

國立臺灣師範大學科技與工程學院

科技應用與人力資源發展學系

碩士論文

Department of Technology Application and Human Resource Development

College of Technology and Engineering

National Taiwan Normal University

Master's Thesis

國中學生手線鋸操作風格的量測與建置之研究

A Study on the Measurement and Establishment of Junior

High School Students' Operational Styles in Coping Saw Use



鄭仲益

Chung-Yi Cheng

指導教授：蔡其瑞 博士

Advisor: Chi-Ruei Tsai, Ph.D.

中華民國 114 年 7 月

July 2025

國中學生手線鋸操作風格的量測與建置之研究

研究生：鄭仲益

指導教授：蔡其瑞

中文摘要

本研究旨在探討國中學生使用手線鋸進行密集板鋸切任務時的操作風格，並分析其與人格特質及操作歷程心理狀態之間的關聯性。研究招募 80 名國中學生，透過自行開發的智慧型手線鋸量測鋸切角度、速度等動作參數，並搭配五大人格量表與操作感受量表，進行資料蒐集。操作數據經 Z 分數標準化後，以階層式集群分析及 K-Means 分群分析辨識出三類操作風格：不穩定節奏型、快速穩定型、保守緩慢型三個動作態型。進一步以獨立樣本 t 檢定與皮爾森相關分析探討心理構面與行為表現之間的關聯性，結果顯示情境興趣與挫折容忍度與操作節奏穩定性有顯著相關，情境興趣高者表現出更穩定的節奏，而高挫折容忍者則展現較大節奏變動。研究成果有助於理解學生操作行為的多樣性，並為技術教學的個別化輔導及手工具設計提供實證依據。

關鍵詞：手線鋸、智慧型手線鋸、操作風格、人格特質

A Study on the Measurement and Establishment of Junior High School Students' Operational Styles in Coping Saw Use

Author: Chung-Yi Cheng

Adviser: Chi-Ruei Tsai

Abstract

This study aimed to investigate junior high school students' operational styles during MDF sawing tasks with a coping saw, and to analyze their relationships with personality traits and motivational factors. Eighty students were recruited, and their cutting angles and speeds were measured using a self-developed smart coping saw, along with the Big Five Inventory and an operational experience questionnaire. Standardized Z-scores were analyzed with hierarchical and K-Means clustering, identifying three operational styles: unstable rhythm, fast-stable, and conservative-slow types. Independent-samples t-tests and Pearson correlations revealed significant associations between psychological dimensions and sawing performance: higher situational interest was linked to more stable rhythms, while higher frustration tolerance was associated with greater rhythm variability. These findings enhance understanding of diverse student behaviors in tool use and provide empirical support for individualized technical instruction and ergonomic tool design.

Keywords: coping saw, smart coping saw, operational style, personality traits



目 錄

中文摘要	i
英文摘要	iii
目 錄	v
表 次	vii
圖 次	ix
第一章 緒論	1
第一節 研究背景	1
第二節 研究動機	2
第三節 研究目的	4
第四節 研究問題	4
第二章 文獻探討	5
第一節 工具賦能	6
第二節 風格分類方法與界定	13
第三節 工具操作風格分類界定因素	19
第三章 研究方法	27
第一節 研究架構與變項說明	27
第二節 研究流程	29
第三節 研究對象	33
第四節 研究工具	33
第五節 實驗程序	40
第六節 操作數據處理與核心特徵提取	41
第四章 研究結果	43
第一節 分群方法與一致性分析結果	43
第二節 心理構面與行為表現的統計檢驗	48

第三節 綜合討論.....	57
第五章 結論與建議.....	59
第一節 結論.....	59
第二節 研究限制.....	60
第三節 研究建議.....	62
參考文獻.....	67
一、中文部分.....	67
二、外文部分.....	67
附 錄.....	85
附錄一.....	86
附錄二.....	87
附錄三.....	89

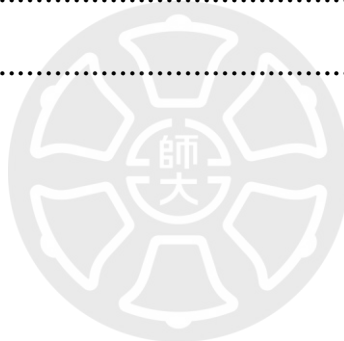


表 次

表 3-1 智慧型手線鋸系統.....	27
表 3-2 動作指標對照.....	27
表 3-3 裝置指標效度檢驗表.....	39
表 4-1 獨立樣本 t 檢定結果－五大人格部分.....	50
表 4-2 獨立樣本 t 檢定結果－操作歷程心理狀態部分	51
表 4-3 皮爾森積差相關分析結果－五大人格部分.....	53
表 4-4 皮爾森積差相關分析結果－操作歷程心理狀態部分.....	55





圖次

圖 2-1 手線鋸結構.....	10
圖 3-1 研究流程圖.....	29
圖 3-2 3D 列印量產握把.....	31
圖 3-3 手線鋸握把加工.....	31
圖 3-4 雷射切割量產木板.....	31
圖 3-5 智慧型手線鋸（原型）.....	34
圖 3-6 智慧型手線鋸（完成）.....	34
圖 3-7 智慧型手線鋸握把建模.....	35
圖 3-8 鋸切任務木板.....	35
圖 3-9 測量治具.....	38
圖 3-10 固定方位、角度.....	38
圖 4-1 階層集群樹狀圖.....	44
圖 4-2 K-Means 集群視覺化圖.....	45

第一章 緒論

第一節 研究背景

以 STEM 為學習議題，有幾個主要內容，包含科學學習、科技工具使用、工程精神實施、數據資料與邏輯思維的培養(Nadelson & Seifert, 2017)。隨著創客精神與創客教育思維的發展，古典與電腦輔助加工方法，以及科技工具的使用，也逐漸成為 STEM 課程的核心基礎之一(Quigley et al., 2020)。從 1962 年起，台灣中等學校的工藝課即以木工實作為核心。隨著教育改革，2019 年生活科技課程獨立成科技領域，並強調「做、用、想」的實作精神。根據教育部 2018 年的課程綱要，實作活動應佔據課程時數的二分之一至三分之二，顯示動手做的重要性歷久不衰。由於傳統加工方法中，手線鋸便宜易取得受傷風險低，學習門檻較低、所以常見於 K12 學習場域中。因此本研究將聚焦於傳統加工方法工具之使用，並探討學生在使用過程中的操作風格。

在臺灣中小學 STEM 課程中，常有機械、機構、動力的 STEM 專題製作之需求，常見的加工材料有：紙板、木料、回收品等，少數會使用金屬材料，而教室中常見的手工具有：美工刀、剪刀、手搖鑽、螺絲起子等，其中使用手線鋸鋸切木料或密集板，是在製作 STEM 專題中是常見的加工方式。合適的材料是影響教學成效的重要因素。木材因其易加工、成品品質佳等優點，能有效提升學生的學習動機與成就感。相較之下，瓦楞板等材料在結構強度與美觀度上較為不足，可能導致學生在製作過程中遇到困難，降低學習興趣(鄭宇帆等，2022)。由於手線鋸的特殊性，如何正確引導學生使用手線鋸進行不同角度、方向的鋸切，成為教學中重要的一環。在使用手線鋸時，常需掌握不同的鋸切角度，如直線鋸切、斜切，這些操作在製作過程中對作

品精度影響很大。因此，根據不同的材料與需求，選擇適當的角度進行鋸切至關重要，不同材料（如松木板、密集板等）對鋸切的反應各不相同，應根據材料的硬度與厚度、木材紋理方向，選擇合適進給速度，握力與施力方式通樣也會影響到切割品質，過強的力量可能會導致工具偏移或木材損壞，而過弱的力量則是會降低切割效率。相較於其他手工具，手線鋸的操作須兼顧到力度控制、鋸切速度、施力角度等因素（Nasir & Cool, 2020），因此本研究將手線鋸操作風格或操作動作模式作為本研究議題之一。

目前對於學生使用手線鋸的動作模式與影響因素的研究仍相對不足。傳統的教學方式往往是透過教師的口述與示範，來指導學生進行操作，但這種方式並不能精確地量化學生的動作，也難以客觀地評估學生的學習成效。因此，本研究旨在透過開發智慧量測工具，來量化學生使用手線鋸的動作模式，並分析這些動作模式與切割品質之間的關係。透過這樣的研究，我們可以更深入地了解學生在使用手線鋸時的困難與挑戰，並為教師提供更精準的教學建議，進而提升學生的實作能力。

第二節 研究動機

在工具使用的過程中，工具的物理設計和反饋會對使用者的認知和操作方式產生深遠影響。這就像駕駛汽車時，車輛的操控反映了駕駛者的身體動作、認知歷程與決策過程（Martinez et al., 2017）。工具的設計本身常帶有隱含的操作提示，這些提示引導使用者如何操作，形成了每個人獨特的操作風格（Brown & Maier, 2015）。例如，駕駛不同品牌或類型的車輛時，駕駛者會根據車輛的操控反饋調整自己的駕駛姿態和反應速度，這反映了個人對工具反饋的適應和認知推理。

手工具作為人類生產生活中不可或缺的工具，人類使用工具反映了每個人獨特的認知歷程，而工具也會對每個人產生賦能（affordances）（Osiurak

et al., 2017)，由於每個人的個性與認知特質各異，這些差異會表現在使用工具的風格與行為模式上。在學生使用手工具的過程中，個體差異會導致多樣化的操作風格（Osiurak & Heinke, 2018）。然而，現有研究對於這些風格的具體特徵以及它們對學習成效的影響尚未進行深入探討。透過分析並歸納這些操作風格，不僅能滿足學術上的探究需求，還能為教育、產品設計及職業安全等領域提供實質性的貢獻。例如，深入了解不同學生在使用手線鋸時的握姿、施力方式和動作軌跡，可以幫助我們找出潛在的危險操作，並針對其設計更符合人體工學的工具或制定更完善的安全操作規範，從而降低學生在使用手工具時的受傷風險。

身為教育研究者，了解學習者的起點行為是相當重要的（Zheng et al., 2022），這有助於教師掌握學生在特定學習情境中的基礎能力與個人特質（Martin et al., 2019）。在教育環境中，透過了解大多數學生的典型操作方式，可以根據學生個別的差異調整教學方法，幫助學生改進操作技巧並提升學習成效，也可以用於評估不同工具操作方式對安全性的影響，進而為制定安全操作規範提供依據（Christensen, 2024）。特別是在作業環境中，了解哪些操作風格可能會導致較高的風險，能有助於降低工傷事故的發生率。在工具的設計方面，設計者可以針對典型的使用模式進行工具優化，提高工具的適應性和效率，使其更符合使用者需求。透過分析不同操作風格之間的差異，研究者也可以更深入探討不同操作風格的個體差異，包括認知特徵、學習風格等，進一步了解不同風格對使用者效能的影響。

第三節 研究目的

為了更好地理解學生在手線鋸操作中的行為特徵，本研究旨在透過智慧手線鋸測量國中學生在鋸切木材時的各項數據，並對這些數據進行分類與分析，希望能夠系統性地揭示不同操作風格之間的差異，為改善教學方法和提升學習效果提供參考。並理解人與工具之間的互動機制，透過分析不同個體在使用手線鋸時的差異，可以為人機工程學、認知心理學等領域的研究提供新的視角，進一步完善相關理論模型。

以下為本研究目標：

- 一、開發一個可以量測鋸切動作參數的智慧型手線鋸。
- 二、驗證智慧型手線鋸之信效度。
- 三、將使用者手線鋸操作風格進行界定與分類。
- 四、探討使用者的操作行為與其人格特質及操作歷程心理構面之間的關聯性。

第四節 研究問題

依據前述之研究目的，本研究提出下列幾項待答問題：

- 一、使用者在使用手線鋸時可測量之參數為何？
- 二、上述操作參數可以使用哪些有信效度之感測器量測與保存？
- 三、所蒐集到之資料是否得以作為手工具操作風格歸類之依據？
- 四、上述動作資料是否與其人格特質及操作歷程心理資料具有顯著相關或差異？

第二章 文獻探討

在高度工具化的現代社會，人與工具的互動已成為生活與工作中不可或缺的一環 (Pereira et al., 2020)。工具操作不再僅是單純的動作，而是牽涉到使用者的心理、生理、以及環境等多重因素的複雜過程 (Laland & Seed, 2021)。工具賦能的概念正是在這樣的背景下應運而生，強調工具如何通過設計與互動，賦予使用者能力，提升工作效率，並帶來更佳的使用者體驗。然而，使用者在操作工具時，往往呈現出多樣化的風格。這些風格差異不僅反映了個人的認知特徵、經驗背景，也受到工具設計、任務需求等因素的影響 (Riding & Rayner, 2013)。深入去理解這些風格差異，不僅有助於我們揭示人機互動的機制，更能夠為工具設計、使用者培訓、以及人因工程等領域提供重要的理論基礎與實務指導。

本章節將聚焦於工具操作風格的分類與影響因素進行文獻回顧。首先，我們將回顧工具賦能的理論基礎，探討工具如何通過設計特徵影響使用者行為。其次，我們將介紹常見的風格分類方法，並提出更為精準的分類標準。最後，我們將深入分析影響工具操作風格的各種因素。

第一節 工具賦能

一、賦能

賦能 (affordances) 這個詞源自於生態心理學，由 Gibson (1977) 提出，中文又譯為示能性、可供性、賦能，它指的是環境中物體或情境所提供、能被個體感知並利用的行動可能性，作為一種賦予個體或群體能力的過程。賦能不是物體本身的屬性，而是個體與環境互動時所產生的一種關係。賦能在人與環境的互動中有著顯著影響，設計良好的賦能可以降低學習成本，提升使用者體驗 (Amri & Akrouf, 2020)，甚至能改變人們的行為。例如，將垃圾桶設計成開口朝上，能有效提高人們丟垃圾的意願。賦能不僅出現於靜態的物體，也包括動態的互動。當我們使用工具時，工具本身的設計也提供了特定的賦能 (Turpin et al., 2021)，引導我們進行特定的操作。例如剪刀的握柄和刀刃設計，暗示了我們如何握持和剪裁。更重要的是，工具的使用本身也會產生一種賦能的效果。當掌握了一項工具的使用方法後，我們的能力範圍就擴大了，可以完成更多複雜的任務 (Federico et al., 2021)。這種由工具所帶來的能力提升，正是賦能概念的延伸。儘管賦能的概念被廣泛使用，但對於新手研究者，甚至是專家來說，理解其不同的意義及背後的理論框架仍然非常困難 (Osiurak & Badets, 2016)。故在探討人類工具使用的認知基礎時，操作性方法 (manipulation-based approach) 與推理性方法 (reasoning-based approach) 提供了兩種不同的理論框架。操作性方法強調自動化的動作知識，認為人們主要依靠過去的感覺運動經驗與工具互動 (Borghini, 2004)，而推理性方法則聚焦於運用機械知識和推理來解決具體問題 (Osiurak, 2013)。

Osiurak (2016) 通過對這兩種方法的對比，檢驗了各自的假設與有效性，並識別了三個關鍵問題：參考框架問題、意圖問題和行動領域問題，這些問題在兩種方法之間存在差異。鑑於人們無法在不操縱工具的情況下使用工具，操作性方法的支持者認為，工具的使用可能受到對過去感覺運動經

驗（即工具賦能）的模擬的支持，工具使用主要依賴於對工具的直接操作和感知，使用者通過反覆的實踐來掌握如何有效地使用工具。例如，在日常生活中，當人們使用刀具切割食物時，他們的動作往往是基於過去的經驗和對手部動作的熟悉程度。

推理性方法的研究則表明機械知識在工具使用中的關鍵作用，更注重機械知識和抽象推理在工具使用中的角色。這一方法認為，工具使用不僅僅是基於感知運動知識，還涉及到對工具功能的理解和對物理原則的推理。使用者會形成一種心理模擬，預測使用工具時的效果，並根據這些預測來選擇和操作工具。例如，在選擇合適的工具來完成某項任務時，在工具使用過程中，使用者往往會根據工具的物理特性和預期效果進行推理，這一過程與經驗學習密切相關。經驗學習理論強調，人們在學習新技能或操作工具時，會通過具體經驗、反思觀察、抽象概念化、和主動實驗來形成對工具的理解。而不僅僅依賴於過去的操作經驗（Kolb, 2014）。兩者在工具使用中的區別主要體現在它們對於知識的理解和應用上。

由上述可知，當操作者透過學習、訓練、經驗累積等方式，獲得了更深入的工具知識、更熟練的操作技能，以及更強的問題解決能力時，他們的工作效率和品質便能得到顯著提升。過去研究也指出，未來可能需要發展一個綜合的框架，將兩種方法結合起來，以便更全面地理解工具使用的認知基礎及其工具賦能（Osiurak, 2016）。

二、工具賦能

賦能的概念在工具使用領域中具有核心地位（Osiurak et al., 2010；Thill et al., 2013）。Borghi（2003）、Borghi 和 Riggio（2008）及 Thill 等人（2013）提出了一個基於「功能性、穩定性可供性」的假設。他們與 Buxbaum（2001）觀點一致，強調可供性並非針對整個動作，而是與動作中的特定組成部分有關，例如握持方式或手腕方向等細節，而不是整個動作序列。

工具賦能強調物體的設計本身隱含某些操作暗示，能夠自然而然地引導使用者的動作 (Brown & Maier, 2015)。在手線鋸的使用中，鋸子的形狀、結構和功能性暗示著如何正確使用，例如進行向下切削或斜向角度的動作。當學生握住手線鋸時，其設計自然促使他們做出合適的鋸切動作，這些動作是基於工具的物理特徵和使用者的感知反饋。工具賦能認為工具能夠提升使用者的能力，使他們更有效地完成任務。在手線鋸操作中，學生的動作（如鋸切角度、切削速度、握力）受工具設計所引導，這些操作因素影響了學生的操作風格。工具設計不僅賦予了學生進行有效操作的能力，同時也提供了反饋機制，使學生能夠通過這些指示和操作反饋進行自我修正與學習，加上人類在工具使用方面的獨特性，特別是在社會學習、計劃能力和手眼協調等方面的進步，這些都可以被視為人類在工具使用上的風格的組成部分 (Osiurak & Reynaud, 2019)。因此，透過切削速度、角度和握力等數據，可以推斷學生的手線鋸操作風格。然而，傳統的手工測量方法往往受限於觀察者的主觀性和數據的準確性。智慧手工具的出現為這一問題提供了新的解決方案。例如，智慧手線鋸可以通過嵌入式感測器精確測量鋸切力道、速度和角度，並將數據實時傳輸到電腦或雲端平台。這些數據可以進行深入分析，揭示使用者在不同操作階段的行為特徵，如起鋸、鋸切、回程等。相比傳統方法，智慧手工具能夠提供更客觀、更全面的數據，為研究人員提供了更深入了解使用者與工具交互的機會。

三、手線鋸工具賦能

(一) 手線鋸構造與演變

鋸子的歷史源遠流長，從原始的石器工具到現代的金屬鋸，歷經了漫長的發展過程，而手線鋸的出現則標誌著鋸子在精細切割領域的專精。相較於早期的直線鋸，手線鋸的鋸條更窄、框架更輕巧，專為曲線切割和複雜工藝而設計。自 18 世紀起，工匠們不斷改良手線鋸，採

用高碳鋼等優質材料，提升鋸條的硬度與耐用性。到了 20 世紀，隨著工業化的進步，手線鋸的設計更趨完善，不僅能切割木材，更能應對木頭、塑膠、金屬等多種材料。

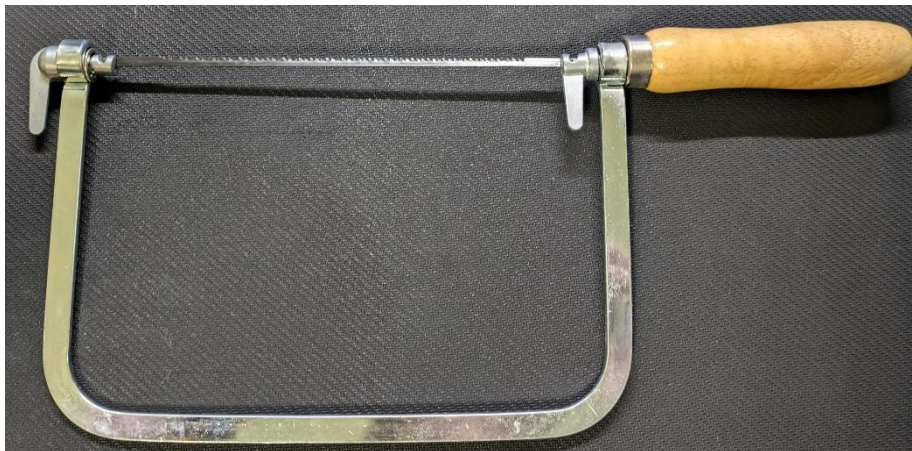
手線鋸的演變不僅限於材質上的提升，還包括構造的智能化 (Ravsanjani et al., 2023)。例如配備了可調節的鋸條張力控制系統，允許使用者根據不同的材料和操作需求調整鋸條的鬆緊度，使操作過程能更加精確，並且減少了鋸條斷裂的風險。此外，手線鋸的設計也逐漸融入了人體工學的考量。握把設計變得更符合使用者的手部形狀，並且在材料上使用防滑材料，以增強使用者的舒適性和控制力。這些改進不僅提升了工具的使用效率，也降低了長時間操作對使用者造成的身體負擔 (Wang & Cai, 2020)。

傳統手線鋸 (圖 2-1) 作為一種手工具，其構造相對簡單，主要由以下幾部分組成：

1. 鋸框：提供鋸條張力的支撐，並作為操作者施力的傳遞介面。
2. 鋸條：具備鋸齒，是進行切割的關鍵部件。鋸條的材質、齒距、齒形等因素會影響切割效果。
3. 手柄：操作者握持的部分，其形狀、材質對操作舒適性有直接影響。
4. 張力調整機構：用於調整鋸條的張力，以確保切割時的穩定性。

圖 2-1

手線鋸結構



在手線鋸的操作過程中，操作員需要根據材料的特性選擇適當的鋸條，並調整切割的角度和力量，以達到理想的加工效果 (Wu, 2015)。鋸切動作看似簡單，但實際上涉及多種動作和力量的精細調整，這使得手線鋸成為理解工具操作風格的理想模型。這種精細調整的過程，也反映了操作員在應對工具特性時的反應。同時，在手線鋸的設計中，工具賦能會直接影響使用者的操作方式，工具的外型、握柄的舒適性、重量分佈等設計細節會自然引導使用者的手部姿勢和抓持方式 (Dianat et al., 2014)。例如，手柄較粗或較細的設計會導致使用者需要不同的握力來操作，進而影響其操作，也代表它反映了使用者在操作過程中的力量施加和控制習慣。

(二) 鋸切因素

影響木材加工鋸切過程的主要因素可分為三大類：工件因素、進給因素和工具因素 (Nasir & Cool, 2018)。這些因素包括木材的特性，如樹種、含水率和物理特性等，對鋸切過程有重大影響。例如，相較於較軟的木材，較硬的木材種類可能需要不同的切削速度，木材的含水率會影響工具磨損和表面品質。曾經有研究透過量化研究得知木材鋸

切過程中進給速度和每齒進給量，對切削功率、表面粗糙度、生產效率以及表面品質至關重要 (Chuchala et al., 2020)。雖然提高進給速度可以提高生產率，但可能會對切削功率、表面品質和工具狀況產生負面影響，切削深度和切削方向在鋸切過程中也起著重要作用 (Hlásková et al., 2019)。

(三) 工具因素

在工具的方面，鋸子特性如齒數、切削速度、前角和鋸片鋒利度會影響到切削性能。較多的鋸齒通常可以改善表面品質，而切削速度必須保持平衡以避免過度磨損工具，故使用合適的切削速度才能降低工具耗損度及保持工件表面的品質 (Nasir & Cool, 2020)。有研究也提到，非斜面齒 (直齒) 在沿著木紋切削時表現出高效的切削能力，類似於鑿削的動作 (Naylor, 2014)。而斜面齒則適合於橫向切削，能夠以刀切的方式有效地切斷木纖維。這表示最佳的鋸切方式取決於所需的切削方向和齒型的選擇。對於沿著木紋的切削，使用非斜面齒是最佳選擇；而對於橫向切削，則應選擇斜面齒以獲得更好的切削效果。因此，根據切削的需求選擇合適的鋸齒設計是提高切削效率的關鍵。

(四) 智慧手工具

智慧手工具是一種透過整合先進科技，以增強原有手持工具功能的設備。它不僅僅是一個獨立的工具，更可能是更大系統的一部分，透過計算、追蹤、擴增實境等技術，將傳統手動操作轉化為更智能、更精準的數位化作業 (Zoran et al., 2014)。隨著科技進步，這些工具通過嵌入感測器和通訊技術，能夠實時記錄操作數據，如力矩、角度、速度等，並提供即時反饋。例如，藍芽扭力計 (Torque Screwdriver STC2-G-BT) 能夠測量並記錄每次旋轉的扭矩值，幫助操作者精準控制施力範圍；數位扭力扳手 (WD-Q100-2-BT) 能夠精準測量並記錄每次施加的

扭矩值，透過藍牙無線傳輸將數據傳送到智慧裝置上。機械式跳脫結構在達到設定扭力值時會發出清晰的警示聲，確保操作的精準度。此外將扭力數字化顯示功能讓使用者能輕鬆設定所需的扭力值，並即時監控施力狀況。透過自訂軟體，使用者可以更深入地分析使用數據，實現在生產流程的優化。以上兩款智慧手工具透過記錄使用過程中的力量和角度，以提升操作精度和安全性。智慧手工具的發展不僅提升了手工具的使用效率，還能幫助操作者優化其使用行為，避免過度使用力量或角度不正確的操作。智慧手工具的這些特性，使得其應用不僅局限於工業製造，還廣泛應用於教育和訓練環境中，成為新一代手工具操作訓練的重要資源。

(五) 小結：智慧手線鋸的設計概念

因此，智慧手線鋸的設計概念超越了傳統手線鋸的靜態暗示，將操作的賦能擴展到新的層次。透過嵌入各種感測器，能夠動態的收集使用者操作的數據，如施力大小、方向、速度、以及工具的運動軌跡等。這些數據不僅能反映使用者當下的操作行為，更能揭示使用者在操作過程中的習慣、偏好、以及潛在的問題，從而做出實時調整 (Zhou et al., 2023)，這樣的反饋機制賦予了操作者更多的能力和信心。而本研究將應用感測器發展出智慧型手線鋸，以記錄使用者的操作動作。

綜上所述，智慧手線鋸作為一種新型的工具，其內建的感測器和數據分析功能，為研究手線鋸操作風格提供了更精確、更客觀的手段。透過對智慧手線鋸使用數據的分析，我們可以更深入地了解工具如何影響使用者，並在未來進一步去優化工具的設計，以達到更方便的使用及收集各項數據。

第二節 風格分類方法與界定

一、風格的定義

風格作為一項跨學科概念，在各個領域中皆扮演著被當成學習者的背景變項，例如在教育學中，學習風格常被用來解釋學生的學習方式差異（Ariastuti & Wahyudin, 2022）；在心理學中，性格特徵與行為表現之間的關係也是風格研究的重點（Rahbi et al., 2017）。早期的風格研究大多集中於心理學領域，主要探討個體的性格特徵和行為表現之間的關係，例如不同性格類型的人如何在面對挑戰時表現出特定的行為模式（Costa et.al., 2019），Allport（1937）也強調風格是個體在面對環境刺激時反應的一致性表現。此後，風格概念進一步被應用於認知、學習和行為研究中，探索其如何影響個體的決策和操作（Kagan, 1965）。過去研究常以個體行為模式的角度來預測學習風格，認為風格的形成受到個體內在特質與外在環境的共同塑造（Fatahi et.al., 2018）。這種行為模式通常受到個體的性格、情境以及文化背景等多重因素影響。風格的形成被視為一種長期的過程，通過不同經驗的累積、環境適應和內在認知方式的調節而逐步固化。

從認知科學的角度，風格不僅僅是行為的外在表現，還包括深層次的思維模式和決策方式（Yee et al., 2015）。透過理解風格的形成過程，我們可以更好地預測和分析個體的反應及其行為結果。因此，風格作為個體內在特質和外部表現的綜合體，成為研究行為差異的重要切入點。

二、操作風格

操作風格（operational style）是指個體在具體任務中的操作偏好與行為模式。研究表明，不同個體在執行同一項任務時，會因為個性、技能水平和經驗的不同，表現出各自獨特的操作風格（Riding & Rayner, 2013）。例如，在手工工具的操作中，操作者的動作流暢性、力量控制及操作的精確性，都是反映其操作風格的重要因素（Osiurak & Heinke, 2018）。

操作風格的研究廣泛應用於工業設計與職業安全領域。Van Nunen 等人 (2018) 強調了不同操作風格對生產力及安全性的影響，並提出可以透過觀察操作者的行為模式來預測操作風險。此後越來越多的研究利用技術手段如數據分析與機器學習來分析操作風格，從而為個別化訓練和工具設計提供參考依據 (Kramer & Drews, 2017)。

近年來，工具操作風格的研究不僅限於工業環境，也逐漸擴展至教育領域。透過了解學生在操作過程中的風格特徵，教師可以根據學生的需求制定針對性的教學計畫，從而提升學習效果 (Zohar & Tenne-Gazit, 2008)。此外，研究還指出，操作風格與認知風格密切相關，這意味著不同的操作風格可能反映了個體在處理任務時的思維方式和決策策略 (Riding & Rayner, 2013)。

在工程教育或工具操作領域中，風格通常指的是個體在執行特定任務時所採取的習慣性方式或偏好。這可以涉及解決問題的策略、決策的模式、操作工具的方法，甚至是與其他人協作的方式 (Aggarwal et al., 2023)。在工程教育的環境中，不同的風格也可能會影響效率、精確性以及人與工具、環境的互動。故在界定使用工具風格的定義時，和駕駛風格 (driving style) 相關聯，經常用來描述個人在工作中如何處理信息和完成任務。有些人可能偏好使用詳細的邏輯推理來解決問題，而另一些人則可能依賴經驗和直覺來進行操作 (Aggarwal et al., 2023)，具有分析性風格的人可能會在使用工具時更加注重計劃和步驟的邏輯性，而具有直覺性風格的人則可能依賴經驗和直覺來操作工具，並快速做出決策。駕駛行為亦然，與手線鋸操作皆涉及人機互動，都是人與工具之間的互動，涉及到操作者的身體動作、認知過程和決策，且均受到使用者個人特質、環境因素等影響。

三、工具操作風格：以駕駛風格為例

以工具操作風格來說，駕駛風格提供了一個有力的參考框架，因為兩者都涉及到操作中個人的決策、習慣和行為表現的差異。無論是駕駛車輛還是

操作工具，個人的風格、態度、情緒與思維方式都會對操作效果產生影響（Martinelli et al., 2018；Reynaud et al., 2016）。透過參考駕駛風格理論，我們能更系統地分析工具操作風格中的關鍵因素，如舒適度、自我效能感和挫折容忍度，這些因素與駕駛情境中的變項具有相似性，為我們在工具操作風格建置上提供了理論基礎與實質驗證。

（一）駕駛風格理論

駕駛風格被認為受到兩大類因素的影響：人為因素和環境因素。這表示駕駛員可以根據所處的環境條件調整其駕駛方式。然而，駕駛風格是一個沒有統一明確定義的概念（Martinez et al., 2017）。有些研究將其與駕駛員的態度、情緒或駕駛時的思維方式等主觀因素聯繫起來（Steinbakk et al., 2019），而另一些則傾向於給出更具實際性的描述，將駕駛風格局限於駕駛員操控車輛的方式（Elassad et al., 2020）。因此如果以工具賦能的角度來看，駕駛過程中的油門、方向盤等工具操作可以類比為手線鋸使用時的控制力與精確度。例如，駕駛員在不同的路況和速度下，會調整油門的力度和方向盤的角度，這與工具使用者在不同材料或工作環境下，調整工具施力或操作方式相似。

（二）駕駛風格測量

目前，已有許多研究致力於識別人類駕駛員的駕駛風格。Wang 等人（2017）將駕駛風格分為攻擊型和正常型兩種，並使用支持向量機（Support Vector Machine, SVM）方法來標記駕駛員。SVM 方法透過在駕駛過程中收集駕駛者的操作數據，例如加速時的油門深度、剎車的頻率與強度、方向盤轉動的幅度和頻率等，再將這些數據轉換成數字化的特徵（例如每秒變化量、平均值、變異度等）。接著，利用 SVM 演算法從這些特徵中找出攻擊型與正常型駕駛間最明顯的差異，透過建立一條分界線，將兩種駕駛行為清楚地區分開來。SVM 會嘗試讓這條

分界線與兩種行為之間的距離盡可能大，以提升分類的準確度。若新駕駛數據落在某一邊，就會被歸類為該種駕駛風格。Wang 和 Xi (2016) 結合了 K-Means 聚類和 SVM 將駕駛員分為攻擊型和適度型兩類。而 Ren 等人 (2019) 在變換道路模型中則將駕駛風格劃分為謹慎型、穩定型和激進型三種。在心理學領域，也進行了研究將駕駛員分為不同的類型。Wang 等人 (2018) 確定了四種駕駛風格：冒險、憤怒、小心和焦慮。這種方法將人格特質和社會人口統計變量與駕駛風格辨識相結合，使用量化方法並納入這些不同的變量。

有幾種不同的方法來識別駕駛風格，可以分為自我報告工具和行為記錄。駕駛技能通常被認為是駕駛者意識和控制之外的東西，因此可以用自我報告工具合理地有效地界定它。自我報告可以包括幾種不同的方法，例如問卷、訪談和焦點小組。Tement 等人 (2022) 使用問卷對受訪者進行一系列結構化的問題，這些問題通常會測量幾個常見的不同構面（例如超速）。受訪者的回答會經過適當的評分和分析，最終結果應該能夠反映其實際情況。換句話說，假設他們在問卷中的回答能夠反映出其真實的駕駛行為。行為紀錄則包括對數據來源的多樣化應用，包含駕駛模擬器、實車數據以及生理或情感反應（如心率和壓力水平）的測量。根據過去研究，使用車輛的即時數據，如加速、剎車、變道頻率等，結合駕駛者的心理特質，可以提高駕駛風格識別的準確性 (Grimberg et al., 2020)。對於這些數據的分析，深度學習和決策樹等新興技術也開始嶄露頭角，並顯示具有高度信效度的識別能力。

(三) 駕駛風格量表

駕駛風格和其他與駕駛相關風格的構建（尤其是駕駛行為）之間存在許多不同的理論和評估方法重疊，駕駛風格文獻中最合適且最普遍的兩個問卷是駕駛風格問卷 (Driving Style Questionnaire, DSQ)

(Thygesen et al., 2008) 和多維駕駛風格庫 (Multidimensional Driving Style Inventory, MDSI) (Taubman et al., 2004)。Taubman 等人 (2004) 發展了一個自我報告量表，用於評估駕駛風格的四大領域—多維度駕駛風格清單 (MDSI)，以六點同意量表評分，因素分析顯示了八個主要因素，每個因素代表一種特定的駕駛風格-解離、焦慮、危險、憤怒、高速、減壓、耐心和謹慎。這八個因素一方面與性別、年齡、駕駛史和自尊、控制需求、衝動感覺尋求和外向性等人格指標之間有顯著關聯。其中危險、高速、憤怒和解離風格被視為適應不良，而其餘四種反映了適當、控制良好的駕駛方式。在 Taubman 的研究中，進一步發現八種駕駛風格因素也與特質焦慮和神經質的測量之間存在關聯，具高特質焦慮的駕駛者會傾向於展示更多攻擊性或焦慮型的駕駛行為。神經質駕駛者則表現為情緒不穩定，對壓力敏感，這使得此類駕駛者更容易表現出負面的駕駛行為，如更頻繁的冒險駕駛或不耐煩的反應。

以下為 MDSI 駕駛風格列表如下：

1. 解離駕駛風格：駕駛時容易分心，可能表現出認知差距或注意力不集中。
2. 焦慮駕駛風格：駕駛時感到緊張或焦慮，表現出壓力和不安的跡象。
3. 危險駕駛風格：喜歡尋求刺激和風險，享受危險駕駛的快感。
4. 憤怒駕駛風格：對其他駕駛者表現出敵意和攻擊性，易於激怒。
5. 高速駕駛風格：傾向於快速駕駛，常感受到時間壓力。
6. 減壓駕駛風格：通過放鬆活動來減輕駕駛時的壓力，例如使用放鬆技巧。
7. 耐心駕駛風格：在駕駛中對其他駕駛者有禮貌，表現出耐心。
8. 謹慎駕駛風格：謹慎小心，駕駛時注重安全和穩定。

(四) 行為記錄

行為記錄是比自我報告更早出現用於測量駕駛風格的方法，最早的研究可以追溯到 1920 年代 (Dodge, 1923)，在最近的文獻中往往僅依賴問卷。行為記錄這個廣義的類別包括幾種不同的具體技術，如車內觀察員觀察、定點交通觀察、模擬器研究、可控式現場裝備儀器的研究以及自然駕駛觀察 (Sagberg et al., 2015)，這些技術可以分為自然觀察法和駕駛模擬器研究。

自然觀察法是在行為自然發生的環境中進行，當研究駕駛風格時，自然環境通常指的是道路。最常見的自然觀察方式包括一名研究人員，詳細觀察並記錄在道路上所看到的駕駛行為，紀錄方式有當下即時記錄以及事後錄影回放 (Eby, 2011)，隨著技術進步，近來的駕駛行為觀察方法也開始利用智慧手機數據來偵測 (Liu et al., 2023)。

另一個關鍵的駕駛風格數據來源是駕駛模擬器。這項技術在交通和道路安全研究中越來越常見，並廣泛應用於駕駛風格研究。駕駛模擬器的設計和功能各有不同，但通常至少包括一個顯示駕駛場景的螢幕、操縱裝置 (從簡單的操縱桿到與真實汽車相似的方向盤、踏板和排檔桿等)、音響系統和儀錶板。模擬器常用的駕駛表現指標包括反應時間、車道偏移、方向盤角度和橫向加速度 (Calvi et al., 2020)，並且經常用來評估駕駛員的心理能力，如處理速度、認知負荷、空間注意力 (Haghzare et al., 2021)，以及不同分心因素的影響。

(五) 小結

個體在使用工具時，不同的操作風格決定個人是否以謹慎或實驗性的方式使用工具，反映了個體在處理工具相關任務時的心理過程 (Chu et al., 2023)。駕駛風格的研究可作為理解手線鋸操作風格的參考依據。駕駛汽車和使用手線鋸的互動都涉及操作者的身體動作、認

知過程和決策。駕駛者必須根據道路環境、車輛的反饋及自身判斷做出調整，這類過程與工具操作時根據木材的反應和鋸子的反饋來調整操作方式相似。在界定手線鋸操作風格時，我們可以參考駕駛風格量表和行為紀錄所提出的框架。手線鋸操作風格可以像駕駛風格一樣，體現操作工具時的態度，如操作中的耐心、專注，或是風險偏好等。同時，操作風格也可能會受到當下情境中的情緒、疲勞、壓力等狀態的影響。例如操作手線鋸時，學生的情緒焦慮程度可能影響他們的決策，類似於駕駛行為中的壓力管理風格。

另一個重要的考量是行為紀錄，駕駛行為的自然觀察法提供了操作風格研究中的行為評估方法的參考。將使用載有感測器的智慧手線鋸去記錄學生的操作數據，如施力大小、動作速度、切削角度，從而分析他們的操作風格是否與量表測得的特徵一致。這種方法還能提供即時的操作數據，例如操作者在面臨困難時的反應方式、切割的精度和操作的速度等。以下章節將對量表以及行為紀錄進行詳細探討。

第三節 工具操作風格分類界定因素

工具的使用是人類的決定性特徵，人類的工具使用的過程不僅涉及物理操作，還深深根植於文化、社會結構和認知能力之中 (Caliskan et al., 2012)。人類的高級認知能力使我們能夠進行計劃、預測和創新，這些都是工具使用的關鍵要素。人類能夠去思考未來的需求，設計出能夠解決特定問題的工具，並在使用過程中進行反思和改進，形成獨特的操作風格。

以工具操作風格來說，駕駛風格提供了一個適當的理論參考框架，因為兩者都涉及在操作過程中個人的決策、習慣與行為表現上的差異。而駕駛風格研究中也常使用五大人格構面作為關鍵變項，證實人格特質與駕駛風格

之間存在密切關聯，例如神經質高者更容易展現冒險或焦慮風格，而嚴謹性高者則傾向展現謹慎的風格 (Liao et al., 2022; Wang et al., 2018)。無論是在駕駛還是工具操作中，個體的態度（如心流、興趣與自我效能）與情緒（如挫折容忍度、失敗恐懼）等主觀因素都會直接影響操作的結果 (Martinelli et al., 2018; Reynaud et al., 2016; Steinbakk et al., 2019; Tozman et al., 2015)。本研究統稱上述五項心理構面為「操作歷程心理狀態」，以作為理解與分析個體操作風格差異之心理基礎。

透過借鑒駕駛風格的相關理論，我們可以系統性地界定並分類工具操作風格的影響因素，特別是在探討態度、情緒等關鍵因素時，這些因素的交互作用對於深入理解工具操作風格的形成具有重要意義。以下就上述因素說明如下：

一、五大人格構面

五大人格 (Big Five personality traits) 理論認為人格可歸納為外向性 (Extraversion)、友善性 (Agreeableness)、嚴謹性 (Conscientiousness)、神經質 (Neuroticism)、開放性 (Openness) 五個面向 (McCrae & Costa, 2008)。外向性反映個體的社交活躍程度與主動性；友善性描述同理心、合作意願與對他人友好程度；嚴謹性與責任感、自律與持續性任務表現有關；神經質指涉情緒穩定性，分數高者容易焦慮、緊張；開放性代表對新事物的接受度與創造力。

研究發現，高神經質與低嚴謹性人格與急躁、冒險的危險風格有關，而高嚴謹性與高友善性則是與穩定、謹慎的駕駛風格正相關 (Liao et al., 2022; Wang et al., 2018)。這些結果顯示人格會影響個體面對操作挑戰時的行為選擇與風格表現，例如神經質高者可能操作急促多變，而嚴謹性高者則展現穩健一致。然而，操作風格往往因個體差異而呈現高度多樣化，因此納入人格

構面的探討能協助深入理解這些差異，並作為未來實作課程設計與因材施教的重要依據。

二、對工具使用的態度

(一) 理論

態度是一個人從經驗或隱性學習中產生的消極或積極的感覺，它可以調節人對事物、主題或其他人的反應 (Hammad, 2016)。常被視為個體如何看待、反應並應對特定任務的基礎。在工具使用方面，態度影響著人們如何接近工具操作的挑戰和需求在駕駛風格的研究中，態度（如 MDSI 量表中所見）被用來預測謹慎駕駛或超速等行為 (Ben-Ari & Skvirsky, 2016)。同樣地，工具操作風格可能取決於使用者對於工具的自信或因其複雜性而感到的畏懼。態度決定了個人如何應對涉及工具的任務。積極的態度可能與自信和有效的工具使用有關，而消極態度則可能導致避免或不當使用工具 (Bentum et al., 2021)。

(二) 興趣

興趣是驅動使用者持續投入工具操作的內在動力，有興趣的使用者往往會更主動地學習新的操作技巧，並在操作過程中享受其中的樂趣 (Renninger & Hidi, 2022)。研究表明，興趣不僅能提高使用者的操作練度，還能促進其創造性思維的發展 (Rohaeti et al., 2019)。根據 Hidi 和 Renninger (2006) 提出的「興趣發展理論」，興趣可分為兩種：個人興趣 (individual interest) 與情境興趣 (situational interest)。個人興趣是長期且穩定的，通常與個體的深層動機有關；而情境興趣則是短期的，通常由外在環境或情境的特定刺激所觸發。情境興趣能夠激發學習者在特定情境下的動機，促使他們更專注於當前的學習活動。當工具操作被設計得具有挑戰性和新穎性時，這種情境興趣會進一步提升操作的投入度。

研究表明，興趣的提升能夠顯著增強使用者的學習動機，並使其在操作中表現出更高的專注度與持續性 (Salmi et al., 2020)。在工具操作的情境下，情境興趣可以通過創造吸引人的學習環境來激發 (Hong et al., 2019)。例如，在手線鋸操作中，如果教師提供富有挑戰性的任務，如設計具有創意的木作品，學生會因這種新奇的情境而產生強烈的學習興趣。這種情境興趣的激發能夠提升學生的操作熟練度，並促進其創造性思維的發展 (Agoestanto & Masitoh, 2021)。

(三) 心流

心流與興趣之間的關係密切，過去研究表明興趣是促進心流體驗的重要因素 (Engeser et al., 2021)。心流是一種全神貫注於任務的狀態，伴隨著強烈的驅動力 and 低層次的自我參照思維。當一個人的技能與任務挑戰相符時，心流就有可能出現 (Van Der Linden et al., 2020)。在需要精密技術的工作如木工、雕刻或鋸切中，當操作者技能足夠應對操作的挑戰時，心流現象便容易發生 (Gustafsson, 2022)。這表明在操作風格的建置上可以考慮如何促進心流，以評估使用者的投入感和工作效率。此外，心流不僅影響工作表現，還可能提升工具使用者的滿足感，減少挫折感與疲憊感。

心流是一種令人滿足的經驗，但它與幸福感並非同步發生。根據 Csikszentmihalyi (1997) 的觀點，心流並非當下的幸福感受，而是在挑戰與技能高度匹配時出現的專注與沉浸狀態。例如，在使用工具的過程中，操作人員若分心去感受幸福感，可能會影響他們對操作的掌控，導致失誤。同樣，心流與高活化情緒 (如精力充沛的狀態) 更為相關，而不是當下的幸福感 (Rheinberg & Engeser, 2018; Schallberger & Pfister, 2001)。此外有研究更強調興趣與心流的密切聯繫，認為興趣驅動人們投入複雜的任務，並推動心流的產生 (Silvia, 2008)。Bricteux 等人 (2017)

的研究也支持了興趣是引發心流的關鍵因素。當操作工具時，興趣促使人們保持動力和專注，特別是在面對技術挑戰時，從而更容易進入心流狀態。在這種狀態下，操作過程會變得更加愉快且富有成就感，使操作者能在高效且流暢的工作中獲得心流體驗。其他與工具操作相關的心理因素（如自我效能感、興趣和舒適度）則可進一步影響心流的產生（Norsworthy et al., 2021）。

（四）自我效能

自我效能感，即使用者對自己操作工具能力的信心，對操作風格同樣有著直接的影響。根據 Bandura（1997）的社會認知理論，自我效能感高的使用者往往更積極主動，敢於嘗試新的操作方式，並在遇到困難時能堅持不懈。相較之下自我效能感低的使用者則可能過於謹慎，甚至迴避挑戰。在工具操作領域中，自我效能感也發揮著關鍵作用。高自我效能感的個體在面對複雜的操作過程中會展示出更強的持續力與靈活性，這樣的行為可以使他們在手工具操作中取得更高效的結果（Khine & Nielsen, 2022）。

具體到手線鋸操作中，自我效能感高的使用者會持續應用他們已知有效的操作方式，專注於優化現有技能，並尋求穩定的操作結果。他們可能不會頻繁變更鋸切角度和力度，而是通過穩定和專注來達到最佳效果。相較之下，自我效能感低的使用者往往過度依賴固定模式以避免犯錯，並在操作中表現出謹慎和焦慮，這限制了他們在操作中的靈活性與創新性（Schunk & DiBenedetto, 2020）。這樣的限制可能會導致操作中的效率較低，且難以應對更複雜或變化的工作環境。

三、使用工具時的情緒反應

(一) 理論

駕駛中的情緒（如：憤怒、焦慮和追求刺激）已被證實能預測攻擊性或冒險駕駛風格（Wang et al., 2018）。研究顯示，這些情緒變化會直接影響駕駛者的行為和決策，例如，憤怒往往會促使駕駛者進行更具風險的操作，而焦慮可能使人過於謹慎或反應遲緩（Dahlen & White, 2006；Luo et al., 2023）。類似的現象也發生在工具使用上。情緒同樣會影響個人是以謹慎、魯莽還是耐心的方式進行任務。當面臨挫折或恐懼時，使用者可能會更傾向於採取保守的操作方式，以避免錯誤。然而，興奮或滿足感則會促使使用者在操作中嘗試新的技巧和方法，甚至可能鼓勵創新性的應用。因此，了解和管理情緒反應在工具操作中的角色，對於提高操作的準確性和安全性至關重要。

(二) 挫折容忍度

挫折容忍度是指個體在面對操作失敗、困難或不順利情況時所能承受和應對的能力。根據心理學研究，擁有高挫折容忍度的個體通常能夠在挑戰面前保持冷靜，繼續嘗試並改善自己的操作（Shi et al., 2021）。在工具使用的背景下，這種能力尤其重要，因為操作手線鋸等工具時，可能經常遇到技術上的困難或意外問題。

挫折容忍度與問題解決能力、自我效能感以及學習效果之間有著緊密的關聯（Wilde, 2012）。高挫折容忍度的個體往往能以更積極的心態面對困難，並尋求有效的解決方案，在操作中表現出耐心和毅力。而低挫折容忍度的使用者則可能因為短暫的失敗感到焦慮或急躁，從而放棄進一步的嘗試（Nigg, 2016；Wang et al., 2023）。這樣的情緒反應不僅會影響工具操作的精確性，還可能降低使用者的學習動機和成效。

在工具操作中，挫折容忍度高的使用者通常表現出穩定且耐心的操作風格。他們能夠多次嘗試，以達到理想的操作結果，並在不斷的操作中提升技術水平（Canning et al., 2019）。相反，挫折容忍度低的使用者可能更傾向於尋求簡單的操作方式，避免面臨技術挑戰，這使他們的操作風格更加保守且缺乏靈活性。

(三) 失敗恐懼

失敗恐懼是一種心理狀態，通常與對失敗可能帶來的後果過度擔憂有關（Stroe et al., 2019）。這種恐懼可能會限制個體在各種情境中的表現（Butera et al., 2023），特別是在需要技術和精確度的操作任務中，例如使用工具的過程中。根據過去研究，失敗恐懼不僅會影響個體的操作風格，還可能改變他們的學習行為、嘗試新方法的意願，甚至會削弱他們的自信心和問題解決能力（Martin & Dowson, 2009）。

在工具操作情境中，失敗恐懼可能會抑制使用者嘗試新方法或進行創新操作，從而影響其操作風格（Henry et al., 2021）。高失敗恐懼的使用者可能會更謹慎地執行操作，選擇保守的策略，以避免失敗。然而，這樣的操作風格雖然穩定，但可能缺乏靈活性和創造性。相反，失敗恐懼低的使用者更傾向於冒險和嘗試不同的操作方式，從而形成更靈活和創造性的風格。

其次，失敗恐懼還會導致操作者對工具的使用方式更加保守和謹慎，表現出過度的小心翼翼，甚至影響操作效率。在這種情況下，操作失誤或出現的問題可能會引發更強的焦慮感，進一步強化了對失敗的恐懼（Camacho-Morles et al., 2021）。這種負面的情緒反應不僅降低了操作者的學習成效，還可能抑制其動手能力和創造力的發揮。研究也表明，自我效能感與失敗恐懼之間存在顯著的負相關（Lin et al., 2017）。自我效能感低的個體更容易對操作失敗產生強烈的焦慮，從而不敢冒

險或嘗試新的操作方式。相反，自我效能感高的個體則會更勇於面對困難，並持續改進自己的技能和操作方式，從而減少對失敗的恐懼。



第三章 研究方法

第一節 研究架構與變項說明

本研究旨在探討國中生使用智慧型手線鋸進行鋸切任務時的操作行為特徵，與其人格特質與操作歷程心理狀態之間的關聯性。研究設計整合了物理行為感測與心理量表評量，屬於準實驗設計。研究中包含三大主要變項：

一、操作行為變項

透過智慧型手線鋸系統自動記錄三軸感測數據（翻滾角度 Roll、鋸切角度 Angle、動作速度 Speed），如表 3-1、3-2 所示，每 0.1 秒記錄一次，並擷取其中位數與標準差作為四項核心行為指標。握力數據因信效度不足，未納入分析。

表 3-1

智慧型手線鋸系統

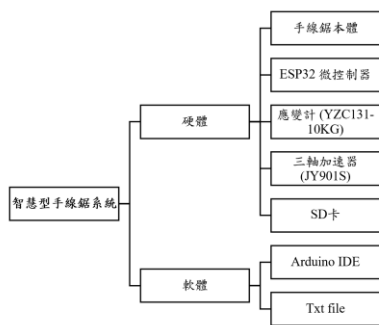
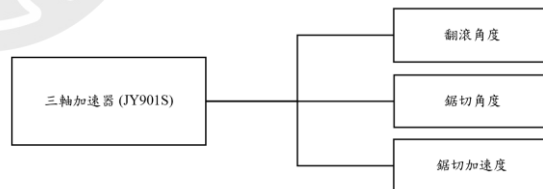


表 3-2

動作指標對照表



二、心理量測變項

1. 人格特質變項

使用 Big Five Inventory-15 量表評估五大人格特質，包括外向性、友善性、嚴謹性、神經質與開放性，每項以三題平均分數代表。

2. 操作歷程心理狀態

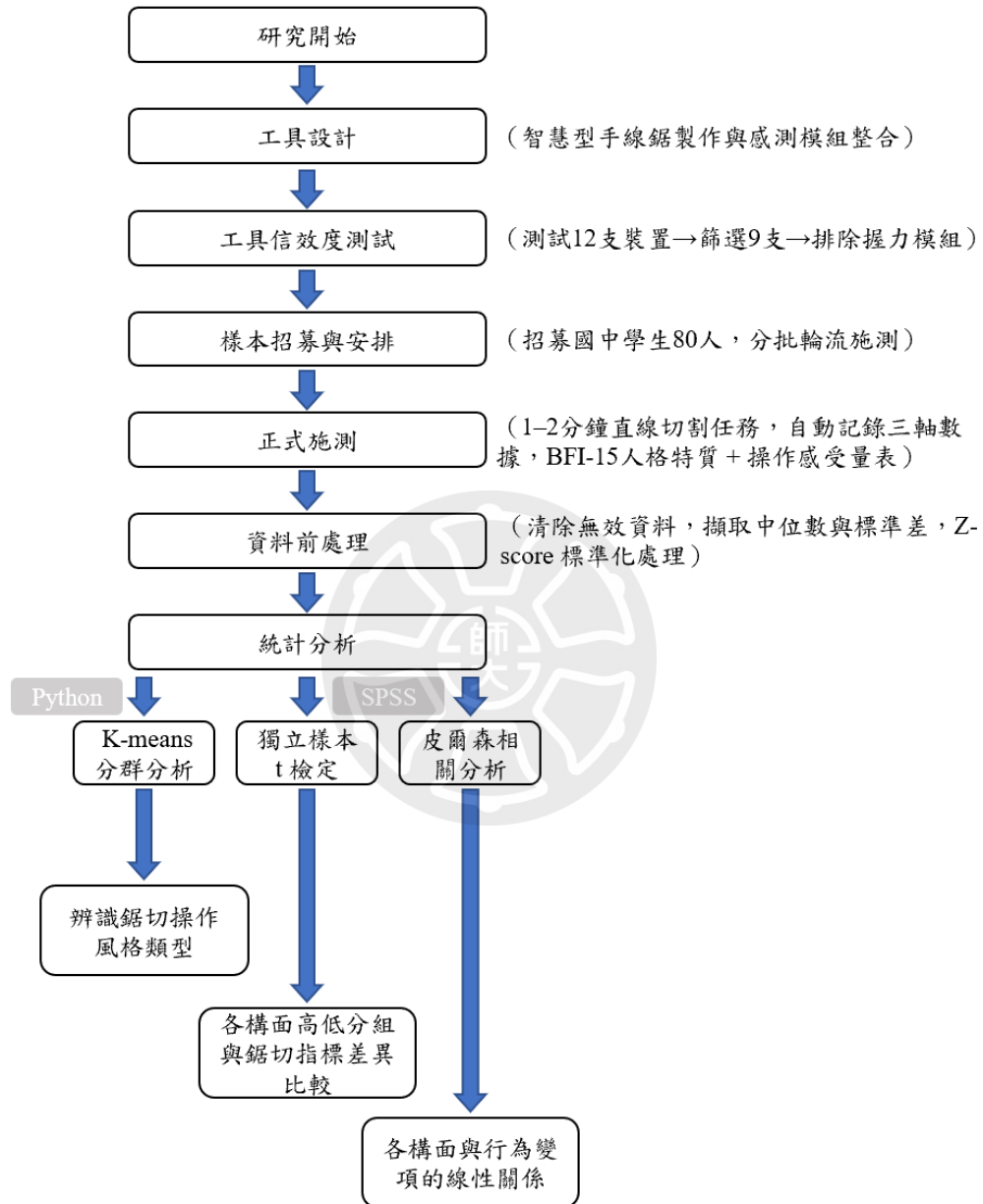
操作後填寫操作感受量表，測量五個構面：心流、情境興趣、自我效能、挫折容忍與失敗恐懼。各構面以五點量表計分，分別取平均值。



第二節 研究流程

圖 3-1

研究流程圖



本研究流程可區分為六個階段，依序為工具設計、工具信效度測試、樣本招募與安排、正式施測、資料前處理與統計分析，說明如下：

一、工具設計

本研究所使用之「智慧型手線鋸」為自行設計並整合感測元件的研究用工具，開發流程如下：

(一) 構想與需求確認：

根據研究目的，需能連續記錄學生在鋸切過程中的操作動態特徵，包含角度變化、運動速度與穩定度等。考量裝置穩定性與教學場域安全性，選擇將感測模組嵌入現有 165mm 市售手線鋸握把中。

(二) 模組選擇與整合：

感測核心採用 JY901S 三軸加速度與角速度模組（含九軸 IMU），可即時輸出角度、翻滾與加速度資料。控制單元使用 ESP32 微控制器，搭配 SD 卡模組進行資料儲存，並經由 Arduino IDE 撰寫資料擷取與時間戳程式。為確保行動操作靈活性，整合 5V 行動電源模組供電，無需外接供電。

(三) 結構加工與組裝：

使用軟體建模預留感測器空間的握把，透過 3D 列印量產（圖 3-2），內部以支架、螺絲固定模組，避免晃動造成感測干擾，並封裝保護線路，兼顧耐用與安全，如圖 3-3 所示。並使用雷射切割機製作本研究鋸切任務之木板（圖 3-4）。

圖 3-2

3D 列印量產握把

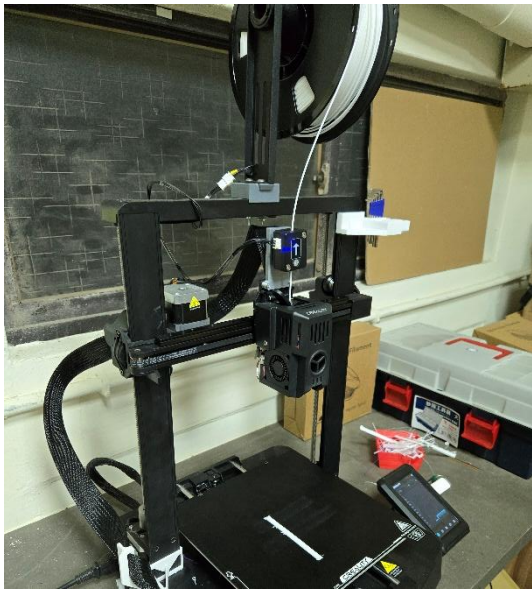


圖 3-3

手線鋸握把加工

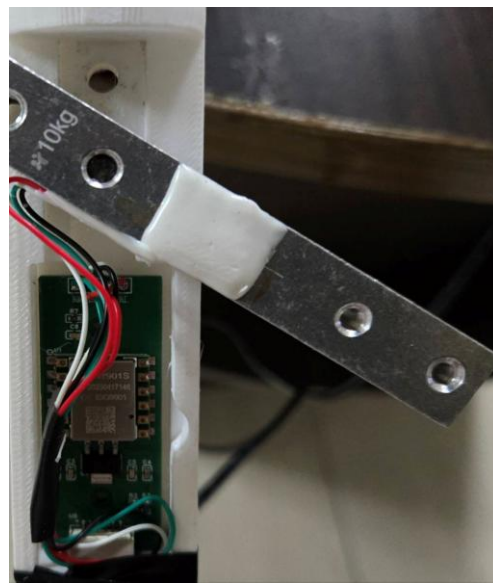
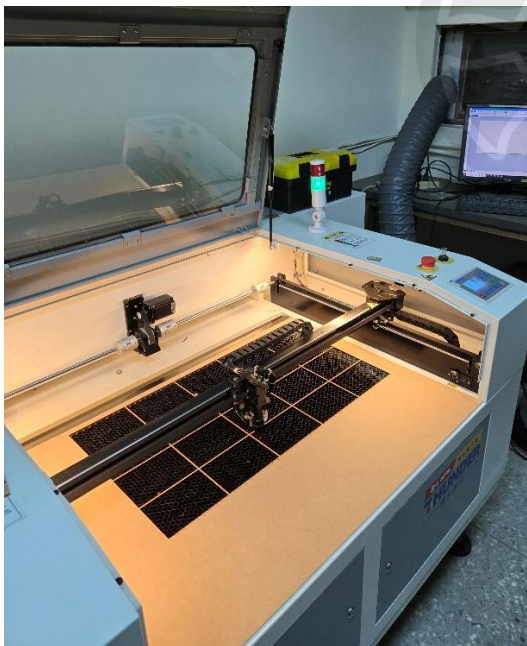


圖 3-4

雷射切割量產木板



(四) 初步測試與校正：

完成裝置組裝後，進行初步動作測試與數據驗證，確保在不同角度與操作下，感測數據回傳穩定、無干擾。

二、裝置校準與信效度測試

針對 12 支智慧型手線鋸進行標準化測試，篩選出 9 支信效度穩定的裝置。

三、樣本招募與安排

為確保研究結果具備一定的代表性與推論效力，本研究採準隨機抽樣方式，自三個不同縣市的四所國中、涵蓋不同年級與性別的學生群體中招募研究參與者。共計招募 80 名國中學生參與本研究，所有參與者均具備基本的體能與手線鋸使用經驗，並經學校同意後完成研究參與。

三、正式施測

學生進行直線鋸切任務，由手線鋸自動記錄三軸操作數據。任務結束後，學生立即填寫五大人格特質問卷與操作感受量表，全程控制於 10 分鐘內。

四、資料前處理與特徵萃取

刪除無效數據（如鋸切前後的靜置資料），並擷取操作角度與速度之中位數與標準差等指標，轉換為 Z-score 進行標準化處理。

五、統計分析

進行 K-Means 群聚分析建立操作風格類型，並透過獨立樣本 t 檢定、相關檢定等統計方法檢驗變項間之關聯。其中，K-Means 群聚分析指的是一種非階層式的分群演算法，能將樣本依多個變項特徵自動分類至預設的 K 個群組中（Ahmed et al., 2020）。其運作原理為：隨機選擇 K 個初始群心（centroids），將樣本分配至與其距離最近的群心，並持續更新群心位置直到分配穩定。此方法能有效揭示樣本間潛在異質性與結構，協助研究者辨識不同操作行為的類型與特徵。

第三節 研究對象

考量到國小學生力量不足，且工具操作的複雜性對其安全性有潛在風險 (Utesch et al., 2019)，因此選擇國中學生 80 名作為研究對象，確保他們具備基本的力量和操作工具的能力。此外，國中生的身心發展較為成熟，更能夠準確回應與評估他們的操作行為。本研究採用準隨機抽樣方法，從不同縣市、學校、性別的學生群體中抽取樣本，確保研究樣本具有一定的代表性。

第四節 研究工具

一、智慧型手線鋸系統

(一) 硬體組成：

1. 手線鋸本體：選擇市面上常見的手線鋸作為研究對象，尺寸為 165mm，確保研究結果具備普遍性。
2. ESP32 微控制器：負責收集感測器數據，並透過 SD 卡紀錄。
3. 三軸加速器 (JY901S)：安裝於握把中，用於測量鋸切速度和角度。
4. 電源：使用行動電源為各個元件提供穩定的電源。

圖 3-5

智慧型手線鋸 (原型)

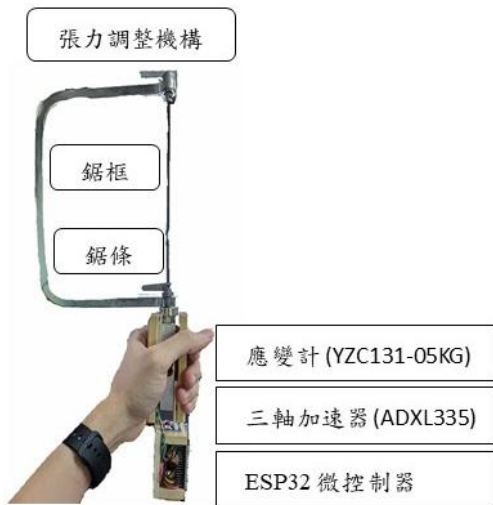


圖 3-6

智慧型手線鋸 (完成)

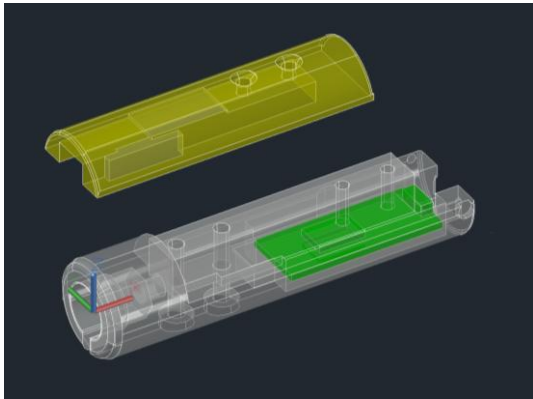


(二) 軟體系統：

1. Arduino IDE：用於編寫 ESP32 的控制程式，實現數據採集、處理和傳輸。
2. 建模、加工軟體：使用 AutoCAD、Lazer Maker、Creality Print 進行握把 (圖 3-7)、主機外盒以及鋸切任務木板 (圖 3-8) 建模及加工。
3. 數據分析軟體：使用 Excel、Python 及 SPSS 對收集到的數據進行進一步分析和可視化。

圖 3-7

智慧型手線鋸握把建模



二、鋸切任務

本研究鋸切任務使用厚度 3mm 之密集板，以雷射切割加工出 10 公分直線基準線，受試者須沿線完成單段直線鋸切操作。

圖 3-8

鋸切任務木板



三、五大人格特質問卷 (Big Five Inventory)

使用李仁豪、鍾芯瑜 (2020) 將 BFI-44 (Benet-Martinez & John, 1998 ; John et al., 1991 ; John et al., 2008) 翻譯成中文並加以簡化的五大人格量表 (BFI-15)。該量表包含 15 個題項，保留了原量表的核心概念與結構，旨在測量五大人格特質，包括外向性、友善性、嚴謹性、神經質和開放性。適合

用於快速評估五大人格模型。每個特質都有 3 個相關的題項，受測者會根據自己的感受對每個題目進行 1 到 5 的評分。

根據量表編制時的實證研究，BFI-15 具備良好信度與效度：各分量表內部一致性係數（Cronbach's α ）介於 .67~.81 之間，組合信度（Composite Reliability, CR）介於 .69~.81，並與原版 BFI-44 對應特質的相關性達 .80~.90，顯示具備良好的聚合效度（Soto & John, 2017）。

四、操作感受量表

本研究依據文獻中具備良好信效度之相關量表，擷取其核心題項並重新整合，以建構一份針對「手線鋸操作歷程中學習者主觀感受」的操作感受量表。此量表涵蓋五個心理構面，分別為：心流體驗、情境興趣、自我效能、挫折容忍度與失敗恐懼，旨在全面評估學生在實作過程中的心理狀態與情緒反應。本量表共計 30 題，分別從五個經驗證具備信效度之短版量表中擷取代表性題項，每一構面取 6 題。量表採用五點李克特量尺（1=非常不同意，5=非常同意），受試者根據個人感受進行作答，作為量化分析其操作經驗與心理感受之依據。

本研究所參考與整合之量表包括：參考的量表包含：

（一）Flow Short Scale（FSS-6）：

由 Engeser 與 Rheinberg（2008）發展，用以測量特定活動中的心流經驗。根據 Kyriazos 等人（2018）在希臘成人樣本之研究，該量表具備良好結構效度與內部一致性（Cronbach's $\alpha > .85$ ），並透過 MIMIC 模型驗證跨樣本穩定性。

（二）Situational Interest Scale（SIS）：

Rotgans 與 Schmidt（2017）所開發，用於評估學習活動中情境興趣之多維表現。研究顯示量表具良好信度（Cronbach's $\alpha = .74\sim.92$ ）與建構效度（CFI = .95, RMSEA = .04）。

(三) General Self-Efficacy Scale (GSE-6) :

Romppel 等人 (2013) 提出的六題版自我效能量表，原始研究於德國樣本中驗證其單因子結構 (CFI =.98, RMSEA =.03) 與良好信度 (Cronbach's α =.78~.79)。

(四) 國中挫折容忍力量表-學業挫折構面：

黃真真 (2010) 針對國中生學習情境發展的構面，具備良好結構效度與內部一致性 (Cronbach's α =.83)，可有效測量學習歷程中面對學業挫折的心理反應。

(五) Performance Failure Appraisal Inventory STEM-specific version (PFAI) :

Henry 等人 (2021) 改編 PFAI，專為 STEM 學生設計，包含四個子構面、15 題，具良好因素結構與內部一致性 (Cronbach's α =.79~.89)，並經認知訪談與因素驗證確認其適用性。

五、工具信效度檢驗

為確保操作數據之準確性與穩定性，本研究先針對編號 1 至 12 號的智慧型手線鋸進行三軸感測器與握力偵測模組的穩定性測試，包含翻滾角度 (Roll)、鋸切角度 (Angle)、加速度 (Acceleration) 及握力 (Grip Strength) 四項數據指標。

(一) 信度檢驗

為評估裝置在固定條件下所回傳數值的一致性，本研究採用重測信度 (test-retest reliability) 方式，利用治具將裝置固定於相同角度與位置 (圖 3-9、3-10)，每支裝置重複量測四次，計算各指標的標準差以評估其穩定性。依據感測器應用實務經驗與類似行為量測裝置之穩定性檢驗策略 (Liao et al., 2022)，當標準差小於 0.05 可視為穩定範圍，因此本研究以此作為信度判準。

多數裝置之翻滾角度、鋸切角度與加速度的重測標準差均低於 0.05，顯示其具有良好的重測穩定性；唯第 2 與第 6 號裝置角度標準差偏高（分別為 0.38 與 0.55），第 6 號裝置握力標準差達 1.64，顯示其數據波動劇烈，信度不穩。

圖 3-9
測量治具



圖 3-10
固定方位、角度



(二) 效度檢驗

裝置效度檢驗係指感測數值是否能真實反映使用者的實際動作。本研究依據控制動作條件下的回傳數據變化，判定其是否具有表徵一致性 (representational consistency)，即回傳值是否符合施加的角度與力度變化趨勢。

結果顯示，三軸感測器能即時回應角度變化與動作速度，具有良好效度；然而握力模組在多數裝置中未能回傳變化數據（多數裝置握

力值始終為 0)，推測可能原因為：模組未啟動、接點鬆動，或未進行校正參數設定所致（見表 3-3）。惟第 6 與 10 號裝置握力感測數據顯示有反應，顯示部分模組功能正常但整體穩定性仍不足。

表 3-3

裝置指標效度檢驗表

裝置	翻滾角度信度 (Std.)	鋸切角度信度 (Std.)	鋸切速度信度 (Std.)	握力信度 (Std.)	翻滾角度效度	鋸切角度效度	鋸切速度效度	握力效度	備註
1	0.01	0.00	0.00	0.00	有效	有效	有效	無效	穩定、無握力資料
2	0.01	0.38	0.00	0.00	有效	有效	有效	無效	角度變異稍高
3	0.01	0.00	0.00	0.00	有效	有效	有效	無效	時間未校準
5	0.01	0.32	0.00	0.00	有效	有效	有效	無效	角度變異稍高
6	0.17	0.55	0.01	1.64	有效	有效	有效	有效	握力偵測異常波動
7	0.11	0.02	0.00	0.00	有效	有效	有效	無效	穩定，無握力資料
8	0.04	0.0	0.00	0.00	有效	有效	有效	無效	握力顯示為 0
9	0.12	0.02	0.00	0.00	有效	有效	有效	無效	穩定
10	0.01	0.00	0.00	0.15	有效	有效	有效	有效	握力變動顯著
11	0.00	0.01	0.00	0.00	有效	有效	有效	無效	穩定
12	0.01	0.02	0.01	0.00	有效	有效	有效	無效	穩定
4	無資料	無資料	無資料	無資料	無效	無效	無效	無效	偵測有誤無法啟動

註：本表中信度 (Std.) 為每項指標四次重測數據之標準差。「有效/無效」為研究者依據數據反應程度與一致性所作主觀判斷。握力信度為 0.00 者多為模組未啟動之情況，並非絕對穩定，需與效度結果交叉檢視。

(三) 篩選標準與結果

本研究最終排除無法啟動（4 號）或感測異常裝置（2、6 號），選擇 9 支感測穩定且可正常記錄三軸資料之手線鋸用於實驗。考量握力模組信效度偏低，故本研究分析中不納入握力數據，以提升資料品質。

第五節 實驗程序

一、任務設計

學生進行鋸切任務直線切割，以考察使用者在不同任務下的操作表現。受測者在進行任務時，智慧型手線鋸系統會自動記錄其動作速度、切削角度與翻滾角度等三軸數據。施力（握力）資料因多數感測器偵測不穩定而予以排除。

二、數據收集

透過智慧型手線鋸收集以下數據：

(一) 翻滾角度 ($^{\circ}$)：透過三軸加速器計算。

(二) 鋸切角度 ($^{\circ}$)：透過三軸加速器計算。

(三) 動作速度 (mm/s)：透過三軸加速器計算。

三、量表填寫程序

學生完成手線鋸鋸切任務後，將立即填寫兩份量表：第一份為「五大人格特質問卷 (BFI-15)」，用以評估其外向性、友善性、嚴謹性、神經質與開放性等人格特質；第二份為「手線鋸操作感受量表」，評估操作過程中的心流、情境興趣、自我效能、挫折容忍與失敗恐懼等感受。整體流程（包含鋸切與問卷填寫）控制於 10 分鐘內完成。

由於智慧型手線鋸裝置數量有限，本研究採輪流鋸切、分批填寫問卷的方式進行。所有學生均在完成鋸切後，才進行量表填寫；未輪到鋸切的學生則在一旁等待，避免作答順序影響操作經驗的回溯記憶。所有量表均由研究

人員統一說明填答方式與注意事項，以確保施測過程的一致性與資料信效度。

第六節 操作數據處理與核心特徵提取

本研究針對 80 筆鋸切感測資料進行前處理。資料來源為國中學生操作智慧型手線鋸進行直線鋸切任務所產生的操作歷程數據，系統以每 0.1 秒取樣頻率（10 Hz）自動記錄鋸切角度與速度，以確保操作行為的時間連續性與高解析度樣本，樣本包含男性 35 人與女性 45 人。然而，經查詢相關文獻，目前尚無針對手線鋸或其他鋸具鋸切操作提出建議取樣頻率之報告，因此本研究取樣頻率的設定主要依據操作行為連續性需求與設備性能規格，並參考智慧穿戴裝置與動作追蹤相關研究中針對上肢與手部動作監測常用的 10 Hz 至 50 Hz 取樣頻率範圍(Huang et al., 2023; Karakikes, 2017; Karoulla et al., 2024; O'Flynn et al., 2015)，以確保能精確捕捉學習者細微動作變化，並兼顧資料儲存效能與後續分析可行性。前述研究中，智慧手套與穿戴裝置多採用 25 Hz 至 50 Hz 進行手部運動辨識，而系統性回顧指出 10–50 Hz 為上肢動作追蹤研究最常見頻率區間，支持本研究所設定的 10 Hz 取樣頻率可充分滿足國中生鋸切任務所需的行為連續性與資料完整性。為排除未實際進行鋸切操作的背景資料，研究依據翻滾數值(Roll)進行篩選，刪除 Roll 大於 10 的資料列，從而排除操作前後或非任務期間所產生的無效數據。

接著，從清理後的有效資料中擷取四項核心行為變項，包括：

- (一) 鋸切角度中位數 (Angle_median)
- (二) 鋸切角度標準差 (Angle_std.)
- (三) 鋸切速度 (絕對值) 中位數 (Speed_median)
- (四) 鋸切速度標準差 (Speed_std.)

這四項變項的選取，是基於其能有效捕捉學習者在鋸切任務中所展現的操作穩定性與節奏控制特性。其中，中位數 (Median) 可反映學習者整體操作過程中的典型行為趨勢，而標準差 (Standard Deviation) 則顯示操作行為的變異程度與穩定性，兩者分別代表操作傾向與控制一致性的指標。

本研究選用中位數作為代表性統計量，主要是因其對極端值不敏感，能更準確反映操作資料的核心趨勢。由於鋸切歷程中常見感測器突波、操作起迄變動等瞬時偏差，若採用平均數容易受到極端值干擾而失真。中位數在統計上常與四分位距 (Interquartile Range, IQR) 共同使用，以呈現資料的集中趨勢與變異範圍，尤其適用於具偏態或極端值的資料分布。IQR 能有效反映中間 50% 資料的分布情況，提供具代表性的離散程度參考。

然而，本研究之資料為連續性操作行為的時間序列資料，需關注整體動作過程中的變動幅度與穩定性。標準差作為常用之波動性指標，具備原始單位一致性，能細緻呈現操作過程中的節奏一致性與控制程度。因此，本研究採用中位數和標準差的組合，分別對應鋸切操作的趨勢與穩定性，作為辨識個體操作風格的核心依據。

此外，為確保每位受試者四項變數之間具備相同的比較基準，並消除不同單位 (如角度、速度) 或變異幅度所造成的分析偏誤，本研究進一步對所有變數進行 Z 分數標準化 (Z-score normalization) 處理，即每位受試者在每一個變項上皆對應一組 Z 分數，用以表示其在整體樣本中的相對表現水準。此一標準化處理可提升後續分群分析的準確度，並確保各變項在分群演算法中具等量貢獻，避免單一變項因數值尺度較大而主導分類結果。

第四章 研究結果

本章旨在呈現本研究之實驗與統計分析結果，內容涵蓋操作數據的處理方式、動態聚類過程與分群結果、三類操作風格的行為特徵描述，並進一步透過統計檢定與相關分析，探討個體心理構面與其鋸切行為表現間的潛在關聯，藉以建構學習者心理—行為的對應模式，作為未來差異化技術教學與輔導策略之依據。

第一節 分群方法與一致性分析結果

為進一步探討學習者在鋸切任務中潛在的行為異質性樣態，本研究採用兩種聚類分析法進行交叉驗證，分別為階層式集群分析（Hierarchical Clustering）與 K 平均數集群分析法（K-Means Clustering）。分析依據上述四項 Z-score 標準化後的變項進行，目的在於辨識受試者於操作穩定性與節奏控制上的不同行為模式。本研究的分群流程參考 Leonardi 等人（2020）針對高齡行人安全認知的研究方法，先以階層式分析探索最佳群數，再以 K-Means 進行精確分群與樣本分類確認，此方法可兼顧資料內部結構探索與分群模型的效率與穩健性。

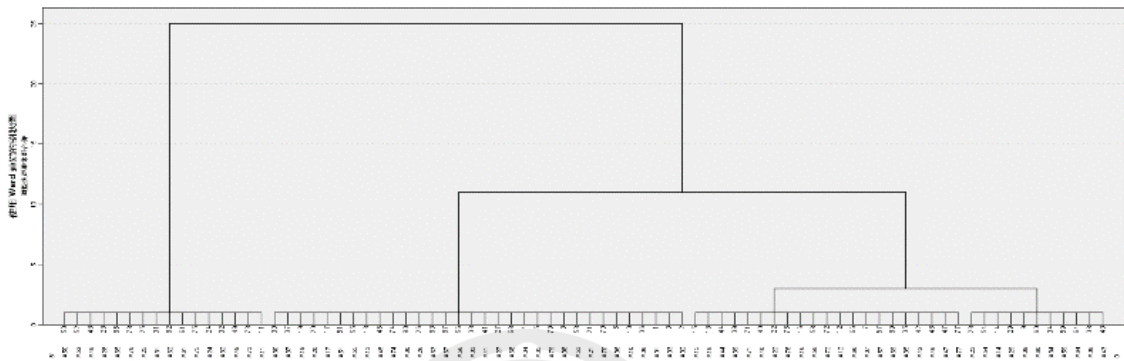
一、階層式集群分析（Hierarchical Clustering）

為探討學習者在鋸切任務中潛在的行為異質性樣態，研究首先採用階層式集群分析作為初步的分類方法。選擇此方法的原因在於其具備不需預設群數的特性，能透過資料內部結構自然形成群聚層級，有助於觀察樣本間的遞進關係與分類脈絡。階層式分析適用於樣本數中等且欲進行探索性分類的情境，尤其能呈現資料間的相似與差異程度，適合作為後續分類模型設計的參考。

本研究使用 Ward 連結法進行階層式分析，此方法以最小化群內變異（Within-cluster Variance）為依據，有效提升分群內部一致性，並以群數設定為三群進行切割。透過樹狀圖（圖 4-1）的分岔結構，可視覺化學習者操作行為的分群邏輯與層級架構，作為 K-Means 參數設定的重要依據。

圖 4-1

階層集群樹狀圖



二、K 平均數集群分析法（K-Means Clustering）

為建立更具效率與可視化特性的分群模型，研究進一步採用 K 平均數集群分析法。K-Means 法為常用之劃分式聚類方法，選擇此法的主要原因，在於其能在已知群數條件下迅速完成大量樣本的分類，並能透過反覆計算中心點（centroid）與最小化群內平方和（Within Sum of Squares, WSS）來提升分類準確度。

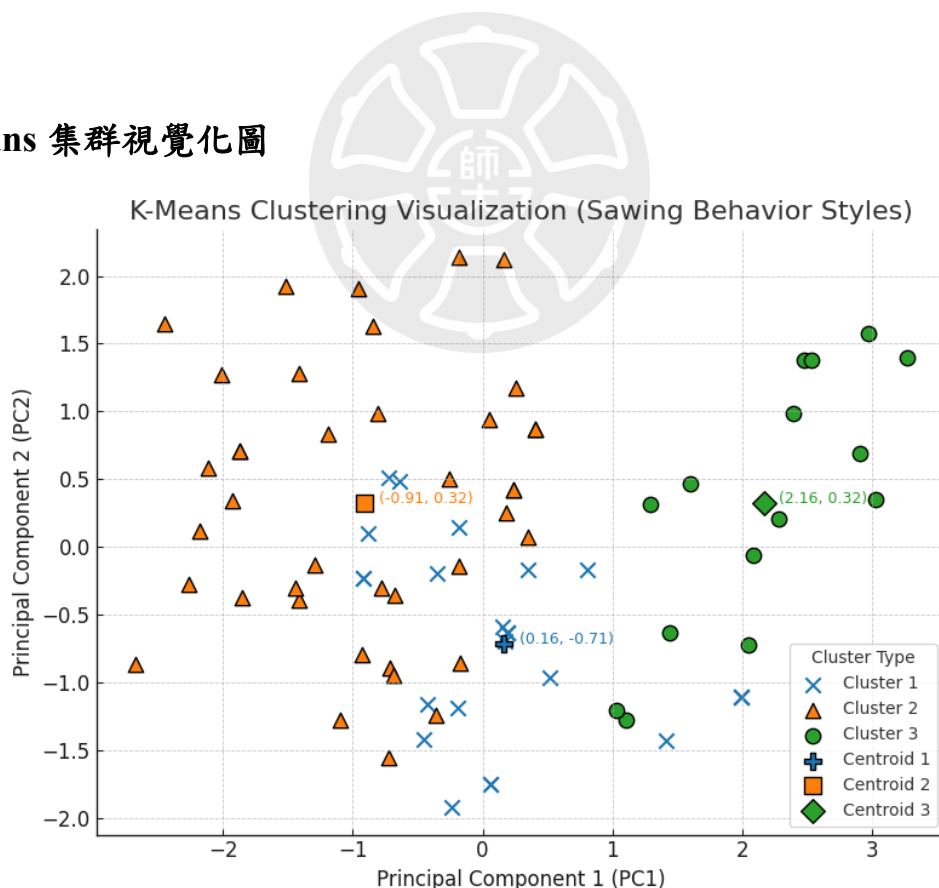
K-Means 適用於資料維度固定、變項已標準化處理的情境。本研究依據階層式集群分析中樹狀圖的分岔結果顯示資料自然分為三大群（圖 4-2），並界定為「不穩定節奏型」「快速穩定型」與「保守緩慢型」三類鋸切操作風格，此結果亦與駕駛行為研究中對操作或駕駛風格的三類型相符。駕駛行為研究中指出，個體操作風格可分為攻擊型、穩定型與謹慎型三種主要類型（Ren et al., 2019；Wang et al., 2018），其中，不穩定節奏型呈現速度與角度變異性高，反映操作者尚在嘗試不同策略的階段，類似駕駛研究中的「頻繁

調整 (unstable rhythm)」行為 (Liu et al., 2023)；快速穩定型代表操作者具備較熟練技能與穩定節奏控制，類似 Martinez 等人 (2017) 所描述的「高流暢度操作 (smoothness)」；保守緩慢型則顯示操作者可能因避免失誤而採取低速、低幅度的保守策略，對應到駕駛風格中的「謹慎型 (cautious driving)」 (Elassad et al., 2020)。這些風格差異反映學習者在動作控制、風險評估及操作信心上的個體特徵，提供後續心理構面與操作風格關聯的解釋基礎。

因此本研究將 K 值設定為 3，以同時反映數據內在結構與研究假設，並將四項行為特徵進行主成分分析 (Principal Component Analysis, PCA) 降維至二維主成分，以進行群組視覺化呈現，協助辨識三群間的分離度與分類效果，亦有助於後續輪廓解釋與心理構面對應分析。

圖 4-2

K-Means 集群視覺化圖



三、分群方法比較與選擇依據

為驗證階層式集群分析與 K-Means 分群法的結果一致性與分類信度，本研究採用調整式蘭德指數 (Adjusted Rand Index, ARI) 進行交叉比較，其可用於衡量兩種分類結果的相符程度，並排除隨機一致性的干擾。ARI 值範圍介於-1 至 1 之間，值越接近 1 表示分類結果越一致，而 0 代表結果與隨機分類無異，一般認為 ARI 值大於 0.8 即顯示高度一致性 (Santos & Embrechts, 2009)。本研究分析結果顯示，ARI 值為 0.81，表示兩種方法在分類邏輯上具高度一致性，顯示樣本之行為特徵具明顯群聚結構。

「邊界特性」指的是樣本的行為特徵接近兩群之間的分界值，呈現模糊區域，因此可能在不同分群方法下被歸類到不同群組 (Xu & Wunsch, 2005)。本研究針對此類分歧樣本，進行特徵值個別分析，確認分群差異主要因行為特徵落在群際邊界，而非方法錯誤。最終，為後續統計分析統一採用 K-Means 分群結果，因其具較佳的視覺化呈現與理論三群對應性，階層式結果則作為補充佐證。為具體呈現階層分析與 K-Means 兩種分群方法在各個樣本上的對應關係，本研究列出分群對照一覽表如附錄三所示。從附錄三中可見，大多數受試者在兩種方法下歸類於相同群組，惟部分樣本因邊界特性而有分歧，進一步佐證聚類結果具理論與實徵一致性。

綜合考量 K-Means 分群在視覺辨識、群內一致性與後續輪廓分析上的應用優勢，且與階層分析結果高度一致，最終本研究選擇 K-Means 分群結果作為後續分析的主要依據，並延伸探討各群組在心理特質與行為表現上的差異與對應關係。

四、三類鋸切操作風格分析

K-Means 分群結果將 80 位受試者分為三個主要群組，各自呈現出不同的鋸切行為特徵，具體如下：

- (一) 群組 1 (不穩定節奏型): 共 27 位受試者。此群體在鋸切角度與速度的中位數皆落於中間水準 (角度 $Mdn = 123.80^\circ$, 速度 $Mdn = 0.48$), 但鋸切速度標準差最高 ($SD = 0.45$), 顯示其操作過程中節奏波動大。此類型學習者可能尚未建立穩定一致的操作策略, 展現出嘗試與調整頻繁的動作特徵。
- (二) 群組 2 (快速穩定型): 共 36 位受試者, 是樣本中人數最多的群體。其鋸切角度中位數 ($Mdn = 133.49^\circ$) 與速度中位數 ($Mdn = 0.60$) 皆為最高, 且速度標準差最低 ($SD = 0.30$), 呈現「高幅度、高穩定性」的操作特徵。此類學習者動作流暢, 節奏一致, 可能已建立內化的操作策略與技巧, 屬於較成熟型的表現。
- (三) 群組 3 (保守緩慢型): 共 17 位受試者。此群組在所有四項變項中皆呈現最低值 (角度 $Mdn = 113.69^\circ$, 速度 $Mdn = 0.35$), 反映其鋸切幅度小、速度慢、變異性低。此操作模式可能顯示出學習者對工具操作掌握度較低, 或傾向以穩健保守的方式執行任務, 避免失誤。

五、集群分析小結

綜合階層式集群分析與 K-Means 分析結果, 本研究成功辨識出國中學生於鋸切任務中的三類操作風格, 顯示其在操作幅度、節奏控制與穩定性方面呈現顯著異質性。進一步, 透過調整式蘭德指數與分群結果對照表之比較, 確認兩種方法在分類上的一致性與信度, 並選擇 K-Means 分群作為後續分析基礎。此分群架構除有助於理解學習者的操作行為特徵, 也作為本研究後續心理構面驗證分析的重要依據, 使行為與心理特質間的關聯得以進一步呈現與探討。

第二節 心理構面與行為表現的統計檢驗

在前述以 K-Means 分群分析所辨識出的三類鋸切操作行為樣態基礎上，本研究進一步探討個體之心理構面（五大人格特質與操作相關動機）與其行為表現之間的關聯性。此分析目的在於釐清：學習者在進行鋸切任務時，其心理特徵是否與實際操作表現具有一致性或預測力，以建構個體差異與實作行為之間的交互理解。

一、分析動機與方法

個體的人格特質與動機傾向可能影響其在學習歷程中的策略選擇、專注程度與任務持續性 (Bostan et al., 2021)，進而反映於行為層面的表現 (Wu et al., 2024)。本研究以此為理論基礎，檢驗受試者在「五大人格構面」與「操作任務動機構面」之得分，是否與其鋸切任務中的操作幅度、變異性與節奏控制能力相關。

為達成此目標，本研究進行兩類統計分析：

- (一) 高低分組的獨立樣本 t 檢定：依據各構面得分，採用前後 27% 原則區分高分組與低分組（每組 21 位），並針對四項感測指標進行兩組間差異檢定。
- (二) 皮爾森積差相關分析 (Pearson Correlation)：以連續變項方式，檢視各構面分數與行為表現之間的線性關聯程度。

二、獨立樣本 t 檢定

本研究針對五大人格構面（外向性、友善性、嚴謹性、神經質、開放性）與操作歷程心理狀態構面（心流、情境興趣、自我效能、挫折容忍度、失敗恐懼），依各構面得分進行前後 27% 高低分組（各 21 人），並以四項感測變項為依據進行獨立樣本 t 檢定。

(一) 五大人格構面

1. 外向性

在外向性構面中，高低分組在四項操作指標上皆未達顯著差異，分別為角度中位數 ($t=0.98, p=.33$)、角度標準差 ($t=-1.10, p=.28$)、速度中位數 ($t=0.37, p=.71$)、速度標準差 ($t=-0.09, p=.93$)，顯示外向特質在此單人鋸切任務中不會造成操作表現上的明顯差異。

2. 友善性

友善性在四項指標中亦均無顯著差異，角度中位數 ($t=-0.73, p=.47$)、角度標準差 ($t=1.33, p=.19$)、速度中位數 ($t=-0.93, p=.36$)、速度標準差 ($t=1.08, p=.29$)，反映該特質與個體在操作上的表現無直接關聯。

3. 嚴謹性

嚴謹性在角度標準差呈接近顯著的差異 ($t=1.61, p=.12$)，其他角度中位數 ($t=0.42, p=.68$)、速度中位數 ($t=0.47, p=.64$)、速度標準差 ($t=-1.08, p=.29$) 則無顯著，結果顯示高嚴謹學生在角度控制上呈現較小變動，穩定性趨勢上較高，但此差異尚未達統計顯著。

4. 神經質

神經質在四項指標中皆未呈現顯著，角度中位數 ($t=-0.93, p=.36$)、角度標準差 ($t=-0.13, p=.90$)、速度中位數 ($t=-1.15, p=.26$)、速度標準差 ($t=-0.48, p=.64$)，顯示情緒波動未對操作穩定性造成明顯影響。

5. 開放性

開放性在角度中位數 ($t=0.59, p=.56$)、角度標準差 ($t=-0.85, p=.40$)、速度中位數 ($t=0.22, p=.83$)、速度標準差 ($t=1.34, p=.19$) 均未達顯著，可能因該特質較關聯創新思維而非單調操作。

表 4-1

獨立樣本 t 檢定結果—五大人格部分

	鋸切角度中位數	鋸切角度標準差	鋸切速度中位數	鋸切速度標準差
外向性	$t=0.98, p=.33$	$t=-1.10, p=.28$	$t=0.37, p=.71$	$t=-0.09, p=.93$
友善性	$t=-0.73, p=.47$	$t=1.33, p=.19$	$t=-0.93, p=.36$	$t=1.08, p=.29$
嚴謹性	$t=0.42, p=.68$	$t=1.61, p=.12$	$t=0.47, p=.64$	$t=-1.08, p=.29$
神經質	$t=-0.93, p=.36$	$t=-0.13, p=.90$	$t=-1.15, p=.26$	$t=-0.48, p=.64$
開放性	$t=0.59, p=.56$	$t=-0.85, p=.40$	$t=0.22, p=.83$	$t=1.34, p=.19$

註：* $p < .05$; ** $p < .01$.; 底線表示結果有顯著的趨勢 (p 值接近顯著標準)，但未達到統計顯著。

(二) 操作歷程心理狀態構面

1. 心流

心流在四項指標上無顯著，角度中位數 ($t=-1.10, p=.28$)、角度標準差 ($t=-1.23, p=.23$)、速度中位數 ($t=-1.04, p=.30$)、速度標準差 ($t=1.54, p=.13$)，但速度標準差接近顯著，顯示高心流學生可能維持較一致的操作節奏，專注投入有助於穩定控制。

2. 情境興趣

情境興趣在鋸切速度標準差上達到顯著差異 ($t=2.80, p=.01^{**}$)，其他角度中位數 ($t=-0.22, p=.83$)、角度標準差 ($t=0.26, p=.80$)、速度中位數 ($t=-0.47, p=.64$) 則無顯著，這顯示高情境興趣者能維持較一致的操作節奏。

3. 自我效能

自我效能於角度中位數 ($t=-0.59, p=.56$)、角度標準差 ($t=0.08, p=.93$)、速度中位數 ($t=-0.72, p=.47$)、速度標準差 ($t=-0.10, p=.92$) 皆無顯著，顯示學生對自評信心與實際操作表現間可能較缺乏連結。

4. 挫折容忍度

挫折容忍度在角度中位數 ($t=0.43, p=.67$)、角度標準差 ($t=-0.34, p=.74$)、速度中位數 ($t=-0.07, p=.95$)、速度標準差 ($t=-0.02, p=.98$) 均未顯著，這也暗示高低挫折容忍對操作穩定性差異不大。

5. 失敗恐懼

失敗恐懼在角度標準差呈邊緣顯著 ($t=-1.75, p=.09$)，其他角度中位數 ($t=-0.22, p=.83$)、速度中位數 ($t=-0.23, p=.82$)、速度標準差 ($t=-0.05, p=.96$) 無顯著，顯示高失敗恐懼學生在角度控制上可能較不穩定。

表 4-2

獨立樣本 t 檢定結果—操作歷程心理狀態部分

	鋸切角度中位數	鋸切角度標準差	鋸切速度中位數	鋸切速度標準差
外向性	$t=0.98, p=.33$	$t=-1.10, p=.28$	$t=0.37, p=.71$	$t=-0.09, p=.93$
友善性	$t=-0.73, p=.47$	$t=1.33, p=.19$	$t=-0.93, p=.36$	$t=1.08, p=.29$
嚴謹性	$t=0.42, p=.68$	$t=1.61, p=.12$	$t=0.47, p=.64$	$t=-1.08, p=.29$
神經質	$t=-0.93, p=.36$	$t=-0.13, p=.90$	$t=-1.15, p=.26$	$t=-0.48, p=.64$
開放性	$t=0.59, p=.56$	$t=-0.85, p=.40$	$t=0.22, p=.83$	$t=1.34, p=.19$
心流	$t=-1.10, p=.28$	$t=-1.23, p=.23$	$t=-1.04, p=.30$	$t=1.54, p=.13$
情境興趣	$t=-0.22, p=.83$	$t=0.26, p=.80$	$t=-0.47, p=.64$	$t=2.80, p=.01^{**}$
自我效能	$t=-0.59, p=.56$	$t=0.08, p=.93$	$t=-0.72, p=.47$	$t=-0.10, p=.92$
挫折容忍度	$t=0.43, p=.67$	$t=-0.34, p=.74$	$t=-0.07, p=.95$	$t=-0.02, p=.98$
失敗恐懼	$t=-0.22, p=.83$	$t=-1.75, p=.09$	$t=-0.23, p=.82$	$t=-0.05, p=.96$

註：* $p < .05$; ** $p < .01$.; 底線表示結果有顯著的趨勢 (p 值接近顯著標準)，但未達到統計顯著。

(三) 綜合分析

綜合上述各構面的檢定結果，雖多數心理構面在各項操作指標上未展現顯著差異，但仍可觀察到動機性構面與操作表現之間存在特定關聯。在所有比較中，僅情境興趣構面在鋸切速度標準差變項上達到顯著差異 ($t=2.80, p=.01^{**}$)。結果顯示：情境興趣高的學習者在操作節奏上表現出較低的變異，即節奏控制較為穩定，可能反映其對任務具有較高的專注投入與動作覺察能力。

另有一項邊緣顯著差異為：失敗恐懼構面在鋸切角度標準差呈現差異 ($t=-1.75, p=.09$)，顯示高失敗恐懼者可能在操作過程中出現較大的角度變動，操作策略不夠一致，可能受到情緒壓力影響其控制表現。

三、皮爾森積差相關分析

(一) 五大人格構面

1. 外向性

外向性與四項指標皆無顯著相關，角度中位數 ($r=-0.11, p=.33$)、角度標準差 ($r=0.16, p=.16$)、速度中位數 ($r=-0.03, p=.82$)、速度標準差 ($r=0.00, p=.98$)，顯示了外向特質與操作表現較缺乏線性關聯。

2. 友善性

友善性亦未呈現顯著相關，角度中位數 ($r=0.00, p=.99$)、角度標準差 ($r=0.02, p=.89$)、速度中位數 ($r=0.04, p=.75$)、速度標準差 ($r=-0.01, p=.94$)，也顯示人際取向對操作穩定性的影響有限。

3. 嚴謹性

嚴謹性與角度標準差呈輕微負相關 ($r = -0.14, p = .22$)，其他角度中位數 ($r = -0.05, p = .68$)、速度中位數 ($r = -0.07, p = .56$)、速度標準差 ($r = 0.11, p = .31$) 無顯著，顯示高嚴謹者可能傾向追求操作一致性但尚未形成明顯影響。

4. 神經質

神經質與四項指標均無顯著相關，角度中位數 ($r = 0.06, p = .57$)、角度標準差 ($r = 0.06, p = .60$)、速度中位數 ($r = 0.07, p = .55$)、速度標準差 ($r = 0.03, p = .83$)，反映情緒敏感特質對本任務影響有限。

5. 開放性

開放性與速度標準差接近負相關 ($r = -0.18, p = .11$)，其他角度中位數 ($r = -0.08, p = .50$)、角度標準差 ($r = 0.13, p = .25$)、速度中位數 ($r = -0.03, p = .81$) 均未達顯著，顯示高開放性學生可能展現較穩定的操作節奏。

表 4-3

皮爾森積差相關分析結果－五大人格部分

	鋸切角度中位數	鋸切角度標準差	鋸切速度中位數	鋸切速度標準差
外向性	$r = -0.11, p = .33$	$r = 0.16, p = .16$	$r = -0.03, p = .82$	$r = 0.00, p = .98$
友善性	$r = 0.00, p = .99$	$r = 0.02, p = .89$	$r = 0.04, p = .75$	$r = -0.01, p = .94$
嚴謹性	$r = -0.05, p = .68$	$r = -0.14, p = .22$	$r = -0.07, p = .56$	$r = 0.11, p = .31$
神經質	$r = 0.06, p = .57$	$r = 0.06, p = .60$	$r = 0.07, p = .55$	$r = 0.03, p = .83$
開放性	$r = -0.08, p = .50$	$r = 0.13, p = .25$	$r = -0.03, p = .81$	$r = -0.18, p = .11$

註：* $p < .05$; ** $p < .01$.; 底線表示結果有顯著的趨勢 (p 值接近顯著標準)，但未達到統計顯著。

(二) 操作歷程心理狀態構面

1. 心流

心流與速度標準差呈邊緣顯著負相關 ($r=-0.20, p=.08$)，角度中位數 ($r=0.08, p=.50$)、角度標準差 ($r=0.07, p=.53$)、速度中位數 ($r=0.09, p=.44$) 無顯著，顯示高心流學生可能維持較一致的操作節奏，專注投入有助於穩定控制。

2. 情境興趣

情境興趣與速度標準差呈顯著負相關 ($r=-0.26, p=.02^*$)，其他角度中位數 ($r=0.04, p=.71$)、角度標準差 ($r=0.01, p=.93$)、速度中位數 ($r=0.06, p=.59$) 未達顯著，進一步支持情境興趣高的學生在操作節奏上能保持穩定。

3. 自我效能

自我效能與角度中位數 ($r=0.01, p=.95$)、角度標準差 ($r=0.04, p=.74$)、速度中位數 ($r=0.01, p=.92$)、速度標準差 ($r=-0.04, p=.71$) 無顯著相關，顯示自我評估與操作表現之間可能缺乏直接關聯。

4. 挫折容忍度

挫折容忍度與角度標準差呈顯著正相關 ($r=0.25, p=.03^*$)，其他角度中位數 ($r=-0.07, p=.53$)、速度中位數 ($r=-0.03, p=.81$)、速度標準差 ($r=0.02, p=.85$) 無顯著，顯示高挫折容忍學生可能在操作中多次嘗試不同策略，導致角度變異增加。

5. 失敗恐懼

失敗恐懼與角度標準差接近正相關 ($r=0.17, p=.12$)，其他角度中位數 ($r=-0.01, p=.90$)、速度中位數 ($r=-0.01, p=.91$)、速度標準差 ($r=0.04, p=.73$) 均未顯著，顯示高失敗恐懼者在角度控制上可能較不穩定。

表 4-4

皮爾森積差相關分析結果—操作歷程心理狀態部分

	鋸切角度中位數	鋸切角度標準差	鋸切速度中位數	鋸切速度標準差
心流	$r=0.08, p=.50$	$r=0.07, p=.53$	$r=0.09, p=.44$	$r=-0.20, p=.07$
情境興趣	$r=0.04, p=.71$	$r=0.01, p=.93$	$r=0.06, p=.59$	$r=-0.26, p=.02^*$
自我效能	$r=0.01, p=.95$	$r=0.04, p=.74$	$r=0.01, p=.92$	$r=-0.04, p=.71$
挫折容忍度	$r=-0.07, p=.53$	$r=0.25, p=.03^*$	$r=-0.03, p=.81$	$r=0.02, p=.85$
失敗恐懼	$r=-0.01, p=.90$	$r=0.17, p=.12$	$r=-0.01, p=.91$	$r=0.04, p=.73$

註：* $p < .05$; ** $p < .01$.; 底線表示結果有顯著的趨勢 (p 值接近顯著標準)，但未達到統計顯著。

(三) 綜合分析

結果顯示：情境興趣與鋸切速度標準差呈顯著負相關 ($r=-0.26, p=.02^*$)，與 t 檢定結果一致，進一步強化其穩定操作表現的行為意涵。挫折容忍度與鋸切角度標準差呈顯著正相關 ($r=.24, p=.03^*$)，表示高容忍特質者在操作過程中展現出較大角度變動，可能反映其容許失敗與願意嘗試的心態。心流與鋸切速度標準差則呈邊緣顯著負相關 ($r=-0.22, p=.08$)，顯示高心流學生可能維持較一致的操作節奏，專注投入有助於穩定控制。

此外，失敗恐懼與四項操作指標間未達顯著相關 ($p > .05$)，僅鋸切角度標準差接近顯著 ($r=.18, p=.12$)，顯示高失敗恐懼者可能在角度控制上較不穩定。自我效能與四項操作指標間無顯著關聯，顯示學生自評自信程度對操作穩定性影響有限。五大人格構面中，外向性、友善性、嚴謹性、神經質與開放性皆與操作表現也未呈顯著相關，僅嚴謹性與操作一致性呈現輕微正向趨勢，但未達顯著水準。整體而言，雖多數心理構面與操作行為未呈現顯著相關，但動機性構面(如情境興趣)

顯示與操作穩定性具密切關聯，支持心理特質在一定程度上影響實作行為的假設。

四、統整與小結

綜合上述兩種分析結果顯示，部分心理構面與鋸切行為表現確實存在顯著或邊緣顯著之關聯。情境興趣高者展現出較穩定的操作節奏，而挫折容忍度與心流構面則與行為變異性存在正向關聯，反映其在學習歷程中可能展現出持續嘗試與策略調整的傾向。雖然多數人格構面未達顯著相關，但整體趨勢支持個體心理特質對實作行為之影響假設。



第三節 綜合討論

綜合本研究在操作行為分群與心理構面統計檢驗的結果，可初步建構國中學生鋸切行為與心理特質之對應模式。三類鋸切操作風格清楚區分了學生在操作幅度、節奏穩定性與控制一致性上的行為特徵，其中不穩定節奏型學生呈現頻繁調整與試誤特徵，快速穩定型學生則展現成熟操作策略，而保守緩慢型學生傾向小幅度且穩健的操作。這樣的分群結果與 Aggarwal 等人 (2023) 指出個體在操作工具時會展現具體行為模式，反映認知特質與操作經驗的理論一致。

心理構面部分，情境興趣在獨立樣本 t 檢定與相關分析中皆與操作節奏指標（鋸切速度標準差）達顯著關聯，指出對任務的情境興趣能促進一致的操作表現，此結果呼應 Hidi 和 Renninger (2006) 提出情境興趣能驅動專注投入、穩定學習行為的觀點。挫折容忍度與鋸切角度標準差呈現正相關，顯示高挫折容忍特質的學生在操作中展現較大角度變動，可能因容許錯誤與持續嘗試，符合 Shi 等人 (2021) 關於高挫折忍者表現出持續實驗與彈性行為的發現。心流與鋸切速度標準差呈邊緣顯著負相關，顯示學生進入心流狀態時，因專注投入而維持較穩定的速度節奏，符合 Csikszentmihalyi (1997) 提出心流能促進持續專注與一致性的理論。

失敗恐懼高低分組在鋸切角度標準差上呈邊緣顯著差異，指出情緒壓力可能讓部分學生的操作表現出較高的不一致性，這與 Stroe 等人 (2019) 發現失敗恐懼會增加行為波動、降低操作精確度的結果一致。另一方面，外向性、友善性、嚴謹性、神經質與開放性等五大人格特質與操作表現之間未達顯著關聯，僅嚴謹性呈現對操作一致性輕微正向趨勢但未顯著，這與 Bostan 等人 (2021) 認為人格會影響行為的觀點有所不同，也可能反映青少年在此階段人格對操作行為的影響尚未穩定，值得後續研究深入探討。

總結，本研究結果支持個體心理特質與動作行為之間存在交互影響，符合「操作風格源自個體內在特質與情境互動」的理論觀點（Osiurak et al., 2017）。尤其動機性構面（如情境興趣）對實作節奏穩定性的影響，提供未來教學設計時引發學生興趣的實證依據；而挫折容忍度與心流的結果亦指出對失敗的容忍與高度投入感可雙向影響操作表現，提醒教師需兼顧引導學生挑戰與穩定操作的平衡。



第五章 結論與建議

第一節 結論

本研究旨在探討國中學生手線鋸操作風格的量測方法，並分析其操作行為與心理構面之間的關聯性，以作為未來實作課程設計、差異化教學及個別化輔導的重要依據。研究透過量測鋸切角度與速度的變異指標，將學生分為「不穩定節奏型」、「快速穩定型」及「保守緩慢型」三類操作風格，並進行心理構面與行為表現的統計檢驗。

統計結果顯示，三類操作風格在鋸切速度穩定性及角度穩定性上具有明顯差異，顯示操作風格量測具有區辨效度。心理構面部分，情境興趣與鋸切速度標準差呈現顯著負相關，表示對任務情境越感興趣的學生，其操作越穩定；挫折容忍度與角度標準差呈現正相關，顯示挫折耐受度較高者在操作中會展現較大變異；心流體驗與操作節奏變化呈現邊緣顯著負相關，顯示高心流學生因專注投入而維持較穩定的操作節奏。而失敗恐懼在角度穩定性上的 t 檢定呈邊緣顯著差異，顯示負面情緒壓力可能造成學生操作不一致。

綜合以上結果，本研究具體貢獻包括：

- 一、建立一套以鋸切行為變項為基礎的操作風格量測與分群方法，有助於教師快速診斷學生操作差異。
- 二、證實心理特質與實作表現之間存在交互影響，尤其情境興趣、挫折容忍度與心流對操作穩定性有明顯影響，提供差異化教學、動機介入策略的實證依據。
- 三、研究成果可作為發展國中生活科技課程中，針對學生個別差異設計專業輔導方案的參考依據，並提供未來課程設計中引發學習興趣、減少失敗恐懼感的具體建議。

本研究初步建構出國中學生心理構面與手線鋸操作行為的對應模式，驗證了「操作風格源自心理特質與情境互動」的理論觀點。研究結果對深化學生操作行為個別差異之理解，並為技術教育課程設計與教學提供可量化且具實用性的參考，具有重要學術與實務價值。

第二節 研究限制

儘管本研究獲得初步成果，仍存在若干限制，需於後續研究或實務應用時審慎考量：

一、樣本與研究設計

本研究樣本僅限三個縣市的 80 位國中學生，學生心態易受學校或家庭外在事件、過去使用手工具經驗、工具形式不同等之影響，可能影響其自然操作表現。此外，學生之間的操作基礎能力可能存在明顯差異，但基本上所蒐集資料，在操作風格上應仍具有一定代表性。

文獻探討結果發現，K-Means 分群應用在工具操作風格之實證研究中，樣本數差異極大，例如 Ma 等人（2021）針對駕駛風格研究中，僅使用 10 位專業駕駛的真實行車數據進行分群；De Zepeda 等人（2021）針對駕駛風格動態分群的研究則納入 435 位車輛駕駛樣本。這些研究顯示，K-Means 應用於行為風格辨識的樣本數從個位數到數百人都有，依據研究目標與資料性質而有所不同，因此本研究樣本數雖屬小型，但仍可作為探索國中生操作風格模式的初步參考。

二、量測工具與資料紀錄

學生操作線鋸鋸切時，若握持不穩，會造成鋸弓角度偏移，影響操作穩定性，本研究仍將之視為操作風格所形成的操作紀錄實證資料進行分析。本研究持續量測動作過程中，發現學生施力變化能有效揭露使用者的操作工具策略，但通訊或感測中斷，將會限制資料分析的連續性與完整性（Tang et al., 2024）。

由於手線鋸屬於高動態、中肢體運動的實作工具，在操作過程中鋸弓與主機之間容易產生強烈拉扯，特別是在學生改變鋸切方向或加快速度時，更容易使線鋸與感測主機產生瞬間位移，考驗本研究自行開發智慧手線鋸之耐用度與穩定性。本研究設計之智慧型手線鋸握把尺寸（最大外徑 32mm）較市售手線鋸粗（最大外徑 23.5mm），雖有部分學生反應較好握，但也可能讓手小或力量較弱的學生握持姿勢與出力方式改變，進而些許影響自然操作表現。

三、數據處理挑戰

目前資料以時間序列記錄，若學生是否因手痠或休息而中止操作，會造成資料靜止的紀錄，影響變異度計算。本研究目前將靜止資料視為無效資料並予以剔除，但此方法也可能影響資料反映真實行為之程度。未來研究建議可設計統一的操作時間上限，或在任務中加入標準化完成時間，減少不同學生因完成速度差異而產生的資料長短不一問題。此外，也建議後續研究可考慮加入中止或休息時間的標記，作為分析學習歷程與持續力的重要指標，而非僅將其排除，以提升數據的解釋價值與公平性。

四、環境干擾

研究所提供的工具穩定性與環境一致性，是影響執行表現與動作數據品質的關鍵因素（Wulf & Lewthwaite, 2016）。本研究實施場域，為一般學

校生活科技教室，雖盡量安排學生面對封閉場域進行實作資料蒐集，但測試場域易因其他人員進出、課室外噪音，分散學生專注度。

第三節 研究建議

針對研究發現與限制，以下將針對後續研究與實務應用提出具體建議，並參考相關研究的建議與證據。

一、研究設計與樣本擴展

未來研究應擴大樣本數與來源，採多校、多地區樣本收集，提升研究結果的代表性與推論效度。Ma 等人（2021）與 De Zepeda 等人（2021）的研究分別證明，小樣本與大樣本 K-Means 皆可進行行為分群，但樣本來源多樣化能大幅提升分群結果的普遍性與實用性。同時，安排前測了解學生基礎能力，作為分層依據，可減少學生先備經驗差異影響，有助提升分群分析的解釋力（Iljannah et al., 2025）。

二、數據紀錄與處理優化

建議提升資料紀錄頻率，縮短取樣間隔，以捕捉學生操作過程中短暫停頓或姿勢變換的細節；同時，資料儲存應改為每位學生獨立 CSV 檔，並使用 Wi-Fi、藍牙模組或更穩定的傳輸方式將操作紀錄回傳，避免遺失風險。另外，施測時可同步錄影，結合時間戳記對照行為轉變，以提升數據解讀的準確度與可驗證性（Yurtsever et al., 2020）。

三、工具與人因設計改善

未來應強化鋸弓與握把結構，採用高強度排線或無線感測模組，減少紀錄中斷風險。握把設計宜依人因工程原則發展符合國中生或是普遍使用者手型的弧形握把，增加操作舒適度與控制感。此外，未來可考慮在智慧型手線鋸中加入握力與拉鋸幅度的量測，以更全面地描繪學生的操作風格與行為特徵。

四、進行不同實作任務分析

在動作技能學習中，任務的複雜度會顯著影響學習者所啟用的認知策略與技能需求。初階任務如單純的直線鋸切，常偏向程序性與自動化操作，有助於建立基本技巧與穩定的操作節奏；然而，較高階的圖形鋸切任務則需額外的空間判斷、路徑規劃與手眼協調能力，迫使學習者啟用更多目標導向的策略與問題解決能力，促進其進入策略性操作與認知參與的階段（Kolb, 2014；Osiurak & Heinke, 2018）。

建議未來將鋸切任務發展成多階段任務（如圖形鋸切），藉此收集更多層次的操作數據，進一步提高實驗對學生操作風格的區辨能力，並為後續常模建置與行為分析提供更完整的資料基礎。

五、依據操作風格進行差異化教學與個別輔導

本研究以 K-Means 分群分析 80 位學生鋸切歷程資料，歸納出三類操作風格，分別為「不穩定節奏型」、「快速穩定型」與「保守緩慢型」。三群在角度中位數、速度中位數與速度穩定性上皆呈現顯著差異，顯示學生在鋸切任務中確實存在操作傾向與風格表現上的個別差異。根據此結果，提出以下分群之教學建議：

（一）不穩定節奏型（群組 1）－嘗試探索學習者

此類學生在鋸切幅度與速度上表現中等，但操作節奏起伏較大，顯示其策略尚在摸索階段，易出現頻繁的調整與變動。可引導學生透過標準化鋸切練習與節奏輔助工具，提升其動作的一致性；同時，搭配影片回看、自我觀察與分段任務設計（如從直線至圖形切割），協助其逐步建立穩定的操作習慣與技巧感知。

（二）快速穩定型（群組 2）－工具操作精熟者

此類學生操作表現流暢穩定，速度與幅度均高，屬於相對成熟的操作者，顯示其已內化有效的控制策略。教師可設計進階任務，如自由

造型創作、結構拼接或功能導向等實作活動，鼓勵其挑戰更高層次的加工目標。同時，也可安排其擔任班級中的技能楷模，透過同儕協作活動發揮榜樣作用，引導其從精熟操作者轉向能協助他人成長的學習引導者

(三) 保守緩慢型（群組 3）－失敗趨避保守者

此類型學生在鋸切角度與速度皆低，操作變異性亦低，反映其可能處於防禦性策略狀態，傾向謹慎執行、避免失誤。教師可營造安全無壓的學習情境，安排緩步進行的任務引導其逐步提升速度與幅度表現；同時提供即時肯定與鼓勵，幫助其建立操作信心，減輕對失敗的焦慮感，進而從穩健執行邁向自主調整。

此外，教師亦可將操作風格分類納入課前診斷性評量，搭配數據回饋機制，使學生認識自身操作傾向，發展個別化調整策略，並將此分群模型整合為「學習者風格評量工具」，促進課程設計與學生支持系統的差異化與精緻化。

六、應用研究結果於教學現場

本研究結果指出，動機性心理構面中的情境興趣、挫折容忍度與心流體驗，與學生鋸切操作的節奏穩定性及角度變異表現存在顯著或邊緣顯著關聯，顯示心理特質會在操作歷程中影響學習者的表現。建議教學現場可以在課程設計中融入具挑戰性且具情境感的任務，以提升學生情境興趣，促進專注投入與穩定操作；並提供安全的試誤環境，培養學生的挫折容忍度，協助其將錯誤視為學習契機。此外，透過差異化的任務，協助學生在心流體驗中平衡挑戰與能力，維持適度的節奏穩定；針對高失敗恐懼的學生，應協助其建立正向面對錯誤的態度，減少情緒壓力對操作穩定性的影響。

七、未來研究方向：操作常模的建置

本研究結果顯示學生在鋸切任務中的操作風格存在明顯個別差異，且與心理構面呈現顯著相關性，顯示未來研究有建立手線鋸操作常模的潛力與必要性。常模是心理測量學中的重要概念，指透過對具代表性樣本的測量，建立群體中行為或能力的典型分布，作為評估個體相對表現的基準（Flake et al., 2017）。在教育評估中，常模能協助研究者與教師判斷個體行為是否符合群體平均水平，進而識別異常或需要特別支持的學生（De Boeck & Jeon, 2019）。

未來研究應擴大樣本數與多元地區來源，透過統計方法（如 K-Means 分群、PCA）分析鋸切任務的行為特徵，建立學生操作變項如切削角度、速度穩定度、鋸切力道等常模指標。此常模將提供後續研究者進行學生能力差異研究的基準，同時也能作為工具設計與技術課程規劃的依據，使手線鋸操作教學能有系統地結合學生個別化需求，提升安全性與學習成效。



參考文獻

一、中文部分

李仁豪、鍾芯瑜 (2020)。中文版簡式「五大人格量表」BFI的發展。《測驗學刊》，67(4)，271-299。

<https://www.airitilibrary.com/Article/Detail?DocID=16094905-202012-202102010013-202102010013-271-299>

黃真真、黃秀霜 (2010)。國中學生解釋型態、挫折容忍力與其壓力關係之研究。《課程與教學論壇》，臺南：國立臺南大學。取自

<https://hdl.handle.net/11296/epc539>

鄭宇帆、林玄良、范斯淳 (2022)。應用田口方法於生活科技課程木材膠合參數最佳化之研究。《科技與人力教育季刊》，8(3)，26-42。

[https://doi.org/10.6587/JTHRE.202203_8\(3\).0002](https://doi.org/10.6587/JTHRE.202203_8(3).0002)

二、外文部分

Aggarwal, I., Schilpzand, M. C., Martins, L. L., Woolley, A. W., & Molinaro, M. (2023). The benefits of cognitive style versatility for collaborative work. *Journal of Applied Psychology*, 108(4), 647–659.

<https://doi.org/10.1037/apl0001035>

Agoestanto, A., & Masitoh, S. (2021). Mathematical creative thinking ability viewed from students' learning interest and adversity quotient through creative problem-solving learning model. *Journal of Physics Conference Series*, 1918(4), 042074. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1918/4/042074>

Ahmed, M., Seraj, R., & Islam, S. M. S. (2020). The k-means algorithm: A comprehensive survey and performance evaluation. *Electronics*, 9(8), 1295.

<https://doi.org/10.3390/electronics9081295>

- Alalouch, C. (2021). Cognitive styles, gender, and student academic performance in engineering education. *Education Sciences, 11*(9), 502. <https://doi.org/10.3390/educsci11090502>
- Allport, G. W. (1937). *Personality: a psychological interpretation*. Holt. <https://www.timothydavidson.com/Library/Books/Allport-1937-Personality-A%20Psychological%20Interpretation/Allport-1937-Personality-A-Psychological-Interpretation.pdf>
- Amri, D. E., & Akrou, H. (2020). Perceived design affordance of new products: Scale development and validation. *Journal of Business Research, 121*, 127–141. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.08.010>
- Ariastuti, M. D., & Wahyudin, A. Y. (2022). Exploring academic performance and learning style of undergraduate students in English Education program. *Journal of English Language Teaching and Learning, 3*(1), 67–73. <https://doi.org/10.33365/jeltl.v3i1.1817>
- Bandura, A. (1995). *Self-efficacy in changing societies*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511527692>
- Barsalou, L. W. (2020). Challenges and opportunities for grounding cognition. *Journal of Cognition, 3*(1). <https://doi.org/10.5334/joc.116>
- Benet-Martínez, V., & John, O. P. (1998). Los Cinco Grandes across cultures and ethnic groups: Multitrait-multimethod analyses of the Big Five in Spanish and English. *Journal of Personality and Social Psychology, 75*(3), 729–750. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.75.3.729>
- Bentum, L., Brobbey, L. K., Adjei, R. O., & Osei-Tutu, P. (2021). Awareness of occupational hazards, and attitudes and practices towards the use of personal protective equipment among informal woodworkers: the case of the Sokoban Wood Village in Ghana. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics, 28*(3), 1690–1698. <https://doi.org/10.1080/10803548.2021.1928390>

- Borghi, A. M. (2004). Object concepts and action: Extracting affordances from objects parts. *Acta Psychologica*, *115*(1), 69–96.
<https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2003.11.004>
- Borghi, A. M., & Riggio, L. (2008). Sentence comprehension and simulation of object temporary, canonical and stable affordances. *Brain Research*, *1253*, 117–128. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2008.11.064>
- Bostan, C. M., Ticu, C., Vrabie, T., Stanciu, T., & Andronic, R. (2021). Supporting motivational persistence in the personality system in early academic stages through educational strategies. *Revista Romaneasca Pentru Educatie Multidimensionala*, *13*(2), 223–242.
<https://doi.org/10.18662/rrem/13.2/419>
- Bricteux, C., Navarro, J., Ceja, L., & Fuerst, G. (2016). Interest as a moderator in the relationship between challenge/skills balance and flow at work: an analysis at within-individual level. *Journal of Happiness Studies*, *18*(3), 861–880. <https://doi.org/10.1007/s10902-016-9755-8>
- Brown, D. C., & Maier, J. R. (2015). Affordances in design. *Artificial Intelligence for Engineering Design Analysis and Manufacturing*, *29*(3), 231–234. <https://doi.org/10.1017/s0890060415000244>
- Butera, F., Dompnier, B., & Darnon, C. (2023). Achievement goals: A social influence cycle. *Annual Review of Psychology*, *75*(1), 527–554.
<https://doi.org/10.1146/annurev-psych-013123-102139>
- Çalışkan, Y., Duygulu, P., & Şahin, E. (2012). Affordance prediction of hand tools using interactive perception. *Proceedings of the 2012 20th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, 1–4.
<https://doi.org/10.1109/SIU.2012.6204734>
- Calvi, A., D’Amico, F., Ferrante, C., & Ciampoli, L. B. (2020). Effectiveness of augmented reality warnings on driving behaviour whilst approaching

- pedestrian crossings: A driving simulator study. *Accident Analysis & Prevention*, 147, 105760. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2020.105760>
- Camacho-Morles, J., Slemp, G. R., Pekrun, R., Loderer, K., Hou, H., & Oades, L. G. (2021). Activity achievement emotions and academic performance: A meta-analysis. *Educational Psychology Review*, 33(3), 1051–1095. <https://doi.org/10.1007/s10648-020-09585-3>
- Canning, E. A., Muenks, K., Green, D. J., & Murphy, M. C. (2019). STEM faculty who believe ability is fixed have larger racial achievement gaps and inspire less student motivation in their classes. *Science Advances*, 5(2). <https://doi.org/10.1126/sciadv.aau4734>
- Christensen, C. M. (2024). *The innovator's dilemma: When new technologies cause great firms to fail*. Harvard Business Press.
- Chu, H., Zhuang, H., Wang, W., Na, X., Guo, L., Zhang, J., Gao, B., & Chen, H. (2023). A review of driving style recognition methods from short-term and long-term perspectives. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, 8(11), 4599–4612. <https://doi.org/10.1109/tiv.2023.3279425>
- Chuchala, D., Ochrymiuk, T., Orłowski, K. A., Lackowski, M., & Taube, P. (2020). Predicting cutting power for band sawing process of pine and beech wood dried with the use of four different methods. *BioResources*, 15(1), 1844–1860. <https://doi.org/10.15376/biores.15.1.1844-1860>
- Costa, P. T., Jr., McCrae, R. R., & Lockenhoff, C. E. (2019). Personality across the life span. *Annual Review of Psychology*, 70, 423–448. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-010418-103244>
- Dahlen, E. R., & White, R. P. (2006). The Big Five factors, sensation seeking, and driving anger in the prediction of unsafe driving. *Personality and Individual Differences*, 41(5), 903–915. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2006.03.016>

- De Boeck, P., & Jeon, M. (2019). An overview of models for response times and processes in cognitive tests. *Frontiers in Psychology, 10*, Article 102.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00102>
- De Zepeda, M. V. N., Meng, F., Su, J., Zeng, X. J., & Wang, Q. (2021). Dynamic clustering analysis for driving styles identification. *Engineering Applications of Artificial Intelligence, 97*, 104096.
<https://doi.org/10.1016/j.engappai.2020.104096>
- Dianat, I., Nedaei, M., & Nezami, M. A. M. (2014). The effects of tool handle shape on hand performance, usability, and discomfort using masons' trowels. *International Journal of Industrial Ergonomics, 45*, 13–20.
<https://doi.org/10.1016/j.ergon.2014.10.006>
- Dodge, R. (1923). The human factor in highway regulation and safety. *Proceedings of the Highway Research Board*.
<https://trid.trb.org/view/107773>
- Eby, D. W. (2011). Naturalistic observational field techniques for traffic psychology research. In B. E. Porter (Ed.), *Handbook of traffic psychology* (pp. 61–72). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-381984-0.10005-0>
- Elassad, Z. E. A., Mousannif, H., Moatassime, H. A., & Karkouch, A. (2020). The application of machine learning techniques for driving behavior analysis: A conceptual framework and a systematic literature review. *Engineering Applications of Artificial Intelligence, 87*, 103312.
<https://doi.org/10.1016/j.engappai.2019.103312>
- Engeser, S., & Rheinberg, F. (2008). Flow, performance and moderators of challenge-skill balance. *Motivation and Emotion, 32*(3), 158–172.
<https://doi.org/10.1007/s11031-008-9102-4>
- Engeser, S., Schiepe-Tiska, A., & Peifer, C. (2021). Historical lines and an overview of current research on flow. In C. Peifer & S. Engeser

- (Eds.), *Advances in flow research* (2nd ed., pp. 1–29). Springer Nature Switzerland AG. https://doi.org/10.1007/978-3-030-53468-4_1
- Fatahi, S., Shabanali-Fami, F. & Moradi, H. An empirical study of using sequential behavior pattern mining approach to predict learning styles. *Educ Inf Technol* **23**, 1427–1445 (2018). <https://doi.org/10.1007/s10639-017-9667-1>
- Flake, J. K., Pek, J., & Hehman, E. (2017). Construct validation in social and personality research. *Social Psychological and Personality Science*, *8*(4), 370–378. <https://doi.org/10.1177/1948550617693063>
- French, D. J., West, R. J., Elander, J., & Wilding, J. M. (1993). Decision-making style, driving style, and self-reported involvement in road traffic accidents. *Ergonomics*, *36*(6), 627–644. <https://doi.org/10.1080/00140139308967925>
- Gibson, J. J. (2014). The theory of affordances:(1979). In *The people, place, and space reader* (pp. 56-60). Routledge.
- Grimberg, E., Botzer, A., & Musicant, O. (2020). Smartphones vs. in-vehicle data acquisition systems as tools for naturalistic driving studies: A comparative review. *Safety Science*, *131*, 104917. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104917>
- Gustafsson, A. (2022). Learning ‘flow’: The anatomy of Lulesámi handicraft. *Craft Research*, *13*(1), 89–108. https://doi.org/10.1386/crre_00067_1
- Haghzare, S., Campos, J. L., Bak, K., & Mihailidis, A. (2021). Older adults’ acceptance of fully automated vehicles: Effects of exposure, driving style, age, and driving conditions. *Accident Analysis & Prevention*, *150*, 105919. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2020.105919>
- Hammad, M. A. (2016). Future anxiety and its relationship to students’ attitude toward academic specialization. *Journal of Education and Practice*, *7*(15), 54–65. <http://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1103253.pdf>

- Henry, M. A., Shorter, S., Charkoudian, L. K., Heemstra, J. M., Le, B., & Corwin, L. A. (2021). Quantifying fear of failure in STEM: Modifying and evaluating the Performance Failure Appraisal Inventory (PFAI) for use with STEM undergraduates. *International Journal of STEM Education*, 8(1). <https://doi.org/10.1186/s40594-021-00300-4>
- Hidi, S., & Renninger, K. A. (2006). The four-phase model of interest development. *Educational Psychologist*, 41(2), 111–127. https://doi.org/10.1207/s15326985ep4102_4
- Hlásková, L., Kopecký, Z., Solař, A., & Patočka, Z. (2019). Cutting test as source of fracture toughness and shear yield strength for axial-perpendicular model of wood cutting. *Wood and Fiber Science*, 51(1), 58–68. <https://doi.org/10.22382/wfs-2019-006>
- Hong, J., Chang, C., Tsai, C., & Tai, K. (2019). How situational interest affects individual interest in a STEAM competition. *International Journal of Science Education*, 41(12), 1667–1681. <https://doi.org/10.1080/09500693.2019.1624992>
- Huang, X., Xue, Y., Ren, S., & Wang, F. (2023). Sensor-based wearable systems for monitoring human motion and posture: A review. *Sensors*, 23(22), 9047. <https://doi.org/10.3390/s23229047>
- Iljannah, L. L., Parno, P., Sujito, S., & Nawi, N. D. (2025). Improving critical thinking skills through a STEAM-integrated SSCS learning model on static fluid concepts. *Jurnal Pendidikan Fisika Dan Teknologi*, 11(1), 197–212. <https://doi.org/10.29303/jpft.v11i1.8831>
- John, O. P., Donahue, E. M., & Kentle, R. L. (1991). *Big Five Inventory (BFI)* [Database record]. APA PsycTests. <https://doi.org/10.1037/t07550-000>
- John, O. P., Naumann, L. P., & Soto, C. J. (2008). Paradigm shift to the integrative Big Five trait taxonomy: History, measurement, and conceptual

- issues. In O. P. John, R. W. Robins, & L. A. Pervin (Eds.), *Handbook of personality: Theory and research* (3rd ed., pp. 114–158). The Guilford Press.
- Juhel, J. (2018). Studying differential invariants in developmental variations. *Psychology, 09*(04), 655–678. <https://doi.org/10.4236/psych.2018.94041>
- Kagan, J. (1965). Impulsive and reflective children: Significance of conceptual tempo. *Learning and the educational process. Chicago: Rand McNally, 133*, 161.
- Karakikes, M. (2017). Development and evaluation of a wearable motion tracking system, to support hand-tool design (Master's thesis, National Technical University of Athens). Retrieved from https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/44867/Diploma_Thesis_KARAKIKES_MICHAEL_2017.pdf
- Karoulla, E., Matsangidou, M., Frangoudes, F., Paspalides, P., Neokleous, K., & Pattichis, C. S. (2024). Tracking Upper Limb Motion via Wearable Solutions: Systematic Review of Research from 2011-2023 (Preprint). *Journal of Medical Internet Research, 26*, e51994. <https://doi.org/10.2196/51994>
- Khine, M. S., & Nielsen, T. (2022). Current status of research on academic self-efficacy in education. In M. S. Khine & T. Nielsen (Eds.), *Academic self-efficacy in education* (pp. 3–8). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-16-8240-7_1
- Kolb, D. A. (2014). *Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development*. FT Press.
- Kyriazos, T. A., Stalikas, A., Prassa, K., Galanakis, M., Flora, K., & Chatzilia, V. (2018). The flow short scale (FSS) dimensionality and what MIMIC shows on heterogeneity and invariance. *Psychology, 09*(06), 1357–1382. <https://doi.org/10.4236/psych.2018.96083>

- Laland, K., & Seed, A. (2021). Understanding Human Cognitive Uniqueness. *Annual Review of Psychology*, 72(1), 689–716.
<https://doi.org/10.1146/annurev-psych-062220-051256>
- Leonardi, S., Distefano, N., & Pulvirenti, G. (2020). Identification of road safety measures for elderly pedestrians based on K-means clustering and hierarchical cluster analysis. *Archives of Transport*, 56(4), 107–118.
<https://doi.org/10.5604/01.3001.0014.5630>
- Liao, X., Mehrotra, S., Ho, S., Gorospe, Y., Wu, X., & Mistu, T. (2022). Driver profile modeling based on driving style, personality traits, and mood states. In *2022 IEEE 25th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)* (pp. 709–716). IEEE.
<https://doi.org/10.1109/itsc55140.2022.9921996>
- Lin, S., Fong, C. J., & Wang, Y. (2017). Chinese undergraduates' sources of self-efficacy differ by sibling status, achievement, and fear of failure along two pathways. *Social Psychology of Education*, 20(2), 361–386.
<https://doi.org/10.1007/s11218-017-9367-0>
- Liu, J., Liu, Y., Li, D., Wang, H., Huang, X., & Song, L. DSDCLA: driving style detection via hybrid CNN-LSTM with multi-level attention fusion. *Applied Intelligence*, 53(16), 19237–19254 (2023).
<https://doi.org/10.1007/s10489-023-04451-5>
- Luo, X., Ge, Y., & Qu, W. (2023). The association between the Big Five personality traits and driving behaviors: A systematic review and meta-analysis. *Accident Analysis & Prevention*, 183, 106968.
<https://doi.org/10.1016/j.aap.2023.106968>
- Martin, A. J., & Dowson, M. (2009). Interpersonal relationships, motivation, engagement, and achievement: Yields for theory, current issues, and educational practice. *Review of Educational Research*, 79(1), 327–365.
<https://doi.org/10.3102/0034654308325583>

- Martin, F., Ritzhaupt, A., Kumar, S., & Budhrani, K. (2019). Award-winning faculty online teaching practices: Course design, assessment and evaluation, and facilitation. *The Internet and Higher Education*, 42, 34–43. <https://doi.org/10.1016/j.iheduc.2019.04.001>
- Martinelli, F., Mercaldo, F., Orlando, A., Nardone, V., Santone, A., & Sangaiah, A. K. (2018). Human behavior characterization for driving style recognition in vehicle system. *Computers & Electrical Engineering*, 83, 102504. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2017.12.050>
- Martinez, C. M., Heucke, M., Wang, F., Gao, B., & Cao, D. (2017). Driving Style Recognition for Intelligent Vehicle Control and Advanced Driver Assistance: A Survey. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 19(3), 666–676. <https://doi.org/10.1109/tits.2017.2706978>
- McCrae, R., & Costa, P. (2008). Empirical and theoretical status of the five-factor model of personality traits. In G. J. Boyle, G. Matthews, D. H. Saklofske (Eds.) *Empirical and theoretical status of the five-factor model of personality traits* (Vol. 1, pp. 273-294). SAGE Publications Ltd, <https://doi.org/10.4135/9781849200462.n13>
- Nadelson, L. S., & Seifert, A. L. (2017). Integrated STEM defined: Contexts, challenges, and the future. *The Journal of Educational Research*, 110(3), 221–223. <https://doi.org/10.1080/00220671.2017.1289775>
- Nasir, V., & Cool, J. (2018). A review on wood machining: characterization, optimization, and monitoring of the sawing process. *Wood Material Science and Engineering*, 15(1), 1–16. <https://doi.org/10.1080/17480272.2018.1465465>
- Nasir, V., Cool, J. Characterization, optimization, and acoustic emission monitoring of airborne dust emission during wood sawing. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 109(9), 2365–2375 (2020). <https://doi.org/10.1007/s00170-020-05842-5>

- Naylor, A. (2014). Evaluating the cutting mechanics of woodworking hand-saw teeth. *International Journal of Materials Mechanics and Manufacturing*, 2(2), 113–116. <https://doi.org/10.7763/ijmmm.2014.v2.111>
- Nigg, J. T. (2016). Annual research review: On the relations among self-regulation, self-control, executive functioning, effortful control, cognitive control, impulsivity, risk-taking, and inhibition for developmental psychopathology. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 58(4), 361–383. <https://doi.org/10.1111/jcpp.12675>
- Norsworthy, C., Jackson, B., & Dimmock, J. A. (2021). Advancing our understanding of psychological flow: A scoping review of conceptualizations, measurements, and applications. *Psychological Bulletin*, 147(8), 806–827. <https://doi.org/10.1037/bul0000337>
- O'Flynn, B., Sanchez, J. T., & Connolly, J. (2015). Integrated smart glove for hand motion monitoring. *Proceedings of Sensor Devices 2015*. Retrieved from <https://pure.ulster.ac.uk/files/11555412/Sensordevices2015.pdf>
- Osiurak, F. (2013). Apraxia of tool use is not a matter of affordances. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00890>
- Osiurak, F., & Badets, A. (2016). Tool use and affordance: Manipulation-based versus reasoning-based approaches. *Psychological Review*, 123(5), 534–568. <https://doi.org/10.1037/rev0000027>
- Osiurak, F., & Heinke, D. (2018). Looking for intoelligence: A unified framework for the cognitive study of human tool use and technology. *American Psychologist*, 73(2), 169–185. <https://doi.org/10.1037/amp0000162>
- Osiurak, F., & Reynaud, E. (2019). The elephant in the room: What matters cognitively in cumulative technological culture. *Behavioral and Brain Sciences*, 43. Article e156. <https://doi.org/10.1017/s0140525x19003236>

- Osiurak, F., Jarry, C., & Gall, D. L. (2010). Grasping the affordances, understanding the reasoning: Toward a dialectical theory of human tool use. *Psychological Review*, *117*(2), 517–540.
<https://doi.org/10.1037/a0019004>
- Osiurak, F., Rossetti, Y., & Badets, A. (2017). What is an affordance? 40 years later. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *77*, 403–417.
<https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2017.04.014>
- Pereira, A. G., Lima, T. M., & Charrua-Santos, F. (2020). Industry 4.0 and Society 5.0: Opportunities and threats. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, *8*(5), 3305–3308.
<https://doi.org/10.35940/ijrte.d8764.018520>
- Quigley, C. F., Herro, D., King, E., & Plank, H. (2020). STEAM designed and enacted: Understanding the process of design and implementation of steam curriculum in an elementary school. *Journal of Science Education and Technology*, *29*(4), 499–518. <https://doi.org/10.1007/s10956-020-09832-w>
- Rahbi, D. A., Khalid, K., & Khan, M. (2017). The effects of leadership styles on team motivation. *Academy of Strategic Management Journal*, *16*(2), 1-14.
<https://www.abacademies.org/articles/The-effects-of-leadership-styles-1939-6104-16-3-113.pdf>
- Ravsanjani, R., Raji, F., & Salahuddin, M. (2023). Redesign the wood cutting saw to be more ergonomic using the TRIZ method. *Jurnal Riset Ilmu Teknik*, *1*(3), 175–185. <https://doi.org/10.59976/jurit.v1i3.22>
- Ren, G., Zhang, Y., Liu, H., Zhang, K., & Hu, Y. (2019). A new lane-changing model with consideration of driving style. *International Journal of Intelligent Transportation Systems Research*, *17*(3), 181–189.
<https://doi.org/10.1007/s13177-019-00180-7>

- Renninger, K. A., & Hidi, S. E. (2022). Interest: A unique affective and cognitive motivational variable that develops. In *Advances in motivation science* (pp. 179–239). <https://doi.org/10.1016/bs.adms.2021.12.004>
- Reynaud, E., Lesourd, M., Navarro, J., & Osiurak, F. (2016). On the neurocognitive origins of human tool use : A critical review of neuroimaging data. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *64*, 421–437. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.03.009>
- Rheinberg, F., & Engeser, S. (2018). Intrinsic motivation and flow. In R. M. Ryan (Ed.), *The science of motivation: Multidisciplinary perspectives on discovery and applications* (pp. 579–622). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-65094-4_14
- Riding, R., & Rayner, S. (2013). *Cognitive styles and learning strategies*. David Fulton Publishers. <https://doi.org/10.4324/9781315068015>
- Rohaeti, E. E., Ramadan, B. G., & Fitriani, N. (2019). Cognitive stage relation with creative thinking ability and mathematical learning interests. *Journal of Physics Conference Series*, *1315*(1), 012079. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1315/1/012079>
- Romppel, M., Herrmann-Lingen, C., Wachter, R., Edelmann, F., Dungen, H., Pieske, B., & Grande, G. (2013). A short form of the General Self-Efficacy Scale (GSE-6): Development, psychometric properties and validity in an intercultural non-clinical sample and a sample of patients at risk for heart failure. *Psychosocial Medicine*, *10*, Doc01. <https://doi.org/10.3205/psm000091>
- Rotgans, J. I., & Schmidt, H. G. (2017). Interest development: Arousing situational interest affects the growth trajectory of individual interest. *Contemporary Educational Psychology*, *49*, 175–184. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2017.02.003>

- Sagberg, F., Selpi, Bianchi Piccinini, G. F., & Engström, J. (2015). A review of research on driving styles and road safety. *Human Factors*, 57(7), 1248-1275. <https://doi.org/10.1177/0018720815591313>
- Salmi, H. S., Thuneberg, H., & Bogner, F. X. (2020). Is there deep learning on Mars? STEAM education in an inquiry-based out-of-school setting. *Interactive Learning Environments*, 31(2), 1173–1185. <https://doi.org/10.1080/10494820.2020.1823856>
- Santos, J. M., & Embrechts, M. (2009). On the use of the adjusted Rand index as a metric for evaluating supervised classification. In M. Verleysen (Ed.), *Lecture Notes in Computer Science: Vol. 5519. Proceedings of the 19th European Symposium on Artificial Neural Networks* (pp. 175–184). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-04277-5_18
- Schallberger, U., & Pfister, R. (2001). Flow-Erleben in Arbeit und Freizeit: Eine Untersuchung zum "Paradox der Arbeit" mit der Experience Sampling Method (ESM). *Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie*, 45(4), 176–187. <https://doi.org/10.1026//0932-4089.45.4.176>
- Schunk, D. H., & DiBenedetto, M. K. (2020). Self-efficacy and human motivation. In A. J. Elliot (Ed.), *Advances in motivation science* (Vol. 7, pp. 153–179). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/bs.adms.2020.10.001>
- Shi, S., Zhang, Z., Wang, Y., Yue, H., Wang, Z., & Qian, S. (2021). The relationship between college teachers' frustration tolerance and academic performance. *Frontiers in Psychology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.564484>
- Silvia, P. J. (2008). Interest—The curious emotion. *Current directions in psychological science*, 17(1), 57–60. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8721.2008.00548.x>

- Soto, C. J., & John, O. P. (2017). The next Big Five Inventory (BFI-2): Developing and assessing a hierarchical model with 15 facets to enhance bandwidth, fidelity, and predictive power. *Journal of Personality and Social Psychology, 113*(1), 117–143. <https://doi.org/10.1037/pspp0000096>
- Steinbakk, R. T., Ulleberg, P., Sagberg, F., & Fostervold, K. I. (2019). Speed preferences in work zones: The combined effect of visible roadwork activity, personality traits, attitudes, risk perception and driving style. *Transportation Research Part F Traffic Psychology and Behaviour, 62*, 390–405. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2019.01.017>
- Stroe, S., Sirén, C., Shepherd, D., & Wincent, J. (2019). The dualistic regulatory effect of passion on the relationship between fear of failure and negative affect: Insights from facial expression analysis. *Journal of Business Venturing, 35*(4), 105948. <https://doi.org/10.1016/j.jbusvent.2019.105948>
- Tang, L., Jia, Y., & Xue, Y. (2024). Robotic manipulation of hand tools: The case of screwdriving. In *2024 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)* (pp. 13883–13890). <https://doi.org/10.1109/icra57147.2024.10610831>
- Taubman-Ben-Ari, O., & Skvirsky, V. (2016). The multidimensional driving style inventory a decade later: Review of the literature and re-evaluation of the scale. *Accident Analysis & Prevention, 93*, 179–188. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2016.04.038>
- Taubman-Ben-Ari, O., Mikulincer, M., & Gillath, O. (2004). The multidimensional driving style inventory—scale construct and validation. *Accident Analysis & Prevention, 36*(3), 323–332. [https://doi.org/10.1016/S0001-4575\(03\)00010-1](https://doi.org/10.1016/S0001-4575(03)00010-1)
- Tement, S., Musil, B., Plohl, N., Horvat, M., Stojmenova, K., & Sodnik, J. (2022). Assessment and profiling of driving style and skills. In M. C. Schmid & A. Mitrevski (Eds.), *Studies in Computational Intelligence* (Vol.

- 1000, pp. 151–176). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-77726-5_7
- Thill, S., Caligiore, D., Borghi, A. M., Ziemke, T., & Baldassarre, G. (2013). Theories and computational models of affordance and mirror systems: An integrative review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *37*(3), 491–521. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2013.01.012>
- Thygesen, K. L., Drapeau, M., Trijsburg, R. W., Lecours, S., & De Roten, Y. (2008). Assessing defense styles: Factor structure and psychometric properties of the new Defense Style Questionnaire 60 (DSQ-60). *Revista Internacional de Psicología y Terapia Psicológica*, *8*(2), 171–181. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2595406.pdf>
- Turpin, D., Wang, L., Tsogkas, S., Dickinson, S., & Garg, A. (2021). GIFT: Generalizable interaction-aware functional tool affordances without labels. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arxiv.2106.14973>
- Utesch, T., Bardid, F., Büsch, D., & Strauss, B. (2019). The relationship between motor competence and physical fitness from early childhood to early adulthood: A meta-analysis. *Sports Medicine*, *49*(4), 541–551. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01068-y>
- Van Der Linden, D., Tops, M., & Bakker, A. B. (2020). Go with the flow: A neuroscientific view on being fully engaged. *European Journal of Neuroscience*, *53*(4), 947–963. <https://doi.org/10.1111/ejn.15014>
- Van Nunen, K., Li, J., Reniers, G., & Ponnet, K. (2018). Bibliometric analysis of safety culture research. *Safety Science*, *108*, 248–258. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.08.011>
- Wang, C., & Cai, D. (2020). Hand tool handle size and shape determination based on hand measurements using a contour gauge. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, *30*(5), 349–364. <https://doi.org/10.1002/hfm.20846>

- Wang, W., & Xi, J. (2016). A rapid pattern-recognition method for driving styles using clustering-based support vector machines. In *Proceedings of the 2016 American Control Conference (ACC)* (pp. [5270-5275]). IEEE. <https://doi.org/10.1109/acc.2016.7526495>
- Wang, W., Xi, J., Chong, A., & Li, L. (2017). Driving style classification using a semisupervised support vector machine. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 47(5), 650–660. <https://doi.org/10.1109/thms.2017.2736948>
- Wang, Y., Qu, W., Ge, Y., Sun, X., & Zhang, K. (2018). Effect of personality traits on driving style: Psychometric adaption of the multidimensional driving style inventory in a Chinese sample. *PLoS ONE*, 13(9), e0202126. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202126>
- Wang, Y., Wang, Y., Pan, Z., & Ortega-Martín, J. L. (2024). The predicting role of EFL students' achievement emotions and technological self-efficacy in their technology acceptance. *Asia-Pacific Education Researcher*, 33, 771–782. <https://doi.org/10.1007/s40299-023-00750-0>
- Wilde, J. (2012). The relationship between frustration intolerance and academic achievement in college. *International Journal of Higher Education*, 1(2), 1–8. <https://doi.org/10.5430/ijhe.v1n2p1>
- Wong, J. T., Chen, E., Au-Yeung, N., Lerner, B. S., & Richland, L. E. (2024). Fostering engaging online learning experiences: Investigating situational interest and mind-wandering as mediators through learning experience design. *Education and Information Technologies*, 29(14), 18789–18815. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-12524-2>
- Wu, H. (2015). Wire sawing technology: A state-of-the-art review. *Precision Engineering*, 43, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.precisioneng.2015.08.008>
- Wu, X., Liu, H., Xiao, L., & Yao, M. (2024). Reciprocal relationship between learning interest and learning persistence: Roles of Strategies for Self-

- Regulated Learning Behaviors and Academic performance. *Journal of Youth and Adolescence*, 53(9), 2080–2096. <https://doi.org/10.1007/s10964-024-01994-9>
- Wulf, G., & Lewthwaite, R. (2016). Optimizing performance through intrinsic motivation and attention for learning: The OPTIMAL theory of motor learning. *Psychonomic Bulletin & Review*, 23(5), 1382–1414. <https://doi.org/10.3758/s13423-015-0999-9>
- Xu, R., & Wunsch, D. (2005). Survey of clustering algorithms. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 16(3), 645–678. <https://doi.org/10.1109/tnn.2005.845141>
- Yee, M., Yunos, J. M., Othman, W., Hassan, R., Tee, T., & Mohamad, M. M. (2015). Disparity of learning styles and higher order thinking skills among technical students. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 204, 143–152. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.08.127>
- Yurtsever, E., Lambert, J., Carballo, A., & Takeda, K. (2020). A survey of autonomous driving: Common practices and emerging technologies. *IEEE Access*, 8, 58443–58469. <https://doi.org/10.1109/access.2020.2983149>
- Zheng, Y., Janiszewski, C., & Schreier, M. (2022). Exploring the origins of intrinsic motivation. *Motivation and Emotion*, 47(1), 28–45. <https://doi.org/10.1007/s11031-022-09969-8>
- Zhou, F., Zhang, N., Wang, N., & Mou, J. (2023). Design affordance in VR and customization intention: Is customer inspiration a missing link? *Technological Forecasting and Social Change*, 192, 122594. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122594>
- Zoran, A., Shilkrot, R., Goyal, P., Maes, P., & Paradiso, J. A. (2014). The wise chisel: The rise of the smart handheld tool. *IEEE Pervasive Computing*, 13(3), 48–57. <https://doi.org/10.1109/mprv.2014.59>



附錄一

五大人格量表

五大人格量表

您好！感謝您參與本次調查。本問卷旨在瞭解學生的人格特質，藉此更好地支持學生的學習和成長。請根據您真實的感受來回答每一道題目。問卷中的問題沒有對錯之分，您的答案將完全保密，僅用於學術研究目的。

請閱讀每一題，並在您覺得最符合的選項上打勾。這個過程大約需要 3 分鐘。

	題目	非常同意	同意	普通	不同意	非常不同意
1.	我是個充滿活力的人。					
2.	我是個有非常多熱情的人。					
3.	我是個喜歡外出、好社交的人。					
4.	我是個樂於助人且無私的人。					
5.	我是個有寬容本質的人。					
6.	我是個幾乎對所有人都體貼且仁慈的人。					
7.	我是個可信賴的工作者。					
8.	我是個會堅持到工作完成的人。					
9.	我是個做事有效率的人。					
10.	我是個會擔心很多的人。					
11.	我是個情緒不穩定的人。					
12.	我是個容易感到緊張的人。					
13.	我是個具有生動想像力的人。					
14.	我是個有創造力的人。					
15.	我是個重視藝術及美學經驗的人。					

感謝填寫

附錄二

手線鋸操作感受量表

手線鋸操作感受量表

您好！感謝您參與本次調查。本問卷旨在瞭解學生的人格特質，藉此更好地支持學生的學習和成長。請根據您真實的感受來回答每一道題目。問卷中的問題沒有對錯之分，您的答案將完全保密，僅用於學術研究目的。

請閱讀每一題，並在您覺得最符合的選項上打勾。

題目	非常同意	同意	無意見	不同意	非常不同意
一、心流					
1. 鋸切過程中，我雖不知道我要做什麼但仍然忘我的做下去。					
2. 鋸切結束後，我有點無法回神(活動後還想著活動的事)。					
3. 我在鋸切上極度的全神灌注，而忘了我在做什麼。					
4. 我在鋸切中能克服難關且持續投入進而掌控大局。					
5. 我在這個鋸切中體驗到忘我境界。					
6. 我太專心以致於時間過去完全沒有感覺。					
二、情境興趣					
1. 我喜歡鋸切這項活動。					
2. 我想了解更多關於鋸切的技巧和知識。					
3. 我覺得鋸切是一件有趣的事。					
4. 我希望自己能好好掌握鋸切這項技術。					
5. 我在鋸切木板時，完全專注於眼前的作業，不會分心。					
6. 我在進行完鋸切活動後，發覺鋸切是很有趣的事。					

背面還有題目

題目	非常同意	同意	無意見	不同意	非常不同意
三、自我效能					
1. 我相信只要我努力，就能在鋸切活動中表現良好。					
2. 即使鋸切任務很困難，我也有信心順利完成。					
3. 面對鋸切活動中的挑戰，我能保持冷靜並找到方法克服。					
4. 即使沒有老師幫忙，我也能理解鋸切活動的原理。					
5. 當鋸切過程遇到問題時，我能夠自己找出解決方法。					
6. 我能運用自己的能力，制定鋸切任務的處理步驟。					
四、挫折容忍度					
1. 我會不斷嘗試，直到找出正確方法為止。					
2. 我喜歡有挑戰性的活動。					
3. 我認為嘗試去思考或解決困難的任務是很有趣的。					
4. 我願意去嘗試困難度較高的任務。					
5. 我認為再困難的問題都會被解決。					
6. 當面對他人的嘲笑時，我會理智面對，而不會一直難過。					
五、失敗恐懼					
1. 當我失敗時，我會對我的未來感到迷茫。					
2. 當我失敗時，我會擔心別人對我的興趣減少。					
3. 當我失敗時，我會擔心別人會對我的價值感降低。					
4. 當我失敗時，我會擔心影響到重要的人。					
5. 當我失敗時，我會擔心別人會怎麼去想我。					
6. 當我失敗時，它會打亂我對未來計劃的安排。					

感謝填寫

附錄三

階層分析與 K-Means 分群結果對照一覽表

ID	階層分析	K-Means	ID	階層分析	K-Means	ID	階層分析	K-Means
A01	3	3	A32	2	2	A63	3	3
A02	3	3	A33	3	3	A64	1	3
A03	3	3	A34	1	1	A65	3	3
A04	3	3	A35	3	1	A66	1	1
A05	3	3	A36	3	3	A67	1	3
A06	3	1	A37	3	1	A68	3	2
A07	1	1	A38	1	1	A69	1	3
A08	1	1	A39	3	1	A70	1	1
A09	1	1	A40	3	1	A71	3	3
A10	3	1	A41	3	1	A72	1	3
A11	2	2	A42	3	1	A73	2	2
A12	1	3	A43	1	1	A74	1	3
A13	3	1	A44	1	1	A75	2	2
A14	1	1	A45	3	1	A76	1	1
A15	3	1	A46	3	1	A77	1	3
A16	1	1	A47	1	3	A78	2	2
A17	3	1	A48	3	2	A79	3	2
A18	3	1	A49	2	2	A80	3	1
A19	3	1	A50	3	2			
A20	3	1	A51	3	3			
A21	3	1	A52	3	2			
A22	1	1	A53	1	3			
A23	1	1	A54	1	3			
A24	2	2	A55	3	3			
A25	2	2	A56	1	3			
A26	1	3	A57	3	3			
A27	3	3	A58	1	1			
A28	3	2	A59	1	1			
A29	1	1	A60	1	1			
A30	3	3	A61	2	2			
A31	2	2	A62	2	2			