

使用「記憶遨遊」認知—運動雙任務訓練 互動系統訓練對高齡者認知與運動能力之影響

張晨琪* 韓挺** 李鑫***

上海交通大學設計學院

* zhangchenqi1101@sjtu.edu.cn

** 通訊作者 hanting@sjtu.edu.cn

*** uslx707@126.com

摘 要

本研究致力於探索認知—運動雙任務訓練對認知功能下降的老年群體的潛在影響，並旨在促進其健康老齡化。為此，研究團隊開發了一款融合認知與運動的雙任務訓練互動系統，涵蓋了六個關鍵認知領域，旨在提升高齡者人群的認知功能及訓練參與度。本研究共招募了 30 名年齡在 60 至 70 歲之間的高齡者，進行了為期 8 周的對照實驗。在實驗過程中，採用蒙特利爾認知評估量表對參與者的認知功能進行評估；同時，透過測量運動強度、主觀疲勞程度量表以及體育運動愉悅度量表，來探究參與者的運動參與度和運動體驗。研究結果表明：（1）該遊戲化互動系統顯著提升了老年參與者的認知功能，尤其在記憶和執行功能方面；（2）系統對提高老年群體的訓練參與度和運動體驗有正向作用，參與者在使用過程中展現出較高的愉悅程度及較低的疲勞等負面情緒。

關鍵詞：健康老齡化、高齡者認知障礙、認知—運動雙任務訓練、訓練參與度

論文引用：張晨琪、韓挺、李鑫（2025）。使用「記憶遨遊」認知—運動雙任務訓練互動系統訓練對高齡者認知與運動能力之影響。《設計學報》，30（2），25-46。

一、前言

根據中國「十四五」國家老齡事業發展和養老服務體系規劃（鐘鶴，2022）和《The Lancet》重大報告（Chen et al., 2022），人口老齡化作為國家與社會發展的關鍵階段已成為不可避免的趨勢。1982 年維也納老齡問題世界大會中確定 60 歲及以上老年人口占總人口比例超過 10%，意味著該國家或地區進入嚴重老齡化。據 2019 年數據顯示，中國 60 歲以上人口達 2.54 億，預計 2040 年將增長至 4.02 億（Lancet, 2022）。在此背景下，認知障礙患者的比例高達 38.9%，預計到 2030 年，由此帶來的經濟負擔將高達 5074.9 億美元／年（Clay, Zhou, Yi, Zhai, & Toumi, 2019）。認知衰退不僅嚴重影響高齡者的日常生活能力和社互動動，降低生活品質，還可能對家庭、社會和政府經濟造成沉重負擔。中國人口老齡化的快速發展、龐大的老年人口基數以及應對老齡化的艱鉅任務，對社會和經濟的穩定發展構成嚴峻挑戰。

健康老齡化這一理念由世界銀行提出，旨在實現老年人群在身體、心理和社會功能方面達到最佳狀態。中國人口的平均預期壽命自 20 世紀 60 年代的 44 歲顯著提升至約 77.3 歲，隨著壽命的增加，生理功能的衰退，如行動不便、認知老化、視力和聽力損失的風險也隨之上升（Khaw, 1997），這可能導致生活品質的下降。因此，健康老齡化的目標在於在延長壽命的同時，維持高齡者身心健康，推遲和預防慢性疾病的發生。近期發表的一項 Meta 分析研究指出，中國 55 歲以上社區居民中輕度認知障礙的患病率大約為 12.2%（Lu et al., 2021）。鑒於老年認知功能衰退的後果，國內外學者正不斷探索改善認知功能衰退的有效方法和策略，以減輕其對個人和社會的負面影響。

研究已經證實，定期進行體力活動對於降低慢性疾病的發病風險具有顯著效果，經常參與運動的人群在多種慢性疾病上的平均患病風險可降低 20-30%（Rhodes, Janssen, Bredin, Warburton, & Bauman, 2017）。此外，適量的體力活動還能帶來正向的心理效應，如增強個體的愉悅感和樂趣（Damrongthai et al., 2021），緩解高齡人群常見的自卑、孤獨等社會心理問題。然而，單純進行認知訓練或運動訓練對改善認知衰退的效果有限（Law, Barnett, Yau, & Gray, 2014）。認知—運動雙任務訓練（cognitive-motor dual-task training, CMDT）作為一種新興的康復訓練方法（Gallou-Guyot, M., Mandigout, Combourieu-Donnezan, Bherer, & Perrochon, 2020），要求訓練者在模擬日常活動的場景中同時完成一項運動任務和一項認知任務，這種訓練模式對高齡者的認知能力提出了更高的協調性和全面性要求，有助於減緩認知功能衰退，並為訓練效果向日常生活能力的轉化提供了堅實基礎。過往的研究主要集中於探討雙任務訓練的干預效果，但為了獲得更精確的研究成果，研究者通常採用單一的認知任務和單一的運動任務進行組合。然而，雙任務訓練的特異性意味著受試者往往只在訓練中涉及的特定能力上有所提升，而這種提升並不總是能夠遷移到整體的認知功能或運動能力上（Giboin, Gruber, & Kramer, 2015）。因此，在設計雙任務訓練時，應基於雙任務範式，進一步豐富和生活化訓練內容，以促進訓練效果的遷移，改善高齡者的生活品質。

綜上所述，本研究關注關註認知功能衰退的高齡人群，通過行動研究方法開發適宜於認知衰退高齡人群的康復輔助系統，並開展實證研究以提升高齡者參與康復訓練的依從性和整體使用者體驗。同時提出專為高齡人群設計的雙任務訓練互動系統的原則，最終達到增強認知訓練效果的目的。本研究框架圖如圖 1 所示。

研究目標具體如下：

1. 結合認知—運動雙任務訓練理念，設計並開發一款適合有認知功能衰退風險的高齡人群的互動系統，深入探討雙任務訓練系統對高齡者認知功能的具體影響。
2. 制定針對高齡人群的雙任務訓練互動系統設計原則，確保系統設計能夠激發使用者的興趣，提供適當的挑戰，並引導使用者通過互動提高運動參與度。

基於以上研究目標，在本研究中研究人員測試了以下兩個假設：

假設 1（ H_1 ）：認知—運動雙任務訓練互動系統對於高齡者的認知功能有顯著影響。

為檢驗這一假設，使用蒙特利爾認知評估量表（MoCA）評估高齡者的認知功能。

假設 2（ H_2 ）：認知—運動雙任務訓練互動系統對於高齡者的運動參與度和運動體驗有顯著影響。

研究人員通過運動心率、主觀疲勞程度量表和體育運動愉悅度量表評估高齡者的運動參與度。

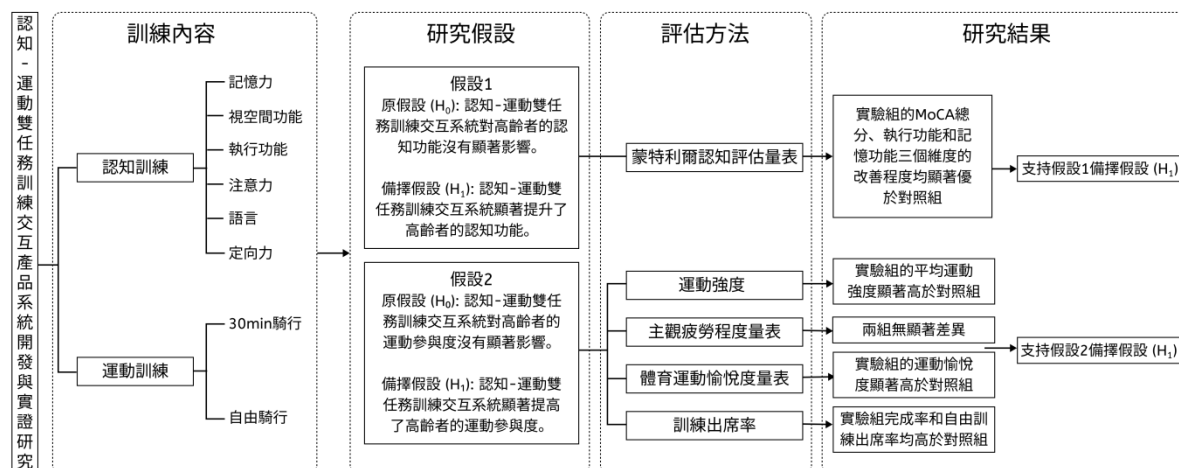


圖 1. 本研究框架圖

二、文獻探討

2-1 高齡群體的認知功能衰退與干預方式

人類大腦擁有多種功能區域，包括注意力、記憶、語言和視覺感知等，各區域協同工作以幫助人類理解、分析和應對外部世界。認知科學研究揭示，儘管大腦的不同區域負責不同的功能，但完成任何一項認知任務都需要多個腦區的相互作用和協調，形成一個複雜的網絡（Pessoa, 2014）。例如，語言、記憶和邏輯推理等高級認知功能需要額葉、頂葉、丘腦和海馬等腦組織的網絡化協同作用。

隨著年齡增長，大腦中負責認知控制和協調的關鍵區域，如前額葉皮質和海馬體，會發生結構變化，導致高級認知加工過程異常，進而引起認知功能衰退，這一現象也被稱為認知老化（Samson & Barnes, 2013）。由於人腦的極端複雜性，關於認知衰退的主流理論仍在不斷地發展和完善中，包括強調認知加工速度減慢的「加工速度理論」（Salthouse, 1996）和強調工作記憶減退導致認知老化的「工作記憶理論」（Craik & Byrd, 1982），全球學者正致力於深入探索認知老化的機制，並嘗試開發新的干預措施。

認知功能衰退的篩查方法多樣，其中神經心理評估（Fillenbaum & Mohs, 2023）具備便捷、成本低廉以及高敏感性等優勢，成為目前初步篩檢和定期監測認知功能衰退的常用工具，期評估方式包括簡易精神狀態檢查表（Mini-mental state examination, MMSE）（Li, Jia, & Yang, 2016）和蒙特利爾認知評估（Montreal cognitive assessment, MoCA）（Islam et al., 2023），後者在識別輕度認知障礙患者方面顯示出更高的診斷敏感性（89%），能夠有效辨識出在 MMSE 得分處於正常範圍內但可能存在潛在認知障礙的個體（Ratcliffe et al., 2023）。

在治療認知功能衰退方面，常用方法包括藥物干預（Fink et al., 2018）和非藥物干預（Song, Doris, Li, & Lei, 2018）。對於正常衰老過程中認知功能衰退的高齡人群以及輕度認知障礙患者，目前臨床上常用於治療失智的藥物療效並不顯著（Saresella et al., 2012），鑑於此，非藥物干預方式，如記憶訓練（Pino, Palestra, Trevino, & De Carolis, 2020）、執行功能訓練（Zhao et al., 2020）、感知覺訓練（Kawata, Nouchi, Oba, Matsuzaki, & Kawashima, 2022）、語言訓練（Nousia et al., 2023）等近年來逐漸成為該領域研究主題。

此外，參與體育鍛煉也與大腦與認知健康密切相關。實驗研究表明，運動可以提高腦源性神經營養因子 (BDNF)、血管內皮生長因子 (vascular endothelial growth factor, VEGF) 和胰島素樣生長因子 (insulin-like growth factor, IGF) 等神經營養相關蛋白質的表現水準，有助於促進神經與突觸的生長連接，並改善學習和記憶功能 (Liang et al., 2021)。有氧運動干預能夠有效減少與年齡相關的認知能力下降，改善執行功能，並改善認知能力正常或輕度認知障礙高齡者的記憶力 (Aghjayan et al., 2022)。

2-2 認知—運動雙任務訓練

雙任務範式起源於認知心理學對注意力研究的探索，Cherry (1953) 在其著名的雙耳分聽實驗中發現，當不同的聲音信息分別從兩耳輸入時，人們往往會忽略一側的信息而優先接收和處理另一側的信息。Treisman (1964) 提出了衰減模型，強調人類透過多個通道處理信息，不同通道的處理速度各異。這表明人腦在進行高級分析時的注意力容量是有限的，當大量信息同時湧現時信息處理的效率可能受到影響。

人類衰老過程中注意資源的總量減少 (Park, Hertzog, Kidder, Morrell, & Mayhorn, 1997) 以及注意控制能力的降低 (Chiappe, Siegel, & Hasher, 2000)，都可能導致認知功能的衰退。研究顯示，相比單一活動訓練，結合兩種大腦活動的訓練對提升高齡者整體認知能力更為有效 (Nascimento et al., 2023)。認知—運動雙任務訓練結合了認知任務和運動任務，通過持續訓練能有效提升高齡者的身體機能並減緩認知衰退進程 (Gallou-Guyot, M., Mandigout, Bherer, & Perrochon, 2020)。雙任務訓練中的運動干預包括力量訓練、步態訓練、踏車訓練等姿態控制訓練，認知訓練則涵蓋注意力、記憶、執行功能、處理速度和視覺空間等。

儘管雙任務訓練在提升認知和運動能力方面表現出顯著效果 (Piche et al., 2023)，但仍存在局限性，如未能有效控制兩項任務的同時進行 (Wollesen, Janssen, Müller, & Voelcker-Rehage, 2022)，認知訓練中任務過於單一 (Nascimento et al., 2023)，以及使用者依從性低 (Gallou-Guyot et al., 2022) 等。有鑒於此，本研究基於認知—運動雙任務理論，通過豐富訓練內容、同步認知與運動訓練等策略，提升高齡者的認知功能和訓練依從性，從而提升其生活品質，對高齡者個人及社會均具有重要的正向意義。

2-3 運動參與度

根據世界衛生組織 (World Health Organization, WHO) 的報告，全球超過 60% 的高齡者沒有達到建議的體育活動水平 (WHO, 2019)，這種現狀可能導致高齡者出現各種健康問題的風險增加。心理障礙 (缺乏運動興趣和意識、運動信心不足以及自我效能感低下等)、物理障礙 (場地或器材的限制、天氣環境和時間安排等) (Mandryk, Gerling, & Stanley, 2014) 和情緒體驗 (Meredith et al., 2023)，都是阻礙高齡者積極參與運動的重要影響因素。為了緩解這一問題，學術界提出了多種干預策略，其中認知—運動雙任務訓練已被證實能夠顯著提升高齡者的認知功能 (Gallou-Guyot et al., 2020)、運動參與度和運動動機 (Osmanovic & Pecchioni, 2016)。

在測量高齡者運動參與度方面，運動心率是常用的運動強度客觀指標 (林大偉, 2024)，主觀疲勞程度量表作為主觀指標，其評級與個人對努力的感知相匹配，可作為心率的輔助指標 (Reed & Pipe, 2016)。而體育活動愉悅度量表則用於評估運動中的情感體驗，對於瞭解運動參與的情感動機和心理感受具有重要意義。

三、研究方法與執行

本研究以認知-運動雙任務範式為基礎，設計並開發了一款名為「記憶遨遊」的互動式訓練系統。為驗證其成效，研究人員招募了 30 名有認知能力下降風險的社區高齡者進行了為期八週的隨機對照實驗。實驗自變量為是否參加認知-運動雙任務訓練，依變量為參與者的認知功能（C）和運動參與度（S），分別通過 MoCA 量表（C）、運動強度（S1）、主觀疲勞量表（S2）、運動愉悅度量表（S3）以及訓練出席率（S4）評估。

3-1 「記憶遨遊」原型設計與開發

「記憶遨遊」是一款集硬體設備與訓練軟體於一體的創新互動式訓練系統，如圖 2 所示，硬體部分主要包括可調節坐姿和阻力的臥式健身腳踏車、觸控螢幕、IMU 慣性感測器以及顯示螢幕。IMU 感測器用於使用者騎行過程中即時收集速度數據，並通過藍牙技術傳輸至訓練軟體中。觸控螢幕則用於執行認知任務的互動操作，訓練軟體則包含認知訓練模組和使用者的資訊管理平臺。

本系統採用非沉浸式的場景展示，模擬在林間騎行的自然體驗，緩解傳統認知訓練帶來的緊張和壓力。在訓練過程中，腳踏車的感測器實時監測騎行速度；認知任務則通過騎行的開始與停止、觸控螢幕的按鍵回答兩種互動方式進行。單次訓練結束後，「記憶遨遊」軟體系統會自動保存並可視化展示使用者的騎行速度和認知任務完成準確率等資訊，使家屬和護理人員能夠及時掌握認知衰退患者的訓練進展。

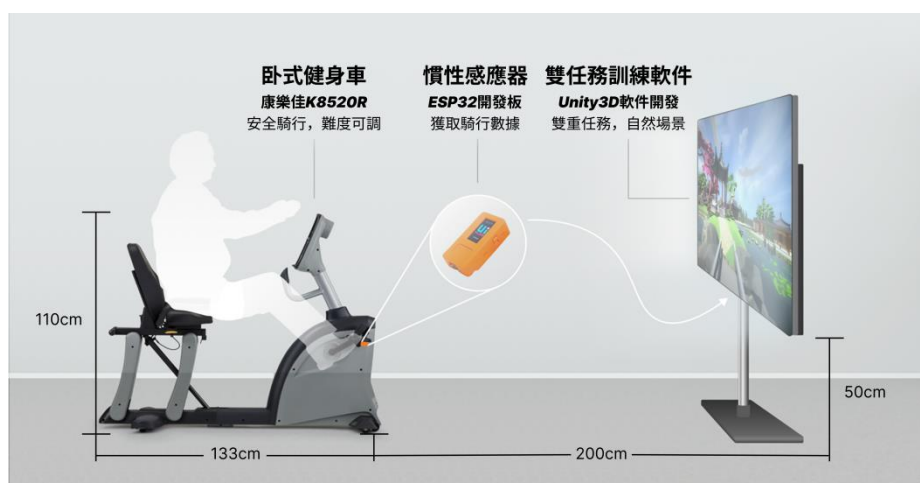


圖 2. 「記憶遨遊」系統架構

3-2 「記憶遨遊」設計方案

3-2.1 認知-運動雙任務任務設計原則

本研究遵循老年康復輔具設計原則，提出以下雙任務中認知任務設計的核心理念，如表 1 所示。騎行運動作為一種非負重性活動，適合不同身體狀況的高齡者參與。研究顯示，騎行運動能有效提升高齡者的身體健康與認知功能，Yang 等人（2015）的研究表明三個月的騎行運動對認知障礙患者的生活品質與認知水準均有顯著正向影響。根據 Karssemeijer、Bossers、Aaronson、Kessels 與 Olde Rikkert（2017）的研究也發現，經過 12 周健身車騎行訓練，高齡輕度失智患者的執行能力得到改善並持續到干預結束後 24 周。基於上述理由，本研究選擇騎行運動作為雙任務訓練中運動模組的核心內容。

表 1. 認知-運動雙任務任務設計原則

任務分類	設計原則	描述
認知任務	全面覆蓋認知功能	本研究借鑒中國神經心理學規範項目中的共識測試及神經心理評估方法（Li et al., 2016），設計了六個認知領域的訓練任務。
	認知任務多樣化交替	考慮到使用者在重複同一行為時可能產生倦怠，以及可能導致訓練效果的假陰性，本研究中雙任務訓練中針對不同認知功能的任務需要交替出現。
	與日常行為緊密結合，增強遷移效應	在設計實踐中加入生活化的場景和任務，如將視空間判斷訓練設計成過馬路時的紅綠燈辨識，以此加強訓練成果在現實生活中的應用和遷移。
運動任務	有效提升身體功能	有效增強高齡者身體機能（Leyland, Spencer, Beale, Jones, & van Reekum, 2019）。
	注意難度設置	避免引起沮喪和畏縮心理（Collado-Mateo et al., 2021）。
	自主控制運動強度	適合對運動強度更為敏感的老年群體（Varela, Cancela, Seijo-Martinez, & Ayán, 2018）。
認知-運動雙任務	任務執行同步	選擇合適的運動任務與認知任務互動方式使任務執行同步（Pelzer, Haffmann, Naefgen, Gaschler, & Haider, 2022）。

3.2.2 認知訓練任務設計

「記憶遨遊」內所有認知任務均採用一致的觸發與回饋機制。在騎行道路中出現「？」標誌物時，系統會在螢幕前景展示即將到來的認知任務，參見圖 3 所示。使用者騎行至「？」所在位置時會觸發認知任務。任務提示基於真實物理規則，同時該提示有助於使用者提前做好回答準備，提高參與體驗。



圖 3. 認知任務觸發流程

「記憶遨遊」的認知任務頁面包含文字引導、視覺線索、答題回饋和虛擬按鈕四大元素。視覺線索與文字引導是認知任務的核心題目。答題回饋部分則包含正確與錯誤的兩種回饋，系統設計特意減輕了錯誤提示的強度，轉而強調如何糾正錯誤，降低使用者放棄訓練的可能性。鑒於使用者與顯示螢幕之間存在一定的距離，「記憶遨遊」在臥式健身車上配備了一塊觸控螢幕用於控制訓練軟體，觸摸觸控螢幕上的答題按鈕與軟體界面中的虛擬按鈕佈局保持一致，使互動更加流暢。

「記憶遨遊」中的認知任務訓練內容包含六個認知領域，如表 2 所示。鑒於正常認知老化及輕度認知障礙高齡使用者通常在語言能力和定向力方面保持較好的完整性（秦彤等，2021），訓練任務的設計相應減少了這兩項的比重。整個訓練模組共包含 22 個認知任務，其中語言能力訓練貫穿全程。任務頁面詳見附錄 1。

表 2. 認知訓練內容

認知領域	任務名稱	任務數量	任務描述
記憶功能	「往日回憶」	3	使用懷舊物品卡片訓練使用者的瞬時和延遲記憶力。
視空間功能	「等待綠燈」	2	模擬日常交通場景，訓練使用者的顏色和數字辨識能力以及空間定位能力。
	「顏色碰撞」	3	引導使用者騎行到指定顏色位置後，按下相應顏色的按鈕，訓練使用者的色彩分辨能力和三維空間定位能力。
執行功能	「加減乘除」	4	計算百位數以內加減乘除題目，改善注意力和工作記憶。
	「識破真身」	4	任務為Stroop訓練的變式，使用者需要找到顏色與文字一致的小怪獸（目標角色），用於評估複雜資訊加工能力。
注意計算功能	「譜寫音符」	5	任務要求使用者在短時間內快速按照順序按下多個顏色的音符，強調使用者對顏色順序的工作記憶，以及快速反應能力。
語言功能	「大聲回答」	／	使用者需要在訓練全程大聲朗讀並回答問題，測試使用者語言流暢度。
定向力	「請告訴我」	2	以文字提問為主，模擬自然騎行場景，提高訓練沉浸感。

3-2.3 「記憶遨遊」互動體驗流程

遵循世界衛生組織（WHO）針對高齡者的體育活動建議（WHO, 2020），「記憶遨遊」設計了兩個訓練關卡，騎行距離分別為 3.5 公里和 5 公里。假設使用者以 10 公里／小時的速度均速騎行，預計每個關卡的持續時間分別為 20 分鐘和 30 分鐘，同時也鼓勵使用者根據自己的體能和興趣選擇自由騎行。

「記憶遨遊」互動流程設計以簡潔線性為核心，分為以下三個階段，滿足高齡使用者的操作需求：

1. 訓練前準備：使用者開啟硬體設備和訓練軟體，錄入個人信息，如姓名、年齡等基本統計數據。首次填寫後，系統將分配一個訓練編號供使用者後續登錄使用。隨後使用者選擇相應關卡進入訓練場景，在起點處準備開始。
2. 訓練中：使用者點擊任意按鈕啟動訓練，系統全程記錄運動數據。訓練開始後使用者進行騎行，虛擬人物會根據騎行速度沿預設路線前進。到達認知任務點前 5 秒，軟體界面會顯示「？」標誌，騎行到達「任務點」時觸發，以「文字說明+題目+選項」的形式展現。使用者在持續騎行中回答問題，系統會根據回答的正確性給予即時回饋。訓練界面會進度資訊，使用者可通過「開始／暫停」按鈕控制訓練進程。
3. 訓練結束：使用者到達終點後，訓練自動結束，系統將停止計時並展示訓練結果，包括訓練時長、騎行速度、整體認知任務正確率以及各個認知領域的任務正確率，為使用者提供全面回饋。

3-3 實驗設計

3-3.1 實驗對象

本研究的納入標準為：（1）年齡不小於 60 歲；（2）MoCA 分數為 24-28 分，無嚴重認知障礙；（3）具有正常的視聽能力；（4）意識清晰。排除標準為：不具備獨立行走能力或患有終末期神經、心血管、代謝疾病或精神疾病。上海市閔行區碧江路街道社區居委會的協助下，本研究共招募了 30 名年齡介於 60 至 70 歲之間的高齡者參與實驗，其中女性 18 人，男性 12 人。參與者平均年齡為 64.5 歲（SD=3.51），平均受教育年限為 10.35 年（SD=2.41），MoCA 量表平均得分為 26.65 分（SD=1.81）。

實驗開始前，參與者透過隨機數字表法分配至實驗組和對照組，每組各 15 人。實驗組接受認知-運動雙任務訓練流程，對照組參與者使用相同的硬體設備進行騎行訓練且騎行的里程與實驗組一致，但不

涉及認知訓練。實驗開始前，對兩組參與者在年齡、受教育年限、MoCA 總分以及各單項分數方面進行統計學比較，如表 3 所示，結果顯示兩組之間沒有顯著性差異 ($p>0.05$)。

表 3. 參與者的一般特徵

	實驗組 (n=15)	對照組 (n=15)	Z	p
基本資訊				
年齡	64.50±3.92	64.60±3.27	-0.114	0.759
受教育年限	11.00±1.83	9.70±2.83	-0.952	0.188
認知功能				
MoCA 總分	26.1±1.66	27.2±1.81	-1.385	0.826
視空間功能	3.4±1.08	3.7±0.48	-0.587	0.227
執行功能	3.3±0.67	3.7±0.48	-1.420	0.259
語言功能	4.5±0.53	4.7±0.48	-0.890	0.207
注意計算功能	5.5±0.71	5.7±0.48	-0.587	0.142
記憶功能	3.3±1.06	3.4±0.97	-0.199	0.641
定向力	6.0±0	6.0±0	-	-

3-3.2 評估方法

本實驗依變量通過 MoCA 量表 (C)、運動強度 (S1)、主觀疲勞量表 (S2)、運動愉悅度量表 (S3) 和運動出席率 (S4) 評估。研究過程中，心率通過指夾式脈搏血氧儀進行測量。對認知能力、疲勞程度和運動愉悅性的評估通過在實驗結束後發放問卷的形式來完成的，訓練出席率由研究人員統計。

1. 蒙特利爾認知評估量表 (Montreal Cognitive Assessment, MoCA)：MoCA 是臨床上廣泛使用的認知功能篩查工具，能夠全面評估個體在視空間功能、執行功能、注意力、語言、記憶和定向等六個認知領域的水準 (詳見附錄 2)。
2. 運動強度：本研究採用卡佛內方法以及 Tanaka 等人提出的高齡者最大心率預測公式，將參與者的運動強度轉換為心率儲備百分比 (HRR%) (Karvonen & Vuorimaa, 1988)，以便標準化評估。通過測量參與者的靜息心率和運動後即刻心率，可以準確評估其運動強度。
3. 主觀疲勞程度量表 (Ratings of Perceived Exertion, RPE)：RPE 通過 15 個等級 (從 6 至 20 分) 輕微至極度疲勞的主觀感受進行量化，參與者在運動中的主觀疲勞感受 (詳見附錄 3)，常與心率等客觀指標結合使用，綜合評估參與者的運動強度和身體反應。
4. 體育運動愉悅度量表 (Physical Activity Enjoyment Scale, PACES)：PACES 廣泛用於評估體育活動中的愉悅感 (詳見附錄 4)。該量表包含 16 個陳述語句 (包括 9 個正面和 7 個負面陳述)，採用 5 分制評分，總分越高表明參與者在運動中體驗到的愉悅感越強 (Mullen et al., 2011)。

3-3.3 實驗流程

本研究的實驗環節在上海市閔行區碧江路街道鳳慶小區的老年活動室內開展。實驗周期設定為 8 周，每周進行 5 次訓練，每次訓練時長約為 30 分鐘。在每次訓練結束後，參與者可依自身需求選擇結束本次訓練，或者繼續進行自由騎行。實驗過程中 (如圖 4)，研究人員由兩名研究團隊成員擔任並全程維護，負責對參與者進行觀察和引導，實驗進行中參與者出現任何身體不適或其他緊急狀況，研究人員會立即採取措施，必要時終止實驗。同時本研究經由涉及人體科技研究倫理審查委員會審查後通過，符合研究倫理要求。

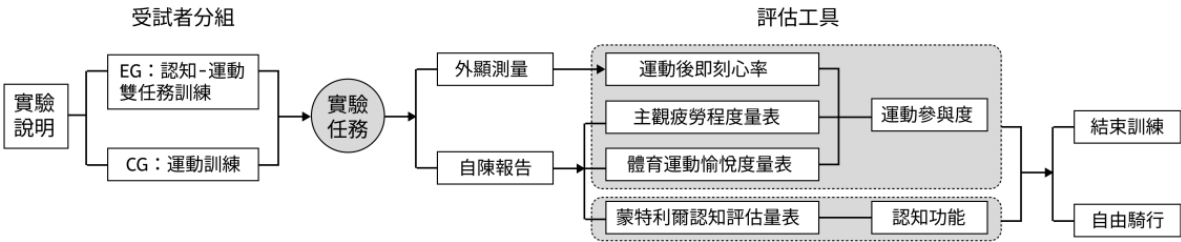


圖 4. 實驗流程

3-3.4 數據分析

實驗結果數據以均值和標準差呈現。Shapiro-Wilk 正態性檢驗確定測試數據不呈正態分佈，因此選擇非參數檢驗。在組內比較干預前後測量的認知功能時，採用 Wilcoxon 符號秩檢驗。Mann-Whitney U 檢驗用於評估干預組和對照組之間認知功能和運動參與度的差異。所有統計分析均使用 SPSS（SPSS Statistics 27，美國 SPSS 公司）進行，置信區間設定為 95%。

四、研究結果

4-1 認知功能

研究人員採用 Wilcoxon 符號秩檢驗分析實驗組和對照組受試者在實驗前後的 MoCA 總分以及各個認知領域得分的變化。結果顯示，實驗組在 MoCA 總分 ($Z=-3.558$, $p<0.001$)、執行功能 ($Z=-2.014$, $p=0.024$) 和記憶功能 ($Z=-2.579$, $p=0.009$) 三個方面的得分與實驗前相比均有顯著提升（如表 4 所示）。進一步透過 Mann-Whitney U 檢驗比較兩組間 MoCA 分數變化量的差異，結果顯示實驗組的 MoCA 總分 ($Z=-2.245$, $p=0.020$)、執行功能 ($Z=3.068$, $p=0.002$) 和記憶功能 ($Z=-2.596$, $p=0.008$) 三個維度的改善程度均顯著優於對照組。此外，兩組受試者實驗前後在視空間功能 ($Z=-0.954$, $p=0.566$)、語言功能 ($Z=-0.149$, $p=0.824$) 和注意計算功能 ($Z=-1.799$, $p=0.051$) 三個維度的變化無顯著差異。

表 4. 實驗組與對照組在實驗前後各項認知功能比較

	實驗組 (n=15)				對照組 (n=15)				組間比較	
	實驗前	實驗後	Z	p	實驗前	實驗後	Z	p	Z	p
MoCA 總分	26.1±1.66	28.2±1.55	-3.558	<0.001**	27.2±1.81	27.9±1.45	-1.975	0.045*	-2.245	0.020*
視空間功能	3.4±1.08	3.5±0.97	-0.067	0.780	3.7±0.48	3.9±0.32	-1.214	0.168	-0.594	0.566
執行功能	3.3±0.67	3.9±0.32	-2.014	0.024*	3.7±0.67	3.8±0.42	0.703	0.343	-3.068	0.002**
語言功能	4.5±0.53	4.6±0.52	-0.160	0.591	4.7±0.48	4.7±0.48	0.000	1.000	-0.149	0.824
注意計算功能	5.5±0.71	5.9±0.32	-1.011	0.168	5.7±0.53	5.6±0.51	-0.077	0.591	-1.799	0.051
記憶功能	3.3±1.06	4.5±0.85	-2.579	0.009**	3.4±0.97	4.0±0.82	-2.067	0.024*	-2.596	0.008**
定向力	6.0±0	6.0±0	-	-	6.0±0	6.0±0	-	-	-	-

*= $p<0.05$, **= $p<0.01$

4-2 運動參與度

透過 Mann-Whitney U 檢驗分析兩組受試者在單次訓練後的心率儲備百分比，如表 5，結果顯示，實驗組與對照組之間存在顯著性差異 ($Z=-2.535$, $p=0.013$)。具體而言，實驗組的受試者在進行認知-運動雙任務訓練時的平均運動強度超過了中等強度運動 ($HRR>45\%$)，而對照組的平均運動強度則略低。在主觀疲勞方面，根據 Mann-Whitney U 檢驗結果，實驗組和對照組受試者的主觀疲勞程度變化量皆沒有顯

著性差異。結合先前的心率數據分析，實驗組的主觀疲勞程度顯著低於實際的運動強度，而對照組的主觀疲勞程度則與實際運動強度相符。根據 PACES 的 Mann-Whitney U 檢驗分析結果，兩組受試者在訓練過程中的運動愉悅度存在顯著性差異 ($Z=-2.672, p=0.004$)，顯示認知-運動雙任務訓練不僅未增加身體不適感，反而提升了受試者的運動參與動機與情感體驗。

表 5. 實驗組與對照組的運動參與度比較

	實驗組 (n=15)	對照組 (n=15)	Z	p
心率儲備百分比	55.2±14.88	39.8±9.53	-2.535	0.013*
RPE得分	11.3±1.88	11.2±2.09	-0.154	0.845
PACES得分	77.5±2.32	74.1±2.33	-2.672	0.004**

* = $p < 0.05$, ** = $p < 0.01$.

在為期 8 周的實驗過程中，所有受試者均順利完成實驗。然而，在完成單次 30 分鐘訓練的比例上，實驗組實驗完成率達到了 100%，顯著高於對照組之實驗完成率 85%，其中有 6 位受試者在訓練過程中選擇提前結束。此外，兩組受試者在自由訓練出席率上也表現出顯著差異：在總共 40 次的訓練機會中，實驗組參與自由訓練的人數中位數為 6.5 人，而對照組為 4 人。實驗組在整個 8 周的實驗期間，顯示實驗組於訓練期間維持較高之自主參與之穩定性。

綜上所述，在運動參與度方面，實驗組在運動強度顯著高於對照組，並且在運動愉悅度和訓練出席率方面也表現出顯著優勢。

五、研究討論

本研究提出了一種基於認知-運動雙任務訓練的互動系統設計，旨在幫助高齡人群提升認知功能和運動體驗。透過在上海市 30 名社區高齡者中實施的隨機對照實驗，本研究驗證該互動系統對高齡族群具正向效果。根據行動研究的結果，將從雙任務訓練對高齡者的認知功能和運動參與度兩方面進行總結。

5-1 認知-運動雙任務訓練對高齡人群認知功能的影響

本研究證明了認知-運動雙任務訓練可改善社區高齡者的整體認知功能 ($Z=-2.245, p=0.020$)，其中執行能力 ($Z=-2.245, p=0.002$) 和記憶能力 ($Z=-2.596, p=0.008$) 方面最為顯著，研究結果與 Shimada 等人 (2018)、Bae 等人 (2019) 和 Gallou-Guyot 等人 (2020) 的研究結果一致。值得注意的是，本研究的通過有效控制認知任務與運動任務的同步進行，並覆蓋六個認知領域，提升了高齡者認知能力的改善效果 (MoCA 平均增加 2.1 分)。

認知功能的提升可能與雙任務訓練對大腦可塑性的促進作用 (Jardim et al., 2021)。在進行騎行練習 (主要任務) 時，認知刺激的增加激活了大腦皮質的執行領域 (Lebreton, Bavard, Daunizeau, & Palminteri, 2019)，加快了神經元突觸信號傳導速度，顯著提升了高齡者的注意力和執行功能。此外，根據容量共享理論，雙任務訓練能夠調節個體對主要任務的認知資源分配，使其需要更少的資源，而將更多資源用於額外任務 (Doi et al., 2017)，從而提高了高齡者處理多任務的能力，有助於減少意外傷害發生的風險 (Inoue et al., 2018)。

雖然本研究結果並未發現兩組受試者在視空間功能、注意計算功能和語言功能三個維度的顯著差異，但已有研究表明，在熟悉的日常任務中，健康高齡者的視空間能力下降幅度較小 (de Bruin, Bryant, MacLean, & Gonzalez, 2016)，同時高齡者的注意計算功能可能受益於其文化學習形成的認知技能和長期積累的認知經驗，在一定程度上可以彌補由於生理衰老導致的認知退化 (Sánchez-Izquierdo & Fernández-

Ballesteros, 2021)，因此視空間能力和注意計算功能的穩定性可能導致這兩個認知領域不易受到短期干預的影響。同時，由於健康高齡者的語言功能退化並不嚴重（秦彤等人，2021），因此在短期干預前後差異也不明顯。

綜上所述，研究結果支持了假設 1（ H_1 ）：認知-運動雙任務訓練互動系統對高齡者的認知功能有顯著提升效果。這意味着，與傳統的單一運動訓練相比，採用多領域結合的雙任務訓練方法能夠更有效地改善高齡者的整體認知功能，尤其是在執行能力和記憶能力方面，高齡者的獨立日常生活產生正面影響。

5-2 認知-運動雙任務訓練對高齡人群運動參與度的影響

高齡者運動參與度低下是一個多重因素造成的結果，涉及生理衰退、慢性疾病、社會隔離以及對運動的誤解等多種因素。本實驗結果表明，導入認知-運動雙任務訓練可顯著提升高齡者的運動表現，主要體現在運動強度和運動愉悅感兩個方面。

在運動強度方面，實驗組的受試者在雙任務訓練中的平均運動強度超過了中等強度運動門檻（ $HRR > 45\%$ ），並且顯著高於對照組（ $Z = -2.535, p = 0.013$ ）。這是因為雙任務訓練所提供多感官刺激（視覺、聽覺與觸覺）以及認知題目的不斷完成，增強了使用者的自我效能感（Bandura, Freeman, & Lightsey, 1999），還在一定程度上轉移了受試者對運動強度的直接關注，從而在達成相似鍛煉效果（兩組受試者運動疲勞度相似）時，提供了一種“輕鬆”的感受，使受試者持續進行更長時間的運動或在訓練中達到更高的強度，有助於增強雙任務訓練對認知能力正向影響。

在運動愉悅度方面，實驗組 PACES 量表上的得分顯著高於對照組（ $Z = -2.672, p = 0.004$ ），這一結果與之前的研究結果相一致（Béraud-Peigné, Maillot, & Perrot, 2024; Matthieu Gallou-Guyot et al., 2023）。本研究之雙任務訓練中的得分、認知題目挑戰和即時回饋等，都能夠鼓勵使用者持續參與訓練（Koivisto & Malik, 2020）。此外，所有訓練都在研究者的監督下進行，提高了使用者的依從性（Picorelli, Pereira, Pereira, Felício, & Sherrington, 2014）。最後，干預活動在社區老年活動室中進行，具有集體性傾向，可以增加鄰里間的互動，使得參與者更可能長期堅持訓練（董芳武、賈亮明，2023）。並且研究者在招募階段向參與者說明了訓練的潛在健康益處，在 1194 次擬議的訓練（即 35820 分鐘的訓練）中未觀察到嚴重不良事件，這進一步增強了參與者對訓練系統的信心和使用意願。

以上研究結果支持了假設 2（ H_2 ），即認知-運動雙任務訓練互動系統能夠顯著提升高齡者的運動參與度和運動體驗。因此，認知-運動雙任務訓練模式不僅可以有效提升高齡者的認知能力，還能夠激發其參與體育運動的正向性，增強運動愉悅度，有助於形成持續的鍛煉習慣，進而提升其整體身心健康水平，進一步證實了雙任務訓練方案在促進高齡者整體福祉方面的有效性。

六、結論與建議

隨著人口老齡化的加劇，如何促進高齡者的身心健康與提高其的生活品質，成為了一個重要的社會議題。本研究基於此社會背景，設計並驗證一套結合認知與運動任務之雙任務訓練互動系統，為高齡者的認知訓練提供了創新的解決方案。

本研究所提之系統通過雙任務訓練的方式提升高齡者的認知能力和身體協調性。實驗中，研究人員讓高齡者進行身體運動的同時完成認知任務，以此來鍛煉他們的認知功能。實驗結果顯示，雙任務訓練的康復訓練方式，顯著提升高齡者的整體認知表現，並使高齡者在訓練過程中感到更加愉快，提升了高

齡者的訓練體驗和訓練參與度。多數受試者願意持續參與。綜上所述，實驗結果顯示出該系統在理論和應用上的重要價值。本研究所設計之認知—運動雙任務訓練系統提供了一種有效的鍛煉方式，有助於改善社區高齡人群的生活品質。

然而，儘管本研究取得了正向的成果，但也存在一些限制。首先，因實驗設計為短期介入，無法充分評估雙任務訓練的長期效果及其持續性。其次，受到 Covid-19 疫情的影響，實驗招募的受試者數量有限，且地理範圍侷限於單一社區，影響本研究結果的普遍性和推廣性。此外，未來的研究可以探索其他設計場景或設計風格對雙任務訓練效果的影響，深入探究認知—運動雙任務訓練的作用機制。

透過這些改進，未來的研究將能夠提供更加全面和準確的數據，支持認知—運動雙任務訓練在老年人康復訓練中的應用。這不僅有助於提升高齡者的康復效果，也將為高齡者健康管理提供新的策略與方法。期盼，通過不斷的研究和實踐，能夠為高齡者的健康老齡化貢獻更多的智慧和力量。

參考文獻

1. Aghjayan, S. L., Bournias, T., Kang, C., Zhou, X., Stillman, C. M., Donofry, S. D., & Erickson, K. I. (2022). Aerobic exercise improves episodic memory in late adulthood: A systematic review and meta-analysis. *Communications Medicine*, 2(1), 15.
2. Bae, S., Lee, S., Lee, S., Jung, S., Makino, K., Harada, K., & Shimada, H. (2019). The effect of a multicomponent intervention to promote community activity on cognitive function in older adults with mild cognitive impairment: A randomized controlled trial. *Complementary Therapies in Medicine*, 42(1), 164-169.
3. Bandura, A., Freeman, W. H., & Lightsey, R. (1999). Self-efficacy: The exercise of control. *Journal of Cognitive Psychother*, 13(2), 158-166.
4. Béraud-Peigné, N., Maillot, P., & Perrot, A. (2024). The effects of a new immersive multidomain training on cognitive, dual-task and physical functions in older adults. *GeroScience*, 46(2), 1825-1841.
5. Chen, X., Giles, J., Yao, Y., Yip, W., Meng, Q., Berkman, L., & Feng, Z. (2022). The path to healthy ageing in China: A Peking University–Lancet Commission. *The Lancet*, 400(10367), 1967-2006.
6. Cherry, E. C. (1953). Some experiments on the recognition of speech, with one and with two ears. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 25(5), 975-979.
7. Chiappe, P., Siegel, L. S., & Hasher, L. (2000). Working memory, inhibitory control, and reading disability. *Memory & Cognition*, 28(1), 8-17.
8. Clay, E., Zhou, J., Yi, Z.-M., Zhai, S., & Toumi, M. (2019). Economic burden for Alzheimer's disease in China from 2010 to 2050: A modelling study. *Journal of Market Access & Health Policy*, 7(1), 1667195.
9. Collado-Mateo, D., Lavín-Pérez, A. M., Peñacoba, C., Del Coso, J., Leyton-Román, M., Luque-Casado, A., & Amado-Alonso, D. (2021). Key factors associated with adherence to physical exercise in patients with chronic diseases and older adults: An umbrella review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(4), 2023. Retrieved from <https://www.mdpi.com/1660-4601/18/4/2023>
10. Craik, F. I. M., & Byrd, M. (1982). Aging and cognitive deficits. In F. I. M. Craik & S. Trehub (Eds.), *Aging and cognitive processes* (pp. 191-211). Boston, MA: Springer.
11. Damrongthai, C., Kuwamizu, R., Suwabe, K., Ochi, G., Yamazaki, Y., Fukuie, T., & Soya, H. (2021). Benefit of human moderate running boosting mood and executive function coinciding with bilateral

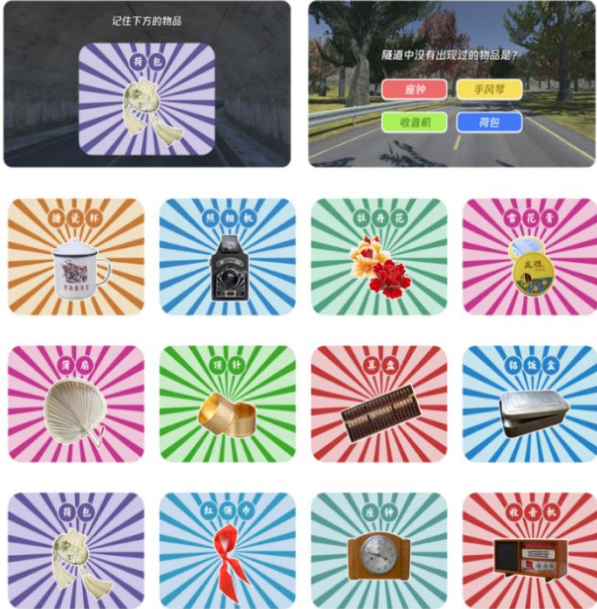
- prefrontal activation. *Scientific Reports*, 11(1), 22657.
12. de Bruin, N., Bryant, D. C., MacLean, J. N., & Gonzalez, C. L. R. (2016). Assessing visuospatial abilities in healthy aging: A novel visuomotor task. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 8(1), 1-9.
 13. Doi, T., Blumen, H. M., Verghese, J., Shimada, H., Makizako, H., Tsutsumimoto, K., & Suzuki, T. (2017). Gray matter volume and dual-task gait performance in mild cognitive impairment. *Brain Imaging and Behavior*, 11(3), 887-898.
 14. Fillenbaum, G. G., & Mohs, R. (2023). CERAD (Consortium to establish a registry for Alzheimer's disease) neuropsychology assessment battery: 35 years and counting. *Journal of Alzheimer's Disease*, 93(1), 1-27.
 15. Fink, H. A., Jutkowitz, E., McCarten, J. R., Hemmy, L. S., Butler, M., Davila, H., & Brasure, M. (2018). Pharmacologic interventions to prevent cognitive decline, mild cognitive impairment, and clinical Alzheimer-type dementia: A systematic review. *Annals of Internal Medicine*, 168(1), 39-51.
 16. Gallou-Guyot, M., Mandigout, S., Bherer, L., & Perrochon, A. (2020). Effects of exergames and cognitive-motor dual-task training on cognitive, physical and dual-task functions in cognitively healthy older adults: An overview. *Ageing Research Reviews*, 63(1), 101135.
 17. Gallou-Guyot, M., Mandigout, S., Combourieu-Donnezan, L., Bherer, L., & Perrochon, A. (2020). Cognitive and physical impact of cognitive-motor dual-task training in cognitively impaired older adults: An overview. *Neurophysiologie Clinique*, 50(6), 441-453.
 18. Gallou-Guyot, M., Mandigout, S., Marie, R., Robin, L., Daviet, J.-C., & Perrochon, A. (2023). Feasibility and potential cognitive impact of a cognitive-motor dual-task training program using a custom exergame in older adults: A pilot study. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 15(1), 1046676.
 19. Gallou-Guyot, M., Mandigout, S., Prado, P. S. A., Marie, R., Daviet, J.-C., & Perrochon, A. (2022). Exergame and cognitive-motor dual-task training in the healthy elderly (INCOME): A study protocol: INCOME study protocol. *European Rehabilitation Journal*, 2(1), 1-10.
 20. Giboin, L.-S., Gruber, M., & Kramer, A. (2015). Task-specificity of balance training. *Human Movement Science*, 44(1), 22-31.
 21. Inoue, T., Kamijo, K., Haraguchi, K., Suzuki, A., Noto, M., Yamashita, Y., & Nakamura, T. (2018). Risk factors for falls in terms of attention during gait in community-dwelling older adults. *Geriatrics & Gerontology International*, 18(8), 1267-1271.
 22. Islam, N., Hashem, R., Gad, M., Brown, A., Levis, B., Renoux, C., & McInnes, M. D. F. (2023). Accuracy of the montreal cognitive assessment tool for detecting mild cognitive impairment: A systematic review and meta-analysis. *Alzheimer's & Dementia*, 19(7), 3235-3243.
 23. Jardim, N. Y. V., Bento-Torres, N. V. O., Costa, V. O., Carvalho, J. P. R., Pontes, H. T. S., Tomás, A. M., & Diniz, C. W. P. (2021). Dual-task exercise to improve cognition and functional capacity of healthy older adults. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 13(1), 589299.
 24. Karssemeijer, E., Bossers, W. J., Aaronson, J., Kessels, R., & Olde Rikkert, M. (2017). The effect of an interactive cycling training on cognitive functioning in older adults with mild dementia: Study protocol for a randomized controlled trial. *BMC Geriatrics*, 17(1), 1-8.
 25. Karvonen, J., & Vuorimaa, T. (1988). Heart rate and exercise intensity during sports activities: Practical application. *Sports Medicine*, 5(1), 303-311.
 26. Kawata, N. Y. S., Nouchi, R., Oba, K., Matsuzaki, Y., & Kawashima, R. (2022). Auditory cognitive training

- improves brain plasticity in healthy older adults: Evidence from a randomized controlled trial. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 14(1), 826672.
27. Khaw, K. T. (1997). Healthy aging. *British Medical Journal*, 315, 1090-1096.
 28. Koivisto, J., & Malik, A. (2020). Gamification for older adults: A systematic literature review. *The Gerontologist*, 61(7), e360-e372.
 29. The Lancet. (2022). Population ageing in China: Crisis or opportunity? *The Lancet*, 400(10366), 1821.
 30. Law, L. L. F., Barnett, F., Yau, M. K., & Gray, M. A. (2014). Effects of combined cognitive and exercise interventions on cognition in older adults with and without cognitive impairment: A systematic review. *Ageing Research Reviews*, 15(1), 61-75.
 31. Lebreton, M., Bavard, S., Daunizeau, J., & Palminteri, S. (2019). Assessing inter-individual differences with task-related functional neuroimaging. *Nature Human Behaviour*, 3(9), 897-905.
 32. Leyland, L.-A., Spencer, B., Beale, N., Jones, T., & van Reekum, C. M. (2019). The effect of cycling on cognitive function and well-being in older adults. *PLoS ONE*, 14(2), e0211779.
 33. Li, H., Jia, J., & Yang, Z. (2016). Mini-mental state examination in elderly Chinese: A population-based normative study. *Journal of Alzheimer's Disease*, 53(1), 487-496.
 34. Liang, J., Wang, H., Zeng, Y., Qu, Y., Liu, Q., Zhao, F., & Mu, D. (2021). Physical exercise promotes brain remodeling by regulating epigenetics, neuroplasticity and neurotrophins. *Reviews in the Neurosciences*, 32(6), 615-629.
 35. Lu, Y., Liu, C., Yu, D., Fawkes, S., Ma, J., Zhang, M., & Li, C. (2021). Prevalence of mild cognitive impairment in community-dwelling Chinese populations aged over 55 years: A meta-analysis and systematic review. *BMC Geriatr*, 21(1), 10.
 36. Mandryk, R. L., Gerling, K. M., & Stanley, K. G. (2014). Designing games to discourage sedentary behaviour. In A. Nijholt (Ed.), *Playful user interfaces: Interfaces that invite social and physical interaction* (pp. 253-274). Singapore: Springer.
 37. Meredith, S. J., Cox, N. J., Ibrahim, K., Higson, J., McNiff, J., Mitchell, S., & Lim, S. E. R. (2023). Factors that influence older adults' participation in physical activity: a systematic review of qualitative studies. *Age and Ageing*, 52(8), afad145.
 38. Mullen, S. P., Olson, E. A., Phillips, S. M., Szabo, A. N., Wójcicki, T. R., Mailey, E. L., & McAuley, E. (2011). Measuring enjoyment of physical activity in older adults: Invariance of the physical activity enjoyment scale (paces) across groups and time. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 8(1), 1-9.
 39. Nascimento, M. d. M., Maduro, P. A., Rios, P. M. B., Nascimento, L. d. S., Silva, C. N., Kliegel, M., & Ihle, A. (2023). Effects of 12 weeks of physical-cognitive dual-task training on executive functions, depression, sleep quality, and quality of life in older adult women: A randomized pilot study. *Sustainability*, 15(1), 97. Retrieved from <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/1/97>
 40. Nousia, A., Pappa, E., Siokas, V., Liampas, I., Tsouris, Z., Messinis, L., & Nasios, G. (2023). Evaluation of the efficacy and feasibility of a telerehabilitation program using language and cognitive exercises in multi-domain amnesic mild cognitive impairment. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 38(2), 224-235.
 41. World Health Organization. (2019). *Global action plan on physical activity 2018-2030: More active people for a healthier world*. Retrieved from <https://www.who.int/publications/i/item/9789241514187>

42. World Health Organization. (2020). *WHO guidelines on physical activity and sedentary behaviour: At a glance*. Retrieved from <https://www.who.int/publications/i/item/9789240014886>
43. Osmanovic, S., & Pecchioni, L. (2016). Beyond entertainment: motivations and outcomes of video game playing by older adults and their younger family members. *Games and Culture*, 11(1-2), 130-149.
44. Park, D. C., Hertzog, C., Kidder, D. P., Morrell, R. W., & Mayhorn, C. B. (1997). Effect of age on event-based and time-based prospective memory. *Psychology and Aging*, 12(2), 314.
45. Pelzer, L., Haffmann, J., Naefgen, C., Gaschler, R., & Haider, H. (2022). Task-separation in dual-tasking: How action effects support the separation of the task streams. *Acta Psychologica*, 222(1), 103464.
46. Pessoa, L. (2014). Understanding brain networks and brain organization. *Physics of Life Reviews*, 11(3), 400-435.
47. Piche, E., Chorin, F., Gerus, P., Jaafar, A., Guerin, O., & Zory, R. (2023). Effects of age, sex, frailty and falls on cognitive and motor performance during dual-task walking in older adults. *Experimental Gerontology*, 171(1), 112022.
48. Picorelli, A. M. A., Pereira, L. S. M., Pereira, D. S., Felício, D., & Sherrington, C. (2014). Adherence to exercise programs for older people is influenced by program characteristics and personal factors: A systematic review. *Journal of Physiotherapy*, 60(3), 151-156.
49. Pino, O., Palestra, G., Trevino, R., & De Carolis, B. (2020). The humanoid robot NAO as trainer in a memory program for elderly people with mild cognitive impairment. *International Journal of Social Robotics*, 12(1), 21-33.
50. Ratcliffe, L. N., McDonald, T., Robinson, B., Sass, J. R., Loring, D. W., & Hewitt, K. C. (2023). Classification statistics of the Montreal Cognitive Assessment (MoCA): Are we interpreting the MoCA correctly? *The Clinical Neuropsychologist*, 37(3), 562-576.
51. Reed, J. L., & Pipe, A. L. (2016). Practical approaches to prescribing physical activity and monitoring exercise intensity. *Canadian Journal of Cardiology*, 32(4), 514-522.
52. Rhodes, R. E., Janssen, I., Bredin, S. S. D., Warburton, D. E. R., & Bauman, A. (2017). Physical activity: Health impact, prevalence, correlates and interventions. *Psychol Health*, 32(8), 942-975.
53. Salthouse, T. A. (1996). The processing-speed theory of adult age differences in cognition. *Psychological Review*, 103(3), 403-428.
54. Samson, R. D., & Barnes, C. A. (2013). Impact of aging brain circuits on cognition. *European Journal of Neuroscience*, 37(12), 1903-1915.
55. Sánchez-Izquierdo, M., & Fernández-Ballesteros, R. (2021). Cognition in healthy aging. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(3), 962. Retrieved from <https://www.mdpi.com/1660-4601/18/3/962>
56. Saresella, M., Calabrese, E., Marventano, I., Piancone, F., Gatti, A., Farina, E., & Clerici, M. (2012). A potential role for the PD1/PD-L1 pathway in the neuroinflammation of Alzheimer's disease. *Neurobiol Aging*, 33(3), 624-e11.
57. Shimada, H., Makizako, H., Doi, T., Park, H., Tsutsumimoto, K., Verghese, J., & Suzuki, T. (2018). Effects of combined physical and cognitive exercises on cognition and mobility in patients with mild cognitive impairment: A randomized clinical trial. *Journal of the American Medical Directors Association*, 19(7), 584-591.

58. Song, D., Doris, S., Li, P. W., & Lei, Y. (2018). The effectiveness of physical exercise on cognitive and psychological outcomes in individuals with mild cognitive impairment: A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Nursing Studies*, 79(1), 155-164.
59. Treisman, A. (1964). Monitoring and storage of irrelevant messages in selective attention. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 3(6), 449-459.
60. Varela, S., Cancela, J. M., Seijo-Martinez, M., & Ayán, C. (2018). Self-paced cycling improves cognition on institutionalized older adults without known cognitive impairment: A 15-month randomized controlled trial. *Journal of Aging and Physical Activity*, 26(4), 614-623.
61. Wollesen, B., Janssen, T. I., Müller, H., & Voelcker-Rehage, C. (2022). Effects of cognitive-motor dual task training on cognitive and physical performance in healthy children and adolescents: A scoping review. *Acta Psychol (Amst)*, 224(1), 103498.
62. Yang, S.-Y., Shan, C.-L., Qing, H., Wang, W., Zhu, Y., Yin, M.-M., & Wu, T. (2015). The effects of aerobic exercise on cognitive function of Alzheimer's disease patients. *CNS & Neurological Disorders-Drug Targets (Formerly Current Drug Targets-CNS & Neurological Disorders)*, 14(10), 1292-1297.
63. Zhao, X., Wang, L., Ge, C., Liu, X., Chen, M., & Zhang, C. (2020). Effect of process-based multi-task cognitive training program on executive function in older adults with mild cognitive impairment: Study rationale and protocol design for a randomized controlled trial. *Frontiers in Psychiatry*, 11(1), 655.
64. 董芳武、賈亮明 (2023)。社區藝術課程促進創意老化之研究：以懷舊主題為例。《設計學報》，28(2)，1-24。
Tung, F. W., & Jia, L. M. (2023). Promotion of creative aging by community art programs: A study on nostalgic topics. *Journal of Design*, 28(2), 1-24. [in Chinese, semantic translation]
65. 林大偉 (2024)。體感運動遊戲的運動成效和持續性：以 Switch 為例。《設計學報》，29(1)，21-44。
Lin, T. W. (2024). Research on the exercise performance and continuity of exergames using Switch as an example. *Journal of Design*, 29(1), 21-44. [in Chinese, semantic translation]
66. 秦彤、郝文思、賈宇、周琪琳、杜佳琳、周驍、吳興啟 (2021)。認知障礙患者個體化智能康復訓練技術規範。《國際神經病學神經外科雜誌》，48(3)，211-218。
Qin, T., Hao, W. S., Jia, Y., Zhou, Q. L., Du, J. L., Zhou, X., & Wu, X. Q. (2021). Technical specifications for individualized intelligent rehabilitation therapy for patients with cognitive impairment. *Journal of International Neurology and Neurosurgery*, 48(3), 211-218. [in Chinese, semantic translation]
67. 鐘鶴 (2022)。大力發展銀發經濟 為老年幸福生活「加碼」《「十四五」國家老齡事業發展和養老服務體系規劃發佈》。《上海質量》，1(3)，13-14。
Zhong, H. (2022). Vigorously developing the silver economy to enhance the happiness of the older adults: the 14th Five-year Plan for the development of older adults and older adults service system. *Shanghai Quality*, 1(3), 13-14. [in Chinese, semantic translation]

附錄 1：「記憶遨遊」的認知訓練任務描述

認知領域	任務名稱	任務描述	任務界面設計
記憶力	「往日回憶」	• 「往日回憶」用一系列懷舊物品卡片訓練使用者的瞬時與延遲記憶力。 • 觸發記憶任務後，軟體界面會快速展示三種上世紀的老物件照片，每張圖片展示時間為 5 秒鐘，使用者需要快速記住物品名稱，展示結束後使用者需要即刻選擇出沒有出現過的物品。在隨後的多項認知任務結束後，系統會再次提問要求使用者回憶任務中出現的三種物品。	
視空間功能	「等待綠燈」	• 「等待綠燈」訓練使用者的顏色和數字識別能力以及空間定位能力，同時模擬日常交通場景，具有遷移效果。 • 任務觸發時，界面中會隨機顯示紅/綠燈和數字倒計時，紅燈時使用者需要在白色實線前停止騎行，等待變為綠燈再繼續騎行。	
	「顏色碰撞」	• 「顏色碰撞」訓練使用者的色彩分辨和三維空間遠近定位能力。 • 「顏色碰撞」由多個間隔的子任務組成，要求使用者騎行到指定顏色的位置時，迅速按下和地面相同顏色的按鈕。隨著難度增加，任務內容由一個地面顏色逐漸轉變為多個地面顏色，同時每一種顏色出現的時間縮短。	

附錄 1：「記憶遨遊」的認知訓練任務描述（續）

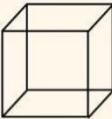
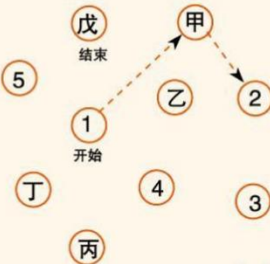
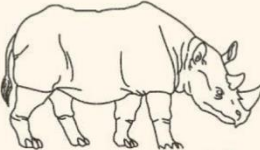
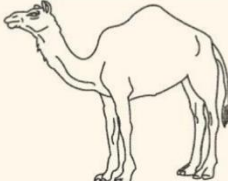
認知領域	任務名稱	任務描述	任務界面設計
執行功能	「加減乘除」	• 「加減乘除」訓練使用者的工作記憶廣度，改善注意力和執行功能。 任務包括 4 個百以內的計算任務，使用者需要快速的從 4 個選項中選出正確的答案。	
	「認出真身」	「認出真身」任務是 Stroop 測驗的變式，用於評估使用者的複雜信息加工能力。 「認出真身」將 3 個文字顏色不匹配的小怪獸和 1 個文字顏色相匹配的小怪獸混在一起，使用者需要迅速找到顏色與文字一致的選項。	
注意計算功能	「譜寫音符」	「譜寫音符」任務強調使用者對顏色順序的工作記憶能力以及快速執行能力。 任務要求使用者在短時間內快速按照順序觸發多個顏色的音符。	
語言功能	「大聲回答」	「大聲回答」使用測試使用者的語言流暢度，要求使用者在訓練全程大聲朗讀出問題並給出答案。	無
定向力	「請告訴我」	定向力任務以文字提問為主，以情境對話的語氣向訓練者提出訓練問題，貼近在大自然中騎行的氛圍，提高訓練的沉浸感。	

附錄 2：蒙特利爾認知評估量表（MoCA）

MoCA 認知評估測驗

編號：

姓名： 性别： 出生日期： 教育水平： 检查日期：

视空间与执行功能				复制立方体		画钟表（11点过10分）（3分）		得分									
		【 】		【 】		【 】 轮廓 【 】 数字 【 】 指针		___/5									
命名																	
		【 】				【 】				【 】		___/3					
记忆		读出下列词语，而后由患者重复上述过程重复2次5分钟后回忆		面孔		天鹅绒		教堂		菊花		红色		不计分			
		第一次															
		第二次															
注意		读出下列数字，请患者重复（每秒一个）										顺背 【 】 2 1 8 5 4		___/2			
												倒背 【 】 7 4 2					
		读出下列数字，每当数字1出现时，患者必须用手敲打一下桌面，错误数大于或等于2不给分										【 】 5 2 1 3 9 4 1 1 8 0 6 2 1 5 1 9 4 5 1 1 1 4 1 9 0 5 1 1 2		___/1			
100连续减7		【 】 93		【 】 86		【 】 79		【 】 72		【 】 65		___/3		4-5个正确给3分，2-3个正确给2分，1个正确给1分，全都错误为0分			
语言		重复：我只知道今天张亮是来帮过忙的人【 】										狗在房间的时候，猫总是躲在沙发下面【 】		___/2			
		流畅性：在1分钟内尽可能多的说出动物的名字										【 】 ____ (N≥11名称)		___/1			
抽象		词语相似性：如香蕉-桔子=水果 【 】 火车-自行车 【 】 手表-尺子										___/2					
延迟回忆		回忆时不能提示		面孔 【 】		天鹅绒 【 】		教堂 【 】		菊花 【 】		红色 【 】		仅根据非提示回忆计分		___/5	
选项		分类提示															
		多选提示															
定向		【 】 日期		【 】 月份		【 】 年代		【 】 星期几		【 】 地点		【 】 城市		___/6			
血管性认知功能损害的高危人群： ★ 隐匿性脑梗死 ★ 短暂性脑缺血发作(TIA) ★ 腔隙性脑梗死 ★ 脑白质疏松症										总分		___/30					

不费力			很轻松			轻松			有点吃力			吃力		非常吃力			精疲力竭	
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20				

附錄 4：體育運動愉悅度量表（PACES）

PACES 問卷調查表

編號：

你好！請仔細閱讀每一句話，根據自己實際感受選擇最符合自己的答案，在方框內打“✓”，回答從肯定到否定排列，謝謝您的配合。本問卷調查為課題研究所用，回答沒有對錯之分。
注意：每提只能打一個勾，不要漏題。

在我進行體育活動時：	非常肯定	基本肯定	不能確定	有點否定	完全否定
我能享受其中的樂趣。	☐	☐	☐	☐	☐
我感到無聊。	☐	☐	☐	☐	☐
我不喜歡體育運動。	☐	☐	☐	☐	☐
我覺得很愉快。	☐	☐	☐	☐	☐
體育活動一點樂趣也沒有。	☐	☐	☐	☐	☐
體育活動給我帶來活力。	☐	☐	☐	☐	☐
體育活動令我感到沮喪。	☐	☐	☐	☐	☐
體育活動非常令人快樂。	☐	☐	☐	☐	☐
進行活動時我的身體感覺不錯。	☐	☐	☐	☐	☐
從體育活動中我有收穫。	☐	☐	☐	☐	☐
體育活動非常令人興奮。	☐	☐	☐	☐	☐
體育活動令我受挫折。	☐	☐	☐	☐	☐
體育活動一點樂趣也沒有。	☐	☐	☐	☐	☐
體育活動能給我強烈的成就感。	☐	☐	☐	☐	☐
體育活動令人感覺好。	☐	☐	☐	☐	☐
我似乎更願意去做其他的事。	☐	☐	☐	☐	☐

請翻下一頁

Effects on Cognitive and Motor Abilities of Older Adults Trained with the Memory Ride Cognitive-motor Dual-task Interactive Training System

Chen Qi Zhang* Ting Han** Xin Li***

School of Design, Shanghai Jiao Tong University

* zhangchenqi1101@sjtu.edu.cn

** Corresponding author: hanting@sjtu.edu.cn

*** uslx707@126.com

Abstract

This study aims to explore the potential effects of cognitive-motor dual-task training on older adults with declining cognitive function in order to promote healthy aging. To this end, the research team developed an interactive cognitive-motor dual-task training product covering six key cognitive domains to enhance cognitive functioning and training participation in the aging population. A total of 30 older adults between the ages of 60 and 70 were recruited for an 8-week controlled trial. During the experiment, the Montreal Cognitive Rating Scale (MoCA) was used to assess the participants' cognitive function. Meanwhile, the exercise intensity, subjective fatigue scale (RPE), and the Physical Activity Pleasure Scale (PACES) were used to explore the participants' exercise participation and exercise experience. The results of the study showed that: (1) the game-based product effectively enhanced the cognitive functions of the elderly participants, especially in memory and executive functions; (2) the product had a positive effect on improving the training participation and sports experience of the elderly group, and the participants showed higher levels of enjoyment and lower levels of negative emotions, such as fatigue, during the process of using the game-based interactive product.

Keywords: Healthy Aging, Cognitive Impairment in the Elderly, Cognitive-Motor Dual-Task Training, Training Participation.