

AI 模型本地部署與 Agent 工作流在 K-12 STEAM 課程中的應用——以足弓檢測系統為例

On-Device AI and Agent Workflows Design in K-12 STEAM Curriculum: A Case Study of a Foot Arch Detection System

周媛礼 1*, 佟鑫 2

¹ 明愛莊月明中學

²TensorSpace Global Limited

*ylzhou@ccym.edu.hk

【摘要】 本研究以校園足部健康問題為情境，設計並實施一個融合物理光學、機器學習模型本地部署、Agent 工作流與物聯網整合的跨學科 STEAM 項目。32 名中學生完成硬件製作、數據採集、AI 模型訓練與智能應用開發，建構足弓檢測與鞋類適配評估系統。研究採行動研究方法，透過作品分析、課堂觀察與訪談資料，探討低門檻 AI 工具在 K-12 情境下支撐深度項目式學習之可能性。結果顯示，真實問題驅動與可視化 AI 工具結合，有助於促進學生跨學科整合、工程決策與問題排查能力之發展。

【關鍵字】 STEAM 教育；機器學習本地部署；Agent 工作流；項目式學習；K-12 人工智能教育

Abstract: This study situates a cross-disciplinary STEAM project within the authentic context of student foot health and integrates physical optics, on-device machine learning models, Agent workflow design, and IoT integration. A total of 32 secondary students completed hardware fabrication, data collection, AI model training, and intelligent application development, resulting in a functional system for arch detection and footwear suitability assessment. Adopting an action research approach, the study analyzes student artifacts, classroom observations, and interview data to examine how low-threshold AI tools can support deep project-based learning in K-12 contexts. Findings indicate that the combination of authentic problem-driven learning and visualized AI tools contributes to the development of students' interdisciplinary integration, engineering decision-making, and systematic troubleshooting abilities.

Keywords: STEAM Education, On-device Machine Learning, Agent Workflow, Project-Based Learning, K-12 AI Education

1. 問題背景

1.1. STEAM 教育的機遇與現實落差

STEAM 教育近年在全球 K-12 階段得到廣泛推廣，其核心理念是打破學科邊界，讓學生在真實情境中整合科學、技術、工程、藝術與數學知識，培養解決複雜問題的能力（Quigley & Herro, 2016）。理念與課堂實踐之間存在相當的落差，許多 STEAM 課程在實施層面仍未能真正達成跨學科融合。常見情況是，課程在形式上整合多個學科，實際上仍以分科講授與工具操作為主，學生較難在單一問題脈絡中理解知識之間的相互依存關係。缺乏真實問題驅

動的 STEAM 課程，也較難達到 Krajcik 與 Blumenfeld（2005）所強調的深度項目式學習效果。

1.2. 青少年足部健康：一個被忽視的校園問題

足弓並非一個抽象的解剖學概念。作為足部承重的核心結構，它在人體每一次行走或跑步時吸收衝擊、分散壓力，同時影響整條力線的傳導方向，即從踝關節到膝、髖，乃至脊柱。足弓形態的異常，往往意味著上述力線的長期偏移，其後果在青少年運動量較大的成長期尤為值得關注。

現有流行病學資料顯示，青少年扁平足的問題比一般認知更為普遍。文獻報告我國青少年扁平足發生率約介於 23.7%至 49%之間（李海等，2018）。足弓問題在青少年群體中相當普遍，卻長期未受到系統性關注。足弓異常所造成的力線偏移，確實會向上傳導並波及膝、髖和脊柱的健康狀況。

問題的嚴重性不只在於數字本身，更在於其對學生日常學習生活的影響缺乏系統性識別與干預機制。扁平足患者在體育活動中更容易出現疲勞和疼痛，久而久之可能在主觀上迴避運動，而家長和學生往往難以識別症狀根源，更談不上主動選擇適合足弓形態的鞋類加以干預。足部問題的早期預防，有賴於便捷可靠的檢測手段，而這恰恰是現實中最為缺乏的一環。

1.3. AI 工具的介入：降低門檻還是增加複雜性？

近年出現的面向 K-12 教育的 AI 應用工具，為上述困境提供了一種可能的出路。機器學習訓練平台 Teachable Machine、可視化工作流編輯器、積木式程序設計環境 Micro:bit 等工具，使學生得以在不深入底層算法的前提下，親手完成數據採集、模型訓練到應用部署的完整流程，從而將技術學習的重心從「如何實現」轉向「在具體問題情境中進行技術路徑判斷與方案優化」。

然而，工具的可及性並不自動保證教育效果。如何選擇一個足夠真實、足夠複雜、同時又在學生能力範圍之內的問題情境，如何在 10 週的有限時間內組織一個涵蓋硬件製作、數據工作與智能應用的完整項目，如何評估學生在過程中真正習得的不只是操作技能而是跨學科思維？這些問題的答案，有賴於具體課堂實踐的積累與研究驗證。

在政策層面，香港特區政府近年持續推動 STEAM 教育發展，《2015 年度香港行政長官施政報告》將 STEAM 列為重點推動範疇，香港教育大學、香港中文大學等高校亦積極開展相關研究與教師培訓。2025 年成立的「粵港澳高校中小學 STEAM 教育聯盟」，進一步整合了三地的教育資源，為跨學科課程的開發與推廣提供了更廣泛的協作平台（EdUHK, 2025）。政策與資源的配套，使得在香港中學開展 AI 與 STEAM 融合的系統性實踐研究具備了良好的外部條件。

2. 研究意義

本研究以校園學生的足部健康問題為切入點，設計並實施一套融合物理光學、機器學習、物聯網通信與多模態人工智能的跨學科項目，借助 TensorSpace 平台提供的可視化 AI 工具，探索 AI 技術賦能 K-12 STEAM 教育的可行路徑。

從理論角度而言，現有 STEAM 教育研究對於 AI 技術如何具體嵌入跨學科項目設計的探討尚屬有限，尤其缺乏涉及機器學習模型的本地部署、可視化 Agent 工作流與物聯網協同的完整項目案例。本研究嘗試填補這一空白，並借助行動研究的框架，驗證項目式學習理論在 AI 融合情境下的實際效果。

從實踐角度而言，足弓檢測系統本身具有真實的使用價值，學生開發的工具可以在校內持續為同學提供足部健康評估服務，這一真實受眾的存在，使整個項目超越了純粹的課程練

習，賦予學生切實的工程責任感。同時，項目所形成的課程設計框架、技術工具配置方案與教學反思，也可為香港及粵港澳地區有意推動類似實踐的教師提供具體參考。

3.研究問題

圍繞上述背景，本研究聚焦以下三個核心問題：

1. 在 K-12 教育情境下，如何設計以真實健康問題為驅動的跨學科 AI 項目，使學生得以在完整的工程流程中整合多學科知識？
2. 低門檻 AI 工具平台在多大程度上能夠支撐學生完成從數據採集、模型訓練到智能 Agent 部署的全鏈路開發？
3. 參與本項目的學生，在 AI 素養、跨學科思維與問題解決能力方面有哪些可觀察的發展？

在此基礎上，本研究預設：圍繞真實問題設計的跨學科 AI 項目，結合可視化工具的適當支撐，能夠促進學生在技術理解與工程思維上的深度學習；而對照組的缺失意味著這一預設在本研究中只能得到描述性而非因果性的驗證，留待後續研究以更嚴謹的準實驗設計加以驗證。

4.研究範圍與局限

本研究以某香港中學中一至中三共 32 名學生為對象（年齡 12 至 15 歲），在一學期約 10 週內分五個階段完成項目。研究開發的系統包括亚克力板發光裝置、足弓圖像分類 TFLite 模型、Agent 智能體工作流與積木式 Micro:bit 交互程序，全部基於 TensorSpace 平台構建。

本研究採用行動研究取向，重在探討教學設計在真實課堂中的可行性與實踐效果，因此未設置對照組。為提升研究解釋力，未來研究可採用準實驗設計，例如設置傳統 STEAM 課程作為對照組，並透過前測與後測比較學生在 AI 素養與工程思維上的變化，以進一步驗證本研究教學模式的因果影響。

5.教學設計與實施過程

5.1. 課程整體架構

本項目以「硬件製作→數據採集→模型訓練→智能應用」為技術主線，每個階段的教學目標與任務設計，均圍繞「如何用技術解決足部健康問題」這一核心驅動展開，而非單純傳授某一學科知識或技術技能。課程的核心在於引導學生逐步建立「問題→需求→解決方案」的工程思維，而非完成預定的操作流程。

5.2. 第一階段：硬件設計與製作

課程從一場校園足部健康調查開始。學生首先以小組為單位，通過問卷調查與濕足印法測試，初步了解同學們的足部健康狀況。調查數據顯示，約 30% 的參與學生存在明顯的扁平足跡象，這一發現直接成為後續項目設計的動力來源。

基於調查結果，學生開始探討如何可視化足弓形態。物理教師引入全內反射原理，解釋亚克力板如何在光線照射下形成可視化足弓圖像。學生隨即進入硬件製作階段，每組負責製作一個亚克力板發光裝置，在亚克力板邊緣嵌入 LED 綠色燈串，利用全內反射原理實現螢光效果；當用戶光腳踩在亚克力板上時，足底接觸位置破壞全內反射條件，接觸點變成螢光圖案，從而清晰顯示足弓形狀。裝置內部設置 45 度角反射鏡，將頂部足底螢光印記反射到側方 AI 攝像頭。

在教師的引導下，硬件製作過程不是照圖組裝，而是一個持續提問與驗證的過程。為何選擇亚克力板而非玻璃？LED 燈的位置如何影響螢光均勻性？反射鏡角度稍有偏差會導致什

麼後果？這些問題沒有標準答案寫在黑板上，學生必須通過試錯和簡單計算自行驗證。部分小組在首次測試裝置時未能達到預期效果，這一情境反而成為關鍵學習契機。在測試與修正的迭代過程中，學生逐步辨識問題來源並調整設計方案。比成功本身更能深化對全內反射原理的理解。

5.3. 第二階段：數據採集與模型訓練

硬件裝置製作完成後，學生開始進行足弓數據採集。每組負責招募 10 名不同足弓類型的志願者，使用攝像頭對亚克力板上的足底效果進行採樣。採集過程中，學生需要學會調整攝像頭角度、設置合適的曝光參數，以確保圖像質量符合後續模型訓練的要求。

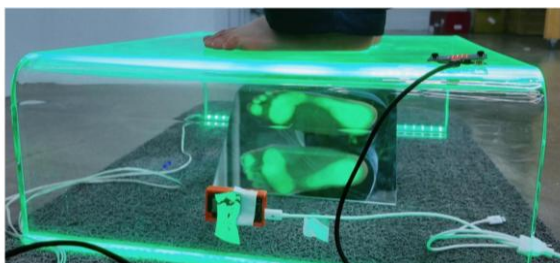


圖 1. 使用自製 AI 裝置進行足印採樣

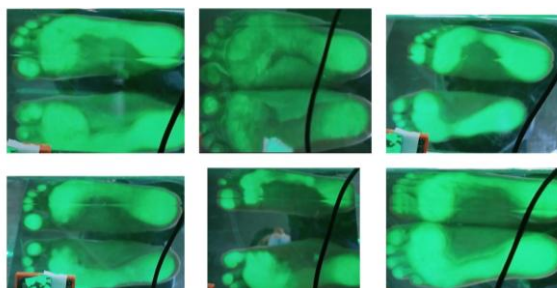


圖 2. 足印樣本

採集到的圖像經過篩選、分類與清洗後，按足弓類型（高足弓、正常足弓、扁平足）進行標註。學生登錄 TensorSpace 網站平台，進入圖像分類頁面，創建分類類別並導入標註後的樣本。系統採用 TensorFlow.js 作為訓練引擎，基於 MobileNetV3 預訓練模型進行遷移學習。學生需要調整訓練參數（訓練輪數、批次大小、學習率等），觀察訓練過程，分析混淆矩陣從而評估模型準確率。



圖 3. 學生在 TensorSpace 平台訓練圖像分類的 AI 模型

機器學習（Machine Learning）對大多數中學生而言是全新的概念，如何在不介紹底層算法的前提下建立直觀認知，是這一階段最核心的教學挑戰。教師採用具體比喻：模型訓練猶如「讓孩子透過大量觀察，學會分辨蘋果與橙子 0 的差異」，當例子足夠多時，系統便能歸納出區分不同足弓類型的形態特徵。當學生親眼看到調高學習率後訓練曲線出現劇烈震盪，或增加訓練樣本後混淆矩陣的準確率明顯提升，抽象的參數概念便有了具體的意義。

TensorFlow.js 模型在瀏覽器端訓練效率高，但體積較大，不適合直接在移動設備上運行。TensorSpace 將其轉換為 TFLite 格式，模型體積大幅縮減，從而實現在手機端實時推理。

5.4. 第三階段：Agent 智能體設計

在完成足弓類型分類模型訓練後，學生進一步思考如何將檢測結果轉化為具體的健康建議。基於不同足弓類型對鞋履支撐與緩震需求存在差異，課程引導學生延伸設計鞋類適配評估功能。模型訓練完成後，學生進入智能應用設計階段。使用 TensorSpace App 的可視化節點

編輯器，學生需要設計一個 Agent 工作流，實現足弓檢測與鞋類適配評估的完整流程。工作流包含四種核心節點：Input 節點配置輸入來源，啟用 BLE 實時輸入模式；Task 節點執行 LLM 推理任務，支持視覺輸入增強；Memory 節點管理對話歷史上下文；Output 節點實現 TTS 語音播報。

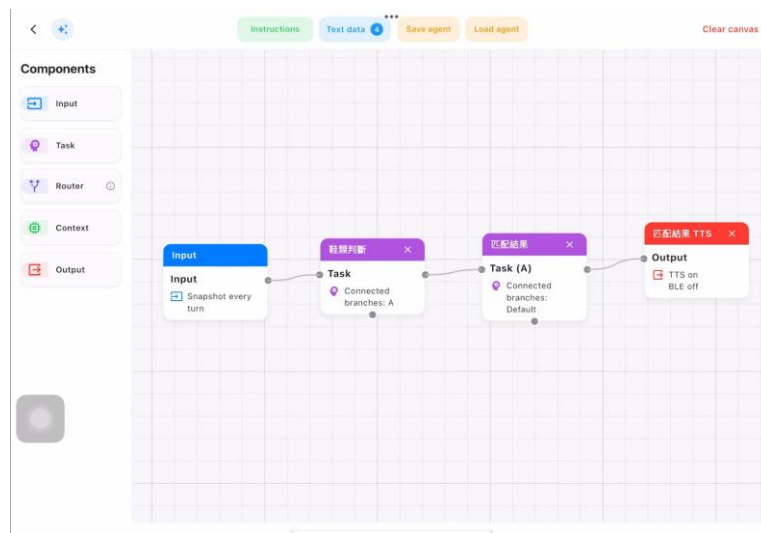


圖 4.學生在 TensorSpace 平台設計 Agent 工作流

學生需要設計兩個 Task 節點：第一節點啟用視覺輸入，利用大模型多模態能力識別鞋型；第二節點結合足弓類型、鞋型信息與醫學常識規則進行適配判斷。Output 節點啟用 TTS 通道，實現語音告知用戶適配結果。

鞋類判斷 settings

Task Instruction

如果畫面中鞋符合列表列出的鞋型，就簡潔陳述鞋的型號，足弓類型和前後掌高低，基於清單數據回復，回復內容不要包括解釋，如果沒有明確符合的，就選擇最接近的一個選項

Context Memory Status: Off

Branch Selection

This task has one downstream task node. You can configure what is sent to the downstream task node.

Tip: Turn off "Send AI Response" to send custom text to the downstream task node.

☒ Send AI Response
Downstream receives this task's AI response (default behavior).

Input Enhancement

Edit text

Name

鞋子判斷

Content

序號	鞋款名稱	足弓支撐	前後掌高低差
1	安踏 KAI 1 SPEED 歐文先驅1代	中等	前低後高
2	Nike Air Winflo 11	中等	前低後高
3	New Balance 574 (U574OP2)	中等	前低後高
4	Adidas PureBOOST 22	無	前低後高
5	Nike Sabrina 2 EP (FZ1517-101)	無	前低後高
6	黑色漆皮厚底樂福鞋	無	前低後高
7	Nike Air Force 1 兒童款 (魔術貼版)	無	前低後高
8	旋轉扣兒童運動鞋 (無特定品牌)	無	前低後高
9	Adidas PureBOOST 23	無	前低後高
10	極客鞋談 平步 皮質版 (既白)	中等	無高度差 (約4mm落差)
11	安踏馬赫3.0 PRO (MACH 3.0 PRO)	高	前低後高
12	德爾惠旋轉扣兒童運動鞋	無	前低後高
13	亞瑟士GEL-TACTIC 12	高	前低後高

Cancel Save settings Delete Cancel Save

圖 5.第一個任務節點：識別鞋型 圖 6.收集校內學生的鞋子款式作為數據庫

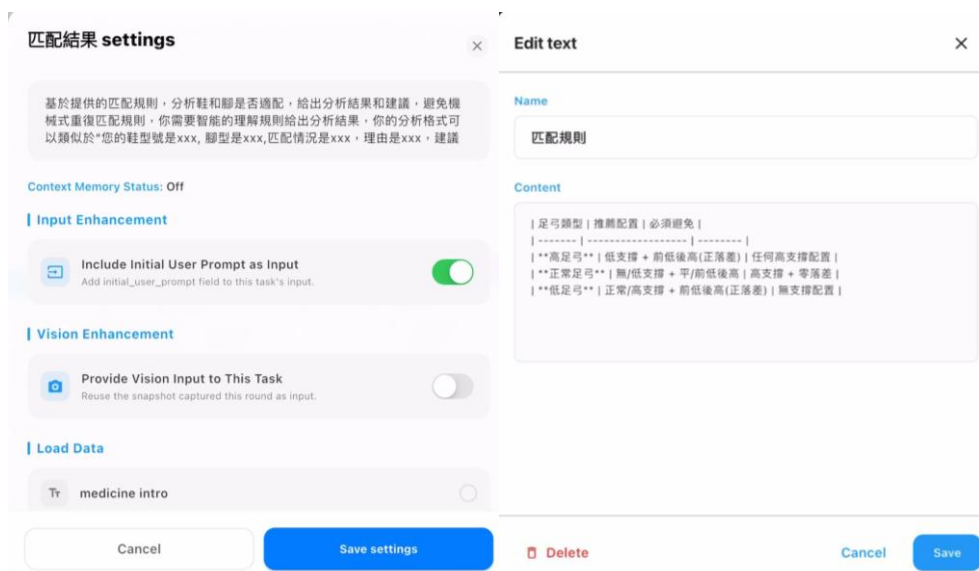


圖 7.第二個任務節點：進行適配分析 圖 8.查閱醫學資料確定分析規則

Agent 工作流設計對學生的思維方式提出了新的要求。與模型訓練不同，工作流設計沒有可量化的準確率指標作為評估依據，學生必須自問：節點之間的數據如何傳遞？如果足弓類型識別結果置信度偏低，第二個 Task 節點應該如何處理這個不確定性？如果用戶提供的鞋類圖像對焦模糊，多模態模型仍可能給出答覆，那麼這個答覆的可信度應如何告知用戶？這些問題促使學生從「功能實現」走向「系統可靠性」的思考維度，意識到一個完整的 AI 應用不只是模型推理的輸出，而是由感知、判斷、溝通構成的協作整體。

5.5. 第四階段：積木程序與物聯網集成

智能應用設計完成後，學生需要將其與物聯網設備集成，實現用戶與系統的自然交互。使用 TensorSpace App 的積木塊編程環境，學生設計 Micro:bit 交互程序：配置概率觸發發送積木塊，設置觸發條件為圖像分類模型識別到特定足弓類型，將足弓類型信息通過藍牙發送給 Micro:bit。

系統採用 Nordic UART Service 協議實現 App 與 Micro:bit 之間的雙向通信。學生需要學習 BLE 通信原理，理解服務 UUID、TX 特徵值與 RX 特徵值的含義。在實際操作中，學生需要解決設備連接不穩定、數據傳輸延遲等問題，培養實踐問題解決能力。

BLE 連接在實際操作中並不總是順暢，設備掃描超時、數據包丟失、連接意外斷開都是常見問題。學生在反覆測試與除錯的過程中，對通訊協議（communication protocol）、模型特徵參數（features）以及發佈 / 訂閱機制（publish-subscribe model）等概念形成了較課堂講授更為深刻的理解。物聯網技術因此不再是抽象概念，而是具有實際接縫與故障點的工程現實。

5.6. 第五階段：系統測試與優化

課程最後兩週，學生進行系統整合測試，驗證完整工作流程。測試流程包括：用戶赤腳踩在亞克力板上，足弓形狀因全內反射破壞而亮起；按下 Micro:bit 按鈕 A，App 捕獲反射的足弓畫面，模型推理識別足弓類型；識別結果通過藍牙發送給 Micro:bit；用戶將鞋子放置於亞克力板上，按下 Micro:bit 按鈕 B；Micro:bit 將足弓類型信息發送回 App，Agent 運行並語音播報適配結果。

測試過程中，學生需要記錄系統運行中的問題，例如模型識別準確率不足、Agent 回覆不自然、藍牙連接不穩定等。針對這些問題，學生需要進行優化調整，可能是增加訓練樣本數量，可能是調整 Agent 提示詞，也可能是優化積木程序邏輯。

系統聯調是整個學期最考驗耐心的環節。模型識別準確、藍牙傳輸正常、Agent 邏輯清晰，這三個條件單獨成立並不難，但要在一次完整操作流程中同時達到，往往需要多輪調試。學生通過混淆矩陣定位模型常將「扁平足」誤判為「正常足弓」的樣本分佈問題，通過日誌排查藍牙斷連的規律，通過修改 System Prompt 改善 Agent 的語言輸出質量。每一個問題的解決路徑，都是一次小型的工程決策演練。

課程最後兩節課為各組成果展示。學生不只是演示系統運行，還需要陳述自己在哪個環節遇到了最大的困難、做了哪些取捨與調整。跨組的提問往往比教師的評語更能觸發反思，不同小組在相同問題上選擇了不同的解決路徑，這種差異本身構成了最自然的比較學習素材。

5.7. 教學資源配置

項目所需的硬件材料包括亞克力板、LED 綠色燈帶、45 度角反射鏡與外置攝像頭，每組配備一套，成本在可接受的範圍內。軟件層面，TensorSpace 平台的網站端負責模型訓練，移動端 App 承載 Agent 工作流與積木編程，加上 Micro:bit 開發板，構成完整的技術棧。教師另建立線上共享空間存放各組的訓練數據集、模型文件與課堂記錄，方便各組相互參照，也為後續研究分析保留了完整的學習歷程文檔。

6. 學習成效與教學反思

6.1. 學生作品完成情況

項目結束時，學生交付的成果包括：亞克力板發光裝置一套、足弓圖像分類 TFLite 模型一個、Agent 工作流配置文件一份、Micro:bit 積木程序一份，以及項目開發過程記錄文檔。

從模型訓練結果來看，各組的足弓分類模型準確率存在明顯差異。準確率的差異主要源於訓練樣本的數量與質量：表現最好的小組採集了超過 100 張有效樣本，並在標註過程中嚴格控制了圖像質量；而準確率較低的小組樣本數量不足 50 張，且部分圖像存在曝光過度或對焦模糊的問題。這一結果讓學生直觀地認識到數據質量對模型性能的決定性影響。

Agent 工作流設計方面，各組均完成了基本功能實現，但在穩健性上呈現不同層次。部分小組僅設計了「理想路徑」：假設模型識別結果準確、藍牙連接穩定、用戶操作規範，系統能夠順利運行。另有小組嘗試處理邊界情況：在 Agent 的 System Prompt 中加入對低置信度識別結果的處理邏輯，或在積木程序中增加重試機制。後者的工作流雖然更複雜，但在實際測試中表現出更好的穩定性。

6.2. 學生學習成效的證據分析

為回應學生能力提升的證據問題，本研究結合學生作品、課堂觀察與自我報告數據進行三角驗證，從 AI 素養、跨學科思維與問題解決能力三個維度，分析學生在項目學習中的發展情況。

在 AI 素養方面，學生透過親身參與模型訓練與部署，逐步建立對機器學習核心概念的初步理解。從學生作品分析可見，多數小組能夠獨立完成圖像分類模型的訓練，並理解準確率與混淆矩陣等基本評估指標的意義。

在跨學科思維方面，學生逐漸能夠將物理原理與 AI 應用建立有意義的聯繫。課程初期，多數學生對亞克力裝置的理解停留於操作層面，將其視為既定工具；而在項目後期，部分學生已能解釋其背後的光學機制，例如利用全內反射原理實現足弓形態的可視化，並進一步理解該影像如何作為機器學習模型的輸入。

學生的問題解決能力主要體現在系統整合與除錯過程中。在實際測試階段，學生需面對多種真實工程情境中的不確定性，例如藍牙連接不穩定、模型誤判、Agent 回應不一致等問題。不同小組採取了多樣化的解決策略，包括增加訓練樣本數量、調整模型參數、優化 Agent

提示詞，以及在 Micro:bit 程式中加入重試機制等。部分小組進一步考慮邊界情況，例如對低置信度預測結果進行額外處理，顯示其已從單純功能實現，發展至關注系統穩健性與可靠性的層面。

除作品與觀察資料外，本研究亦收集學生自我報告問卷數據。結果顯示，多數學生表示能夠獨立完成模型訓練與基本應用開發，並對相關技術建立初步信心。然而，此類數據主要反映學生的自我效能感，而非客觀能力測量，因此需與作品表現及課堂觀察結果交叉解讀。

6.3. 教師反思

教學者的反思為行動研究提供了學生視角以外的另一條線索。科技教師提到了對工具選擇的反思。TensorSpace 平台的可視化界面確實降低了技術門檻，學生無需編寫代碼就能完成模型訓練與 Agent 設計。但這也帶來一個問題：學生容易停留在「點擊按鈕」的操作層面，而忽略了對底層邏輯的理解。為此，教師在第三階段增加了「不使用平台」的討論環節：假設沒有可視化工具，模型訓練需要哪些步驟？Agent 工作流背後的數據流動是怎樣的？這一討論幫助部分學生建立了更深層的技术認知，但也有學生表示「聽不懂」，反映出技術深度與學生能力之間的平衡難以把握。

6.4. 項目的實際應用價值

課程結束後，學生開發的足弓檢測系統在校內體育課中進行了展示與試用。約 50 名校內師生體驗了檢測服務，系統能夠在 3-5 秒內完成足弓類型識別與鞋類適配建議的語音播報。

試用過程中收集的用戶反饋顯示，系統的準確率與流暢度獲得了基本認可，但用戶也提出了改進建議。部分用戶反映，當足弓形狀處於「正常」與「扁平足」的邊界時，系統的判斷結果不夠穩定，多次測試可能得到不同結論。這一問題指向了模型訓練數據的代表性不足，學生採集的樣本主要來自同齡人，對邊界情況的覆蓋不夠充分。另有用戶建議增加更多鞋型的識別支持，當前系統僅能識別校內常見的幾款運動鞋。

這些反饋為項目的後續迭代提供了方向，也讓學生意識到「完成項目」與「產品可用」之間的距離。一名學生在看到用戶反饋後表示：「原來做出來只是第一步，讓別人真的願意用才是難點。」

未來研究可引入標準化評量工具，並結合前後測量表，以提高評估的客觀性與可比性。

參考文獻

- 李海,张海瑞,张瀚元,等(2018).扁平足检测方法研究及进展.中国卫生标准管理, 9(9):34-37.
- 香港特別行政區政府. (2015 年 1 月 14 日). 二零一五年施政報告: 重法治 掌機遇 作抉擇.
- Krajcik, J. S., & Blumenfeld, P. C. (2005). Project-Based Learning. In R. K. Sawyer (Ed.), *The Cambridge Handbook of the Learning Sciences* (pp. 317–334). chapter, Cambridge: Cambridge University Press.
- Quigley, C.F., Herro, D. (2016). "Finding the Joy in the Unknown": Implementation of STEAM Teaching Practices in Middle School Science and Math Classrooms. *J Sci Educ Technol* 25, 410–426. <https://doi.org/10.1007/s10956-016-9602-z>