

國立臺灣體育大學（臺中）
National Taiwan Sport University
體育研究所碩士學位論文

單維直線運動是否符合 Fitts 定律的預測

DOES THE LOGARITHMIC
SPEED-ACCURACY TRADE-OFF OCCUR
IN ONE DIMENSION DRAGGING TASK?



研 究 生：陳郁婷 撰
指 導 教 授：陳重佑 博士

中 華 民 國 98 年 6 月

論文名稱：單維直線運動是否符合 Fitts 定律的預測

總頁數：63

院校組別：國立臺灣體育大學體育研究所

畢業時間及提要：九十七學年度第二學期碩士學位論文提要

研究生：陳郁婷

指導教授：陳重佑博士

中文摘要

在 Fitts 的典範工作中，動作難度通常被拿來當作測量人類動作行為的訊息處理能力指標。本研究的主要目的係透過單維直線拖曳運動檢測動作難度與動作時間是否能符合 Fitts 定律的預測，並分析比較其動作過程中所產生的最大速度、最大速度標準差、最大速度位置點以及最大速度位置百分比等運動學參數。實驗參加者為 15 名健康成年人（ 20.8 ± 2.3 歲），實驗要求參加者在線性移動儀（Gefran Model PK-M-0600-L）上反覆快速來回拖曳感應器到達所設置目標區，實驗共分成 7 組工作，分別由 2 公分和 4 公分的目標寬度與 4 公分、8 公分、16 公分、32 公分之動作距離組合而成（共 4 種難度）。實驗的數據由 Biopac MP-150 system（1000Hz）收集，並由 AcqKnowledge 3.9.1 版本軟體進行分析。實驗透過簡單線性迴歸分析三種計算方式檢測動作難度是否能預測動作時間，運動學參數以重複量數單因子變異數分析，並以 HSD 法進行事後比較，統計水準定為 $\alpha = .05$ 。研究結果顯示，本研究所採用的單維反覆拖曳工作可以符合 Fitts 定律的預測，且本研究發展之中心位置法能更合理的解釋實際動作之位置。單維反覆拖曳工作的運動學特徵，顯示參加者的最大動作速度隨著不同動作距離的增加而增加（ $p < .05$ ），卻不受目標區大小所影響（ $p > .05$ ）。此外，無論動作距離與目標區寬度為何，其加速距離皆佔全程工作距離的 65% 左右，所以單維反覆拖曳工作的加速距離相對於全程工作距離的百分比，不會受到工作距離與目標區寬度的不同而有所差異。

關鍵詞：Fitts 定律、單維直線運動、運動學

Chen, Yu Ting (2008). Does the Logarithmic Speed-Accuracy Trade-Off Occur in One Dimension Dragging Task?

Unpublished master thesis, National Taiwan Sport University, Taichung

ABSTRACT

In the paradigm of Fitts' law (1954), the task difficulty is always measured in bits to assess the cognitive information processing capacity of the behavior of the human motor system. The aim of this study was to examine the logarithmic relationship between the movement time and the index of difficulty (ID) that is determined in requirement of task or actual performance for one dimension dragging tasks, and also compared the kinematical characteristics among the different target widths or amplitudes. Fifteen adults (20.8 ± 2.3 years old) were recruited as the participants for this study. Participants were required to perform reciprocal dragging tasks on a linear displacement meter (Gefran Model PK-M-0600-L) under the conditions of two target widths and four movement amplitudes (four IDs in total). The Biopac MP-150 system (1000Hz) with AcqKnowledge ver. 3.9.1 was used to record and analyse the position change of reciprocal linear motion. In the approach of simple regression analysis, the ID was used to predict the movement time (MT). Repeated measures one-way ANOVA and HSD post hoc tests were used to test the statistical differences for kinematical parameters with the alpha level .05. The results of regression analysis showed the relationship between movement time and ID were coincide with the predicted by Fitts' law for one dimension dragging tasks. The method of the center of position explained the real movement position reasonable and logical. The kinematical characteristics of one dimension dragging tasks showed the peak velocity was increased following the extended of movement amplitude ($p < .05$), but not in the target width ($p > .05$). Moreover, the acceleration distance was around 65% of movement amplitude regardless of the movement amplitude and target width. It indicated that the relative distance of acceleration was not the function of movement amplitude for one dimension dragging tasks, either target width.

Keywords: Fitts' law, one dimension dragging task, kinematics

謝誌

回憶初上研究所時，與國華學長、俊伊學長、嘉璘、義傑一起上台北修課，每個禮拜三中午大夥坐車到台北上課，下課後再回到台中已是晚上 12 點了。那段時期雖然辛苦，卻也是在研究所生活裡最值得回憶的日子，除了獲得學術上的知識與態度，亦結識了對學術充滿熱情的嘉彬，以及對學術研究要求嚴謹的卓俊伶老師，當然，這要感謝重佑老師讓我們有這個機會見識與體驗這些課程，尤其是能與研究夥伴共同完成這些課業，讓我們在求學的過程中能相互扶持與打氣，讓我在這段旅程不感到孤單，並一起完成了為時兩個學期的台北修課之旅。

人總是因為未知而恐懼，因為恐懼而害怕踏出步伐，但若不邁出第一步，則永遠無法到達終點。很慶幸能遇見許多老師在我猶豫不前時將我向前推進，在此要感謝唐人屏老師、巫松軒老師及巫師母在我求學路上不時的給予鼓勵，使我能夠一步步向前邁進，此外亦要感謝綺珊協助論文數據的分析，陪我在研究室度過數個夜晚，亦感謝許太彥老師與林靜兒老師對協助論文的指正，更感謝重佑老師這些日子的器重，儘管許多事物沒能達到老師的要求，但老師總是不斷的給予我機會，也讓我學習到許多處理事情的能力，亦體悟攀登高峰的為一方法，就是一步一腳印。最後，我要感謝我的父母，在求學途中默默的支持我，雖然家中經濟並不豐裕，但父母總是無怨無悔的付出，讓我能無後顧之憂的完成學業。

陳郁婷 謹誌

中華民國 97 年 7 月

目錄

摘要	
謝誌	
目錄	
表目錄	
圖目錄	
第壹章 緒論	1
第一節 問題背景	1
第二節 研究目的	6
第三節 名詞解釋與操作性定義	7
第四節 研究範圍與限制	8
第五節 研究的重要性	9
第貳章 文獻探討	10
第一節 速度與準確性的消長	10
第二節 瞄準動作的運動學特徵	16
第三節 本章小結	19
第參章 研究方法與步驟	21
第一節 實驗參加者	21
第二節 實驗儀器與設備	21

第三節 實驗設計	22
第四節 實驗流程與步驟	23
第五節 資料處理與分析	24
第肆章 結果與討論	27
第一節 難度計算方式的比較	27
第二節 各難度工作之動作速度及變異性	32
第三節 各難度工作之加速距離	43
第四節 綜合討論	50
第伍章 結論與建議	56
第一節 結論	56
第二節 建議	57
引用文獻	58
一 中文部分	58
二 外文部分	59
附錄	63
附錄一 實驗參加者須知及同意書	63

表目錄

表 1 :	7 種工作之目標寬度與距離組合整理表	23
表 2 :	三種計算難度方式比較表	28
表 3 :	原始公式 $\log_2 (2A/W)$ 之 b 值、IP 值與 R^2 值	30
表 4 :	Welford (1969) 公式 $\log_2 (A'/W'+0.5)$ 之 b 值、 IP 值與 R^2 值	31
表 5 :	本研究中心位置法公式 $\log_2 (2A''/W'')$ 之 b 值、IP 值與 R^2 值	32
表 6 :	參加者於 7 種工作任務之最大速度描述統計	33
表 7 :	參加者在 7 種工作去程與回程最大速度與最大 速度標準差表現變異數分析摘要表	36
表 8 :	工作去程最大速度事後比較	37
表 9 :	工作回程最大速度事後比較	39
表 10 :	工作去程最大速度標準差事後比較	40
表 11 :	工作回程最大速度標準差事後比較	42
表 12 :	實驗參加者於 7 種工作之去程與回程最大速度 位置之描述統計	43
表 13 :	實驗參加者於 7 種工作之去程與回程最大速度 位置百分比之描述統計	45
表 14 :	實驗參加者在 7 種工作之最大速度位置、最大速 度位置百分比表現變異數分析摘要表	46
表 15 :	工作去程最大速度位置事後比較	48
表 16 :	工作回程最大速度位置事後比較	49

圖目錄

圖 1： Fitts 經典實驗設計圖	11
圖 2： 線性移動儀	22
圖 3： 實驗流程圖	24

第壹章 緒論

第一節 問題背景

人類從出生到老死的過程中皆有階段性的動作行為特徵及表現，動作行為的表現則隨著年齡的增長而產生質與量的改變，當個體在面對相同外界環境的刺激時，亦會產生不同的動作行為表現。而早期的動作行為學家經常以訊息處理（information processing）的觀點探討動作行為的表現，訊息處理理論將人類大腦比喻成電腦，人類在接受外在環境的刺激時，大腦將刺激原經過一番的編排後再行輸出，就好比電腦處理資訊的方式一樣，需經過輸入、編碼、儲存、檢索、解碼、輸出等歷程，這些過程應用在人類身上，則解釋人類經由感官察覺、注意與辨識周遭的環境後，將訊息輸入大腦加以轉換吸收，或與已知的知識做結合，最後產生行為的一連串歷程（張春興，1996）。訊息的產生就是為了降低週遭環境的不確定性，當個體從環境中取得某事件的相關訊息時，相對的降低了該事件的不確定性（Schmidt & Lee，2005），而明確的訊息則能有效的縮短反應時間，讓工作更有效益。

訊息處理的過程可分為三個階段（Schmidt & Lee，2005），分別為刺激確認階段（stimulus-identification stage）、反應選擇階段（response-selection stage）與反應編序階段（response-programming stage）。其中刺激確認階段又分為刺激偵測（stimulus detection）與型態辨認（pattern recognition），刺激偵測即外在環境對人體產生刺激時，人體

的神經衝動將之進行編碼，以傳達至大腦所形成知覺的認知歷程，刺激強度的大小決定大腦辨別事物的能力，型態辨認則是根據所得的刺激，找尋有關此型態刺激的過去經驗與知識，以辨認此一訊息的型態為何，才進行反應選擇的階段。反應選擇階段則為當刺激原經由人體辨認，知曉外在環境所給予的訊息後，大腦將之與過去經驗做結合，以決定該做出何種動作來反應，換句話說，此階段即大腦中樞系統根據外在環境所提供訊息，做出最佳的反應方式。最後為反應編序階段，此階段在經由刺激的辨認與反應選擇後，大腦將這些抽象的概念轉換組織成一系列的肌肉活動以對環境產生最佳的反應，此階段也被認為是影響複雜動作反應時間的主要階段。然而，時間對於運動場上的運動員來說非常的可貴，如何在僅剩下的比賽時間中取得更多的分數，此時動作的速度和準確度就更加的重要。

速度和準確度是許多動作技能不可或缺的重要因素，棒球的揮擊、足球的射門動作等皆需要有相當的速度和準確度，然而，速度與準確度之間卻存在著「相互消長」的問題，若要求動作須非常的快速，動作的準確度往往因此下降；若希望提昇動作的準確度，則必須犧牲動作的速度，因此，希望動作達到「又快又準」的狀態必然有一定的限制存在。

Fitts (1954) 則以訊息處理的觀點解釋說明速度與準確性相互消長的關係。Fitts (1954) 延續了 Woodworth 於 1899 年所提出的速度與準確性相互消長 (speed-accuracy trade-off) 概念，發展出一套數學模式解釋說明動作時間會因動作難度的不同有所差異，而動作時間與動作難度兩者之間呈一線性關係。

Fitts (1954) 所發展出的數學公式為 $MT = a + b [\log_2(2A/W)]$, 此公式說明了動作時間會隨著動作難度呈線性變化, 其中 MT 代表動作時間, $\log_2(2A/W)$ 代表動作難度 (index of difficulty, ID), a 與 b 為常數, 而其公式本身即是一線性方程式 ($Y = a + bX$), 所以可將之解釋為由 A (動作幅度) 和 W (目標寬度) 所組成的 ID (動作難度) 可預測動作所需的時間 (MT)。其中 b 值的倒數亦代表訊息處理的速率, 亦被稱作表現指數 (index of performance, IP), 其代表的意義為: 單位時間內所處理的訊息位元數。現有許多研究者亦利用表現指數解釋訊息處理的能力, 可見表現指數現已經被視為訊息處理能力的一項重要指標 (Sugden, 1980)。

Fitts 定律 (1954) 的實驗主要在操弄目標區的寬度 (target width, W) 與動作幅度 (amplitude, A), 並以這兩變項組成之動作難度 (ID) 預測動作完成所需的時間。Fitts 的經典實驗設計為快速反覆來回點觸的動作, 此動作要求實驗參加者手持特製的筆, 快速反覆的用筆尖點觸兩側給予的目標區中心, 再測得其動作時間。而這個實驗模式也成為日後動作行為學領域經常使用的典範, 亦被證實其在動作技能中的廣大應用性。

在 Fitts 定律的經典實驗中, 反覆點觸動作的表現受目標區寬度與動作的距離所影響, 當目標區越小或動作距離越大時, 此時的動作難度較高, 而當目標區較小時, 個體在瞄準位置的時間便會增加, 動作時間亦隨之增加。在日常生活中, 「瞄準」的動作亦經常產生, 舉凡伸手抓取桌上的杯子, 爬樓梯時注意腳下的階梯, 使用滑鼠點擊視窗等, 皆有「瞄準」的動作產生, 而「瞄準」勢必透過視覺來執行, 因此, 視覺

在瞄準動作中扮演著重要的角色。Magill (2007) 指出在人體的感官系統中，個體最常使用以及最信任的亦是視覺，當個體在學習一項新的動作技能時，往往會依賴視覺的回饋，例如，初學電腦打字時，個體會傾向於將視覺焦點放在手指是否準確的敲擊到鍵盤上的按鍵，若剝奪其視覺，個體便無法「瞄準」其欲敲擊之按鍵，由此可知，許多的動作技能必須透過視覺的回饋才得以完成動作。

然而，從瞄準動作開始到動作完成，中間過程究竟發生了什麼事？以手動瞄準動作為例，個體由一目標區移動至另一目標區時，必然會有一個起始動作，並經過加速階段，當快進入目標區時，動作速度必須減慢，才能順利進入目標區，在這段過程中，個體所產生的最大速度是否因目標的大小有所差異，還是受動作距離的影響？Bootsma、Fernandez和Mottet (2004) 指出，在反覆點觸的動作中，較大的動作距離會產生較大的動作速度，而瞄準的目標區較小時，所產生的速度峰值亦較小。Smyrnis、Evdokimidis、Constantinidis和Kastrinakis (2000) 透過搖桿的操作，指出動作的最大速度、最大加速度會隨著兩目標區距離的增加而提升。其中，動作的位移、最大速度以及最大加速度等參數在動作技能表現的測量分類中屬於過程的測量 (performance production measures)。動作技能表現有兩種測量方式，一是結果的測量 (performance outcome measures)，另一即是過程的測量，結果的測量主要是在測量完成一項動作所需的反應時間、動作時間、表現的誤差值等參數，Fitts定律的經典實驗測量即著重於結果的測量；過程的測量則主要是觀察動作的位移、速度、加速度、關節的角度、力矩、肌肉電訊號等參數

(Magill , 2007)。

隨著 Fitts 定律的提出 , Card、English 和 Burr (1978) 將 Fitts 定律應用到電腦介面裝置的使用 (如滑鼠、搖桿、鍵盤等) , 成為將 Fitts 定律應用到電腦介面裝置相關研究的先驅 , 此後 , 更是擴展了 Fitts 定律在 HCI (human-computer interaction) 領域中的廣大適用性 , HCI 學術領域的研究者為了使人類在使用人機介面的相關器材更加人性化 , 更有效益 , 便以 Fitts 定律的預測公式推算電腦螢幕各選取區塊的大小應如何設置 , 可讓使用者更快更準確的到達目標區 , 縮短使用滑鼠時所必須瞄準的時間 , 亦或比較滑鼠的使用與觸控式螢幕的操作 , 改良電腦操作介面 (Sears & Shneiderman , 1990) , 以更方便人們使用。Fitts 定律除了被 HCI 研究領域廣泛的應用外 , 在動作行為學領域中更是一重要性的指標。

Card 等人 (1978) 不僅為將 Fitts 定律應用到電腦介面裝置相關研究的先驅 , 亦是使用 Welford、Norris 和 Shock (1969) 所發展 Fitts 定律延伸公式的先驅。Welford、Norris 和 Shock (1969) 認為 , 在 Fitts 定律原始公式 $MT = a + b [\log_2(2A/W)]$ 中 , $\log_2(2A/W)$ 若更改成 $\log_2(A'/W' + 0.5)$, 則更能符合實際的難度表現指數 , 其中 , A' 為實際的動作距離 , W' 則為實際動作的目標區範圍。

在動作行為學領域中 , 以 Fitts 定律為工具的延伸研究不勝枚舉 , 而 Plamondon 和 Alimi (1997) 則簡短的整理介紹以 Fitts 定律為工具或手段的相關研究 , 這些研究包含了不同的動作類型的動作 (如連續性或序列性的瞄準動作、拖曳點觸工作、飛鏢投擲工作等) , 檢測身體各部位動作是否符合 Fitts 定律的研究 (如手指、手臂、足部以及頭部等) , 檢測實驗參

加者的年齡效應或患有特殊疾病者其在 Fitts 定律上的適用性，或透過不同的操作介面進行檢測（如電腦鍵盤、滑鼠、搖桿及腳踏板等工具），由此可知，Fitts 定律已確實實際應用在許多動作表現中。而在早期，許多檢測費茲定律的研究中可發現，大多的工作要求皆須在 3 度空間中完成，因此，部分研究者開始著手於 Fitts 定律在 2 維運動中的應用，其中 Card、English 和 Burr（1978）以操作滑鼠進行拖曳的動作即屬於 2 維運動，Lambert 和 Bard（2005）亦透過滑鼠檢測不同年齡層兒童在拖曳滑鼠的 2 維動作中的年齡效應。

雖然 2 維運動已屏除個體動作表現在第 3 度空間中的不確定因素，但仍有改進的空間，如滑鼠的拖曳過程中，其在水平面的運動軌跡會因個體而有所差異，若以最簡單的單維直線運動模式檢測 Fitts 定律，則可將實驗的限制降至最小，個體將可在相同的條件下進行檢測，因此，本研究希望以最簡單的單維直線運動模式重新檢測 Fitts 定律，並透過過程的測量方式探討其運動學參數之差異。

第二節 研究目的

本研究的主要目的，主要是通過比較原始公式、修正點觸公式與落點中心計算修正公式等 3 種方法，再利用 3 種不同計算難度的方式檢測單維直線運動是否依然符合 Fitts 定律的預測，並比較實驗工作執行過程的運動學參數。

第三節 名詞解釋與操作性定義

一、單維直線運動

本研究所定義之單維直線運動乃是在線性移動儀上操作之反覆來回拖曳之動作。

二、速度與準確性的相互消長 (speed-accuracy trade-off)

Woodworth 於 1899 年所提出的一種動作行為現象，說明個體在動作時，若要求速度，則準確度會降低，反之，若要求有較好的準確度，則速度會隨之下降。

三、Fitts 定律

Fitts 定律於 1954 年由 Paul M. Fitts 所提出，其所發展出的預測公式： $MT = a + b [\text{Log}_2(2A/W)]$ ，說明了動作時間會隨著動作難度呈線性變化，其中 MT 代表動作時間， $\text{Log}_2(2A/W)$ 代表動作難度 (index of difficulty, ID)，而其公式本身即是一線性方程式 ($Y = a + bX$)，所以可解釋為由 A (動作幅度) 和 W (目標寬度) 所組成的 ID (動作難度) 可預測動作所需的時間。此定律亦解釋說明了 Woodworth 於 1899 年所提出的速度與準確性間的相互消長現象，Fitts 定律的問世亦將動作行為學領域帶進一個嶄新的里程碑。

四、迴歸分析 (regression analysis)

研究變項之間的因果關係或預測關係之分析。迴歸分析是在兩變項之間的線性關係基礎上，進一步探討變項間的解釋與預測關係之統計方法 (邱皓政，2005)。

第四節 研究範圍與限制

Fitts 定律的相關延伸研究不勝枚舉，如用身體各肢段檢測 Fitts 定律，探討 Fitts 定律在訊息處理上年齡效應，實驗工作為間斷動作或連續動作，點觸動作或拖曳動作，目標物的設置為固定形式或是動態形式等皆是 Fitts 定律涉及的研究課題，而本研究則是簡化 Fitts 定律的經典實驗模式，將原本在 3 度空間中點觸的工作簡化至單維的直線運動，降低個體在空間中的差異性。

本研究於實驗正式開始前均告知實驗參加者必須快速且準確的完成每個工作任務，並於實驗過程中隨機提醒參加者盡可能的快速並準確的到達目標區，但由於個體對於「快速」及「準確」的認知必有所差異，因此，本研究假定每位實驗參加者皆盡了自己最大表現能力完成每個工作任務。

第五節 研究的重要性

個體在面對外在不同環境刺激時，大腦會判斷事件的難易度做出其最適當的反應，而事件的難易度則影響著大腦訊息處理的歷程。在以往 Fitts 定律的相關研究中，有許多學者探討工作難易度對訊息處理的影響，實驗設計由原始的點觸動作到抓取動作、足部動作、頭部動作等身體其他軀幹動作皆有，而人類的動作行為皆是由最基本的動作元素組合而成，因此，本研究操弄「單維直線運動」，除了可降低實驗工作本身的不確定因素外，亦發展另一難度計算方式檢測 Fitts 定律，為日後研究提供另一種新的思維模式。

第貳章 文獻探討

本章針對 Fitts 定律及其相關研究文獻加以整理探討，分為第一節、速度與準確度的消長；第二節、瞄準動作的運動學特徵；第三節、本章總結

第一節 速度與準確度的消長

在許多動作技能中，速度與準確性扮演著重要的角色，舉凡在鋼琴鍵上演奏著快節奏的樂章、用最快的速度在電腦鍵盤上打出一篇文章等，皆需有著一定的速度與準確性才行。Woodworth 在 1899 年首先提出了速度與準確性的消長（speed-accuracy trade-off）關係，說明速度與準確度之間會相互牽制影響，其要求實驗參加者在紙上作反覆來回畫直線的動作，其主要結果發現動作的準確性會隨著動作速度的增加而降低。但 Woodworth (1899) 只描述了速度與準確性之間的現象，並無舉列具體的數據資料作為依據。直到 1954 年，Fitts 首驅將速度與準確性的關係以數學公式呈現，因此有了以 Fitts 命名的 Fitts 定律，Fitts 定律的問世不僅幫助許多研究者能更具體的解釋人類動作行為現象，亦促使動作行為相關領域研究邁向新的里程碑，更奠定 Fitts 在動作行為學領域的重要地位。

Fitts 將人類的複雜動作行為透過數學模式加以描述解釋，將人類的動作行為數據化，以更進一步解釋說明動作行

為之意涵。Fitts (1954) 操弄目標區的寬度 (W) 與動作幅度 (A) 範圍，用以設定動作難度 (ID)，並以這兩變項組成之動作難度預測完成動作所需的時間。Fitts 的經典實驗設計要求實驗參加者手持特製的筆，快速反覆的用筆尖點觸兩側給予的目標區中心 (如圖 1)，紀錄實驗參加者在 20 秒內於兩側目標區的點觸數量，並根據 Shannon (1948) 訊息處理理論的觀點發展出以下數學公式：

$$MT = a + b [\log_2(2A/W)]$$

其中 MT 為動作時間，a 和 b 為常數，A 是所移動的距離 (亦即動作幅度的大小)，W 為目標區的設定寬度。由公式可循，動作時間 (MT) 主要受移動的距離 (A) 與目標區 (W) 大小所影響，當移動距離越大或目標區越小時，所需的動作時間就越長。 $\log_2(2A/W)$ 則代表著動作的難度指數 (ID)，ID 越高，表示動作難度越高，動作難度越高，個體訊息處理歷程亦較長，所需的動作時間自然會增加。換句話說，此公式說明了動作時間會隨著動作難度的改變而呈一線性關係。

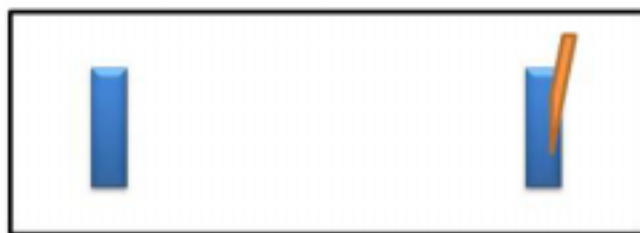


圖 1：Fitts 實驗設計圖

在 Fitts 定律的公式中可見 log 以 2 為基底，log 以 2 作為基底是依據測量訊息單位的所需所做的選擇，由於訊息處

理理論中，人類大腦被比喻成電腦，而電腦的程式語言是用 0 和 1 兩種訊號組合而成，是一種 2 進位的運算方法，單位為位元 (bit)，其意義代表著在兩個穩定的位置中，可以儲存 1 個訊息位元 (Shannon , 1948)。

Fitts (1954) 的經典實驗設計中，除了交互點觸 (reciprocal tapping) 的動作外，尚有移放圓盤 (disk transfer) 與移放圓釘 (pin transfer) 2 組動作，這 3 組動作皆要求實驗參加者在時間內用最快的速度完成動作，並盡可能準確的到達目標區，實驗操控動作移動距離與目標區寬度進行組合變化，此 3 組動作皆是在三度空間完成，屬於三維運動。然而，Fitts 所提出的預測公式卻是以兩點間的直線距離為參數，並未考慮到第三度空間的動作路徑。因此，許多學者延續著 Fitts 定律的實驗設計，改變其動作方式，屏除在第三度空間的不確定因素。如 Card、English 和 Burr (1978) 將 Fitts 定律應用到電腦介面裝置的使用 (如滑鼠、搖桿、鍵盤)，成為將 Fitts 定律應用到電腦介面裝置相關研究的先驅，並擴展了 Fitts 定律在 HCI 研究領域的廣泛應用性，此後亦有眾多電腦介面相關設計依循 Fitts 定律的經典實驗設置而成。

Fitts 定律最原始的解釋即建構在訊息處理理論 (information processing theory) 的基礎上，當動作難度因移動的距離增加或目標區縮小而增加時，個體會為了精確的達到目標區而產生更多訊息處理的歷程 (Schmidt & Lee , 2005)，因此需使用更多的時間以完成動作。

所謂的訊息處理 (information processing)，意指人類在接受外在環境的刺激時，大腦將刺激原經過一番的編排後再行輸出，就好比電腦處理資訊的方式一樣，需經過輸入、編

碼、儲存、檢索、解碼、輸出等歷程，這些過程應用在人類身上，則解釋人類經由感官察覺、注意與辨識周遭的環境後，將訊息輸入大腦加以轉換吸收，或與已知的知識做結合，最後產生行為的一連串歷程（張春興，1996）。訊息的產生就是降低週遭環境的不確定性，當個體從環境中取得某事件的相關訊息時，相對的降低了該事件的不確定性（Schmidt & Lee，2005），而明確的訊息能有效的縮短反應時間，讓工作更有效益。

訊息處理的過程可分為三個階段（Schmidt & Wrisberg，2008），分別為刺激確認階段（stimulus-identification stage）、反應選擇階段（response-selection stage）與反應編序階段（response-programming stage）。其中刺激確認階段又分為刺激偵測（stimulus detection）與型態辨認（pattern recognition），刺激偵測即外在環境對人體產生刺激時，人體的神經衝動將之進行編碼，以傳達至大腦所形成知覺的認知歷程，刺激強度的大小決定大腦辨別事物的能力，型態辨認則是根據所得的刺激，找尋有關此型態刺激的過去經驗與知識，以辨認此一訊息的型態為何，才進行反應選擇的階段。反應選擇階段則為當刺激原經由人體辨認，知曉外在環境所給予的訊息後，大腦將之與過去經驗做結合，以決定該做出何種動作來反應，換句話說，此階段即大腦中樞系統根據外在環境所提供訊息，做出最佳的反應方式。最後為反應編序階段，此階段在經由刺激的辨認與反應選擇後，大腦將這些抽象的概念轉換組織成一系列的肌肉活動以對環境產生最佳的反應，此階段也被認為是影響複雜動作反應時間的主要階段。

一般來說，越複雜的動作，大腦必須使用越多訊息處理量，因此所需的反應時間越長。Henry 和 Rogers (1960) 的實驗中即提到動作複雜度與反應時間之間的關係，並證實了複雜性動作的反應時間會長於簡單動作的反應時間，實驗共有三組動作，(1) 手指離開按鍵的簡單動作，(2) 手指離開按鍵後再增加拍網球的動作，(3) 手指離開按鍵後拍球，接著按鈕，再拍第二個球。由此實驗中可發現，隨著動作複雜度的增加，反應時間越長，證實了越複雜動作，訊息處理的歷程越長，因此與 Fitts (1954) 指出動作難度越高，動作時間越長的實驗結果有著相同的概念。

人類發展的各個階段中，訊息處理的歷程亦有所不同，隨著年齡與心智活動的成長，個體對於動作的認知隨之增加，訊息處理的方式亦隨著其成熟度的不同而有所差異，處理動作的方式也將會有所差異 (Gleitman, 1997)，動作行為的表現則隨著年齡的增長而產生質與量的改變。Bourgeois 和 Hay (2003) 比較 5 至 11 歲的兒童在反覆的點觸動作中，其訊息處理能力與動作表現，結果顯示，隨著年齡的增加，最大速度與最大加速度皆有較好的表現，而到達最大速度所使用的時間則無年齡的效應。

然而，個體由於年齡的不同，其力量的表現必有所不同，衝量變異性理論 (impulse-variability theory) 則說明動作的變異是受肌肉持續收縮的時間與力量的影響 (Schmidt & Lee, 2005)，Schmidt、Zelaznik、Hawkins、Frank 和 Quinn (1979) 針對快速的瞄準動作提出了衝量變異性理論，說明個體動作控制的變異會受肌肉衝量的變異影響，其中力量變異性原理 (force-variability principles) 更是說明了動作的

產生來自肌肉的力量，而動作變異的產生則來自肌肉力量的變異，肌肉的力量亦影響個體控制動作的能力，影響其在動作速度、準確度的表現。而此現象亦在 1899 年 Woodworth 的研究中提出，Woodworth 發現當目標區距離增為原來距離 2 倍時，個體動作表現的誤差亦增為原來的 2 倍。因此，速度與準確性消長的問題不僅可用訊息處理的能力來描述，其動作控制的過程亦可用衝量變異性理論加以解釋。

影響訊息處理的因素除了個體限制外，環境與工作亦是影響的主要因素，Newell(1986) 提出個體動作行為的表現，主要受到個體(organism)、環境(environment)與工作(task)三方面的交互影響，其中任一者稍做改變，皆可能帶來極大的影響。因此，除了個體的年齡、成熟度會影響訊息處理量之外，周遭環境與工作的難易度亦影響著訊息處理量，就 Fitts 定律的實驗設計而言，為了達到「速度」與「準確度」兩項實驗要求，對於距離較長、目標區寬度較小的工作任務，個體為了準確的瞄準目標區而會產生較多的訊息處理量，動作的速度也因此而下降，相較於距離短或目標區寬度較大的工作任務，個體瞄準的目標區越大，動作範圍的限制越小，所需的訊息處理量亦隨之下降。

Fitts 不僅量化了動作行為表現，具體解釋說明速度與準確度之間的消長關係，其實驗模式亦歷經了超越半世紀眾多學者的重製、仿製的考驗，許多電腦相關介面的設計也因之得到相當的改善，這正是 Fitts 定律至今仍屹立不搖的原因，亦成為動作行為學領域的重要性指標。

第二節 瞄準動作的運動學特徵

在日常生活中，和瞄準(aiming)相關的動作隨處可見，舉凡伸手抓取桌上的杯子、在電腦鍵盤上打字、使用滑鼠點擊視窗、用鑰匙將門打開等，皆會有「瞄準」動作產生。當個體伸出手臂抓取物體時，物體的大小、形狀往往影響其動作的表現，Zaal和Thelen(2005)指出，個體伸手抓取較小的物體時，通常會放慢動作的速度以確保手指能精確的抓取物體。而在動作行為學的領域中，瞄準動作(aiming movement)亦經常被探討。

在動作行為學領域中，反覆的瞄準動作最具代表性的研究則是Fitts(1954)的反覆點觸動作實驗，Fitts(1954)設置了三種實驗工作，分別為交互點觸(reciprocal tapping)的動作、移放圓盤(disk transfer)以及移放圓釘(pin transfer)三種動作，進而發展出以Fitts命名的Fitts定律。然而，早在Fitts定律問世以前，Woodworth(1899)即發展出反覆畫直線的瞄準動作實驗，並提出個體在作瞄準動作(aiming movement)時，本身會產生初始的調節(initial adjustment)階段促使肢體朝向目標物，接著個體會藉由視覺的回饋使肢體移動進入(home in)至目標物或目標區，即現階段控制(current control)的階段(Woodworth, 1899)。然而，在這樣的過程中，身體肢段必然會有位移和速度的改變，速度又因目標物或目標區大小不同而有所差異。就反覆的瞄準動作而言，個體由預備位置移動肢段至另一目標區時，必定會歷經加速與減速的階段，在動作前期的加速階段中，由於動作非常的迅速，因此，無法有充足的時間修正其動作表現，在

動作控制的觀點則稱之為開放環式動作控制系統 (open-loop control system) , 而在動作後期的減速階段中 (肢段接觸到目標區前的動作 , 特別指類似慢速的抓握動作等) , 由於個體由視覺獲得目標區的位置、大小等訊息回饋 , 因此在接觸目標區前會修正其動作表現 , 以準確的到達目標區。此階段即所謂的閉鎖環式動作控制系統 (closed-loop control system) , 此兩個系統為動作控制理論中最常被提及的論點 , 而兩者最大的差異在於有無回饋機制的產生 (Magill , 2007) 。

閉鎖環動作控制系統中 , 主要藉著本體感官知覺的回饋 , 進而對動作進行修正 , 而開放環動作控制系統中 , 雖然亦有本體感覺存在 , 但由於動作初期迅速 , 受限於時間的因素 , 個體無法對動作進行修正。Ricker等人 (1999) 指出 , 一但動作修正的機制產生 , 視覺回饋已無多大作用。因此 , Elliott等人 (1999) 指出 , 儘管有了視覺回饋 , 還需有足夠的時間修正動作 , 視覺回饋才得發揮其作用。

在人體的感官系統中 , 個體最常使用以及最信任的不外乎是視覺 , 當個體在學習一項新的動作技能時 , 往往會依賴視覺的回饋 , 例如 , 初學電腦打字時 , 個體會傾向於將視覺焦點放在手指是否準確的敲擊到鍵盤上的按鍵 , 若剝奪其視覺 , 個體便無法「瞄準」其欲敲擊之按鍵 , 因此 , 視覺在瞄準動作中扮演著相當重要的角色。

若欲探討視覺在速度-準確度消長的瞄準運動歷程 , 則約略可分成準備階段 (movement preparation phase)、開始動作階段 (initial flight phase)、結束階段 (termination phase) 等三個階段來探討 (Magill , 2007)。當個體下決策執行此速

度-準確度動作時，即已啟動準備階段，在此階段中，個體會利用視覺偵測周遭環境的規律性特徵（如：肢體將移動的方向與距離、目標區或目標物的大小等），而與動作相關的訊息亦被傳送到中樞神經系統，進而決定其因應的動作；第二個階段即為動作開始的階段，這個階段的動作非常迅速，屬開放式動作控制系統，雖然視覺提供給個體目標的大小、方位、距離等訊息，但其作用是為了當肢體接近目標區時用以調整修正其動作表現，在動作的初期，視覺的作用並非是影響動作的主要因素；第三個階段即為動作結束的階段，即個體在接觸目標區前的減速動作，若此時有足夠時間進行動作的修正，此階段則屬於閉鎖環控制系統，個體會接觸目標區前，降低其動作速度瞄準目標區，並透過視覺的回饋以調整修正動作，使動作能準確的進入目標區。然而，若欲利用視覺回饋在動作後期調整修正動作，則需要有足夠的時間量得以完成，否則，當動作速度過快時，即使有視覺提供相關的訊息，個體亦無法有時間進行動作的修正，如此一來，此動作便屬於開放環的控制系統而非閉鎖環控制系統。

而在反覆快速的瞄準動作中，個體所接受的視覺回饋（如目標區的大小、形狀，或動作距離、長短與方向等）是否影響其動作表現呢？Bootsma、Fernandez和Mottet（2004）指出，當動作距離較長時，會產生較大的動作速度，而瞄準的目標區較小時，所產生的速度峰值亦較小；Smyrnis、Evdokimidis、Constantinidis和Kastrinakis（2000）透過搖桿的操作研究指出，動作的最大速度、最大加速度會隨著兩側目標區距離的增加而提升。更有研究者指出目標區的形狀亦影響個體的動作表現，而Whisenand和Emurian（1999）則是

要求實驗參加者透過滑鼠反覆來回點觸不同形狀目標區，結果發現實驗參加者在方型目標區的動作時間表現優於圓形目標區，Smyrnis、Evdokimidis、Constantinidis和Kastrinakis（2000）除了利用搖桿探討目標區寬度和距離在Fitts定律上的適用性，亦探討方向是否影響動作時間的表現，結果發現方向並不會對動作時間造成影響。

視覺在瞄準動作中的確扮演極重要的角色，有了視覺提供的訊息，個體才得以在接近目標區時適時的減速，以精確到達目標區，而當目標區較小時，個體會為了「瞄準」並「準確」的到達目標區而降低速度，不論速度的快與否，在此種瞄準動作的過程中，必定會經歷起始動作到最大速度的加速階段，以及進入目標區的減速階段，而影響動作最大加速度位置點的因素不外乎和動作難度有關，即和動作距離與目標區大小有關，因此，本研究操弄動作距離和目標區大小，探討個體在單維直線上操作不同難度工作時的運動學參數特徵。

第三節 本章小結

人類的動作行為模式是如此的多樣且複雜，要將其以數據資料呈現加以比較，必有一定的限制存在，Fitts於1954年首驅以訊息處理的觀點發展出一套解釋人類複雜動作行為的數學模式，其數學模式在歷經了半個世紀的時間考驗後，在其相關實驗設計上仍有相當大的可解釋度，並且被廣泛的應用在電腦介面設計的相關研究上。

Fitts 定律的速度-準確度消長概念亦適用於許多的動作技能表現，如飛鏢投擲、伸手抓取大小不同的物體、使用滑鼠反覆拖曳文件等動作，皆可用 Fitts 定律來預測其動作時間。

然而，人類的動作行為皆是由最基本的動作元素組合而成。有別於大多數 Fitts 定律在 2 維運動、3 維運動上的相關研究，本研究操弄「單維直線運動」，將工作簡單化，以降低實驗工作本身在空間上的不確定因素，此外，亦發展另一難度計算方式檢測 Fitts 定律，將之和原始定義的公式以及 Welford、Norris 和 Shock 於 1969 發展的公式做比較，為日後研究提供另一種新的思維模式。此外，本研究透過過程的測量手段比較在動作過程中，最大速度、最大速度位置標準差、最大速度位置以及最大速度位置佔整體動作距離的百分比等運動學參數特徵。

第參章 研究方法與步驟

本研究依研究問題所需，分成下列內容陳述：第一節、實驗參加者；第二節、實驗儀器與設備；第三節、實驗設計；第四節、實驗流程與步驟；第五節、資料處理與分析

第一節 實驗參加者

本研究實驗參加者為 15 名身心健康、無肢體障礙之成人，其中包括 8 名男性與 7 名女性，其平均年齡為 20.8 ± 2.3 歲，參加者者於正式實驗前均已簽署「實驗參加者須知與同意書」。研究者亦在實驗進行之前告知每位參加者實驗的操作流程以及注意事項以確保實驗參加者之權益。

第二節 實驗儀器與設備

本研究所使用之實驗儀器設備與資料分析軟體分述如下：

一、實驗儀器設備

- (一) 線性移動儀 (Gefran Model PK-M-0600-L, 如圖 2)
- (二) Biopac MP150 多通道訊號處理系統 (1000Hz)
- (三) 筆記型電腦一台

二、資料分析軟體

- (一) AcqKnowledge 3.9.1 版分析軟體
- (二) Microsoft Excel 2003 版試算分析軟體
- (三) SPSS for Windows 15.0 版統計分析軟體

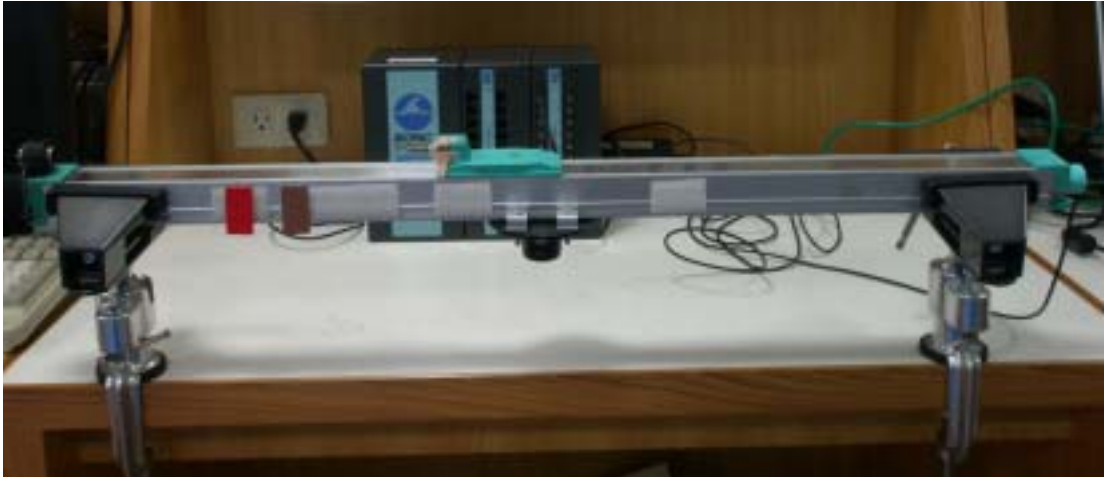


圖 2：線性移動儀

第三節 實驗設計

有別於以往費茲定律相關研究之實驗設計大多以 2 維或 3 維肢體動作為主，本研究旨在探討單維直線運動是否依然符合費茲定律的預測，因此，實驗要求參加者在線性移動儀上反覆來回拖曳感應器，並快速準確的移動到所給予的目標區塊。所有實驗參加者皆必須隨機完成由 2 種目標區寬度與 4 種移動距離配置而成的 7 種難度組合動作（如表 1），每次動作試作 20 秒，並從中擷取 10 秒作分析。

實驗者將線性移動儀側邊貼上魔鬼粘，再以不同顏色厚紙板黏貼於兩側目標區，實驗操弄者根據參加者隨機抽取之

難度選擇厚紙板寬度（目標區寬度）以及設置其距離，兩側厚紙板的中心點連線為動作距離。此外，線性移動儀上之感應器外側亦黏貼一以厚紙板製成之指針，以方便參加者瞄準兩側目標區，實驗試作時則要求參加者快速來回拖曳感應器，且須讓指針準確的落在兩側目標區。

表 1：7 種工作之目標寬度與距離組合整理表

工作	A (公分)	W (公分)	理論 ID (位元/秒)
1	4	2	2
2	8	2	3
3	16	2	4
4	32	2	5
5	8	4	2
6	16	4	3
7	32	4	4

第四節 實驗流程與步驟

本研究之實驗參加者為 15 名自願大學在學學生，參加者於正式實驗前皆已簽署「實驗參加者須知與同意書」。

在實驗進行之前，實驗者告知每位參加者實驗的操作流程，包括每次試作所需時間為 20 秒、每人皆需隨機完成 7 種工作任務（由 $W = 2、4$ 公分， $A = 4、8、16、32$ 公分所組成之 4 種難度工作），每次試作間皆休息 1 分鐘，以及在每次正式試作前，參加者皆可練習數次以調整個人最佳動作位

置，而在施測時，實驗者會隨機提醒參加者盡可能的「快速」且「準確」的到達兩側目標區塊，並施測結束後擷取每次試作動作之 10 秒鐘進行分析，練習試作不列入分析之用。本研究之實驗流程圖如圖 3 所示。

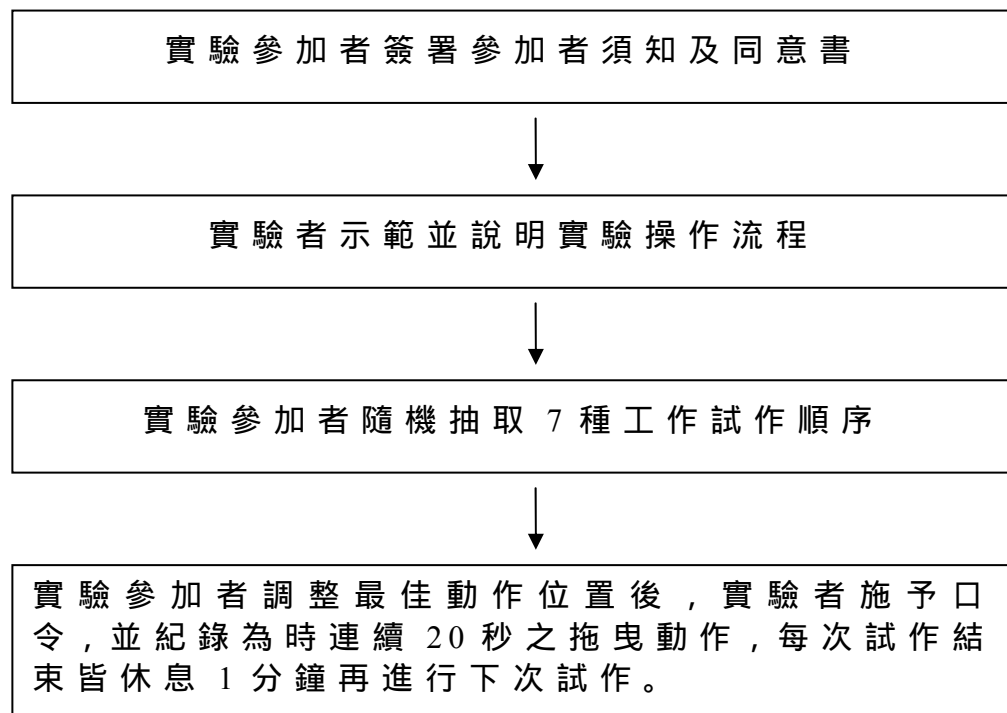


圖 3：實驗流程圖

第五節 資料處理與分析

本研究實驗所得之運動學參數是透過 Biopac MP150 多通道訊號處理系統(1000Hz)收集而成，並經由 AcqKnowledge

3.9.1 版分析軟體進行資料分析，所得數據包括平均動作時間、實際動作位移等，並將所得資料以 Butterworth 低通數位濾波法進行修勻（截止頻率 8Hz），而動作位移之數據微分後得到最大速度數值，進而分析其最大速度位置點，再將最大速度產生點的距離除以全程距離，得到最大速度位置的百分比，並透過以上相關數據進行迴歸分析，此外，本研究亦比較參加者在進行給予工作任務過程的運動學參數特徵。以下為分析所得數據加以描述解釋：

一、平均動作時間

為參加者單次動作的時間值。本研究將 15 位參加者的 7 種難度工作各取 10 秒鐘，並取其去程與回程的動作時間平均值是為該參加者的單次動作平均時間。

二、實際動作位移

計算各個實驗參加者實際移動位置的距離，取兩目標區實際施作範圍的中點連線（A'），以及兩目標區的施作中心連線（A''）。

三、實際難度指數

實際難度指數的計算以以上兩種實際動作位移的數值做計算。本研究兩種實際難度計算公式如下：

（一）Welford 法 $\log_2(A'/W'+0.5)$

A'：代表兩側目標區實際動作範圍之中點連線

W'：代表兩側實際施作目標區範圍之平均

（二）中心位置法 $\log_2(2A''/W'')$

A''：以兩側實際施作目標之動作中心為目標區中點，

兩側目標區中點連線即為 A”。

W”：以動作中心為中點，向左右兩側推算兩個標準差為實際動作寬度。

四、最大速度位置點

參加者由一目標區移至另一目標區過程中的最大速度位置點。

五、最大速度位置百分比

參加者由一目標區移至另一目標區過程中的最大速度位置點占整體距離的百分比。

本研究方法採用相依樣本單因子變異數分析，顯著水準 α 定為 .05，實驗數據經變異數分析後，各運動學參數若達顯著水準，則採用 HSD 法進行事後比較。

第肆章 結果與討論

本研究主要透過三種難度計算的方式檢測單維直線運動是否依然符合 Fitts 定律的預測，實驗所得數據經處理後，共分成四個部分說明：第一節、難度計算方式分析；第二節、各難度工作之動作速度及變異性；第三節、各難度工作之加速距離；第四節、綜合討論。

第一節 難度計算方式分析

在 Fitts 定律的相關研究領域中，難度的計算方式一直是許多研究者所探討的課題，雖然原始 Fitts 定律數學模式已可有效的解釋預測動作時間，仍有許多研究者為了得到更精確的數值而發展出各種相關公式，其中最常被使用的不外乎是 Welford、Norris 和 Shock(1969)所發展出的難度計算公式： $\log_2(A'/W'+0.5)$ ，其中 A' 代表兩側目標區實際動作範圍之中點連線， W' 代表兩側實際施作目標區範圍的平均。

本研究難度計算方式除了使用 $\log_2(A'/W'+0.5)$ 公式外，亦發展另一難度計算方式，此方式依照原始難度公式 $\log_2(2A/W)$ 的概念，動作距離 (A'') 以兩側實際施作目標之動作中心連線表示，目標寬度 (W'') 計算則是以動作中心為中點，向左右兩側推算兩個標準差為實際動作寬度，本研究以 $\log_2(2A''/W'')$ 作表示，並稱之為中心位置法。本研究發展此公式的想法在於，點觸或拖曳的連續動作每次皆不同，到達目標區亦有一定的誤差範圍，為了能夠涵蓋 95% 的點觸或

拖曳終點位置，並避免動作過程中極端動作造成偏差過大，因此以全部動作中心為中點，向左右兩側推算兩個標準差為實際動作寬度，並以兩動作中心中點連線為實際動作距離。

兩種難度重算方式與原始難度計算方式比較如表 2 所示。

表 2：三種計算難度方式比較表

工 作	動作 時間	標準差	原始難度			Welford 法			中心位置法		
			公式								
			A	W	ID	A'	W'	ID'	A''	W''	ID''
1	0.126	0.020	4	2	2	5.3	2.1	1.61	5.3	2.2	2.30
2	0.138	0.022	8	2	3	11.1	3.4	1.96	11.1	3.5	2.68
3	0.170	0.028	16	2	4	20.9	5.3	2.17	21.0	5.5	2.93
4	0.219	0.039	32	2	5	41.4	7.7	2.59	41.2	8.4	3.38
5	0.141	0.026	8	4	2	10.5	3.2	1.95	10.5	3.3	2.68
6	0.159	0.032	16	4	3	20.8	6.0	2.01	21.1	6.1	2.80
7	0.230	0.037	32	4	4	41.1	8.1	2.53	42.0	8.1	3.42

註：動作時間（平均單次動作時間）、標準差單位為秒；A（A'，A''）、W（W'，W''）單位為公分；ID（ID'，ID''）單位為位元/秒。

由表 2 可以發現，在後兩者重新計算難度的結果中，本研究發展的中心位置法難度計算方式 $\log_2(2A''/W'')$ 較接近原始的難度指數，而以 Welford 法 $\log_2(A'/W'+0.5)$ 的難度計算方式雖然考慮了實驗者的所有動作位置，但卻因參雜了兩側目標區極端位置的數值而產生較大的誤差。在重新計算難度後，可發現實驗參加者會增加實際給予的動作距離（A）與目標區寬度（W），縮小所給予的難度，而在目標區寬度相同，

難度不同的情況下，實際的目標區寬度會隨著難度的增加而加寬。例如，工作 1 到工作 4 中，目標區的寬度設置皆為 2 公分，動作距離的設置依序為 4 公分，8 公分，16 公分與 32 公分，經過重新計算施作數值後，實際的目標區寬度會依動作距離的增加而增加。

經過難度重新計算後，將已得數據進行簡單迴歸分析，推算其常數項 b 值及計算其 IP 值，15 位實驗參加者在三種難度計算下之 b 值表現如表 3、4、5 所示，

表 3 為原始計算公式所求得之 b 值與 IP 值， R^2 數值的意義代表可解釋的變異量，觀察表 3 發現，除了參加者 2、3、7、14 外，其餘實驗參加者皆符合 Fitts 定律的預測，而參加者 3 與參加者 7 雖無達顯著水準，但其 R^2 值皆達到 50% 以上，代表其還是達到 Fitts 定律的預測，因此，使用原始的 Fitts 定律公式為依據時，參加者的表現大多皆能達到 Fitts 定律的預測，而其表現指數分布在 18.868(位元/秒)到 71.429(位元/秒)間。

表 3：原始公式 $\log_2(2A/W)$ 之 b 值、IP 值與 R^2 值

參加者	b	IP (1/b)	R^2	t (6)
1	0.026	38.462	.784	4.259*
2	0.014	71.429	.364	1.690
3	0.022	45.455	.503	2.249
4	0.031	32.258	.719	3.573*
5	0.025	40.000	.745	3.819*
6	0.035	28.571	.766	4.047*
7	0.036	27.778	.540	2.424
8	0.031	32.258	.688	3.323*
9	0.053	18.868	.891	6.384*
10	0.026	38.462	.680	3.260*
11	0.043	23.256	.695	3.373*
12	0.037	27.027	.915	7.334*
13	0.035	28.571	.717	3.556*
14	0.033	30.303	.302	1.471
15	0.026	38.462	.676	3.232*

註：IP 單位為位元/秒；* $p < .05$ 。

表 4 則是依據 Welford、Norris 和 Shock (1969) 所發展出的公式所求得數據，結果顯示，參加者 8、9、10、11、13、14、15 等 7 人均達顯著水準，其 R^2 值可解釋度均達 60% 以上，其餘參加者雖未達顯著水準，但參加者 3、4、5 之 R^2 值可解釋度亦達 50% 以上，參加者 1、2、6、7 的 R^2 值可解釋度亦接近 50%，因此，以此公式所求得數據亦能符合 Fitts 定律的預測，而其所得 IP 指數分布在 6.024 (位元/秒) 到 21.739 (位元/秒) 間。

表 4：Welford (1969) 公式 $\log_2(A'/W'+0.5)$ 之 b 值、IP 值與 R² 值

參加者	b	IP (1/b)	R ²	t (6)
1	0.078	12.821	.491	2.194
2	0.050	20.000	.430	1.941
3	0.062	16.129	.552	2.481
4	0.074	13.514	.537	2.410
5	0.046	21.739	.085	0.680
6	0.062	16.129	.473	2.120
7	0.115	8.696	.468	2.098
8	0.080	12.500	.965	11.779*
9	0.166	6.024	.809	4.599*
10	0.091	10.989	.693	3.359*
11	0.082	12.195	.675	3.220*
12	0.061	16.393	.399	1.824
13	0.063	15.873	.617	2.839*
14	0.101	9.901	.836	5.050*
15	0.088	11.364	.734	3.710*

註：IP 單位為位元/秒；*p < .05。

表 5 則是依據本研究所發展出的中心位置法公式所求得數據，結果顯示，除參加者 2、3、5、6、12、15 之外，其餘參加者皆達顯著水準，其中，參加者 6、12 雖未達顯著水準，但其 R² 值可解釋度皆超過 50%，參加者 2、3 之 R² 值可解釋度則皆接近 50%，因此，使用本研究中心位置法公式重新計算難度各參數後，亦能符合 Fitts 定律的預測，其所得 IP 指數分布在 6.452 (位元/秒) 到 25.000 (位元/秒) 間。

表 5：本研究中心位置法公式 $\log_2(2A''/W'')$ 之 b 值、IP 值與 R^2 值

參加者	b	IP (1/b)	R^2	t (6)
1	0.067	14.925	.683	3.279*
2	0.040	25.000	.445	2.003
3	0.059	16.949	.452	2.032
4	0.086	11.628	.612	2.811*
5	0.068	14.706	.225	1.206
6	0.053	18.868	.550	2.471
7	0.083	12.048	.617	2.840*
8	0.078	12.821	.992	25.186*
9	0.155	6.452	.761	3.994*
10	0.081	12.346	.792	4.358*
11	0.088	11.364	.809	4.606*
12	0.059	16.949	.528	2.366
13	0.064	15.625	.696	3.380*
14	0.083	12.048	.819	4.764*
15	0.045	22.222	.263	1.336

註：IP 單位為位元/秒；* $p < .05$ 。

第二節 各難度工作之最大速度及變異性

為了比較 15 位實驗參加者在各種難度組合的工作任務中所產生的最大速度表現於去程與回程中之差異，整理出參加者於 7 種工作之去程與回程最大速度描述統計，如表 6 所示。

表 6：參加者於 7 種工作任務之最大速度描述統計

工 作	ID (W, A)	去程最大速度表現		回程最大速度表現	
		平均數	標準差	平均數	標準差
1	ID = 2 (W = 2, A = 4)	67.7	7.4	69.3	7.9
2	ID = 3 (W = 2, A = 8)	128.8	11.4	132.9	11.7
3	ID = 4 (W = 2, A = 16)	197.8	13.7	210.8	14.8
4	ID = 5 (W = 2, A = 32)	312.7	18.2	324.4	18.8
5	ID = 2 (W = 4, A = 8)	120.8	9.9	125.0	9.3
6	ID = 3 (W = 4, A = 16)	216.5	16.1	229.6	15.8
7	ID = 4 (W = 4, A = 32)	306.3	17.6	310.9	19.6

註：ID 為難度指數 (位元 / 秒)；W (目標寬度)、A (動作距離) 單位為公分；平均數、標準差單位為公分 / 秒。

表 6 結果顯示，15 位參加者在工作 1 最大速度表現在去程工作與回程工作的平均數分別為 67.7 ± 7.4 公分 / 秒、 69.3 ± 7.9 公分 / 秒；工作 2 最大速度表現在去程工作與回程工作的平均數分別為 128.8 ± 11.4 公分 / 秒、 132.9 ± 11.7 公分 / 秒；工作 3 最大速度表現在去程工作與回程工作的平均數分別為 197.8 ± 13.7 公分 / 秒、 210.8 ± 14.8 公分 / 秒；工作 4 最大速度表現在去程工作與回程工作的平均數分別為 312.7 ± 18.2 公分 / 秒、 324.4 ± 18.8 公分 / 秒；工作 5 最大速度表現在去程工作與回程工作的平均數分別為 120.8 ± 9.9 公分 / 秒、 $125.0 \pm$

9.3 公分/秒；工作 6 最大速度表現在去程工作與回程工作的平均數分別為 216.5 ± 16.1 公分/秒、 229.6 ± 15.8 公分/秒；工作 7 最大速度表現在去程工作與回程工作的平均數分別為 306.3 ± 17.6 公分/秒、 310.9 ± 19.6 公分/秒。就表面上看來，最大速度的表現似乎隨著難度成正比，但難度是由目標寬度與動作距離所組成，工作 1 至工作 7 的難度組合分別為，工作 1：ID = 2，W = 2，A = 4；工作 2：ID = 3，W = 2，A = 8；工作 3：ID = 4，W = 2，A = 16；工作 4：ID = 5，W = 2，A = 32；工作 5：ID = 2，W = 4，A = 8；工作 6：ID = 3，W = 4，A = 16；工作 7：ID = 4，W = 4，A = 32；工作 1 至工作 4 為固定的目標區寬度，其動作難度是隨著動作距離而變動，工作 5 至工作 7 亦是如此，因此，表 6 實際所表達的訊息顯示，在目標區寬度固定的情況下，其最大速度會隨著距離成正比。

此外，當比較同難度的最大速度表現時，工作 1 與工作 5 的難度指數同為 2，其去程最大速表現為 67.7 ± 7.4 公分/秒，回程為 69.3 ± 7.9 公分/秒；工作 5 去程最大速度表現為 120.8 ± 9.9 公分/秒，回程為 125.0 ± 9.3 公分/秒，工作 5 的最大速度明顯大於工作 1 的最大速度。工作 2 與工作 6 的難度指數同為 3，工作 2 去程最大速表現為 128.8 ± 11.4 公分/秒，回程為 132.9 ± 11.7 公分/秒；工作 6 去程最大速度表現為 216.5 ± 16.1 公分/秒，回程為 229.6 ± 15.8 公分/秒，工作 6 的最大速度明顯大於工作 2 的最大速度。工作 3 與工作 7 的難度指數同為 4，工作 3 去程最大速表現為 197.8 ± 13.7 公分/秒，回程為 210.8 ± 14.8 公分/秒；工作 7 去程最大速度表現為 306.3 ± 17.6 公分/秒，回程為 310.9 ± 19.6 公分/秒，

工作 7 的最大速度明顯大於工作 3 的最大速度。

而在經過相依樣本單因子變異數分析後發現（如表 7 所示），參加者在各實驗工作之去程（亦即由起始位置至對側目標區之過程）的最大速度（ $F_{(6, 84)} = 189.648, p < .05, \eta^2 = .931, \text{power} = 1.00$ ）以及最大速度標準差（ $F_{(6, 84)} = 16.587, p < .05, \eta^2 = .542, \text{power} = 1.00$ ）均達顯著水準，回程的最大速度（ $F_{(6, 84)} = 180.919, p < .05, \eta^2 = .928, \text{power} = 1.00$ ）與最大速度標準差（ $F_{(6, 84)} = 19.093, p < .05, \eta^2 = .577, \text{power} = 1.00$ ）表現亦達顯著水準，故均須個別以 HSD 法進行事後比較。

表 7：參加者在 7 種工作去程與回程最大速度與最大速度標準差表現變異數分析摘要表

變異來源		MS	F	η^2	Power
最大速度					
(去程)	工作 ^a	131938.166	189.648*	.931	1.00
	誤差 ^b	695.699			
最大速度					
(回程)	工作 ^a	139898.635	180.919*	.928	1.00
	誤差 ^b	773.267			
最大速度標準差					
(去程)	工作 ^a	250.970	16.587*	.542	1.00
	誤差 ^b	15.130			
最大速度標準差					
(回程)	工作 ^a	307.126	19.093*	.577	1.00
	誤差 ^b	16.086			

註： η^2 為處理效果 (effect size)；^adf = 6，^bdf = 84；*p < .05。

工作去程最大速度的事後比較結果如表 8 所示，工作 7 (306.3 ± 17.6 公分/秒) 最大速度表現優於工作 1、2、3、5、6，工作 6 (216.5 ± 16.1 公分/秒) 最大速度表現優於工作 1、2、3、5，工作 5 (120.8 ± 9.9 公分/秒) 最大速度表現優於工作 1，小於工作 2、3，工作 4 (312.7 ± 18.2 公分/秒) 最大速度表現優於工作 1、2、3，工作 3 (197.8 ± 13.7 公分/秒) 最大速度表現優於工作 1、2，工作 2 (128.8 ± 11.4 公分/秒) 最大速度表現優於工作 1 (67.7 ± 7.4 公分/秒)，其中可發現當目標區大小一樣 (工作 1、2、3、4，工作 5、6、7)，

參加者最大速度的表現會隨著距離成正比，亦即動作距離越長，動作過程中會產生較大的速度，而在動作距離相同，目標區寬度不同的情況下（工作 2 與工作 5，工作 3 與工作 6，工作 4 與工作 7），其最大速度事後比較並無明顯差異存在。因此，在相同動作距離，不同目標區寬度的情況下，個體不因目標區寬度不同而改變其最大速度的表現。

表 8：工作去程最大速度事後比較

工作	ID (W, A)	平均數	標準差	1	2	3	4	5	6	7
1	ID = 2 (W = 2, A = 4)	67.7	7.4	--	*	*	*	*	*	*
2	ID = 3 (W = 2, A = 8)	128.8	11.4		--	*	*		*	*
3	ID = 4 (W = 2, A = 16)	197.8	13.7			--	*	*		*
4	ID = 5 (W = 2, A = 32)	312.7	18.2				--	*	*	
5	ID = 2 (W = 4, A = 8)	120.8	9.9					--	*	*
6	ID = 3 (W = 4, A = 16)	216.5	16.1						--	*
7	ID = 4 (W = 4, A = 32)	306.3	17.6							--

註：ID 為難度指數（位元/秒）；W（目標寬度）、A（動作距離）單位為公分；平均數、標準差單位為公分/秒；*p < .05。

表 9 則為工作回程最大速度表現的事後比較，由表得知，工作 7(306.3 ± 17.6 公分/秒)最大速度表現優於工作 1、

2、3、5、6，工作 6 (229.6 ± 15.8 公分/秒) 最大速度表現優於工作 1、2、3、5，工作 5 (125.0 ± 9.3 公分/秒) 最大速度表現優於工作 1，小於工作 2、3，工作 4 (324.4 ± 18.8 公分/秒) 最大速度表現優於工作 1、2、3，工作 3 (210.8 ± 14.8 公分/秒) 最大速度表現優於工作 1、2，工作 2 (132.9 ± 11.7 公分/秒) 最大速度表現優於工作 1 (69.3 ± 7.9 公分/秒)，其結果和去程表現並無明顯差異，即當目標區大小一樣 (工作 1、2、3、4，工作 5、6、7)，參加者最大速度的表現會隨著距離成正比，亦即動作距離越長，動作過程中會產生較大的速度，而在動作距離相同，目標區寬度不同的情況下 (工作 2 與工作 5，工作 3 與工作 6，工作 4 與工作 7)，並無明顯差異存在。因此，在相同動作距離，不同目標區寬度的情況下，個體不因目標區寬度不同而改變其最大速度的表現。

表 9：工作回程最大速度事後比較

工作	ID (W, A)	平均數	標準差	1	2	3	4	5	6	7
1	ID = 2 (W = 2, A = 4)	69.3	7.9	--	*	*	*	*	*	*
2	ID = 3 (W = 2, A = 8)	132.9	11.7		--	*	*		*	*
3	ID = 4 (W = 2, A = 16)	210.8	14.8			--	*	*		*
4	ID = 5 (W = 2, A = 32)	324.4	18.8				--	*	*	
5	ID = 2 (W = 4, A = 8)	125.0	9.3					--	*	*
6	ID = 3 (W = 4, A = 16)	229.6	15.8						--	*
7	ID = 4 (W = 4, A = 32)	306.3	17.6							--

註：ID 為難度指數 (位元 / 秒)；W (目標寬度)、A (動作距離) 單位為公分；平均數，標準差單位為公分 / 秒；*p < .05。

去程最大速度標準差的事後比較如表 10 所示，觀察表 10 發現，工作 7 (17.6 ± 5.5 公分 / 秒) 最大速度標準差大於工作 1、2、3、5，工作 6 (16.1 ± 3.1 公分 / 秒) 最大速度標準差大於工作 1、2、3、5，工作 5 (9.9 ± 2.0 公分 / 秒) 最大速度標準差大於 1，小於工作 3、4，工作 4 (18.2 ± 6.1 公分 / 秒) 最大速度標準差大於工作 1、2、3，工作 3 (13.7 ± 3.7 公分 / 秒) 最大速度標準差大於工作 1，工作 2 (11.4 ± 6.2 公分 / 秒) 最大速度標準差大於工作 1 (7.4 ± 3.2 公分 / 秒)，其中，當目標區大小一樣 (工作 1、2、3、4，工作 5、6、7)，參加者最大速度的標準差有隨動作距離成正比的趨勢，亦即

動作距離越大，個體所產生的誤差亦變大。而在動作距離相同，目標區寬度不同的情況下（工作 2 與工作 5，工作 3 與工作 6，工作 4 與工作 7），除了工作 3 與工作 6 標準差有差異外，其餘兩者皆無差異存在，說明個體在工作 2 與工作 5 以及工作 4 與工作 7 中，最大速度標準差不因動作距離相同，目標區寬度不同而有所差異。

表 10：工作去程最大速度標準差事後比較

工作	ID (W, A)	平均數	標準差	1	2	3	4	5	6	7
1	ID = 2 (W = 2, A = 4)	7.4	3.2	--	*	*	*	*	*	*
2	ID = 3 (W = 2, A = 8)	11.4	6.2		--		*		*	*
3	ID = 4 (W = 2, A = 16)	13.7	3.7			--	*	*	*	*
4	ID = 5 (W = 2, A = 32)	18.2	6.1				--	*		
5	ID = 2 (W = 4, A = 8)	9.9	2.0					--	*	*
6	ID = 3 (W = 4, A = 16)	16.1	3.1						--	
7	ID = 4 (W = 4, A = 32)	17.6	5.5							--

註：ID 為難度指數（位元/秒）；W（目標寬度）、A（動作距離）單位為公分；平均數、標準差單位為公分/秒；*p < .05。

回程工作最大速度標準差事後比較如表 11 所示，工作 7 (19.6 ± 4.8 公分/秒) 最大速度標準差大於工作 1、2、3、5、6，工作 6 (15.8 ± 2.5 公分/秒) 最大速度標準差大於工作 1、2、5，工作 5 (9.3 ± 2.0 公分/秒) 最大速度標準差小於工作 3、4，工作 4 (18.8 ± 6.9 公分/秒) 最大速度標準差大於工作 1、2、3，工作 3 (14.8 ± 4.1 公分/秒) 最大速度標準差大於工作 1，工作 2 (11.7 ± 5.8 公分/秒) 最大速度標準差大於工作 1 (7.9 ± 3.1 公分/秒)，其中，當目標區大小一樣 (工作 1、2、3、4，工作 5、6、7)，參加者回程最大速度的標準差和去程表現一樣，有隨動作距離成正比的趨勢，亦即動作距離越大，個體所產生的誤差亦變大。而在動作距離相同，目標區寬度不同的情況下(工作 2 與工作 5，工作 3 與工作 6，工作 4 與工作 7)，最大速度標準差皆無差異存在，說明個體最大速度標準差不因動作距離相同，目標區寬度不同而有所差異。

表 11：工作回程最大速度標準差事後比較

工作	ID (W, A)	平均數	標準差	1	2	3	4	5	6	7
1	ID = 2 (W = 2, A = 4)	7.9	3.1	--	*	*	*		*	*
2	ID = 3 (W = 2, A = 8)	11.7	5.8		--		*		*	*
3	ID = 4 (W = 2, A = 16)	14.8	4.1			--	*	*		*
4	ID = 5 (W = 2, A = 32)	18.8	6.9				--	*		
5	ID = 2 (W = 4, A = 8)	9.3	2.0					--	*	*
6	ID = 3 (W = 4, A = 16)	15.8	2.5						--	*
7	ID = 4 (W = 4, A = 32)	19.6	4.8							--

註：ID 為難度指數 (位元 / 秒)；W (目標寬度)、A (動作距離) 單位為公分；平均數、標準差單位為公分 / 秒；*p < .05。

第三節 各難度工作之加速距離

為了比較 15 位實驗參加者在各種難度組合的工作任務中所產生的最大速度位置於去程與回程中之差異，整理出 15 位參加者於 7 種工作之去程與回程最大速度位置之描述統計，如表 12 所示。

表 12：實驗參加者於 7 種工作之去程與回程最大速度位置之描述統計

工 作	ID (W, A)	去程最大速度位置		回程最大速度位置	
		平均數	標準差	平均數	標準差
1	ID = 2 (W = 2, A = 4)	2.7	0.2	2.6	0.2
2	ID = 3 (W = 2, A = 8)	5.3	0.5	5.2	0.5
3	ID = 4 (W = 2, A = 16)	10.3	0.7	9.8	0.8
4	ID = 5 (W = 2, A = 32)	21.7	1.8	20.7	1.3
5	ID = 2 (W = 4, A = 8)	5.2	0.7	5.1	0.7
6	ID = 3 (W = 4, A = 16)	10.6	1.0	10.2	1.0
7	ID = 4 (W = 4, A = 32)	22.0	1.4	21.4	2.1

註：ID 為難度指數（位元/秒）；W（目標寬度）、A（動作距離）單位為公分；平均數、標準差單位為公分/秒。

表 12 結果顯示，15 位參加者於工作 1 時，其去程與回程的最大速度位置平均數分別為 2.7 ± 0.2 公分/秒、 2.6 ± 0.2

公分/秒；工作 2 在去程與回程的最大速度位置平均數分別為 5.3 ± 0.5 公分/秒、 5.2 ± 0.5 公分/秒；工作 3 在去程與回程的最大速度位置平均數分別為 10.3 ± 0.7 公分/秒、 9.9 ± 0.8 公分/秒；工作 4 在去程與回程的最大速度位置平均數分別為 21.7 ± 1.8 公分/秒、 20.7 ± 1.3 公分/秒；工作 5 在去程與回程的最大速度位置平均數分別為 5.2 ± 0.7 公分/秒、 5.1 ± 0.7 公分/秒；工作 6 在去程與回程的最大速度位置平均數分別為 10.6 ± 1.0 公分/秒、 10.2 ± 1.0 公分/秒；工作 7 在去程與回程的最大速度位置平均數分別為 22.0 ± 1.4 公分/秒、 21.4 ± 2.1 公分/秒。其中觀察工作 1、2、3、4 可發現，其目標區寬度皆為 2，其最大速度位置產生點則隨著目標距離增加而增加，工作 5、6、7 目標區寬度亦相同（ $W = 4$ 公分），其最大速度位置產生點亦隨著目標距離增加而增加，表 12 亦可發現，當目標區寬度相同時，其動作距離若增為原距離的 2 倍，其最大速度位置亦約略產生於原始距離最大速度位置 2 倍處，此外，難度相同之工作，若其中一目標區寬度與動作距離皆為另一者 2 倍時，亦發現其最大速度位置約略產生於另一者最大速度位置 2 倍處。

除了比較其最大速度產生位置，本研究亦將其產生位置點佔整體距離百分比以表 13 呈現其描述統計，15 位參加者於工作 1 時，其去程與回程的最大速度位置百分比平均數分別為 $66.4 \pm 6.1\%$ 、 $64.4 \pm 5.9\%$ ；工作 2 在去程與回程的最大速度位置百分比平均數分別為 $66.7 \pm 6.4\%$ 、 $64.8 \pm 6.2\%$ ；工作 3 在去程與回程的最大速度位置百分比平均數分別為 $64.3 \pm 4.2\%$ 、 $61.3 \pm 5.1\%$ ；工作 4 在去程與回程的最大速度位置百分比平均數分別為 $67.8 \pm 5.6\%$ 、 $64.7 \pm 4.2\%$ ；工作 5 在去

程與回程的最大速度位置百分比平均數分別為 $65.0 \pm 8.3\%$ 、 $63.4 \pm 8.2\%$ ；工作 6 在去程與回程的最大速度位置百分比平均數分別為 $66.2 \pm 6.5\%$ 、 $64.0 \pm 6.2\%$ ；工作 7 在去程與回程的最大速度位置百分比平均數分別為 $68.6 \pm 4.3\%$ 、 $67.0 \pm 6.5\%$ 。由表 13 中可發現，7 種工作之最大速度位置百分比大約皆發生在整體距離的 65% 處，說明個體似乎不因工作的不同而產生不同的最大速度位置百分比。

表 13：實驗參加者於 7 種工作之去程與回程最大速度位置百分比之描述統計

工 作	ID (W, A)	去程最大速度位置百分比		回程最大速度位置百分比	
		平均數	標準差	平均數	標準差
1	ID = 2 (W = 2, A = 4)	66.4	6.1	64.4	5.9
2	ID = 3 (W = 2, A = 8)	66.7	6.4	64.8	6.2
3	ID = 4 (W = 2, A = 16)	64.3	4.2	61.3	5.1
4	ID = 5 (W = 2, A = 32)	67.8	5.6	64.7	4.2
5	ID = 2 (W = 4, A = 8)	65.0	8.3	63.4	8.2
6	ID = 3 (W = 4, A = 16)	66.2	6.5	64.0	6.2
7	ID = 4 (W = 4, A = 32)	68.6	4.3	67.0	6.5

註：ID 為難度指數（位元/秒）；W（目標寬度）、A（動作距離）單位為公分；平均數與標準差單位為%。

而最大速度位置與最大速度位置百分比經過相依樣本單因子變異數分析後發現（如表 14 所示），去程最大速度位置（ $F(6, 84) = 971.024, p < .05, \eta^2 = .986, power = 1.00$ ）與回程最大速度位置（ $F(6, 84) = 1007.775, p < .05, \eta^2 = .986, power = 1.00$ ）均達顯著差異。而去程最大速度位置百分比（ $F(6, 84) = 1.224, p > .05, \eta^2 = .080, power = .457$ ）與回程最大速度位置百分比（ $F(6, 84) = 1.956, p > .05, \eta^2 = .123, power = .689$ ）方面，則無顯著差異，說明在 7 種工作任務中，個體不因目標區寬度和動作距離的不同而影響其最大速度位置的百分比。因此，針對最大速度位置進行事後比較。

表 14：實驗參加者在 7 種工作之最大速度位置、最大速度位置百分比表現變異數分析摘要表

變異來源		MS	F	η^2	Power
最大速度位置					
（去程）	工作 ^a	926.535	971.024*	.986	1.00
	誤差 ^b	0.954			
最大速度位置					
（回程）	工作 ^a	860.790	1007.775*	.986	1.00
	誤差 ^b	0.854			
最大速度位置百分比					
（去程）	工作 ^a	33.715	1.224	.080	.457
	誤差 ^b	27.555			
最大速度位置百分比					
（回程）	工作 ^a	43.672	1.956	.123	.689
	誤差 ^b	22.331			

註： η^2 為處理效果（effect size）；^adf = 6，^bdf = 84；*p < .05。

工作去程最大速度位置事後比較如表 15 所示，結果顯示，工作 7 (22.0 ± 1.4 公分) 最大速度位置大於工作 1、2、3、5、6，工作 6 (10.6 ± 1.0 公分) 最大速度位置大於工作 1、2、5，小於工作 4，工作 5 (5.2 ± 0.7 公分) 最大速度位置大於工作 1，小於工作 3、4，工作 4 (21.7 ± 1.8 公分) 最大速度位置大於工作 1、2、3，工作 3 (10.3 ± 0.7 公分) 最大速度位置大於 1、2，工作 2 (5.3 ± 0.5 公分) 最大速度位置大於 1 (2.7 ± 0.2 公分)，其中，工作 1、2、3、4 目標區寬度皆為 2 公分，動作距離分別為 4 公分、8 公分、16 公分、32 公分，距離皆為前一者 2 倍，其工作去程最大速度位置平均數與標準差亦大約為前一工作的 2 倍，說明在此工作類型中，動作距離若增為原來的 2 倍，其最大速度位置亦發生在原距離 2 倍處，動作誤差亦增為原來的 2 倍；工作 5、6、7 亦是同樣的結果。而表中僅工作 2 與工作 5，工作 3 與工作 6，工作 4 與工作 7 無顯著差異，觀察其難度組合，發現其共同點皆為動作距離相同，因此亦說明當動作距離相同，工作最大速度位置並未受到目標區寬度不同而有所差異。

表 15：工作去程最大速度位置事後比較

工作	ID (W, A)	平均數	標準差	1	2	3	4	5	6	7
1	ID = 2 (W = 2, A = 4)	2.7	0.2	--	*	*	*	*	*	*
2	ID = 3 (W = 2, A = 8)	5.3	0.5		--	*	*		*	*
3	ID = 4 (W = 2, A = 16)	10.3	0.7			--	*	*		*
4	ID = 5 (W = 2, A = 32)	21.7	1.8				--	*	*	
5	ID = 2 (W = 4, A = 8)	5.2	0.7					--	*	*
6	ID = 3 (W = 4, A = 16)	10.6	1.0						--	*
7	ID = 4 (W = 4, A = 32)	22.0	1.4							--

註：ID 為難度指數 (位元 / 秒)；W (目標寬度)、A (動作距離) 單位為公分；平均數、標準差單位為公分 / 秒；*p < .05。

工作回程最大速度位置事後比較如表 16 所示，結果顯示，工作 7 (21.4 ± 2.1 公分) 最大速度位置大於工作 1、2、3、5、6，工作 6 (10.2 ± 1.0 公分) 最大速度位置大於工作 1、2、5，小於工作 4，工作 5 (5.1 ± 0.7 公分) 最大速度位置大於工作 1，小於工作 3、4，工作 4 (20.7 ± 1.3 公分) 最大速度位置大於工作 1、2、3，工作 3 (9.8 ± 0.8 公分) 最大速度位置大於 1、2，工作 2 (5.2 ± 0.5 公分) 最大速度位置大於 1 (2.6 ± 0.2 公分)，其最大速度位置結果與去程表現並無明顯差異，皆說明動作距離若增為原來的 2 倍，其最大速度位置亦發生在原距離 2 倍處，動作誤差亦增為原來的 2

倍，亦說明當動作距離相同時，工作最大速度位置並未受到目標區寬度不同而有所差異。

表 16：工作回程最大速度位置事後比較

工 作	ID (W, A)	平均數	標準差	1	2	3	4	5	6	7
1	ID = 2 (W = 2, A = 4)	2.6	0.2	--	*	*	*	*	*	*
2	ID = 3 (W = 2, A = 8)	5.2	0.5		--	*	*		*	*
3	ID = 4 (W = 2, A = 16)	9.8	0.8			--	*	*		*
4	ID = 5 (W = 2, A = 32)	20.7	1.3				--	*	*	
5	ID = 2 (W = 4, A = 8)	5.1	0.7					--	*	*
6	ID = 3 (W = 4, A = 16)	10.2	1.0						--	*
7	ID = 4 (W = 4, A = 32)	21.4	2.1							--

註：ID 為難度指數（位元/秒）；W（目標寬度）、A（動作距離）單位為公分；平均數、標準差單位為公分/秒；*p < .05。

第四節 綜合討論

本研究透過單維直線運動的實驗設計，比較原始公式、Welford、Norris 和 Shock (1969) 發展的公式與中心位置法公式等三種方法是否皆能符合 Fitts 定律的預測，並分析比較其運動學參數。

隨著 Fitts 定律的問世，人類的動作行為表現得以量化呈現，亦有許多研究者相繼發展出 Fitts 定律的延伸公式，只為求得更符合實際運動表現的數據，Welford、Norris 和 Shock (1969) 認為當公式以 $MT = a + b [\log_2(A'/W' + 0.5)]$ 表示可以更符合實際的點觸動作表現，然而，在本研究中，應用 Welford、Norris 和 Shock (1969) 的發展出的公式重新計算難度參數之結果雖仍可符合 Fitts 定律的預測，但其可解釋度並未高於原始公式計算之結果，本研究的中心位置法公式 $MT = a + b [\log_2(2A''/W'')]$ 重新計算難度參數後，其結果亦支持 Fitts 定律的預測，因此，本研究所使用之 3 種計算公式皆能符合 Fitts 定律的預測。

然而，將 Welford 公式和原始公式相比對後可發現，在工作 1、2、3、4 中（原始目標區皆為 2 公分，動作距離分別為 4、8、16、32 公分），經 Welford 公式重新計算後，發現其實際目標區寬度為 2.1、3.4、5.3、7.7 公分，動作距離分別為 5.3、11.1、20.9、41.4 公分，實際目標區與動作距離很明顯的比原始工作要求來的高，而實際目標區的範圍亦隨著動作距離的增加而變大，因此亦降低了其動作難度，由原始難度指數 2、3、4、5 位元/秒降至 1.61、1.96、2.17、2.59 位元/秒，由以上所述發現，個體為達到工作的要求，會降低

工作難度以完成工作任務。此外，由數值中亦發現一規律現象，其原始動作距離 4、8、16、32 公分中，後者均為前者的 2 倍，而實際動作距離 5.3、11.1、20.9、41.4 公分，後者距離亦約為前者的 2 倍，在工作 5、6、7 中亦存在與工作 1、2、3、4 中相同的現象，工作 5、6、7 的目標區設置均為 4 公分，距離設置分別為 8、16、32 公分，經 Welford 公式重新計算後，其實際目標區分別為 3.2、6.0、8.1 公分，實際動作距離分別為 10.5、20.8、41.1 公分（詳見表 2），由數據可以發現，無論目標區寬度設置為 2 公分或 4 公分，其距離設置同為 8、16、32 公分時，實際動作距離在數值上很接近，代表個體在同距離設置的情況下，其表現不會因目標區寬度差異有所不同，而這或許是本研究的目標區設置僅有 2 公分與 4 公分兩種寬度，其範圍並無非常明顯差距之因。

本研究中心位置法公式和原始公式相比對後發現，原始目標區皆為 2 公分，動作距離分別為 4、8、16、32 公分的工作 1、2、3、4 中，實際目標區寬度為 2.2、3.5、5.5、8.4 公分，實際動作距離分別為 5.3、11.1、20.9、41.2 公分，動作難度則由原來的 2、3、4、5 位元/秒變為 2.3、2.68、2.93、3.38 位元/秒（詳見表 2），除工作 1 外，其餘動作難度皆降低，其實際目標區與動作距離亦比原始動作要求來的高，而實際目標區的範圍亦隨著動作距離的增加而變大，此現象和 Welford 法一致。而在工作 5、6、7 中，其距離設置與工作 2、3、4 同為 8、16、32 公分，經過中心位置法計算後發現，工作 5、6、7 的實際動作距離分別為 10.5、21.1、41.9 公分，與工作 2、3、4 在數值並無太大差異，代表個體在同距離設置的情況下，其表現不會因目標區寬度差異有所不同。

比較 Welford 法和本研究中心位置法發現，其實際目標區寬度和實際距離差距並不大，但因其難度計算方式不同，所以兩者在動作難度數值上較有明顯區別，Welford 法所計算的難度指數分布在 1.61 至 2.59 位元/秒，本研究中心位置法所計算的難度指數分布在 2.3 至 3.38 位元/秒，和原始難度指數 2 至 5 位元/秒比較，本研究中心位置法所計算的難度指數較接近原始的難度指數，但兩者皆能符合 Fitts 定律的預測，但本研究中心位置法的預測力則是高於 Welford 法。

最大速度和最大速度標準差經過相依樣本單因子變異數分析後發現去程的最大速度 ($p < .05$) 以及最大速度標準差 ($p < .05$) 均達顯著水準，回程的最大速度 ($p < .05$) 與最大速度標準差 ($p < .05$) 表現亦達顯著水準，表示最大速度、最大速度標準差與各工作任務間有顯著差異存在，故以 HSD 法進行事後比較，結果發現，當目標區大小一樣，最大速度無論是在去程或回程的表現中會因距離的加長而增大，亦即動作距離越長，動作過程中會產生較大的速度，同時亦產生較大的誤差；而在動作距離相同，目標區寬度不同的情況下，其最大速度事後比較並無明顯差異存在，說明在相同動作距離，不同目標區寬度的情況下，個體不因目標區寬度不同而改變其最大速度的表現，其動作誤差範圍亦無顯著差異。

而 15 位實驗參加者在最大速度位置的表現中，經過相依樣本單因子變異數分析後發現，最大速度位置於去程與回程中均達顯著水準 ($p < .05$)，因此進行事後比較，結果顯示，當目標區寬度相同時，個體會隨著目標距離的增加而延後最大速度位置產生點，觀察工作 1、2、3、4 便可發現，其目標區寬度皆為 2 公分，距離分別為 4 公分、8 公分、16 公分、

32 公分，其最大速度位置產生點則隨著目標距離的加長而增加；工作 5、6、7 目標區寬度亦相同（ $W = 4$ 公分），其最大速度位置產生點亦隨著目標距離（8 公分、16 公分、32 公分）的變大而增加，而目標距離的設置後者均為前一者 2 倍，最大速度位置產生點亦發生大約為前一者 2 倍處。因此，本研究可說明，當目標區寬度相同時，其動作距離若增為原距離的 2 倍，其最大速度位置亦約略產生於原始距離最大速度位置 2 倍處，此外，難度相同之工作，若其中一目標區寬度與動作距離皆為另一者 2 倍時，亦發現其最大速度位置約略產生於另一者最大速度位置 2 倍處。

去程最大速度位置百分比與回程最大速度位置百分比經相依樣本單因子變異數分析後均無顯著差異（ $p > .05$ ），說明在 7 種工作任務中，個體不因目標區寬度和動作距離的不同而影響其最大速度位置產生點占全程距離的百分比。

Fitts 定律的產生源自於訊息處理的觀點，並解釋說明速度與準確性相互消長的關係，然而，個體動作的產生不僅需要靠外在環境所提供訊息，個體本身的身體機制亦必須有足夠的能力方能達到動作的要求，例如執行某動作技能時，個體必須能精確的控制其所需的力，而力量的控制往往亦影響著動作的表現。Schmidt 和 Lee（2005）提出，當力量增大時，動作的變異性亦隨之提高，因此，當動作要求須兼顧速度與準確度時，個體執行動作時的力控制亦是影響動作表現的重要因素。在本研究中，個體的最大速度位置產生點皆發生在全程距離的 65% 左右，隨後即進入減速階段，減速的目的則是為了修正動作以準確的到達目標區（Magill, 2007），此過程亦牽涉到力的控制，而這是訊息處理理論所

未提及的部分，衝量變異性理論(impulse-variability theory)則說明動作的變異是受肌肉持續收縮的時間與力量的影響(Schmidt & Lee, 2005), 亦說明肌肉的力量會影響個體控制動作的能力，進而影響其在動作速度、準確度的表現。因此，透過訊息處理理論以及衝量變異性理論探討速度與準確度相互消長的關係，可相互解釋其所不足之處。

本研究所發展的中心位置法除了在計算實際動作參數時更具合理性與邏輯性，亦可避免 Welford 法所產生的極值效應，Welford 法的計算方式雖然考慮了參加者的所有位置點，但此法會造成兩端的極值影響，造成結果可能偏離實際情形，本研究利用中心位置法可考慮到參加者約 95% 以上的動作位置，且參加者每次試作的數值皆可透過線性移動儀作精確的紀錄，改善了傳統點觸工作所無法提供精準數值的缺點，其結果亦能更合理的解釋參加者實際動作位置的表現。此外，本研究亦發現，若使用傳統的 Fitts 定律公式計算，其訊息處理量(IP 值)不合理的偏高，因其採用原始設定的工作條件進行結果的計算，忽略了參加者實際動作難度與距離，而造成不合理數值產生，而 Welford 法與本研究中心位置法之數值雖較為相近，但本研究中心位置法在結果的處理上更具合理性與邏輯性。

在運動學參數部分，工作所要求的動作距離越長，動作過程會產生較大的速度，而最大速度不因目標區寬度的不同而改變其最大速度的表現，其動作變異性亦無顯著差異，此發現則與 Bootsma、Fernandez 和 Mottet(2004) 研究結果有所不同，Bootsma、Fernandez 和 Mottet(2004) 指出，在瞄準動作中，瞄準的目標區較小時，所產生的速度峰值亦較小，

然而，這或許是參加者欲達到「快速」的工作要求，在實際試作時加大了目標區寬度，因此造成動作速度不因目標區寬度大小不同而有所差異的結果。此外，本研究亦發現，最大速度位置百分比皆發生在全程距離的 65% 左右，此說明了最大速度位置百分比不因距離與目標區寬度的不同而有所差異。

第五章 結論與建議

本研究主要探討在線性移動儀上反覆來回拖曳之動作是否 Fitts 定律的預測，並比較 Fitts 定律原始公式、Welford 法公式與中心位置法計算公式等三種方法在 Fitts 定律上的適用性。研究以 15 位在籍健康之大學生為實驗參加者，實驗操弄目標區寬度與兩側目標區的距離，探討其在動作時間的差異，並將所得資料分析其最大動作速度與標準差、最大動作速度位置以及最大動作速度位置占整體距離的百分比，再以相依樣本單因子變異數分析進行統計考驗，以下就研究結果發現提出結論與建議。

第一節 結論

由研究結果分析發現，透過單維直線運動的動作設計，本研究所採用的三種計算公式皆符合 Fitts 定律的預測。本研究透過線性移動儀的操作重新檢證了 Fitts 定律，且所發展的中心位置法在計算實際動作參數時亦更具合理性與邏輯性，此方法可避免 Welford 法所產生的極值效應，亦考慮到參加者約 95% 以上的動作位置，且參加者每次試作的數值皆可透過線性移動儀作精確的紀錄，改善了傳統點觸工作所無法提供精準數值的缺點。此外，在本研究中可發現，使用傳統的 Fitts 定律公式計算，其訊息處理量（IP 值）不合理的偏高，因其採用原始設定的工作條件進行結果的計算，而忽略了參

加者實際動作難度與距離，造成不合理數值產生，而 Welford 法與本研究中心位置法之數值雖較為相近，但本研究中心位置法在結果的處理上卻更具合理性與邏輯性。

在運動學參數部分，最大速度無論是在去程或回程的表現中，參加者皆會隨著動作距離的增加而增大其最大速度表現，即動作距離越長，動作過程中會產生較大的速度，而最大速度亦不因不同的目標區寬度而改變其最大速度的表現，其動作變異性亦無顯著差異，以上說明，速度會隨著動作距離有所改變，卻不受目標區大小所影響。最大速度位置百分比皆發生在全程距離的 65% 左右，此說明了最大速度位置百分比不因距離與目標區寬度的不同而有所差異。

本研究所發展之中心位置法不僅能合理的紀錄實際動作位置，亦成功的檢證 Fitts 定律，並且改善了以往計算方式的缺點，因此，本法可提供作為日後在 Fitts 定律相關研究上的重要資訊。

第二節 建議

本研究透過線性移動儀的操作檢證 Fitts 定律，使用線性移動儀不僅可降低動作在空間中的不確定性，亦將實驗參加者每次拖曳的數值詳細紀錄，其工作效率亦比傳統點觸工作要高，更避免了傳統點觸工作所可能遺漏的落點。此外，本研究的實驗結果亦符合 Fitts 定律的預測，因此，將來研究者若能多朝應用線性移動儀為手段，並透過本研究發展之公式計算其結果，則可更加詳細紀錄反覆瞄準動作的動作過程，亦更有利於解釋動作控制歷程所產生的變化。

引用文獻

中文部分

邱皓政 (2005)。 *量化研究法二：統計原理與分析技術*。臺北市：雙葉。

張春興 (1996)。 *教育心理學*。臺北市：東華。

Gleitman, H. (1991)。 *心理學* (洪蘭譯)。臺北市：遠流。(原著出版於 1997 年)。

外文部分

- Bootsma, J. R., Fernandez, L., & Mottet, D. (2004). Behind Fitts' law: Kinematic patterns in goal-directed movements. *International Journal of Human-Computer Studies*, 61, 811-821.
- Bourgeois, F., & Hay, L. (2003). Information processing and movement optimization during development: Kinematics of cyclical pointing in 5- to 11-year-old children. *Journal of Motor Behavior*, 35(2), 183-195.
- Card, S. K., English, W. K., & Burr, B. J. (1978). Evaluation of mouse rate-controlled isometric joystick, step keys, and text keys for text selection on a CRT. *Ergonomics*, 21, 601-613.
- Elliott, D., Heath, M., Binsted, G., Ricker K. L., Roy, E. A., & Chua, R. (1999). Goal-directed aiming : Correcting a force-specification error with the right and left hands. *Journal of Motor Behavior*, 31(4), 309-324.
- Fitts, P. M. (1954). The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology*, 47, 381-391.
- Gallahue, D. L., & Ozmun, J. C. (2006). *Understanding motor development: Infants, children, adolescents, adults* (6th ed.). New York: McGraw-Hill.

- Henry, F. M., & Rogers, D. E. (1960). Increased response latency for complicated movement and a “memory drum” theory of neuromotor reaction. *Research Quarterly*, *31*, 448-458.
- Magill, R. A. (2007). *Motor learning and control: Concept and applications* (8th ed.). New York: McGraw-Hill.
- Newell, K. M. (1986). Constraints on the development of coordination. In M. G. Wade & H. T. A. Whiting (Eds.), *Motor development in children: Aspects of coordination and control* (pp. 341-361). Amsterdam: Martius Nijhoff.
- Plamondon, R., & Alimi, A. M. (1997). Speed/accuracy trade-offs in target-directed movements. *Behavioral and Brain Sciences*, *20*, 279-349.
- Ricker, K. L., Elliott, D., Lyons, J., Gauldie, D., Chua, R., & Byblow, W. (1999). The utilization of visual information in the control of rapid sequential aiming movements. *Acta Psychologica*, *103*, 103-123.
- Schmidt, R. A., & Lee, T. D. (2005). *Motor control and learning: A behavioral emphasis* (4th ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Schmidt, R. A., & Wrisberg, C. A. (2008). *Motor learning and performance: A situation-based learning approach* (4th ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Schmidt, R. A., Zelaznik, H., Hawkins, B., Frank, J. S., & Quinn, J. T. Jr. (1979). Motor-output variability: A theory for the accuracy of rapid motor acts.

- Psychological Review*, 86, 415-451.
- Sears, A., & Shneiderman, B. (1990). High precision touchscreens: Design strategies and comparisons with a mouse. *International Journal of Man Machine Studies*, 34, 593-613.
- Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal*, 27, 623-656.
- Sherwood, D. E., & Schmidt, R. A. (1980). The relationship between force and force variability in minimal and near-maximal static and dynamic contractions. *Journal of Motor Behavior*, 12, 75-89.
- Smyrnis, N., Evdokimidis, I., Constantinidis, T. S., & Kastrinakis, G. (2000). Speed-accuracy trade-off in the performance of pointing movements in different directions in two-dimensional space. *Experimental Brain Research*, 134, 21-31.
- Sugden, D. A. (1980). Movement speed in children. *Journal of Motor Behavior*, 12, 125-132.
- Welford, A. T., Norris, A. H. & Shock, N. W. (1969). Speed and accuracy of movement and their changes with age. *Acta Psychologica*, 30, 3-15.
- Whisenand, T. G., & Emurian, H. H. (1999). Analysis of cursor movements with a mouse. *Computers in Human Behavior*, 15, 85-103.
- Woodworth, R. S. (1899). The accuracy of voluntary

movement. *Psychological Review*, 3, 1-106.

Zaal, F. T. M., & Thelen, E. (2005). The developmental roots of the speed-accuracy trade-off. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 31(6), 1266-1273.

附錄一

實驗參加者須知及同意書

親愛的同學您好：

感謝您參與本研究，本研究的題目為「單維直線運動是否符合 Fitts 定律的預測」，目的是透過線性移動儀的拖曳動作，檢證其是否符合 Fitts 定律的預測。

實驗共分為 7 組拖曳動作，每組動作時間 20 秒，每完成 1 組動作休息 1 分鐘，總共歷時約 8 分鐘。

本研究之參加者之基本資料與實驗結果僅供學術研究參考，不用作其他用途。而在實驗過程中，若有任何不適，請告知研究者，您可隨時退出本研究。經過閱讀和了解上述事項並同意參與實驗者，請您填寫以下參加者基本資料：

實驗參加者：_____（簽名）

出生年月日：_____

聯絡電話：_____

研究者：陳郁婷 手機：0956-740706

指導教授：陳重佑 博士

單位：國立臺灣體育大學體育研究所