27
5.4.2	受試者肺功能檢測	27
5.4.3	安靜時呼吸速率、肺部氣體交換與能量代謝情況	28



5.4.4	淋浴時呼吸速率、肺部氣體交換與能量代謝情況.....	29
5.4.5	安靜與淋浴狀態下呼吸速率、肺部氣體交換與能量代謝.....	30
5.5	年齡差異比較.....	33
5.5.1	受試者身體指數.....	33
5.5.2	受試者肺功能檢測.....	33
5.5.3	安靜時呼吸速率、肺部氣體交換與能量代謝情況.....	34
5.5.4	淋浴時呼吸速率、肺部氣體交換與能量代謝情況.....	35
5.6	重複試驗.....	36
5.6.1	受試者身體指數.....	36
5.6.2	受試者肺功能檢測.....	36
5.6.3	安靜時呼吸速率、肺部氣體交換與能量代謝情況.....	37
5.6.4	淋浴時呼吸速率、肺部氣體交換與能量代謝情況.....	38
5.7	公式驗證與提出修正公式.....	39
第 6 章	結論與建議.....	41
6.1	結論.....	41
6.2	建議.....	41
6.3	檢討.....	42
第 7 章	參考文獻.....	43



表次

表 4-1	淋浴實驗設定條件	19
表 4-2	能量代謝與肺功能氣體交換指標	20
表 5-1	基本人口學調查	24
表 5-2	受試者身體指數分析表(男女比較)	27
表 5-3	受試者肺功能分析表(男女比較)	28
表 5-4	安靜狀態時呼吸速率、肺部氣體交換與能量代謝分析表(男女比較)	29
表 5-5	淋浴狀態時呼吸速率、肺部氣體交換與能量代謝分析表(男女比較)	30
表 5-6	安靜與淋浴狀態時呼吸速率、肺部氣體交換與能量代謝比較表(男女比較)	32
表 5-7	受試者身體指數(年齡差異比較)	33
表 5-8	受試者肺功能分析表(年齡差異比較)	33
表 5-9	安靜狀態時呼吸速率、肺部氣體交換與能量代謝分析表(年齡差異比較)	34
表 5-10	淋浴狀態時呼吸速率、肺部氣體交換與能量代謝分析表(年齡差異比較)	35
表 5-11	受試者身體指數(重複試驗)	36
表 5-12	受試者肺功能分析表(重複試驗)	36
表 5-13	安靜狀態時呼吸速率、肺部氣體交換與能量代謝分析表(重複試驗)	37
表 5-14	淋浴狀態時呼吸速率、肺部氣體交換與能量代謝分析表(重複試驗)	38
表 5-15	安靜、淋浴時呼吸速率與 Layton(1993)公式計算結果對照表(單位： m^3/day)	39



圖次

圖 3-1	美國環保署暴露參數手冊中呼吸速率 (USEPA, 2011).....	8
圖 3-2	影響日常安靜代謝率(RMR)的因子 (Melzer, 2011)	11
圖 4-1	研究流程圖	13
圖 4-2	身體指數量測設備: (a) seca 213 型-攜帶式摺疊身高儀；(b)Inbody；(c) IQmark Digital Spirometer；(d) IQmark Digital Spirometer 操作介面.	17
圖 4-3	淋浴實驗受試地點:(a)乾溼分離浴室(長*寬*高為 290 cm*130 cm*240 cm)；(b)淋浴間(長*寬*高為 130 cm*85 cm*240 cm).....	18
圖 4-4	呼吸速率量測設備: (a) COSMED K5 攜帶式能量代謝系統；(b)面罩；(c) Aquatrainer system.....	19
圖 4-5	COSMED OMNIA 數據分析軟體介面	19
圖 5-1	TMU-JIRB 通過證明函	23
圖 5-2	安靜狀態實驗設備: (a)面罩；(b)心率帶；(c) COSMED K5 攜帶式能量代謝系統	25
圖 5-3	淋浴狀態實驗設備: (a) Aquatrainer system 前面；(b) Aquatrainer system 側面；(c) COSMED K5 攜帶式能量代謝系統	26





第1章 前言

人體可以從不同暴露途徑接觸到有害物質而處於風險之中，沐浴時吸入危害物為主要途徑之一。國內目前在原水淨化處理過程中會加氯消毒，因此在自來水供應系統消毒過程中會產生危害的消毒副產物和揮發性有機物，在美國環保署毒理資料庫(Integrated Risk Information System, IRIS)中大多被歸類為致癌物，其中苯和氯乙烯判定為 A 類確定人類致癌物質，然而為確保自來水在水管線運輸過程中不受污染，以氯做為消毒劑仍有其優勢。

環保署現有公告的「飲用水水質標準」中的化學性標準(TEPA, 2017)，有 4 項消毒副產物與 15 項揮發性有機物質，都有加以管制以保障國人在淋浴或飲用水時的安全。美國「消毒劑與消毒副產物法則」(USEPA, 2006)中依致病微生物及消毒副產物之間所產生的風險程度進行評估與探討。土壤及地下水污染整治法第 12 條及第 24 條中已納入執行健康風險評估之規定，顯示健康風險評估在政府施政管理與改善等措施上扮演重要的角色。

呼吸速率(Respiratory rate)為評估淋浴時暴露風險的重要參數，目前環保署「土壤及地下水污染場址健康風險評估方法」(以下簡稱健康風險評估方法)中提供成人淋浴呼吸速率之預設值，為引用美國環保署 1991 年之「超級基金場址風險評估指引第一：人體健康手冊 Part B」(USEPA, 1991)中之暴露參數，且美國環保署暴露參數手冊(Exposure factor handbook)中所提供之資料現今主要被廣泛使用於美國超級基金場址與其他污染場址之風險評估作業中。目前健康風險評估方法為避免低估場址風險，對於不確定較高的參數，會採用保守性假設，其中在受體暴露參數的部分，成人淋浴呼吸速率為影響性高但不易自行調查之參數，台灣尚未有適合的研究資料可供訂定，但考量吸入為一重要的暴露途徑，且執行有代表性的實測調查是相當費時與昂貴，目前尚採用國外的資料；然而，考量國情、地域、生活習慣、文化背景、人種及人體生理之差異，雖可參考國外的受體暴露參數數值，為利於在政策的管理規畫時，參考或引用參數數據時有統一的依據，仍需要建構本國的人體暴露參數數值。



本土性暴露參數建置研究計畫：成人淋浴時呼吸速率之建置

(本頁空白)



第2章 研究目的

透過本計畫的成果，實際量測成人的呼吸速率，能建構本國的人體暴露參數數值，協助環保署建置健康風險評估方法第一層次風險評估中的本土化預設數值，利於供相關單位對環境影響與健康風險、技術及經濟效益等層面進行評估，來提出土壤及地下水污染的整治目標。建立實際量測呼吸速率參數實驗設計基礎，以利未來進行相關模擬情境試驗設計的參考依據，並希望透過本計畫建立實際量測與所需氧氣量所推估呼吸率的關聯迴歸模式為基礎，未來能更進一步探討與建立起此關聯性模式，發展出更簡便、省成本的方式來擴大收集相關本土化呼吸速率參數值，以更真實模擬人體暴露情況。



本土性暴露參數建置研究計畫：成人淋浴時呼吸速率之建置

(本頁空白)



第3章 文獻探討

3.1 受體參數

環保署的健康風險評估方法附錄中索引用之受體暴露參數為第一層次風險評估中的預設數值，目前呼吸速率參數設定為成人： $1 \text{ m}^3/\text{hour}$ ($24 \text{ m}^3/\text{day}$)；孩童： $0.58 \text{ m}^3/\text{hour}$ ($13.9 \text{ m}^3/\text{day}$)，本參數為參考 Andelman (1990) 以自來水中的揮發性有機物對人體之總暴露評估的研究與計算方式，其中對於淋浴的呼吸速率是採用典型的成人呼吸速率 $1 \text{ m}^3/\text{hour}$ 做為參數值，亦即相當於 $24 \text{ m}^3/\text{day}$ 。美國環保署針對水源受 4-甲基環己烷甲醇污染短期吸入暴露推估中，成人和小孩呼吸速率分別為 $20 \text{ m}^3/\text{day}$ 和 $17.3 \text{ m}^3/\text{day}$ (USEPA, 2014)，而過去研究針對淋浴時吸入途徑的風險評估時，呼吸速率參數也多是引用 $20 \text{ m}^3/\text{day}$ (Kuo et al., 1998; Sain et al., 2015; USEPA, 2014; 吳婉玲, 2002)，皆低於系統上的參考值。

3.2 國內外呼吸速率相關研究

日本放射線醫學總合研究所及劑量委員會(1998)以「Rn」計算呼吸時之劑量求得日本男女活動之平均呼吸速率。依一日行為活動分為睡眠、坐臥(吃飯、看電視、報紙、唸書、工作等)、站立(通勤、買東西、娛樂)、家事、娛樂活動(運動、看護)及快步行走(通勤、買東西)等 6 個狀態，再根據上述 6 種活動計算每一活動在屋外及屋內的時間估計其呼吸速率，求得男女每日平均呼吸速率為 $17.3 \text{ m}^3/\text{day}$ (屋內 $13.7 \text{ m}^3/\text{day}$ ，屋外 $3.6 \text{ m}^3/\text{day}$)。

美國環保署暴露參數手冊(Exposure factor handbook, 1997)列出下列幾個他們建議暴露參數時的相關研究，Little (1992)在淋浴過程中暴露揮發性有機物的評估研究採用 IRIS 所建議之平均呼吸速率 $20 \text{ m}^3/\text{day}$ ，做為保守估計之參考值。美國環保署於 1997 年公佈的暴露參數指引(USEPA, 1997a)指出 IRIS 建議平均成人呼吸速率可採用 $20 \text{ m}^3/\text{day}$ ，利用問卷調查不同活動型態的工作量，如休息、輕微工作負荷、中等工作負荷、重工作負荷以及極重工作負荷等五類，並分別依其平均體重與活動熱量消耗，計算不同年齡層之成人呼吸率，其中 20-49 歲： $17 \text{ m}^3/\text{day}$ ；50-64 歲： $16 \text{ m}^3/\text{day}$ ，但該五類活動型態並未述明淋浴所屬之活動型態。整體平均建議值分別為男性： $15.2 \text{ m}^3/\text{day}$ ；女性： $11.3 \text{ m}^3/\text{day}$ 。另在美國環保署所公布之石化程序廢棄物清單決定準則(USEPA, 1997b)中，以 $19.87 \text{ m}^3/\text{day}$ 做為使用自來水淋浴時之呼吸速率之暴露計算。在呼吸速率的實際量測與估計方式部分：Linn et al., (1992; 1993)及 Spier et al. (1992)直接量測呼吸率，而 Layton (1993)則是利用公式進行估計，概念如下：以身體新陳代謝所需氧氣量為依據推估呼吸速率，估計在靜止狀態下所有人體每日卡路里消耗量，再透過運動醫學之理論，設定不同狀態下熱量耗用為靜止(休息/睡眠狀態)



本土性暴露參數建置研究計畫：成人淋浴時呼吸速率之建置

下所需熱量的倍數，換算熱量耗用時氧化所須之通氣量，最後估計出單位時間人體呼吸之通氣量，但呼吸速率因體表面積及活動種類而異。

$$V_E = E \times H \times VQ$$

V_E ：每日呼吸速率(Daily inhalation rate, m^3/day)

E = 能量消耗速率(Energy expenditure rate, kJ/day)

H ：攝氧因子(Oxygen uptake factor, $0.21 \text{ L O}_2/kcal$)

VQ ：換氧當量(Ventilatory quotient, 27)

其中，攝氧因子為 $0.21 \text{ L O}_2/kcal$ ，是以消耗 1 kcal 的碳水化合物、脂肪、蛋白質需要 0.20 L 、 0.21 L 和 0.22 L 的氧氣，再由 1977-1978 年全美食物攝取調查(Nationwide Food Consumption Survey, NFCS)的每人每天平均營養攝取百分比(38%、16%、46%)，加權平均所算出來的；換氣當量 27 是以美國民眾肺功能與氧代謝率實測值的線性迴歸模式所得($n=75$)，其計算方法可由每分鐘通氣量(L/min)與攝氧量(L/min)之比值求得，此外，由於 Layton 的呼吸率公式中有些參數是依美國民眾為對象所推估來的，若以公式來推估，都會增加呼吸率的不確定性。

國內本土化數據研究中，吳焜裕等人(2002)所發表之研究成果中，以手提式肺功能機於中部某教學醫院體檢處量測健康成年人每分鐘的呼吸量，以問卷調查方式收集相關每個人的飲水量與洗澡時間等資料，實測之成人呼吸速率為 $12.7 \text{ m}^3/day$ 。鄭雅藍等人(2007)於民國 96 年進行台中縣市地區民眾實際量測調查，分成三個年齡層，實測結果學童(6-12 歲)為 $13.4 \text{ m}^3/day$ 、青少年(13-18 歲)為 $15.6 \text{ m}^3/day$ ，及成年人(19-64 歲)為 $15.0 \text{ m}^3/day$ ，有效問卷共 190 份。江舟峰等人(2008)研究亦以 Layton 公式為基礎，代入 2004 年國人第二次營養健康狀況調查每日卡路里消耗量數據來估算國人每日平均呼吸速率，分為未滿 9 歲和 9 歲及 9 歲以上，公式如下：

$$\text{未滿 9 歲：} DIR = FEI \times H \times VQ \times 10^{-3}$$

$$9 \text{ 歲及 } 9 \text{ 歲以上：} DIR = FEI \times 1.2 \times H \times VQ \times 10^{-3}$$

DIR = 每日呼吸速率(Daily inhalation rate, m^3/day)

FEI = 熱量攝取率(Food-energy intake, $kcal/day$)

H = 攝氧因子(Oxygen uptake factor, $0.21 \text{ L O}_2/kcal$)

VQ = 換氧當量(Ventilatory quotient, 27)



10^{-3} = 將 L 轉換為 m^3

1.2 = 常數，修正全美民眾食物攝取普查(1977-1978)結果之偏差

由研究結果，19-64 歲成人每日平均呼吸速率為 $12.8 m^3/day$ ，並以此推估民眾因淋浴時吸入六種揮發性有機物質的終身致癌風險；然而，近年來國人生活水準提升，熱量攝取亦隨之改變，如何更精準利用國人每日卡路里消耗量來推估呼吸速率仍有待進一步的探討。

美國環保署最新的暴露參數手冊中(USEPA, 2011)亦綜合幾篇研究(Arcus-Arth and Blaisdell, 2007; Brochu et al., 2006; Stifelman, 2007; USEPA, 2009)提出建議成人和兒童長和短時間暴露下的呼吸速率平均值和第 95 百分位，這些研究改進了暴露參數手冊早期版本中所建議的呼吸速率，主要是因為它們使用了大量數據來分析，依據年齡及不同暴露情境下該族群的活動程度來做考量，其結果能代表美國整體的情況，並考量了體重與呼吸速率間的關連性。在手冊中亦提及使用該表的數值時應注意到，當採用較高的百分位數值來做分析時，會有較高的不確定性，因為這些數值通常是高估每日的卡路里攝取量，並非代表成人和孩童的每日攝取量。當使用 Layton 公式(Layton, 1993)來估算呼吸速率時，16 歲至未滿 21 歲孩童每日卡路里攝取量的第 95 百分位數值是高於 $4,000 kcal/day$ (Stifelman, 2003)。手冊中表 6-1(圖 3-1)的第 95 百分位數值通常是異常偏高，然而仍在手冊中呈現，主要是提供使用者瞭解成人與小孩呼吸速率範圍，以做為參考，其中 11 歲以上至 61 歲以上的人平均呼吸速率差異不大，當在估算長期暴露時，建議使用者應小心謹慎使用這些數值。參數手冊上，不論長或短時間暴露的呼吸速率平均數值皆小於 $1 m^3/hour$ ($24 m^3/day$)，凸顯目前台灣的土壤及地下水資訊管理系統上所引用的數值有需要評估是否更新的需要。



本土性暴露參數建置研究計畫：成人淋浴時呼吸速率之建置

Table 6-1. Recommended Long-Term Exposure Values for Inhalation (males and females combined)					
Age Group ^a	Mean (m ³ /day)	Sources Used for Means	95 th Percentile ^b (m ³ /day)	Sources Used for 95 th Percentiles	Multiple Percentiles
Birth to <1 month	3.6	c	7.1	c	
1 to <3 months	3.5	c, d	5.8	c, d	
3 to <6 months	4.1	c, d	6.1	c, d	
6 to <12 months	5.4	c, d	8.0	c, d	
Birth to <1 year	5.4	c, d, e, f	9.2	c, d, e	
1 to <2 years	8.0	c, d, e, f	12.8	c, d, e	
2 to <3 years	8.9	c, d, e, f	13.7	c, d, e	
3 to <6 years	10.1	c, d, e, f	13.8	c, d, e	See Table 6-4, Table 6-6 through Table 6-8, Table 6-10, Table 6-14 Table 6-15 [none available for Stifelman (2007)]
6 to <11 years	12.0	c, d, e, f	16.6	c, d, e	
11 to <16 years	15.2	c, d, e, f	21.9	c, d, e	
16 to <21 years	16.3	c, d, e, f	24.6	c, d, e	
21 to <31 years	15.7	d, e, f	21.3	d, e	
31 to <41 years	16.0	d, e, f	21.4	d, e	
41 to <51 years	16.0	d, e, f	21.2	d, e	
51 to <61 years	15.7	d, e, f	21.3	d, e	
61 to <71 years	14.2	d, e, f	18.1	d, e	
71 to <81 years	12.9	d, e	16.6	d, e	
≥81 years	12.2	d, e	15.7	d, e	
^a	When age groupings in the original reference did not match the U.S. EPA groupings used for this handbook, means from all age groupings in the original reference that overlapped U.S. EPA's age groupings by more than one year were averaged, weighted by the number of observations contributed from each age group. Similar calculations were performed for the 95 th percentiles. See Table 6-25 for concordance with U.S. EPA age groupings.				
^b	Some 95 th percentile values may be unrealistically high and not representative of the average person.				
^c	Arcus-Arth and Blaisdell (2007).				
^d	Brochu et al. (2006b).				
^e	U.S. EPA (2009a).				
^f	Stifelman (2007).				

圖 3-1 美國環保署暴露參數手冊中呼吸速率 (USEPA, 2011)

3.3 人體呼吸頻率

呼吸頻率(Respiratory frequency, Rf)為呼吸系統完成一次正常吸氣與吐氣的速率，其計算方式以每分鐘完成一次完整的吸氣與吐氣次數而定，孩童安靜時呼吸頻率會隨著年齡越大而越低，< 1 歲為 30-60 次/min、1-3 歲為 25-40 次/min、3-6 歲為 20-30 次/min、6-12 歲為 18-25 次/min、12-18 歲為 15-20 次/min (DeBoer, 2004; Lindh et al., 2013)；正常成年人安靜時呼吸頻率為每分鐘 12 到 20 次(Flenady et al., 2017)；年長女性(< 65 歲到> 95 歲，n=81)則平均每分鐘約 18 到 19 次且不隨年齡增加而有差異(Rizzo et al., 2005)。當人運動與有壓力時，身體對氣體交換需求性會升高，呼吸時通氣量增加，而每分鐘通氣量(Minute ventilation, VE)的改變主要由呼吸頻率與潮氣量(Tidal volume, VT)二個機制影



響(Nalbandian et al., 2017)。其中呼吸頻率與心跳率、血乳酸、自覺努力程度一樣被認為身體活動強度高低的生理指標之一(Nicolo et al., 2017b)。人體在接受外在壓力(如氣候或心理焦慮)改變時，會立即調整呼吸作用，以對應這些外在條件，例如：人浸泡在冰水中，呼吸系統會即刻增加每分鐘通氣量，增加通氣量主要以呼吸頻率上升，直到呼吸頻率穩定後再增加潮氣量(Tipton et al., 2017)，此現象主要由皮膚的溫度感覺接受器的感覺神經回饋所驅動的呼吸功能變化。另外，呼吸頻率在激烈運動時扮演調整呼吸功能中重要角色，Nicolo et al. (2017a)研究指出，呼吸頻率隨著高強度間歇運動功率增加而加快呼吸速度，然而在潮氣量則沒有發現這樣的現象。運動中影響呼吸頻率的機制被認定與運動皮質與前運動皮質區域對呼吸肌群的神經控制有關。

3.4 人體肺部氣體交換及能量代謝相關研究

文獻亦指出在安靜狀態下，有運動與沒運動者間存在著部份呼吸參數及基礎代謝率的差異。Chaya et al. (2006)之研究提出 20-60 歲有做瑜珈與沒做瑜珈者(39 位健康女性及 65 位健康男性)於安靜狀態下代謝率與呼吸參數是有所差異的，該研究指出常做瑜珈的基礎代謝率(Basal metabolic rate, BMR)較不做瑜珈者低 15% ($p < 0.001$)，其中又可分成男性做瑜珈者比不做瑜珈者低 12% ($p < 0.001$)，女性做瑜珈者則較不做瑜珈者低 16% ($p < 0.001$)；另一方面，以同樣都有在做瑜珈者來看，女性做瑜珈者之基礎代謝率會較男性低，但在不做瑜珈組別則看不到此現象，男女性之間的基礎代謝率沒有顯著差異。除了基礎代謝率有差異外，呼吸參數如呼吸頻率、攝氧量(Oxygen uptake, VO_2)、二氧化碳排出量(Carbon dioxide output, VCO_2)及每分鐘通氣量亦有差異，而呼吸交換率或呼吸比(Respiratory exchange ratio, RER)，即每分鐘氧氣消耗量和二氧化碳產生量之比值則有較小的顯著差異性，而造成上述差異的原因主要在於長期做瑜珈可以使人體的交感神經系統活動下降、肌肉放鬆、呼吸變慢及心情平緩等，但有做瑜珈者心跳率(Heart rate, HR)雖比沒做瑜珈者低，兩者之間並沒有顯著差異。Mazic et al. (2015)針對 493 位從事各種運動的運動員(21 ± 4 歲)及 16 位久坐不運動的成人(24 ± 3 歲)進行安靜時肺功能測試(Pulmonary function tests)，該研究指出運動員之第一秒用力呼氣容量(Forced expiratory volume in one second, FEV₁)會較一般成人高約 10-20%，Nourry et al. (2005)則針對 9 位受 8 周短期高強度跑步訓練(9.7 ± 0.9 歲)及 9 位沒受訓練(10.3 ± 0.7 歲)孩童進行訓練前後肺功能測試，發現沒受訓練孩童之肺功能在 8 周前後並無太大差異，但受訓練後孩童之用力肺活量(Forced vital capacity, FVC)提升 $7 \pm 4\%$ ($p = 0.026$)、第一秒用力呼氣容量提升 $11 \pm 6\%$ ($p = 0.025$)，同時在最大攝氧量(Peak oxygen consumption, VO_{2peak})也提升 $15 \pm 4\%$ ($p < 0.001$)、每分鐘通氣量提升 $16 \pm 5\%$ (p



本土性暴露參數建置研究計畫：成人淋浴時呼吸速率之建置

= 0.033)、潮氣量提升 $15 \pm 5\%$ ($p = 0.019$)，然而，心跳率及氣體交換率則沒有太大差異。

此外，安靜及運動狀態下人體的攝氧量及二氧化碳排出量可用來計算不同能量來源的利用率，一般人日常安靜代謝率(Resting metabolic rate, RMR)佔總消耗熱量(Total energy expenditure ,TEE)的 60-70% (Stipanuk, 2000)，且會略高於基礎代謝率，而平均呼吸交換率則約為 0.82，代表人體在休息狀態時有一半以上的能量來源會取自體內脂肪酸(Fatty acid)的消耗，其餘則大多來自於碳水化合物，如葡萄糖(Glucose)，蛋白質的貢獻幾乎微乎其微，同時安靜代謝率亦會隨著年齡、性別、身體組成、種族、體內賀爾蒙、基因型態及生理壓力等而異(圖 3-2) (Melzer, 2011)；此外，1 代謝當量(Metabolic equivalent, MET)則可以用來表示一個健康成年人安靜坐著時的能量代謝水平，即指一天中每人每單位公斤體重約可消耗 24 kcal (Ainsworth et al., 1993)，若以一個體重 70 公斤的人為例，其一天共可消耗約 1,680 kcal。另一方面，一般人日常體力活動能量消耗約佔 15-30%，但會因人而異，而每天受訓練 5-6 小時的運動員可高達 80%，代謝當量在運動過程可以用來界定運動的強度，當 < 3 METs 代表溫和， < 8 METs 代表理想，及 > 12 METs 代表精疲力竭(Fox et al., 1993)。運動時仍以碳水化合物(肌醣、血糖)和脂肪(血漿脂肪酸、肌肉三酸甘油脂)為人體主要能量代謝來源，但隨著運動強度的增加，人體會以消耗碳水化合物為優先來源，而隨著運動時間的拉長，則會轉變成以脂肪為主要的能量來源(Melzer, 2011)。

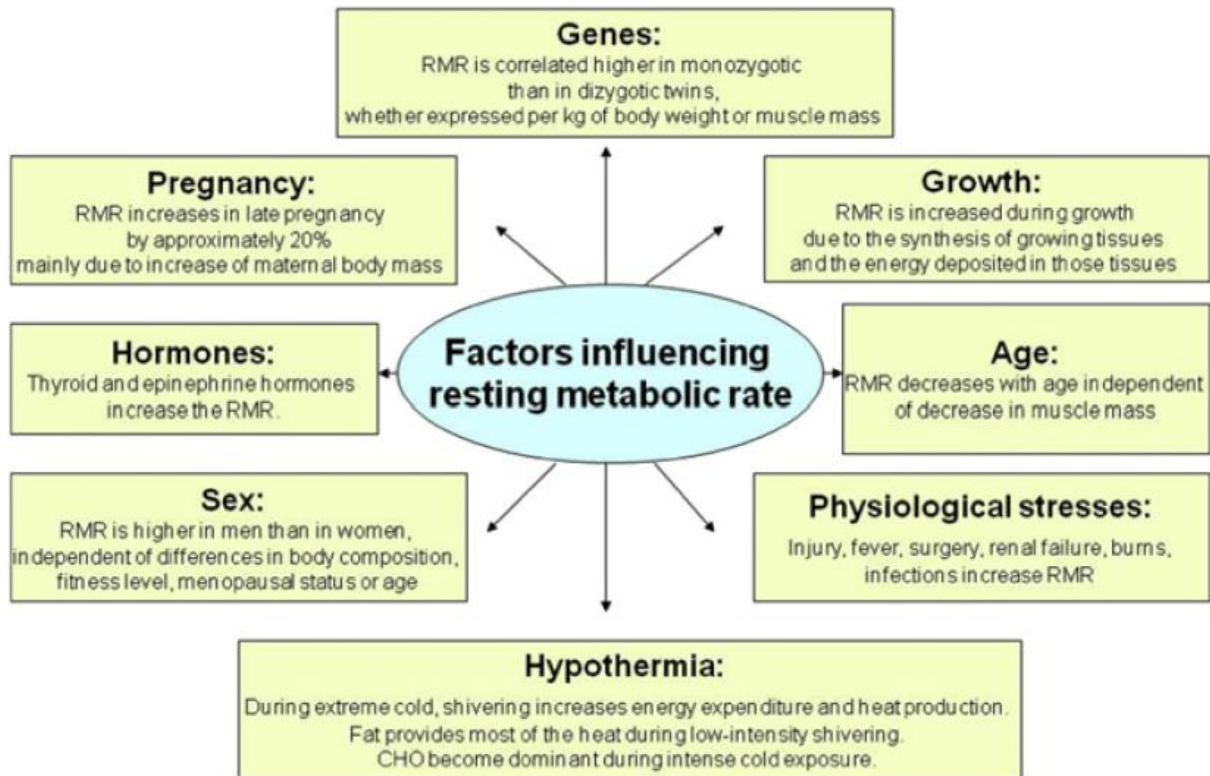


圖 3-2 影響日常安靜代謝率(RMR)的因子 (Melzer, 2011)



本土性暴露參數建置研究計畫：成人淋浴時呼吸速率之建置

(本頁空白)



第4章 研究方法與過程

本研究方法及其創新性主要藉由配戴呼吸速率量測機器於淋浴狀態下，實際測量成人淋浴的短時間暴露的呼吸速率，並同時監測淋浴情境下的卡路里消耗量，運用傳統公式估算出呼吸速率，針對兩種方式的數值進行驗證和探討相關性，藉此能提供相關單位在政策管理與修訂上參考，研究流程如圖 4-1 所示。

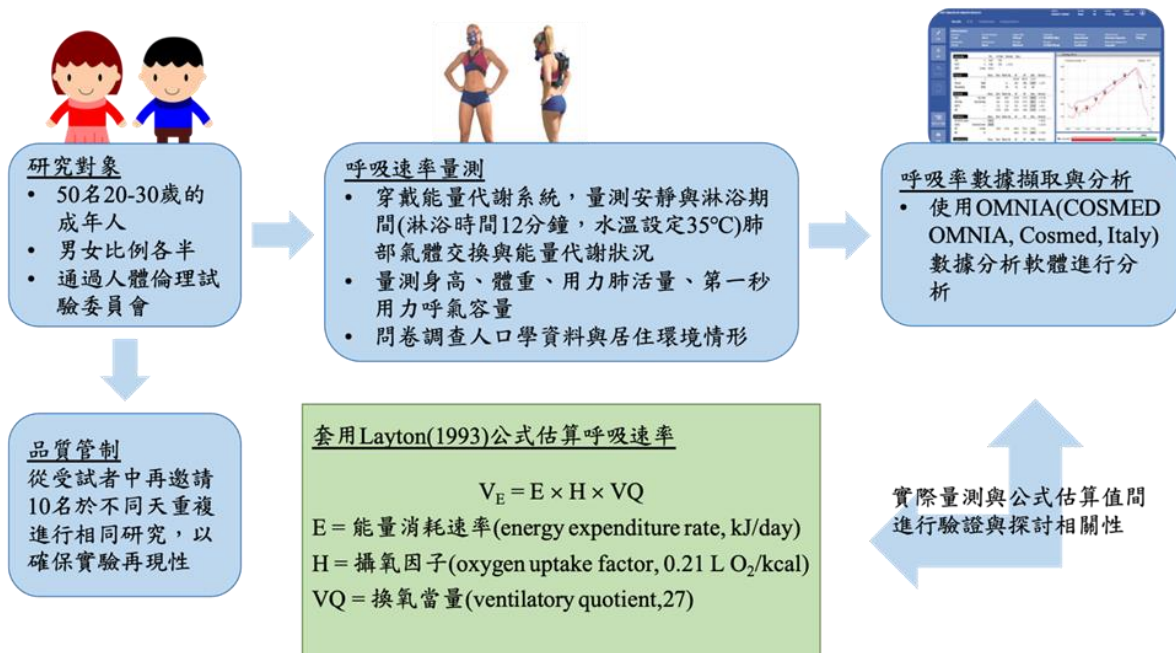


圖 4-1 研究流程圖

4.1 研究對象招募與基本資料收集

本計劃在通過人體倫理試驗委員會的審查後，招募有意願參與之 20-30 歲成年人 50 名(有效樣本為男性及女性各 25 名)，在獲得初步同意後，研究團隊人員即會向受試者說明計畫內容及參加與退出權益；當取得受試者同意書的簽署後，則開始計畫的進行。研究人員們同時將協助研究對象填寫一份問卷，內容包括人口學變項及居住環境的特性等，受試者須完成身高、體重，用力肺活量與第一秒用力呼氣容量量測，並穿戴完成攜帶式能量代謝系統設備，於(1)安靜時；(2)固定的淋浴間進行實際淋浴的研究，研究團隊將致贈 1,000 元的受試者費用(含車馬費)，為感謝受試者的協助與參與。



4.2 問卷設計內容

編號：_____

收案日期：_____

親愛的受訪者您好：

首先感謝您參與這次的問卷調查，此為一份學術性問卷，本問卷旨在瞭解您日常生活的相關資料，請您依題號填答下列所有問題，您的填答對於本研究的完成是非常寶貴的，所填答的答案僅提供學術研究使用，您的任何個人資料我們將允諾內容絕對保密，結果亦以整體狀況呈現，不會以個人數據的方式表現出來。請您安心填答，謝謝您的合作！

敬祝

健康、快樂

台北醫學大學公共衛生學系

A. 基本狀況

A1. 請問您是什麼時候出生的(以身分證上的為主)? 民國_____年_____月

A2. 請問您目前居住在哪裡?

_____省/縣/市 _____鄉/鎮/市/區 郵遞區號□□□

A3. 請問您居住在這個地區(鄉鎮/區)有多久了?

☐不到一年☐1年-未滿3年☐3年-未滿5年☐5年-未滿10年☐10年-未滿20年☐20年-未滿30年☐30年或以上

A4. 請問您是哪裡人?

☐台灣閩南人☐台灣客家人☐台灣原住民☐大陸各省市(含港澳金馬)☐台灣新住民☐其他, _____

A5. 請問您的教育程度是?

☐小學及以下☐國(初)中☐高中、高職☐專科☐大學☐碩士及以上☐其他, _____

A6. 請問下列哪一項是您目前職業的狀況?

☐全職工作☐兼職工作☐無工作(跳題 A8)☐其他, _____

A7-1. 請問您目前主要的工作是什麼? _____

Version : 2.0 Date : 2019/03/26

1



A7-2. 這個工作您是擔任什麼職位？ _____

A8. 您的身高：_____公分，體重：_____公斤

B.運動習慣

「運動」是指為了改善或維持健康的有計劃的任何身體活動，像是散步、園藝、家事等。

「規律運動」是指每週執行至少三次、每次至少連續執行 20 分鐘以上的運動。

請回憶您過去一個月中實際參與運動的狀況，對下列問題勾選最適當的答案，請在「□」內打「✓」。

B1. 您目前從事「規律運動」的情形？

- ☐ 我目前從事規律運動已經超過 6 個月以上的時間(請繼續往下作答)。
- ☐ 我目前正在從事規律運動，但還未滿 6 個月(請繼續往下作答)。
- ☐ 我目前有運動，但沒有規律(請繼續往下作答)。
- ☐ 我目前沒有運動的習慣(請直接跳到 25 題作答)。

B2. 您從事休閒運動的習慣為何？

- ☐ 有規律性 (有固定從事的時間，每週一次或以上)。
- ☐ 偶而為之 (不固定)
- ☐ 其他：_____ (請說明)。

B3. 您每週運動的幾次？(每次至少連續 30 分鐘才計算)

- ☐ 沒有 ☐ 一次 ☐ 二次 ☐ 三次 ☐ 四次 ☐ 五次
- ☐ 六次 ☐ 每天

B4. 您每次運動的時間為：

- ☐ 小於 20 分鐘 ☐ 20 分鐘~1 小時 ☐ 1 小時~2 小時
- ☐ 2 小時~3 小時 ☐ 3 小時以上

C.抽菸或喝酒習慣

C1. 您最近一個月有抽菸的習慣嗎？

- ☐ 從未有抽菸習慣。

Version : 2.0 Date : 2019/03/26

2



本土性暴露參數建置研究計畫：成人淋浴時呼吸速率之建置

- ☐ 曾經有抽菸習慣，現在已經戒菸
(已經戒菸_____年，過去抽菸量約_____支/天)。
- ☐ 現仍有抽菸習慣 (抽菸已有_____年，目前抽菸量約_____支/天)。

C2. 您平常會喝酒嗎？ ☐ 會 ☐ 不會。

C3. 您平常喝的酒包括：(可複選)

- ☐ 烈酒 ☐ 啤酒 ☐ 米酒 ☐ 水果酒(如葡萄酒、梅酒等)

C4. 您平常喝酒的頻率是：(杯指小酒杯)

- ☐ 一週少於一杯 ☐ 一週 1 杯 ☐ 三天 1 杯 ☐ 兩天 1 杯
☐ 一天 1 杯 ☐ 一天 ≥ 2 杯

D. 呼吸道症狀

D1. 請問過去您是否曾經有喘鳴發作或呼吸時有如笛音般的聲音嗎？

- ☐ 是 ☐ 否 (如果您勾“否”者，請跳答第D5題)

D2. 請問過去 12 個月您是否曾經有過喘鳴發作或呼吸時有如笛音般的聲音嗎？

- ☐ 是 ☐ 否 (如果您勾“否”者，請跳答第D5題)

D3. 過去 12 個月您是否曾經有多少次喘鳴發作？

- ☐ 無 ☐ 1~3 次 ☐ 4~12 次 ☐ 多於 12 次

D4. 過去 12 個月，您是否曾因喘鳴發作、呼吸困難嚴重到呼吸之間只能講 1 到 2 個字？

- ☐ 是 ☐ 否

D5. 您是否以前有過氣喘嗎？

- ☐ 是 ☐ 否

D6. 過去 12 個月，您是否在運動時或運動過後呼吸會有喘鳴聲嗎？

- ☐ 是 ☐ 否

Version : 2.0 Date : 2019/03/26

3



4.3 身體指數及肺功能檢測

受試者在進行安靜及淋浴呼吸速率測試前，須先進行一些基本身體指數之量測。身高儀(seca 213 型-攜帶式摺疊身高儀,圖 4-2a)用來量測受試者的身高；身體組成分析儀(Inbody230,圖 4-2b)用來量測受試者之體重及身體組成如 BMI (Body mass index)、骨骼、肌肉及脂肪量等；肺功能量計(IQmark Digital Spirometer,圖 4-2c)主要用來量測受試者的肺功能，如第一秒用力呼氣容量(FEV₁)及用力肺活量(FVC)，而圖 4-2d 呈現的是其操作與資料管理介面。



圖 4-2 身體指數量測設備: (a) seca 213 型-攜帶式摺疊身高儀；(b)Inbody；(c) IQmark Digital Spirometer；(d) IQmark Digital Spirometer 操作介面



4.4 安靜及淋浴期間呼吸速率量測

因上下午人體的基礎代謝率有所差異，故所有受試者均固定在上午未進食狀態下進行測試，安靜時的情境條件為在通風環境中坐著 15 分鐘，而淋浴實驗則在臺北醫學大學體育組內的乾濕分離浴室中進行(圖 4-3)，情境條件設定以健康風險評估方法中的參數為依據：每次淋浴後仍待在浴室中的時間為 0.2 小時(12 分鐘)，水溫設定為 35°C(江舟峰等，2008)，如表 4-1 所示。受試者研究期間安靜與淋浴能量代謝與肺功能氣體交換指標透過攜帶式能量代謝系統(COSMED K5,圖 4-4a)收集數據，以呼吸對呼吸的方式採取氣體。採樣前依照操作手冊定標程序完成標準化，隨後由研究人員協助受試者配戴面罩(圖 4.4b)及心率帶並連接至攜帶式能量代謝系統後，以坐姿方式測量安靜時人體氣體交換，並計算基礎能量代謝率如脂肪及碳水化合物利用率；受試者換上泳衣後，由研究人員協助配戴 Aquatrainer system(圖 4-4c)及心率帶並連接至攜帶式能量代謝系統後，同樣於淋浴時測量人體氣體交換並計算基礎能量代謝率。最後，由攜帶式能量代謝系統測得的二氧化碳排出量、攝氧量、潮氣量以及每分鐘通氣量的改變，可用來瞭解人體在不同狀態下氣體交換與能量代謝狀況(Frawley et al., 2018; Nicolo et al., 2017a; Shephard, 2017)。數據擷取與資料管理操作設置使用 OMNIA (COSMED OMNIA)數據分析軟體操作(圖 4-5)，實驗參數則如表 4-2 所示。



圖 4-3 淋浴實驗受試地點:(a)乾溼分離浴室(長*寬*高為 290 cm*130 cm*240 cm)；(b)淋浴間(長*寬*高為 130 cm*85 cm*240 cm)



表 4-2 能量代謝與肺功能氣體交換指標

參數表		
Rf	Respiratory frequency	呼吸頻率
VE	Minute ventilation	每分鐘通氣量
VT	Tide volume	潮氣量
VO ₂	Oxygen uptake	攝氧量
VCO ₂	Carbon dioxide output	二氧化碳排出量
MET	Metabolic equivalent	代謝當量
RER	Respiratory exchange ratio	呼吸交換率
CHO	Carbohydrate substrate utilization	碳水化合物利用率
FAT	Fat substrate utilization	脂肪利用率

4.5 品質管制

為確保實測數據的可信度與再現性，會從受試者中再邀請 10 名受試者，於不同天重複進行相同的研究。

4.6 公式驗證與提出修正公式

為探討儀器實際測量之呼吸速率與 Layton(1993)公式之間的相關性，本研究執行了公式驗證的部分。其中，儀器實際測量之每分鐘通氣量(L/min)經單位換算可得到呼吸速率(m³/day)，而 Layton(1993)公式中，E 會代入由儀器測得的能量代謝率(kcal/day)，H 和 VQ 則會代入文獻提供的建議值，分別是 0.21 L O₂/kcal 和 27，並比較儀器和公式計算結果及兩者間的差異性。爾後，本研究亦參考江舟峰(2008)利用國人每日熱量攝取率來預估呼吸速率的研究，提出更適合預測本土化呼吸速率參數的修正公式。

4.7 研究進度及預期完成之工作項目(甘特圖)

4.7.1 應完成之工作項目

- (1) 通過人體試驗研究倫理
- (2) 招募 50 名 20-30 歲、男女比例各半的成年研究對象
- (3) 配戴呼吸速率量測機器模擬淋浴狀態實驗設計與建置
- (4) 量測受試者身高、體重、用力肺活量、第一秒用力呼氣容量
- (5) 量測安靜狀態與淋浴期間的呼吸速率、肺部氣體交換與能量代謝狀態
- (6) 問卷調查人口學資料與居住環境情形
- (7) 呼吸速率數據擷取與資料管理操作設置與分析



- (8) 試驗數據的品質管制
- (9) 實際量測與運用公式所估算的呼吸速率進行驗證
- (10) 報告的撰寫

4.7.2 執行成果方面之貢獻及成果效益

- (1) 建構一可行之以實際量測法為最終目的配戴呼吸速率量測機器模擬淋浴狀態實驗設計
- (2) 在模擬情境中，探討安靜及淋浴狀態對於呼吸速率變化影響，並獲得男性及女性呼吸速率的基線資料
- (3) 藉由實際量測實驗了解實測值與 Layton's 公式應用的差異，嘗試建立肺功能與氧代謝率實測值的線性回歸模式，進一步探討本土化的換氣當量值
- (4) 建立本土化呼吸速率暴露參數未來進行相關情境模擬之研究基礎
- (5) 協助環保署建置健康風險評估方法第一層次風險評估中的本土化預設數值

4.7.3 研究進度甘特圖

年月 工作項目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	備註
1. 通過人體試驗研究倫理			※										
2. 招募 50 名 20-30 歲、 男女比例各半的成年研究對象													
3. 配戴呼吸速率量測機器 模擬淋浴狀態實驗設計 與建置						※							
4. 量測受試者身高、體重、 用力肺活量、第一秒用力呼氣容量													



本土性暴露參數建置研究計畫：成人淋浴時呼吸速率之建置

5. 量測安靜狀態與淋浴期間的呼吸速率、肺部氣體交換與能量代謝狀態													
6. 問卷調查人口學資料與居住環境情形													
7. 呼吸速率數據擷取與資料管理操作設置與分析													
8. 試驗數據的品質管制													
9. 實際量測與運用公式所估算的呼吸速率進行驗證													
10.報告的撰寫													
工作進度估計百分比 (累 積 數)	10 %	15 %	20 %	30 %	40 %	50 %	55 %	65 %	70 %	85 %	95 %	100 %	
預定查核點	期中		完成通過人體試驗研究倫理、配戴呼吸速率量測機器模擬淋浴狀態實驗設計與建置										
	期末		完成呼吸速率的量測、分析與報告的撰寫										

說明：

1、工作項目請視專案性質及需要自行訂定。預定進度以粗線表示其起迄日期。

2、「工作進度百分比」欄係為配合管考作業所需，累積百分比請視工作性質就以下因素擇一估計訂定：(1) 工作天數，(2) 經費之分配，(3) 工作量之比重，(4) 擬達成目標之具體數字。

3、「預定查核點」，請在條形圖上標明※符號，並在「預定查核點」欄具體註明關鍵性工作要項。

4、

預計進度

實際進度



第5章 結果與討論

5.1 人體試驗研究倫理審核及受試者招募

為執行本研究所提出之計畫書、受訪者同意書及個案報告表，已於108/01/03 通過臺北醫學大學暨附屬醫院聯合人體研究倫理委員會(TMU-JIRB)之審核，通過證明函如圖 5-1 所示。

TMU-JIRB Form076/20180201

臺北醫學大學
臺北醫學大學暨附屬醫院聯合人體研究倫理委員會
TMU-Joint Institutional Review Board
通過證明函 - 簡易審查案

開立日期：民國108年01月03日

本會編號：N201811044
 計畫名稱：本土性暴露參數建置研究計畫：成人淋浴時呼吸速率之建置
 計畫主持人：簡伶來
 研究人員：王映琳
 試驗/研究機構：臺北醫學大學
 計畫書版本/日期：Version 1/20181120
 受試(訪、檢)者同意書版本/日期：Version 2/ 2018/12/10
 個案報告表版本/日期：Version 1.0/ 2018/11/15
 招募文宣版本/日期：Version 1/ 2018/12/18

上述計畫已通過本會簡易審查程序，將於第108-01-3次會期追蹤(會議日期：108年01月29日)，特此證明。有效期限自民國108年01月03日至民國109年01月02日。試驗/研究期間應接受本會之監督。

依據衛生福利部相關規定，後續追蹤程序及要求如下：

1. 期中報告：本計畫期中繳交頻率為每12個月，應於有效期限到期前二個月（民國108年11月02日）繳交期中報告。有效期限屆滿時若尚未通過期中報告與效期展延審查者，試驗/研究不得繼續執行。
2. 結案報告：試驗/研究完成後，應將執行情形及結果依結案報告表要求送至本會審查。核准期間到期三個月仍未繳交者，本會得撤銷本通過證明函，亦即撤銷本試驗/研究之核准，亦將依本會作業程序暫停主持人(含任何參與形式)申請新試驗/研究案之審查三個月。
3. 嚴重不良事件(SAE)報告：執行人體試驗或臨床試驗之主持人應根據衛生福利部「藥品優良臨床試驗準則」和「嚴重藥物不良反應通報辦法」規定，辦理相關事宜。

主任委員：

陳中明

臺北醫學大學附屬醫院
 聯合人體研究倫理委員會
 Taipei Medical University
 Joint Institutional Review Board

本會組織與執行皆符合國際法規
 The TMU-Joint Institutional Review Board performs its functions according to written
 operating procedures and complies with GCP and with the applicable regulatory requirements.
 e730d89a75c5abf5a50158a0682d7561 TMU-JIRB Form076/20180201

圖 5-1 TMU-JIRB 通過證明函

5.2 人口學統計

本研究針對受試者的年齡、身高、職業狀態、運動習慣、抽煙/喝酒習慣以及呼吸道症狀進行問卷調查，結果如表 5-1。



本土性暴露參數建置研究計畫：成人淋浴時呼吸速率之建置

表 5-1 基本人口學調查

基本人口學	平均值±標準差或個數(百分比)
年齡(歲)	24 ± 2.44
身高(公分)	167 ± 9.27
職業狀態	
有工作	22 (44%)
無工作	28 (56%)
目前從事規律運動情形	
目前有從事規律運動	26 (52%)
目前有運動，但沒有規律	17 (34%)
目前沒有運動習慣	7 (14%)
從事運動習慣	
有規律性(有固定從事時間，每周一次或以上)	27 (54%)
偶而為之(不固定)	16 (32%)
沒有運動習慣	7 (14%)
每週運動次數	
0~3 次	42 (84%)
4~7 次	8 (16%)
每次運動時間	
2 小時以內	29 (58%)
2 小時以上	21 (42%)
抽菸習慣	
從未有抽菸習慣	47 (94%)
曾經有抽菸習慣，現在已經戒菸	3 (6%)
現仍有抽菸習慣	0 (0%)
喝酒習慣	
會	17 (34%)
不會	33 (66%)
喝酒頻率	
一周少於一杯	44 (88%)
一周一杯以上(含)	6 (12%)
過去是否曾有喘鳴發作或呼吸時有如笛音般的聲音	
否	49 (98%)
是	1 (2%)
過去是否有過氣喘	
否	46 (92%)
是	4 (8%)
運動時或運動過後呼吸會有喘鳴聲	
否	50 (100%)
是	0 (0%)



5.3 安靜與淋浴狀態實驗設計與建置

5.3.1 安靜狀態實驗設計與建置

受試者在進行安靜狀態呼吸速率測試前必須保持 12 小時空腹，會先幫受試者戴上合適大小的面罩(圖 5-2a)，並幫受試者戴心率帶(圖 5-2b)前電極部分會先沾水以幫助感測心跳，而主機部分則要對準肋骨中間凹陷處；接著會請受試者坐在舒適的沙發上，並將面罩連接至 COSMED K5 攜帶式能量代謝系統(圖 5-2c)，即可透過電腦操作 COSMED K5 進行測定，測定開始前須先確定攝氧量及二氧化碳排出量 $<10\%$ 、呼吸頻率 $<5\%$ 且 $RQ < 1$ ，若數值有異常，則代表環境可能過悶或受試者太過緊張，待數值達到要求後，才可以繼續測定 15 分鐘安靜時間下的呼吸速率。



圖 5-2 安靜狀態實驗設備: (a)面罩；(b)心率帶；(c) COSMED K5 攜帶式能量代謝系統



本土性暴露參數建置研究計畫：成人淋浴時呼吸速率之建置

5.3.2 淋浴狀態實驗設計與建置

受試者在進行淋浴狀態呼吸速率測試時，要持續戴心率帶以監測在活動狀態下心跳的變化，接著請受試者夾上鼻夾後將 Aquatrainer system 配戴到受試者頭上，全程僅能以嘴巴呼吸(圖 5-3a,b)，最後將 Aquatrainer system 連接到 COSMED K5，即可透過電腦進行操作(圖 5-3c)，測定時水溫要維持在 35 度下淋浴 12 分鐘，測定完成後可從電腦取得淋浴過程的呼吸速率。

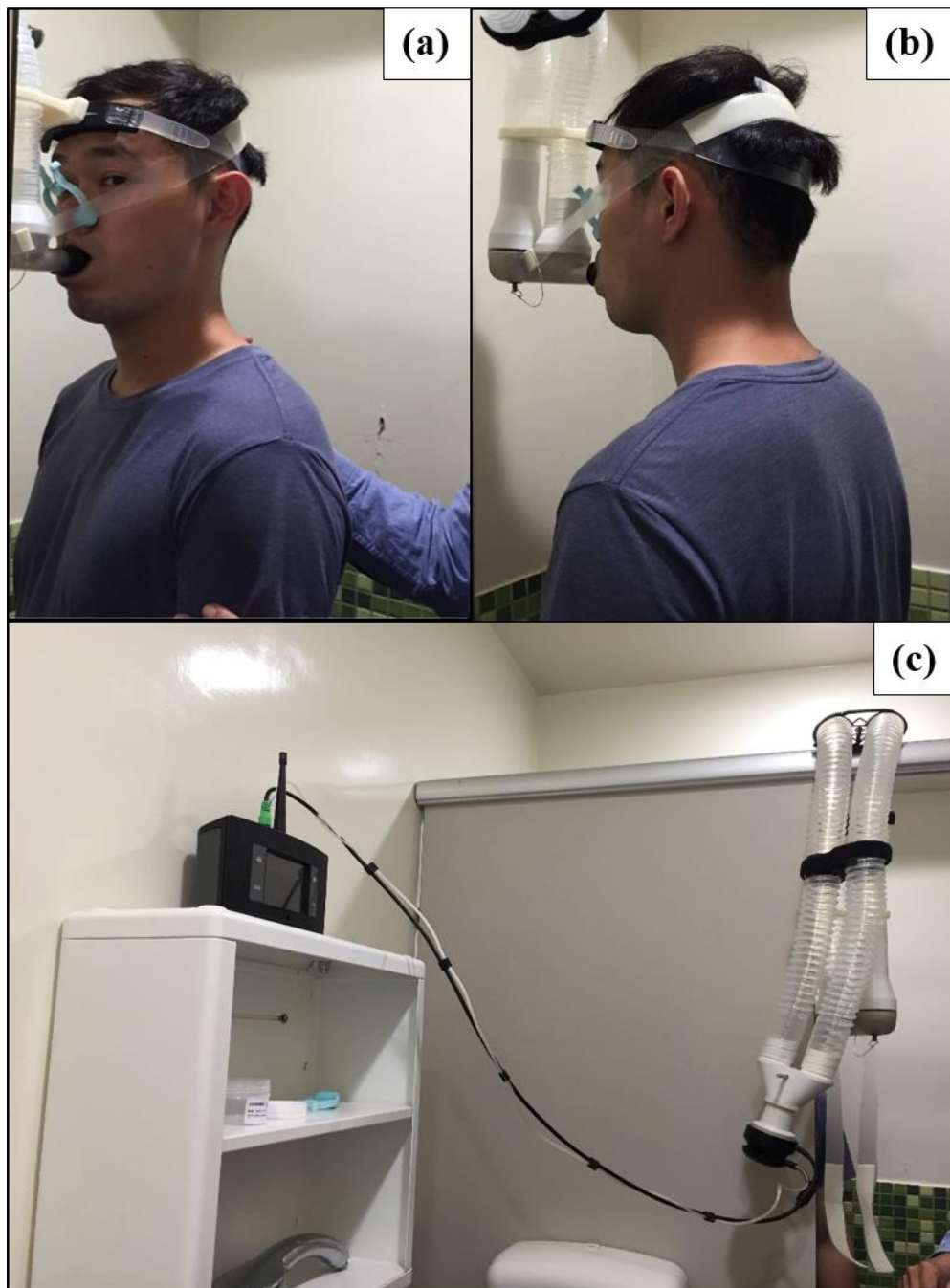


圖 5-3 淋浴狀態實驗設備: (a) Aquatrainer system 前面；(b) Aquatrainer system 側面；(c) COSMED K5 攜帶式能量代謝系統



5.4 男女差異比較

5.4.1 受試者身體指數

本研究 50 位受試者中男生 25 位、女生 25 位。表 5-2 呈現有效樣本之身體指數分析表，因男女生先天生理結構上的差異，除了年齡、腰臀圍比之外，男生在身高、體重、BMI 值及骨骼肌重都顯著高於女生，體脂肪率則顯著低於女生，而上述所提及男女生的體型、骨骼重量及脂肪率顯著不同則為主要造成男生的基礎代謝率(BMR)會顯著高於女生的原因($p < 0.01$) (Garn et al., 1953)。

表 5-2 受試者身體指數分析表(男女比較)

	男生	女生	全部
樣本數	25	25	50
年齡(year)	24 ± 2.7	23 ± 2.2	24 ± 2.4
身高(cm)	174 ± 5.07	161 ± 7.72**	167 ± 9.27
體重(kg)	71.1 ± 8.06	53.6 ± 9.04**	62.4 ± 12.2
BMI 值(kg/m ²)	23.6 ± 2.98	20.8 ± 3.16**	22.2 ± 3.36
骨骼肌重(kg)	33.2 ± 3.82	21.3 ± 3.51**	27.3 ± 7.03
體脂肪率(%)	17.4 ± 5.93	26.1 ± 7.54**	21.8 ± 8.01
腰臀圍比	0.84 ± 0.05	0.83 ± 0.05	0.83 ± 0.05
基礎代謝率(kcal)	1,634 ± 136	1,220 ± 128**	1,427 ± 247

註:男生和女生之間顯著差異: * $p < 0.05$ ** $p < 0.01$

5.4.2 受試者肺功能檢測

由肺功能測試結果(表 5-3)，男生百分比第一秒用力呼氣容量預測值及百分比用力肺活量預測值為 91.5-145% ($115 \pm 15.5\%$)及 87.4-150% ($112 \pm 12.6\%$)、女生百分比第一秒用力呼氣容量預測值及百分比用力肺活量預測值為 77.7-126% ($99 \pm 11.3\%$)及 80.5-126% ($105 \pm 11.8\%$)，皆在預估值的 80%以上，屬於正常範圍，而男生及女生的 FEV₁/FVC 比值分別為 71.6-100% ($86 \pm 6.8\%$)及 59.6-100% ($88 \pm 1.9\%$)，其中除了四個女生的 FEV₁/FVC 比值小於正常值外，其餘皆大於正常值(70%)。

此外，男生的第一秒用力呼氣容量及用力肺活量皆顯著大於女生，主要原因為男女生先天性呼吸系統差異所致，例如：女生的呼吸道直徑及肺部容量比男生還要小(Alghadir et al., 2012; LoMauro and Aliverti, 2018; Mead, 1980; Thurlbeck, 1982)。



表 5-3 受試者肺功能分析表(男女比較)

	男生	女生	全部
樣本數	25	25	50
第一秒用力呼氣容量(L)	4.31 ± 0.61	2.81 ± 0.40**	3.56 ± 0.92
百分比第一秒用力呼氣容量預測值(%)	115 ± 15.5	99 ± 11.3**	107 ± 15.7
用力肺活量(L)	4.46 ± 0.59	3.40 ± 0.58**	4.20 ± 0.99
百分比用力肺活量預測值(%)	112 ± 12.6	105 ± 11.8*	109 ± 12.6
FEV ₁ /FVC (%)	86 ± 6.8	88 ± 1.9	85 ± 9.2

註:男生和女生之間顯著差異: * $p < 0.05$ ** $p < 0.01$

5.4.3 安靜時呼吸速率、肺部氣體交換與能量代謝情況

受試者安靜狀態時的呼吸速率、肺部氣體交換與能量代謝情況如表 5-4 所示。首先，男女生的呼吸頻率沒有顯著差異，所有受試者平均約每分鐘呼吸 16 次，符合一般正常成年人安靜時呼吸頻率為每分鐘 12 到 20 次；男女生潮氣量也沒顯著差異，所有受試者之平均值約為 0.60 L，近似於一般正常成年人每次呼吸的量(0.50 L)，而每分鐘通氣量則為每分鐘進或出肺的氣體總量，即呼吸頻率乘上潮氣量，男生的每分鐘通氣量(9.65 ± 1.33 L/min)顯著高於女生(7.67 ± 2.01 L/min)，而平均每分鐘通氣量為 8.66 ± 1.96 L/min，接近正常成人安靜下的值(6-10 L/min)，將安靜時每分鐘通氣量換算成呼吸速率，則所有受試者安靜時呼吸速率的平均值約為 12.5 m³/day，略低於環保署目前於 SGM 系統設定安靜時呼吸速率的預設值(17.14 m³/day)。男女生靜止心率則沒顯著差異，所有受試者平均值約為每分鐘 71 次，落在一般人安靜時正常心率範圍內(每分鐘 70-90 次)。

肺部氣體交換分析結果，男生的攝氧量(317 ± 45.4 mL/min)顯著高於女生(236 ± 47.7 mL/min)，同時二氧化碳排出量(256 ± 35.6 mL/min)也顯著高於女生(191 ± 46.7 mL/min)，主要原因為男性肌肉量較高、血液中紅血球比例較多等原因所致，而所有受試者之平均攝氧量為 277 mL/min，近似於一般人安靜時攝氧量(300 mL/min)，其他因子如體型、年齡及活動水準等也會影響攝氧量及二氧化碳排出量的高低；男女生的呼吸交換率則沒顯著差異，所有受試者的平均值為 0.81，和 Stipanuk (2000)之研究結果一致(呼吸交換率為 0.82)；此外，由呼吸交換率結果亦可知安靜狀態時有一半以上的能量是來自於脂肪，其餘則來自碳水化合物，與本研究測試所得之結果相同(66.5%來自脂肪、33.5%來自碳水化合物)。



安靜狀態下，男女生的代謝當量沒顯著差異，且皆近似 1 MET，即一個健康成年人安靜坐著時的能量代謝水平，然而，由於女生具有較高的體脂肪率，男生安靜時能量代謝率($2,186 \pm 305$ kcal/day)約 25%顯著高於女生($1,628 \pm 331$ kcal/day)，與 Arciero et al. (1993)之研究結果一致(男生安靜時能量代謝率約 23%高於女生)。

表 5-4 安靜狀態時呼吸速率、肺部氣體交換與能量代謝分析表(男女比較)

	男生	女生	全部
樣本數	25	25	50
呼吸頻率(Breaths/min)	16.3 ± 2.99	15.4 ± 4.77	15.9 ± 3.97
潮氣量(L)	0.63 ± 0.14	0.56 ± 0.24	0.60 ± 0.20
每分鐘通氣量(L/min)	9.65 ± 1.33	$7.67 \pm 2.01^{**}$	8.66 ± 1.96
安靜呼吸速率(m^3/day)	13.9 ± 1.91	$11.0 \pm 2.90^{**}$	12.5 ± 2.82
靜止心率(bpm)	69 ± 9	73 ± 9	71 ± 9
攝氧量(mL/min)	317 ± 45.4	$236 \pm 47.7^{**}$	277 ± 61.8
二氧化碳排出量(mL/min)	256 ± 35.6	$191 \pm 46.7^{**}$	224 ± 52.3
呼吸交換率	0.81 ± 0.07	0.82 ± 0.10	0.81 ± 0.09
代謝當量	1.44 ± 0.84	1.27 ± 0.24	1.35 ± 0.62
安靜能量代謝率(kcal/day)	$2,186 \pm 305$	$1,628 \pm 331^{**}$	$1,907 \pm 422$
脂肪利用率(kcal/day)	$1,462 \pm 451$	$1,084 \pm 465^{**}$	$1,273 \pm 492$
脂肪利用率(%)	66.4 ± 17.4	66.7 ± 24.4	66.5 ± 20.9
碳水化合物利用率(kcal/day)	725 ± 361	543 ± 457	634 ± 418
碳水化合物利用率(%)	33.6 ± 17.4	33.3 ± 24.4	33.5 ± 20.9

註:男生和女生之間顯著差異: $*p < 0.05$ $**p < 0.01$

5.4.4 淋浴時呼吸速率、肺部氣體交換與能量代謝情況

受試者淋浴狀態時的呼吸速率、肺部氣體交換與能量代謝情況如表 5-5 所示。在淋浴狀態下，男女生的呼吸頻率也沒有顯著差異，所有受試者平均約每分鐘呼吸 21 次，和 ICRP (1994)提出成年男性在輕度運動時呼吸頻率約每分鐘 20 次之結果相似；男女生潮氣量則有顯著差異($p < 0.01$)，所有受試者淋浴 12 分鐘的平均潮氣量約 0.54 L，與 ICRP (1994) 測試淋浴 10 分鐘的平均潮氣量約 0.50 L 差異不大，而男女生每分鐘通氣量則因受潮氣量差異之影響，亦有顯著差異($p < 0.01$)，分別為 11.5 ± 1.35 L/min 及 9.20 ± 2.08 L/min，將淋浴時每分鐘通氣量換算成呼吸速率，則所有受試者淋浴時呼吸速率的平均值約為 $14.9 m^3/day$ ，亦低於環保署目前於 SGM 系統設定淋浴時呼吸速率的預設值($24 m^3/day$)。男女生淋浴心率也沒顯著差異，所有受試者平均值約為每分鐘 85 次。



本土性暴露參數建置研究計畫：成人淋浴時呼吸速率之建置

由肺部氣體交換分析結果，男生的攝氧量(377 ± 43.3 mL/min)亦顯著高於女生(277 ± 62.3 mL/min)，同時二氧化碳排出量(282 ± 31.1 mL/min)也顯著高於女生(209 ± 47.6 mL/min)，男女生的呼吸交換率則沒顯著差異，所有受試者的平均值為 0.76。

在淋浴狀態時，男女生的代謝當量亦沒顯著差異，所有受試者平均值約為 1.50 METs，皆 < 3 METs，顯示淋浴屬於較溫和的身體活動(Fox et al., 1993)，而男生淋浴時能量代謝率($2,566 \pm 288$ kcal/day)則約 26%顯著高於女生($1,888 \pm 423$ kcal/day)，與安靜時能量代謝率有相似的趨勢，其中有 80%的能量來自脂肪，20%來自碳水化合物。

表 5-5 淋浴狀態時呼吸速率、肺部氣體交換與能量代謝分析表(男女比較)

	男生	女生	全部
樣本數	25	25	50
呼吸頻率(Breaths/min)	20.1 ± 2.82	21.2 ± 5.85	20.6 ± 4.57
潮氣量(L)	0.61 ± 0.09	$0.47 \pm 0.13^{**}$	0.54 ± 0.13
每分鐘通氣量(L/min)	11.5 ± 1.35	$9.20 \pm 2.08^{**}$	10.4 ± 2.09
淋浴呼吸速率(m^3/day)	16.6 ± 1.95	$13.2 \pm 3.00^{**}$	14.9 ± 3.01
淋浴心率(bpm)	85 ± 10	85 ± 11	85 ± 10
攝氧量(mL/min)	377 ± 43.3	$277 \pm 62.3^{**}$	327 ± 73.4
二氧化碳排出量(mL/min)	282 ± 31.1	$209 \pm 47.6^{**}$	246 ± 54.0
呼吸交換率	0.75 ± 0.04	0.77 ± 0.04	0.76 ± 0.04
代謝當量	1.53 ± 0.14	1.48 ± 0.25	1.50 ± 0.21
淋浴能量代謝率(kcal/day)	$2,566 \pm 288$	$1,888 \pm 423^{**}$	$2,227 \pm 495$
脂肪利用率(kcal/day)	$2,136 \pm 373$	$1,511 \pm 433^{**}$	$1,824 \pm 509$
脂肪利用率(%)	82.3 ± 9.45	78.5 ± 13.3	80.4 ± 11.5
碳水化合物利用率(kcal/day)	431 ± 241	377 ± 291	404 ± 266
碳水化合物利用率(%)	17.1 ± 9.45	21.5 ± 13.3	19.6 ± 11.5

註:男生和女生之間顯著差異: * $p < 0.05$ ** $p < 0.01$

5.4.5 安靜與淋浴狀態下呼吸速率、肺部氣體交換與能量代謝

表 5-6 綜合比較男女生在安靜與淋浴狀態下呼吸速率、肺部氣體交換與能量代謝的差異。所有受試者在淋浴狀態時的呼吸頻率、呼吸速率及心率皆顯著高於($p < 0.01$)安靜狀態時，安靜與淋浴時呼吸頻率分別為 15.9 ± 3.97 Breaths/min 及 20.6 ± 4.57 Breaths/min，呼吸速率分別為 12.5 ± 2.82 m^3/day 及 14.9 ± 3.01 m^3/day ，心率則分別為 71 ± 9 及 85 ± 10 ，主要原因為淋浴時身體活動量增加，肌肉需要更多的能量。



安靜與淋浴狀態下呼吸速率亦可呼應到肺部氣體交換測定的結果，當淋浴時呼吸頻率、呼吸速率及心率顯著高於安靜狀態時，身體的攝氧量亦呈現顯著高於安靜狀態時，安靜與淋浴時攝氧量分別為 277 ± 61.8 mL/min 及 327 ± 73.4 mL/min，而呼吸交換率則因而呈現顯著低於安靜狀態時，安靜與淋浴時呼吸交換率分別為 0.81 ± 0.09 及 0.76 ± 0.04 。

所有受試者在淋浴狀態時的能量代謝率皆顯著高於($p < 0.01$)安靜狀態時，能量代謝率分別為 $1,907 \pm 422$ kcal/day 及 $2,227 \pm 495$ kcal/day，在能量代謝的來源部分，淋浴過程中男女生脂肪利用率會顯著高於安靜狀態時，約各增加 32%及 28%的利用率。

表 5-6 安靜與淋浴狀態時呼吸速率、肺部氣體交換與能量代謝比較表(男女比較)

	男生(n=25)		女生(n=25)		全部(n=50)	
	安靜	淋浴	安靜	淋浴	安靜	淋浴
呼吸頻率(Breaths/min)	16.3 ± 2.99	20.1 ± 2.82**	15.4 ± 4.77	21.2 ± 5.85**	15.9 ± 3.97	20.6 ± 4.57**
潮氣量(L)	0.63 ± 0.14	0.61 ± 0.09	0.56 ± 0.24	0.47 ± 0.13	0.60 ± 0.20	0.54 ± 0.13*
每分鐘通氣量(L/min)	9.70 ± 1.33	11.5 ± 1.35**	7.67 ± 2.01	9.20 ± 2.08*	8.66 ± 1.96	10.4 ± 2.09**
呼吸速率(m ³ /day)	13.9 ± 1.91	16.6 ± 1.95**	11.0 ± 2.90	13.2 ± 3.00*	12.5 ± 2.82	14.9 ± 3.01**
心率(bpm)	69 ± 9	85 ± 10**	73 ± 9	85 ± 11**	71 ± 9	85 ± 10**
攝氧量(mL/min)	317 ± 45.4	377 ± 43.3**	236 ± 47.7	277 ± 62.3**	277 ± 61.8	327 ± 73.4**
二氧化碳排出量(mL/min)	256 ± 35.6	282 ± 31.1**	191 ± 46.7	209 ± 47.6*	224 ± 52.3	246 ± 54.0**
呼吸交換率	0.81 ± 0.07	0.75 ± 0.04**	0.82 ± 0.10	0.77 ± 0.04*	0.81 ± 0.09	0.76 ± 0.04**
代謝當量	1.44 ± 0.84	1.53 ± 0.14	1.27 ± 0.24	1.48 ± 0.25*	1.35 ± 0.62	1.50 ± 0.21
能量代謝率(kcal/day)	2,186 ± 305	2,566 ± 288**	1,628 ± 331	1,888 ± 423*	1,907 ± 422	2,227 ± 495**
脂肪利用率(kcal/day)	1,462 ± 451	2,136 ± 373**	1,084 ± 465	1,511 ± 433*	1,273 ± 492	1,824 ± 509**
脂肪利用率(%)	66.4 ± 17.4	82.3 ± 9.45**	66.7 ± 24.4	78.5 ± 13.3*	66.5 ± 20.9	80.4 ± 11.5**
碳水化合物利用率(kcal/day)	725 ± 361	431 ± 241*	543 ± 457	377 ± 291	634 ± 418	404 ± 266**
碳水化合物利用率(%)	33.6 ± 17.4	17.1 ± 9.45**	33.3 ± 24.4	21.5 ± 13.3*	33.5 ± 20.9	19.6 ± 11.5**

註:安靜與淋浴狀態下顯著差異: * $p < 0.05$ ** $p < 0.01$



5.5 年齡差異比較

5.5.1 受試者身體指數

表 5-7 為依照年齡分成 20-24 歲與 25-30 歲兩個族群進行受試者身體指數的分析比較。結果顯示，20-24 歲的平均 BMI 值為 $21.7 \pm 3.41 \text{ kg/m}^2$ ，25-30 歲的平均 BMI 值為 $23.1 \pm 3.18 \text{ kg/m}^2$ ，兩者無顯著差異。20-24 歲的平均基礎代謝率為 $1,387 \pm 252 \text{ kcal}$ ，25-30 歲的平均基礎代謝率為 $1,492 \pm 230 \text{ kcal}$ ，兩者亦無顯著差異。由表 5-7 可發現受試者的身體指數在 20-24 歲與 25-30 歲之間均無顯著差異，可能原因為年齡層分佈不夠廣。

表 5-7 受試者身體指數(年齡差異比較)

	20-24 歲	25-30 歲	全部
樣本數	31	19	50
年齡(year)	22 ± 1.17	26 ± 1.67	24 ± 2.44
身高(cm)	166 ± 10.3	168 ± 7.39	167 ± 9.27
體重(kg)	60.4 ± 12.2	65.6 ± 12.0	62.4 ± 12.2
BMI 值(kg/m^2)	21.7 ± 3.41	23.1 ± 3.18	22.2 ± 3.36
骨骼肌重(kg)	26.1 ± 7.13	29.1 ± 6.63	27.3 ± 7.03
體脂肪率(%)	22.3 ± 9.12	20.9 ± 5.92	21.8 ± 8.01
腰臀圍比	0.84 ± 0.05	0.83 ± 0.04	0.83 ± 0.05
基礎代謝率(kcal)	$1,387 \pm 252$	$1,492 \pm 230$	$1,427 \pm 247$

註:20-24 歲和 25-30 歲之間顯著差異: * $p < 0.05$ ** $p < 0.01$

5.5.2 受試者肺功能檢測

表 5-8 為依照年齡分成 20-24 歲與 25-30 歲兩個族群進行受試者肺功能的分析比較。結果顯示，20-24 歲的平均百分比第一秒用力呼氣容量預測值為 $105 \pm 14.9\%$ ，25-30 歲的平均百分比第一秒用力呼氣容量預測值為 $110 \pm 16.7\%$ ，兩者無顯著差異；20-24 歲的平均百分比用力肺活量預測值為 $107 \pm 13.7\%$ ，25-30 歲的平均百分比用力肺活量預測值為 $112 \pm 10.2\%$ ，兩者無顯著差異；20-24 歲的平均 $\text{FEV}_1/\text{FVC}(\%)$ 為 $85 \pm 8.7\%$ ，25-30 歲的平均 $\text{FEV}_1/\text{FVC}(\%)$ 為 $84 \pm 10\%$ ，兩者亦無顯著差異。由表 5-8 可發現受試者的肺功能分析在 20-24 歲與 25-30 歲之間均無顯著差異。

表 5-8 受試者肺功能分析表(年齡差異比較)

	男生	女生	全部
樣本數	31	19	50
第一秒用力呼氣容量(L)	3.48 ± 0.95	3.69 ± 0.87	3.56 ± 0.92
百分比第一秒用力呼氣容量預測值(%)	105 ± 14.9	110 ± 16.7	107 ± 15.7



本土性暴露參數建置研究計畫：成人淋浴時呼吸速率之建置

	男生	女生	全部
用力肺活量(L)	4.09 ± 1.06	4.38 ± 0.87	4.20 ± 0.99
百分比用力肺活量預測值 (%)	107 ± 13.7	112 ± 10.2	109 ± 12.6
FEV ₁ /FVC (%)	85 ± 8.7	84 ± 10	85 ± 9.2

註:20-24 歲和 25-30 歲之間顯著差異: * $p < 0.05$ ** $p < 0.01$

5.5.3 安靜時呼吸速率、肺部氣體交換與能量代謝情況

表 5-9 為依照年齡分成 20-24 歲與 25-30 歲兩個族群進行安靜時呼吸速率、肺部氣體交換與能量代謝的分析比較。由結果顯示，20-24 歲的呼吸頻率(16.1 ± 3.8 Breaths/min)與 25-30 歲的呼吸頻率(15.5 ± 4.31 Breaths/min)無顯著差異，安靜時呼吸速率分別為 12.3 ± 3.18 m³/day 和 12.8 ± 2.17 m³/day，兩者亦無顯著差異。

肺部氣體交換的部分，20-24 歲的平均攝氧量為 267 ± 65.0 mL/min，25-30 歲的平均攝氧量為 292 ± 53.9 mL/min，兩者無顯著差異。20-24 歲的平均二氧化碳排出量為 215 ± 56.1 mL/min，25-30 歲的平均二氧化碳排出量為 237 ± 43.5 mL/min，兩者亦無顯著差異。

能量代謝的部分，20-24 歲的代謝當量(1.39 ± 0.78)與 25-30 歲的代謝當量(1.29 ± 0.19)兩者無顯著差異，均接近 1 MET。20-24 歲的平均能量代謝率為 $1,840 \pm 447$ kcal/day，25-30 歲的平均能量代謝率為 $2,017 \pm 365$ kcal/day，兩者無顯著差異。

表 5-9 安靜狀態時呼吸速率、肺部氣體交換與能量代謝分析表(年齡差異比較)

	20-24 歲	25-30 歲	全部
樣本數	31	19	50
呼吸頻率(Breaths/min)	16.1 ± 3.80	15.5 ± 4.31	15.9 ± 3.97
潮氣量(L)	0.57 ± 0.16	0.64 ± 0.24	0.60 ± 0.20
每分鐘通氣量(L/min)	8.52 ± 2.21	8.90 ± 1.50	8.66 ± 1.96
安靜呼吸速率(m ³ /day)	12.3 ± 3.18	12.8 ± 2.17	12.5 ± 2.82
靜止心率(bpm)	71 ± 9	72 ± 9	71 ± 9
攝氧量(mL/min)	267 ± 65.0	292 ± 53.9	277 ± 61.8
二氧化碳排出量(mL/min)	215 ± 56.1	237 ± 43.5	224 ± 52.3
呼吸交換率	0.81 ± 0.09	0.82 ± 0.09	0.81 ± 0.09
代謝當量	1.39 ± 0.78	1.29 ± 0.19	1.35 ± 0.62
安靜能量代謝率(kcal/day)	$1,840 \pm 447$	$2,017 \pm 365$	$1,907 \pm 422$
脂肪利用率(kcal/day)	$1,249 \pm 498$	$1,313 \pm 493$	$1,273 \pm 492$
脂肪利用率(%)	68.1 ± 20.2	64.0 ± 22.6	66.5 ± 20.9



	20-24 歲	25-30 歲	全部
碳水化合物利用率(kcal/day)	591 ± 428	704 ± 403	634 ± 418
碳水化合物利用率(%)	31.9 ± 20.2	36.0 ± 22.6	33.5 ± 21.0

註:20-24 歲和 25-30 歲之間顯著差異: * $p < 0.05$ ** $p < 0.01$

5.5.4 淋浴時呼吸速率、肺部氣體交換與能量代謝情況

表 5-10 為依照年齡分成 20-24 歲與 25-30 歲兩個族群進行淋浴時呼吸速率、肺部氣體交換與能量代謝的分析比較。由結果顯示，20-24 歲的呼吸頻率(20.4 ± 5.09 Breaths/min)與 25-30 歲的呼吸頻率(21.1 ± 3.67 Breaths/min)無顯著差異；淋浴時呼吸速率分別為 14.8 ± 3.16 m³/day 和 15.1 ± 2.84 m³/day，亦無顯著差異。

肺部氣體交換的部分，20-24 歲的平均攝氧量為 318 ± 79.2 mL/min，25-30 歲的平均攝養量為 342 ± 62.1 mL/min，兩者無顯著差異。20-24 歲的平均二氧化碳排出量為 239 ± 59.3 mL/min，25-30 歲的平均二氧化碳排出量為 257 ± 43.3 mL/min，兩者亦無顯著差異。

能量代謝的部分，20-24 歲的代謝當量(1.51 ± 0.22)與 25-30 歲的代謝當量(1.50 ± 0.18)兩者無顯著差異。20-24 歲的平均能量代謝率為 $2,167 \pm 537$ kcal/day，25-30 歲的平均能量代謝率為 $2,326 \pm 414$ kcal/day，兩者亦無顯著差異。兩個年齡族群在能量利用率上差不多，皆是使用 80%的脂肪和 20%的碳水化合物。

表 5-10 淋浴狀態時呼吸速率、肺部氣體交換與能量代謝分析表(年齡差異比較)

	20-24 歲	25-30 歲	全部
樣本數	31	19	50
呼吸頻率(Breaths/min)	20.4 ± 5.09	21.1 ± 3.67	20.6 ± 4.57
潮氣量(L)	0.55 ± 0.15	0.53 ± 0.11	0.54 ± 0.13
每分鐘通氣量(L/min)	10.3 ± 2.19	10.5 ± 1.97	10.4 ± 2.09
安靜呼吸速率(m ³ /day)	14.8 ± 3.16	15.1 ± 2.84	14.9 ± 3.01
靜止心率(bpm)	85 ± 9	86 ± 12	85 ± 10
攝氧量(mL/min)	318 ± 79.2	342 ± 62.1	327 ± 73.4
二氧化碳排出量(mL/min)	239 ± 59.3	257 ± 43.3	246 ± 54.0
呼吸交換率	0.76 ± 0.03	0.76 ± 0.05	0.76 ± 0.04
代謝當量	1.51 ± 0.22	1.50 ± 0.18	1.50 ± 0.21
安靜能量代謝率(kcal/day)	$2,167 \pm 537$	$2,326 \pm 414$	$2,227 \pm 495$
脂肪利用率(kcal/day)	$1,770 \pm 508$	$1,912 \pm 514$	$1,824 \pm 509$
脂肪利用率(%)	80.4 ± 10.5	80.4 ± 13.4	80.4 ± 11.5
碳水化合物利用率(kcal/day)	397 ± 260	414 ± 284	404 ± 266



本土性暴露參數建置研究計畫：成人淋浴時呼吸速率之建置

	20-24 歲	25-30 歲	全部
碳水化合物利用率(%)	19.6 ± 10.5	19.6 ± 13.4	19.6 ± 11.5

註:20-24 歲和 25-30 歲之間顯著差異: * $p < 0.05$ ** $p < 0.01$

5.6 重複試驗

5.6.1 受試者身體指數

表 5-11 為進行重複性試驗的 10 位受試者在首次實驗和重複試驗的身體指數的比較表。由結果顯示，10 位受試者第一次實驗的平均 BMI 值($23.6 \pm 1.84 \text{ kg/m}^2$)與第二次($23.3 \pm 3.15 \text{ kg/m}^2$)無顯著差異。第一次實驗的平均基礎代謝率($1,489 \pm 280 \text{ kcal}$)和第二次($1,493 \pm 267 \text{ kcal}$)亦無顯著差異。表示此 10 位受試者在短時間內並無明顯的身體變化。

表 5-11 受試者身體指數(重複試驗)

	1	2
樣本數	10	10
身高(cm)	169 ± 12.6	169 ± 12.5
體重(kg)	67.7 ± 12.0	67.3 ± 11.8
BMI 值(kg/m^2)	23.6 ± 1.84	23.3 ± 3.15
骨骼肌重(kg)	28.9 ± 7.80	29.0 ± 7.55
體脂肪率(%)	24.0 ± 10.6	23.2 ± 9.92
腰臀圍比	0.85 ± 0.06	0.84 ± 0.06
基礎代謝率(kcal)	1,489 ± 280	1,493 ± 267

註:10 位重複試驗受試者於首次實驗和重複試驗之間具有顯著差異: * $p < 0.05$ ** $p < 0.01$

5.6.2 受試者肺功能檢測

表 5-12 為進行重複性試驗的 10 位受試者在首次實驗和重複試驗的肺功能分析的比較表。10 位受試者在第一次實驗的百分比第一秒用力呼氣容量預測值為 $3.34 \pm 0.60\%$ 與第二次($3.35 \pm 0.60\%$)無顯著差異，第一次的百分比用力肺活量預測值($103 \pm 10.7\%$)與第二次($105 \pm 7.53\%$)亦無顯著差異，而兩者的 $\text{FEV}_1/\text{FVC}(\%)$ 皆為 83%；表示此 10 位受試者在短時間內並無明顯的身體變化。

表 5-12 受試者肺功能分析表(重複試驗)

	1	2
樣本數	10	10
第一秒用力呼氣容量(L)	3.31 ± 0.72	3.43 ± 0.85
百分比第一秒用力呼氣容量預測值(%)	3.34 ± 0.60	3.35 ± 0.60
用力肺活量(L)	4.05 ± 0.97	4.12 ± 0.85
百分比用力肺活量預測值(%)	103 ± 10.7	105 ± 7.53



	1	2
FEV ₁ /FVC (%)	83 ± 7.2	83 ± 8.6

註:10 位受試者於首次實驗與重複試驗之間具有顯著差異: * $p < 0.05$ ** $p < 0.01$

5.6.3 安靜時呼吸速率、肺部氣體交換與能量代謝情況

表 5-13 為進行重複性試驗的 10 位受試者在首次實驗和重複試驗的安靜時呼吸速率、肺部氣體交換與能量代謝的比較表。由結果顯示，10 位受試者在首次實驗的平均呼吸頻率(17.0 ± 3.54 Breaths/min)與重複試驗的平均呼吸頻率(16.4 ± 3.07 Breaths/min)無顯著差異，安靜時呼吸速率分別為 13.5 ± 3.79 m³/day 和 13.7 ± 3.43 m³/day，兩者亦無顯著差異。

肺部氣體交換的部分，10 位受試者在首次實驗的平均攝氧量為 288 ± 64.1 mL/min，重複試驗的平均攝氧量為 307 ± 67.0 mL/min，兩者無顯著差異。10 位受試者在首次實驗的平均二氧化碳排出量為 237 ± 57.1 mL/min，重複試驗的平均二氧化碳排出量為 245 ± 58.6 mL/min，兩者亦無顯著差異。

能量代謝的部分，10 位受試者在首次實驗的代謝當量(1.21 ± 0.18)與重複試驗的代謝當量(1.31 ± 0.21)兩者無顯著差異，均接近 1 MET。10 位受試者在首次實驗的平均能量代謝率為 $1,992 \pm 437$ kcal/day，重複試驗的平均能量代謝率為 $2,071 \pm 499$ kcal/day，兩者亦無顯著差異。能量使用部分亦是絕大部分來自脂肪消耗，其餘則來自碳水化合物，蛋白質消耗幾乎是零。

表 5-13 安靜狀態時呼吸速率、肺部氣體交換與能量代謝分析表(重複試驗)

	1	2
樣本數	10	10
呼吸頻率(Breaths/min)	17.0 ± 3.54	16.4 ± 3.07
潮氣量(L)	0.58 ± 0.17	0.60 ± 0.14
每分鐘通氣量(L/min)	9.35 ± 2.63	9.48 ± 2.38
安靜呼吸速率(m ³ /day)	13.5 ± 3.79	13.7 ± 3.43
靜止心率(bpm)	72 ± 11	74 ± 7
攝氧量(mL/min)	288 ± 64.1	307 ± 67.0
二氧化碳排出量(mL/min)	237 ± 57.1	245 ± 58.6
呼吸交換率	0.83 ± 0.12	0.80 ± 0.04
代謝當量	1.21 ± 0.18	1.31 ± 0.21
安靜能量代謝率(kcal/day)	$1,992 \pm 437$	$2,071 \pm 499$
脂肪利用率(kcal/day)	$1,280 \pm 588$	$1,418 \pm 369$
脂肪利用率(%)	63.6 ± 23.9	69.8 ± 14.8
碳水化合物利用率(kcal/day)	712 ± 503	653 ± 386
碳水化合物利用率(%)	36.4 ± 23.9	30.2 ± 14.8



本土性暴露參數建置研究計畫：成人淋浴時呼吸速率之建置

註:10 位受試者於首次實驗與重複試驗之間具有顯著差異: * $p < 0.05$ ** $p < 0.01$

5.6.4 淋浴時呼吸速率、肺部氣體交換與能量代謝情況

表 5-14 為進行重複性試驗的 10 位受試者在首次實驗和重複試驗的淋浴時呼吸速率、肺部氣體交換與能量代謝的比較表。由結果顯示，10 位受試者在首次實驗的平均呼吸頻率(23.0 ± 6.40 Breaths/min)與重複試驗的平均呼吸頻率(21.9 ± 4.27 Breaths/min)無顯著差異，淋浴時呼吸速率分別為 16.6 ± 3.01 m³/day 和 16.3 ± 3.16 m³/day，兩者亦無顯著差異。

肺部氣體交換的部分，10 位受試者在首次實驗的平均攝氧量為 366 ± 84.5 mL/min，重複試驗的平均攝氧量為 334 ± 80.3 mL/min，兩者無顯著差異。10 位受試者在首次實驗的平均二氧化碳排出量為 273 ± 62.6 mL/min，重複試驗的平均二氧化碳排出量為 250 ± 64.6 mL/min，兩者亦無顯著差異。

能量代謝的部分，10 位受試者在首次實驗的代謝當量(1.54 ± 0.26)與重複試驗的代謝當量(1.41 ± 0.21)兩者無顯著差異。10 位受試者在首次實驗的平均能量代謝率為 $2,485 \pm 572$ kcal/day，重複試驗的平均能量代謝率為 $2,269 \pm 551$ kcal/day，兩者亦無顯著差異。

表 5-14 淋浴狀態時呼吸速率、肺部氣體交換與能量代謝分析表(重複試驗)

	1	2
樣本數	10	10
呼吸頻率(Breaths/min)	23.0 ± 6.40	21.9 ± 4.27
潮氣量(L)	0.56 ± 0.17	0.58 ± 0.21
每分鐘通氣量(L/min)	11.5 ± 2.09	11.3 ± 2.19
淋浴呼吸速率(m ³ /day)	16.6 ± 3.01	16.3 ± 3.16
淋浴心率(bpm)	85 ± 9	87 ± 8
攝氧量(mL/min)	366 ± 84.5	334 ± 80.3
二氧化碳排出量(mL/min)	273 ± 62.6	250 ± 64.6
呼吸交換率	0.75 ± 0.04	0.76 ± 0.05
代謝當量	1.54 ± 0.26	1.41 ± 0.21
淋浴能量代謝率(kcal/day)	$2,485 \pm 572$	$2,269 \pm 551$
脂肪利用率(kcal/day)	$2,036 \pm 548$	$1,852 \pm 459$
脂肪利用率(%)	80.7 ± 11.2	80.6 ± 11.8
碳水化合物利用率(kcal/day)	439 ± 284	417 ± 271
碳水化合物利用率(%)	19.3 ± 11.2	19.4 ± 11.8

註:10 位受試者於首次實驗與重複試驗之間具有顯著差異: * $p < 0.05$ ** $p < 0.01$



5.7 公式驗證與提出修正公式

表 5-15 為儀器(COSMED K5)所測得之呼吸速率與 Layton(1993)公式計算結果對照表，由結果顯示，COSMED K5 測得的所有受試者安靜和淋浴時呼吸速率為 $12.5 \pm 2.82 \text{ m}^3/\text{day}$ 和 $14.9 \pm 3.01 \text{ m}^3/\text{day}$ ，而 Layton(1993)公式計算的所有受試者安靜和淋浴時呼吸速率為 $10.8 \pm 2.40 \text{ m}^3/\text{day}$ 和 $12.6 \pm 2.81 \text{ m}^3/\text{day}$ 。COSMED K5 測得的男生安靜和淋浴時呼吸速率為 $13.9 \pm 1.91 \text{ m}^3/\text{day}$ 和 $16.6 \pm 1.95 \text{ m}^3/\text{day}$ ，而 Layton(1993)公式計算的男生安靜和淋浴時呼吸速率為 $12.4 \pm 1.73 \text{ m}^3/\text{day}$ 和 $14.6 \pm 1.64 \text{ m}^3/\text{day}$ 。COSMED K5 測得的女生安靜和淋浴時呼吸速率為 $11.0 \pm 2.9 \text{ m}^3/\text{day}$ 和 $13.2 \pm 3.00 \text{ m}^3/\text{day}$ ，而 Layton(1993)公式計算的女生安靜和淋浴時呼吸速率為 $9.23 \pm 1.88 \text{ m}^3/\text{day}$ 和 $10.7 \pm 2.40 \text{ m}^3/\text{day}$ 。從表 5-15 可以看出，以 Layton(1993)公式的計算結果會小於 COSMED K5 的實測值，可能原因為雖然本研究所有受試者所計算出的平均攝氧因子 H 為 $0.207 \text{ L O}_2/\text{kcal}$ (安靜)和 $0.208 \text{ L O}_2/\text{kcal}$ (淋浴)，接近文獻所提供之建議值($0.21 \text{ L O}_2/\text{kcal}$)，但平均換氧當量 VQ 為 31.6(安靜)和 32.1(淋浴)，則略高於 Layton(1993)建議值(27)。

表 5-15 安靜、淋浴時呼吸速率與 Layton(1993)公式計算結果對照表(單位： m^3/day)

		COSMED K5	Layton (1993)
全部	安靜	12.5 ± 2.82	10.8 ± 2.40
	淋浴	14.9 ± 3.01	12.6 ± 2.81
男生	安靜	13.9 ± 1.91	12.4 ± 1.73
	淋浴	16.6 ± 1.95	14.6 ± 1.64
女生	安靜	11.0 ± 2.90	9.23 ± 1.88
	淋浴	13.2 ± 3.00	10.7 ± 2.40
20-24 歲	安靜	12.3 ± 3.18	10.4 ± 2.54
	淋浴	14.8 ± 3.16	12.3 ± 3.05
25-30 歲	安靜	12.8 ± 2.17	11.4 ± 2.07
	淋浴	15.1 ± 2.84	13.2 ± 2.35

本研究參考江舟峰(2008)的公式後，建置出呼吸速率的修正公式，如下述公式(1)~(2)。其中，熱量攝取率(kcal/day)可參考衛生福利部每年的國民營養調查，代入我國國人的每日平均熱量攝取率，攝氧因子 H 和換氧當量 VQ 則是代入經本研究計算出所有受試者在安靜狀態下的平均值，分別是 $0.207 \text{ L O}_2/\text{kcal}$ 和 31.6，1.16 則是因為淋浴時能量代謝率會比安靜狀態還要高，經本研



本土性暴露參數建置研究計畫：成人淋浴時呼吸速率之建置

究的實測結果得到所有受試者在淋浴狀態下的平均能量代謝率是安靜時的1.16 倍， 10^{-3} 為單位轉換因子(L 轉換成 m^3)。

$$\text{安靜時呼吸速率：} V_E = E_{\text{food-intake}} \times H \times VQ \times 10^{-3} \quad (1)$$

$$\text{淋浴時呼吸速率：} V_E = E_{\text{food-intake}} \times H \times VQ \times 1.16 \times 10^{-3} \quad (2)$$

$E_{\text{food-intake}}$ = 熱量攝取率(kcal/day)

H = 攝氧因子(Oxygen uptake factor, 0.207 L O_2 /kcal)

VQ = 換氧當量(Ventilatory quotient, 31.6)

1.16 = 淋浴時與安靜時能量利用率的倍數差



第6章 結論與建議

6.1 結論

- (1) 本研究於 108/01/03 已通過臺北醫學大學附屬醫院聯合人體研究倫理委員會(TMU-JIRB)之審核。
- (2) 在身體指數方面，男生的身高、體重、BMI 值、骨骼肌、基礎代謝率皆顯著高於女生，而體脂肪率則低於女生；肺功能方面，因男女生先天性呼吸系統有差異，故男生的第一秒用力呼氣容量及用力肺活量皆顯著大於女生。
- (3) 在安靜和淋浴狀態下，男生的呼吸速率、攝氧量、二氧化碳排出量、能量代謝率、脂肪利用率皆顯著高於女生，其原因可能為男生的肌肉量高、血液中紅血球比例多或是其他如身高、活動水準的差異所造成的。
- (4) 所有受試者在安靜及淋浴狀態下的呼吸頻率、潮氣量、呼吸速率、心率、攝氧量、二氧化碳排出量、呼吸交換率、代謝當量、能量代謝率、脂肪/碳水化合物利用率皆具有顯著差異，主要原因是淋浴可視為一項溫和運動(< 3 METs)，身體會因活動量增加而需要更多能量。
- (5) 本研究測得之安靜時呼吸速率為 $12.5 \text{ m}^3/\text{day}$ ，低於環保署健康風險評估手冊中的建議值($17.14 \text{ m}^3/\text{day}$)，而淋浴時呼吸速率為 $14.9 \text{ m}^3/\text{day}$ ，亦低於手冊中的建議值($24 \text{ m}^3/\text{day}$)。
- (6) 本研究受試者年齡設定範圍不大(20-30 歲)，並無法看出年齡差異對身體指數、肺功能檢測、以及安靜和淋浴狀態下的呼吸速率、肺部氣體交換和能量代謝狀況的影響。
- (7) 由品質管制結果顯示，10 位受試者在首次實驗和重複試驗的各項數值結果均無顯著差異，代表本研究的數據具有可信度和良好的再現性。

6.2 建議

- (1) 經實驗結果發現本國人的成人安靜和淋浴時呼吸速率均低於環保署建議值，建議可考慮評估是否適度調整手冊上的建議值，避免相關單位在執行健康風險評估時有高估的情形。
- (2) 本研究的年齡層僅 20-30 歲，為確認呼吸速率是否受年齡影響，建議未來可對於更廣泛的年齡層進行研究，並驗證本研究提出的修正公式是否適用其他年齡層。



6.3 檢討

目前本研究建立測量安靜及淋浴時呼吸速率方法，對於孩童或老年人而言不易執行，且兩者之呼吸速率也與成年人差異頗大，因此未來若要建立孩童或老年人呼吸速率需再收集相關文獻評估是否能進行轉換推估。



第7章 參考文獻

- Ainsworth, B. E., Haskell, W. L., Leon, A. S., Jacobs, J. D., Montoye, H. J., Sallis, J. F., and Paffenbarger, J. R. (1993). Compendium of physical activities: classification of energy costs of human physical activities. *Medicine and science in sports and exercise*, 25(1), 71-80.
- Alghadir, A., Aly, F., and Zafar, H. (2012). Sex-based differences in lung functions of Saudi adults. *Journal of Physical Therapy Science*, 24(1), 5-9.
- Andelman, J. B. (Ed.) (1990). *Total exposure to volatile organic compounds in potable water*. Chelsea, MI: Lewis Publishers.
- Arciero, P. J., Goran, M. I., and Poehlman, E. T. (1993). Resting metabolic rate is lower in women than in men. *Journal of applied physiology*, 75(6), 2514-2520.
- Arcus-Arth, A., and Blaisdell, R. J. (2007). Statistical distributions of daily breathing rates for narrow age groups of infants and children. *Risk Analysis*, 27(1), 97-110. doi:10.1111/j.1539-6924.2006.00862.x
- Brochu, P., Ducré-Robitaille, J. F., and Brodeur, J. (2006). Physiological daily inhalation rates for free-living individuals aged 1 month to 96 years, using data from doubly labeled water measurements: A proposal for air quality criteria, standard calculations and health risk assessment. *Human and Ecological Risk Assessment*, 12(4), 675-701. doi:10.1080/10807030600801550
- Chaya, M. S., Kurpad, A. V., Nagendra, H. R., and Nagarathna, R. (2006). The effect of long term combined yoga practice on the basal metabolic rate of healthy adults. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 6(1). doi:10.1186/1472-6882-6-28
- DeBoer, S. L. (2004). *Emergency newborn care: Trafford on Demand Pub*.
- Flenady, T., Dwyer, T., and Applegarth, J. (2017). Accurate respiratory rates count: So should you! *Australasian Emergency Nursing Journal*, 20(1), 45-47. doi:10.1016/j.aenj.2016.12.003
- Fox, E. L., Bowers, R. W., and Foss, M. L. (1993). *The physiological basis for exercise and sport*.
- Frawley, K., Greenwald, G., Rogers, R. R., Petrella, J. K., and Marshall, M. R. (2018). Effects of Prior Fasting on Fat Oxidation during Resistance Exercise. *International Journal of Exercise Science*, 11(2), 827-833.
- Garn, S. M., Clark, L. C., and Harper, R. V. (1953). The sex difference in the basal metabolic rate. *Child Development*, 215-224.
- ICRP. (1994). Human respiratory tract model for radiological protection.
- Kuo, H. W., Chiang, T. F., Lo, I. I., Lai, J. S., Chan, C. C., and Wang, J. D. (1998). Estimates of cancer risk from chloroform exposure during showering in Taiwan. *Science of the Total Environment*, 218(1), 1-7.
- Layton, D. W. (1993). Metabolically consistent breathing rates for use in dose assessments. *Health Physics*, 64(1), 23-36.
- Lindh, W. Q., Pooler, M., Tamparo, C. D., Dahl, B. M., and Morris, J. (2013). *Delmar's comprehensive medical assisting: administrative and clinical competencies*.
- Linn, W. S., Shamoo, D. A., and Hackney, J. D. (Eds.). (1992). *Documentation of activity patterns in 'high-risk' groups exposed to ozone in the Los Angeles area*. Pittsburgh, PA: Air and Waste Management Association.
- Linn, W. S., Spier, C. E., and Hackney, J. D. (1993). Activity patterns in ozone-exposed construction workers. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, 2(1), 1-14.
- Little, J. C. (1992). Applying the two-resistance theory to contaminant volatilization in showers. *Environmental Science and Technology*, 26(7), 1341-1349. doi:10.1021/es00031a010



本土性暴露參數建置研究計畫：成人淋浴時呼吸速率之建置

- LoMauro, A., and Aliverti, A. (2018). Sex differences in respiratory function. *Breathe (Sheff)*, 14(2), 131-140. doi:10.1183/20734735.000318
- Mazic, S., Lazovic, B., Djelic, M., Suzic-Lazic, J., Djordjevic-Saranovic, S., Durmic, T., Soldatovic, I., Zikic, D., Gluvic, Z., and Zugic, V. (2015). Respiratory parameters in elite athletes--does sport have an influence? *Revista Portuguesa de Pneumologia (2006)*, 21(4), 192-197. doi:10.1016/j.rppnen.2014.12.003
- Mead, J. (1980). Dysanapsis in normal lungs assessed by the relationship between maximal flow, static recoil, and vital capacity. *American review of respiratory disease*, 121(2), 339-342.
- Melzer, K. (2011). Carbohydrate and fat utilization during rest and physical activity. *e-SPEN, the European e-Journal of Clinical Nutrition and Metabolism*, 6(2), e45-e52. doi:10.1016/j.eclnm.2011.01.005
- Nalbandian, M., Radak, Z., Taniguchi, J., and Masaki, T. (2017). How different respiratory rate patterns affect cardiorespiratory variables and performance. *International Journal of Exercise Science*, 10(3), 322-329.
- Nicolo, A., Marcora, S. M., Bazzucchi, I., and Sacchetti, M. (2017). Differential control of respiratory frequency and tidal volume during high-intensity interval training. *Experimental Physiology*, 102(8), 934-949. doi:10.1113/ep086352
- Nicolo, A., Massaroni, C., and Passfield, L. (2017). Respiratory Frequency during Exercise: The Neglected Physiological Measure. *Frontiers in Physiology*, 8, 922. doi:10.3389/fphys.2017.00922
- Nourry, C., Deruelle, F., Guinhouya, C., Baquet, G., Fabre, C., Bart, F., Berthoin, S., and Mucci, P. (2005). High-intensity intermittent running training improves pulmonary function and alters exercise breathing pattern in children. *European Journal of Applied Physiology*, 94(4), 415-423. doi:10.1007/s00421-005-1341-4
- Park, J. E., Chung, J. H., Lee, K. H., and Shin, K. C. (2012). The effect of body composition on pulmonary function. *Tuberculosis and Respiratory Diseases (Seoul)*, 72(5), 433-440. doi:10.4046/trd.2012.72.5.433
- Rizzo, M. R., Mari, D., Barbieri, M., Ragno, E., Grella, R., Provenzano, R., Villa, I., Esposito, K., Giugliano, D., and Paolisso, G. (2005). Resting metabolic rate and respiratory quotient in human longevity. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 90(1), 409-413. doi:10.1210/jc.2004-0390
- Sain, A. E., Dietrich, A. M., Smiley, E., and Gallagher, D. L. (2015). Assessing human exposure and odor detection during showering with crude 4-(methylcyclohexyl)methanol (MCHM) contaminated drinking water. *Science of The Total Environment*, 538, 298-305. doi:https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.050
- Shephard, R. J. (2017). Open-circuit respirometry: a brief historical review of the use of Douglas bags and chemical analyzers. *European Journal of Applied Physiology*, 117(3), 381-387. doi:10.1007/s00421-017-3556-6
- Spier, C. E., Little, D. E., Trim, S. C., Johnson, T. R., Linn, W. S., and Hackney, J. D. (1992). Activity patterns in elementary and high school students exposed to oxidant pollution. *Journal of exposure analysis and environmental epidemiology*, 2(3), 277-293.
- Stifelman, M. (2003). Letter to the editor. *Risk Analysis*, 23(5), 859-860. doi:10.1111/1539-6924.00363
- Stifelman, M. (2007). Using doubly-labeled water measurements of human energy expenditure to estimate inhalation rates. *Science of The Total Environment*, 373(2-3), 585-590. doi:10.1016/j.scitotenv.2006.11.041
- Stipanuk, H. M. (2000). *Biochemical and physiological aspects of human nutrition*. W.B. Saunders Company.
- Thurlbeck, W. M. (1982). Postnatal human lung growth. *Thorax*, 37(8), 564-571.



第 7 章 參考文獻

- Tipton, M. J., Harper, A., Paton, J. F. R., and Costello, J. T. (2017). The human ventilatory response to stress: rate or depth? *The Journal of Physiology*, 595(17), 5729-5752. doi:10.1113/jp274596
- USEPA. (1991). Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS): Part B.
- USEPA. (1997a). *Exposure Factors Handbook*.
- USEPA. (1997b). Supplemental Background Document for the Nongroundwater Risk Assessment for the Petroleum Waste Listing Interim Notice of Data Availability, chapter 5-7.
- USEPA. (2009). *Metabolically derived human ventilation rates: A revised approach based upon oxygen consumption rates (final report)* (EPA/600/R-06/129F). Retrieved from Washington, DC: <http://cfpub.epa.gov/ncea/cfm/recordisplay.cfm?deid=202543>
- USEPA. (2011). *Exposure Factors Handbook*.
- USEPA. (2014). *Derivation of an Extrapolated Short-term Inhalation Screening Level for 4-Methylcyclohexanemethanol (MCHM — cas# 34885-03-5)*. Washington, D.C.
- 江舟峰、凌明沛、林家玉、蔡佩玲 (2008)。中部地區民眾淋浴健康風險評估與風險特性化研究。[Health Risk Assessment and Risk Characterization for Residents during Showering in Central Taiwan]. *Mid-Taiwan Journal of Medicine*, 13(1), 27-34. doi:10.6558/mtjm.2008.13(1).4
- 吳婉玲 (2002)。淋浴期間飲用水中揮發性致癌物質吸入性健康風險評估。中國醫藥學院環境醫學研究所碩士論文。
- 鄭雅藍、王冠婷。(2007)。中部地區民眾淋浴健康風險評估與不確定性分析。中國醫學大學健康風險管理學系畢業論文。