

第十八篇：

A Randomized Controlled Trial on Automated Vehicle Technologies for Drivers With Parkinson's Disease

研究目的 (Research Purpose)

本研究的主要研究目的在於：

量化 (quantify) 在真實道路 (on-road) 情境中，啟動與未啟動車內自動化科技 (IVIS 與 ADAS) 時，帕金森氏症 (Parkinson's disease, PD) 駕駛者所產生的駕駛錯誤數量之差異，藉此評估這些自動化車輛科技對 PD 駕駛安全與駕駛適能 (fitness to drive) 的影響。

此研究將「駕駛安全」具體操作化為「駕駛錯誤的數量 (number of driving errors)」，並以此作為主要結果變項 (primary outcome)。

論文明確指出：

“The purpose of this study is to quantify the effect of IVIS and ADAS on driving safety, operationalized as the number of driving errors made by people with PD, in an on-road test vehicle.”

具體研究目標 (更細化)

根據研究目的與後續說明，本研究進一步包含以下具體目標：

1. 比較

PD 駕駛者在

- IVIS / ADAS 啟動 (activated)
與
 - IVIS / ADAS 關閉 (deactivated)
- 兩種條件下，整體駕駛錯誤總數是否有顯著差異。

2. 檢驗特定類型駕駛錯誤是否因 IVIS / ADAS 而改變，包括：

- 超速 (overspeeding)
- 低速行駛 (underspeeding)
- 車道偏移 (lane exceedances)

- 方向燈錯誤 (signaling errors)

論文指出這些錯誤類型是預測 PD 駕駛者是否會在道路駕駛評估中失敗的重要指標。

3. 比較高速公路與郊區道路情境下，IVIS / ADAS 對：

- 駕駛錯誤
- 車速維持與控制 (speed maintenance and control) 的影響是否不同。

4. **探討個別差異因素 (individual differences) **對駕駛錯誤的影響，包括：

- 認知功能 (整體認知、執行功能、視覺空間能力、記憶)
- 動作症狀 (如 bradykinesia)
- 年齡等人口學變項

並比較這些因素在系統啟動 vs. 關閉情境下，對駕駛錯誤的影響程度。

研究假設（與研究目的直接相關）

研究目的亦對應以下明確假設：

“The hypothesis is that drivers with PD will demonstrate fewer total number of driving errors (primary outcome) and fewer speeding, lane exceedances, and signaling errors, when driving on-road with automated in-vehicle technology.”

總結一句話版（適合放在報告或口試）

本研究旨在以隨機交叉設計的實地道路測試，驗證車內自動化科技 (IVIS 與 ADAS) 是否能降低帕金森氏症駕駛者的駕駛錯誤，並探討不同道路情境與個別認知、動作功能差異對此效果的影響。

以下依據前述研究目的，彙整本論文之研究結果 (Research Results)，並**逐點引用論文原文 (英文) **說明：

一、主要研究結果（Primary Outcome：總駕駛錯誤數）

□啟動 IVIS 與 ADAS 可顯著降低 PD 駕駛者的總駕駛錯誤數

- 結果說明：

在整體道路情境中，當 IVIS 與 ADAS 啟動時，PD 駕駛者產生的總駕駛錯誤數顯著少於系統關閉時。

- 原文引用：

“The total number of driving errors was lower when the systems were activated versus deactivated $p < .01$.”

二、不同道路情境下的研究結果

□高速公路情境：IVIS / ADAS（特別是 ACC）顯著降低錯誤

- 結果說明：

在高速公路路段，啟動系統（包含 ACC）時，總駕駛錯誤數顯著下降；此效果未出現在系統關閉時。

- 原文引用：

“Specifically, the total number of errors made while driving on highways was lower when the systems, including the ACC, were active versus inactive $p < .01$.”

▣ 郊區道路情境：未觀察到顯著差異

- 結果說明：
在郊區道路（ACC 未啟動）中，IVIS / ADAS 的啟動未顯著降低總駕駛錯誤數。
 - 原文引用：
“The total driving errors in the suburban segment when the automation systems were activated … were not significantly different than with the deactivated condition.”
-

三、特定錯誤類型之研究結果

▣ 超速與低速錯誤（Speeding Errors）：ACC 具關鍵效益

- 結果說明：
在高速公路上，啟動 ACC 可顯著降低超速與低速行駛錯誤；在未啟動 ACC 的郊區路段，則未見顯著差異。
 - 原文引用：
“Both overspeeding and underspeeding errors significantly decreased as a result of IVIS and ADAS use during the drive’s highway portion, where the ACC was in use.”
-

▣ 車道偏移與方向燈錯誤：系統啟動與否無顯著差異

- 結果說明：
IVIS / ADAS 的啟動未顯著影響：
 - 車道侵入（encroach）
 - 車道偏寬（wide）
 - 方向燈錯誤（signaling）
- 原文引用：

“For the other error types, none of the lane departure (encroach and wide) nor signaling differed when IVIS and ADAS were activated versus deactivated.”

四、車速維持與控制（Speed Maintenance and Control）

□啟動 ACC 可提升高速公路車速穩定與適切性

- 結果說明：

與系統關閉相比，啟動 ACC 時：

- 中位數車速較高
- 最高車速較低
- 有助於避免過慢或過快行駛

- 原文引用：

“The activated (vs. deactivated) ACC helped participants maintain more consistent and appropriate speeds, as shown by the higher median speed and lower peak speeds.”

五、個別差異因素（Cognitive & Motor Factors）

□動作症狀（Bradykinesia）在系統關閉時與錯誤數顯著相關

- 結果說明：

在IVIS / ADAS 關閉時：

- 上肢與下肢遲緩（bradykinesia）與駕駛錯誤數呈顯著正相關
在系統啟動時，此相關性減弱或不顯著。

- 原文引用：

“With the systems deactivated, there was a significant relationship between total driving errors and both … upper and lower extremity bradykinesia scores.”

□認知功能影響依「系統是否啟動」而不同

- 結果說明：
 - 系統關閉時：
執行功能與視覺空間能力下降 → 駕駛錯誤增加
 - 系統啟動時：
記憶功能 (MoCA-MIS) 下降 → 駕駛錯誤增加
- 原文引用：

“With the deactivated system, impairments in executive function and visuospatial ability resulted in a greater number of driving errors.”

“It was the impairments in the MIS that resulted in a greater total number of driving errors when the systems were active.”

□ 小結（對應研究目的）

- IVIS 與 ADAS 整體可降低 PD 駕駛者的駕駛錯誤
- ACC 是關鍵效益來源，特別在高速公路駕駛
- 自動化科技可部分緩解動作與執行功能缺損的負面影響
- 記憶功能下降可能成為使用自動化科技的新風險因素

以下依據前述研究目的 (Purpose) 與研究結果 (Results)，彙整本論文在摘要 (Abstract) 與 Discussion / Conclusion 段落中所提出的結論 (Conclusions)，並 **逐點引用原文 (英文) ** 說明：

一、核心結論一：IVIS 與 ADAS 可有效降低 PD 駕駛者的駕駛錯誤

結論說明：

整體而言，啟動車內自動化科技（IVIS 與 ADAS）能降低帕金森氏症駕駛者在真實道路上的駕駛錯誤數，顯示此類科技對於提升 PD 駕駛適能具有實證支持。

原文引用（Abstract）：

“IVIS and ADAS reduced the total number of driving errors for PD drivers; ameliorated effects of individual variations; but memory declines posed a challenge while using these technologies.”

二、核心結論二：ACC 在高速公路駕駛中具有 關鍵安全效益

結論說明：

研究清楚指出，安全效益主要來自於高速公路情境中啟動的自適應巡航控制（ACC），其能有效協助 PD 駕駛者維持適當車速，降低超速與低速錯誤。

原文引用（Discussion）：

“The IVIS and ADAS resulted in fewer driver errors compared to when the systems were not active. The differences were largely due to changes in the number of overspeeding and underspeeding errors made on the highway, where the ACC was active.”

三、核心結論三：自動化科技可部分緩解動作功能缺損對駕駛的影響

結論說明：

IVIS 與 ADAS 的使用，能減弱動作遲緩（bradykinesia）與駕駛錯誤之間的關聯，顯示科技可補償 PD 駕駛者在速度控制與踏板操作上的動作限制。

原文引用（Discussion）：

“The results also suggest that the IVIS and ADAS helped to ameliorate the decrements due to individual difference factors. Motor impairments were less influential when IVIS and ADAS were present.”

四、核心結論四：不同認知功能在「系統啟動 vs. 關閉」時扮演不同角色

結論說明：

研究指出，認知功能對駕駛錯誤的影響會因是否使用自動化科技而改變：

- 系統未啟動時：
 - 執行功能與視覺空間能力下降 → 駕駛錯誤增加
- 系統啟動時：
 - 記憶功能下降 → 駕駛錯誤增加

此結果顯示，自動化科技改變了駕駛任務的認知需求結構。

原文引用（Discussion）：

“The analysis suggests that different cognitive domains affect driving errors with and without the vehicle automation systems.”

“Issues with short-term delay recall… may result in several challenges when using in-vehicle technology.”

五、核心結論五：IVIS 與 ADAS 並非全面改善所有駕駛表現

結論說明：

研究也強調，自動化科技的效益具有情境與功能上的限制，例如在郊區道路或涉及車道維持與方向燈操作時，未觀察到顯著改善。

原文引用（Discussion）：

“In suburban driving, we did not see the expected safety benefits from the IVIS and ADAS.”

六、總結性結論（Conclusion and Future Work）

整體結論說明：

IVIS 與 ADAS 是一項具有潛力的科技輔助策略，可延長 PD 駕駛者的安全駕駛年限，但其有效性受限於駕駛情境與個別認知能力，特別是記憶功能。

原文引用（Conclusion）：

“We have demonstrated how IVIS and ADAS reduced the driving errors for individuals with PD, particularly during highway driving.”

“Although the effects of age, cognitive, and physical ability can be partially ameliorated by this technology, memory declines may challenge drivers with PD to use these technologies effectively.”

一句話統整（學術／臨床簡報可用）

本研究結論指出，IVIS 與 ADAS 尤其是 ACC，能在高速公路駕駛中有效降低帕金森氏症駕駛者的駕駛錯誤，並部分補償動作與執行功能缺損，但記憶功能下降可能成為使用此類科技的重要限制因素。

以下彙整本論文於Limitations 段落與相關討論中明確提出的研究限制（Research Limitations），並**逐點引用原文（英文）**說明，供論文評論或方法學討論使用：

一、樣本與招募相關限制（Sampling & Recruitment Bias）

□自我選擇偏差（Self-selection bias）與便利取樣

限制說明：

本研究採用便利取樣，且參與者須願意接受實際道路駕駛測試，導致可能僅納入對自身駕駛能力較有信心或對科技較不排斥的 PD 駕駛者。

原文引用：

“Study limitations include self-selection bias, convenience sampling from one major PD treatment clinic...”

□單一醫學中心來源，限制推論性

限制說明：

研究對象主要來自單一大型帕金森氏症治療中心（UF Fixel Institute），樣本在醫療資源、疾病管理與教育程度上可能不具代表性。

原文引用：

“…convenience sampling from one major PD treatment clinic… restrict the generalizability of the findings”

二、參與者特性相關限制（Participant Characteristics）

▣ 受試者對「實際道路研究」的顧慮，可能影響樣本組成

限制說明：

部分潛在受試者因擔憂道路安全、吊銷駕照、或高速公路駕駛而拒絕參與，導致研究樣本可能低估實際 PD 駕駛困難程度。

原文引用（Discussion 中提及）：

“Participants’ apprehension about participating in an on-road study…”

▣ 疾病嚴重度範圍有限（僅納入輕至中度 PD）

限制說明：

研究僅納入輕度至中度 PD，且排除了有嚴重動作波動、異動症（dyskinesia）或認知障礙者，結果無法推論至晚期 PD 駕駛者。

原文引用（Future Work）：

“Drivers with prominent motor fluctuations and dyskinesia were excluded from the study.”

三、介入與科技本身的限制（Intervention / Technology Limitations）

▣ 部分 ADAS 功能未完全啟動（LSA 缺失）

限制說明：

有相當比例的參與者在「系統啟動」條件下，實際未啟動車道轉向輔助（LSA），可能低估 ADAS 對車道控制錯誤的實際效益。

原文引用：

“For 37 participants, the LSA system was not active.”

▣ 使用之系統僅提供「警示或有限輔助」，非完全控制

限制說明：

IVIS（如 LDW）多在錯誤發生後才提供警示，且未使用具備完整車道置中功能的系統，可能導致在車道偏移錯誤上未能觀察到顯著改善。

原文引用：

“These systems do not take over steering control as completely as lane centering or lane keeping systems.”

四、外在效度與推論限制（Generalizability）

▣ 人口學與地理因素限制結果推廣性

限制說明：

樣本以都市地區參與者為主，鄉村地區 PD 駕駛者比例偏低，可能影響科技效益在不同交通環境下的推論。

原文引用：

“Demographic and geographic factors that restrict the generalizability of the findings...”

▣ 未將 IVIS / ADAS 使用經驗列為納入條件

限制說明：

研究未控制或分層分析參與者過去使用自動化科技的熟悉程度，可能影響學習效應與表現。

原文引用：

“…and the researchers not including IVIS and ADAS use as eligibility criteria.”

五、總結性限制陳述（整合）

整體原文總結：

“Study limitations include self-selection bias, convenience sampling… participants’ apprehension about participating in an on-road study, demographic and geographic factors that restrict the generalizability of the findings…”

□ 方法學重點一句話（寫作或口試可用）

本研究的主要限制在於樣本代表性不足（單一中心、輕中度 PD、自我選擇偏差）、部分 ADAS 功能未完全啟動，以及科技層級仍以警示與有限輔助為主，限制了結果對不同 PD 嚴重度與駕駛情境的推論性。

以下彙整本論文在 Discussion、Strengths、Conclusion and Future Work 中所提出的學術意義／價值（Academic Significance）與臨床應用與實務意義（Clinical Implications），並**逐點引用原文（英文）**說明：

一、學術意義（Academic Significance）

□提供首篇「真實道路（on-road）」RCT 證據，驗證 IVIS / ADAS 對 PD 駕駛安全的成效

學術價值說明：

本研究為首度以隨機交叉設計、真實道路測試，量化 IVIS 與 ADAS 對帕金森氏症駕駛錯誤的影響，補足過去多以模擬器或間接指標為主的研究缺口。

原文引用（Strengths）：

“This study is the first to provide evidence for the efficacy of these in-vehicle technologies.”

□以「駕駛錯誤數」作為可操作化、安全導向的核心結果指標

學術價值說明：

研究將駕駛安全明確操作化為「on-road driving errors」，並連結既有證據（駕駛錯誤可預測 on-road 評估失敗），強化結果的臨床與研究意義。

原文引用（Purpose / Discussion）：

“Driving safety [was] operationalized as the number of driving errors made by people with PD.”

□拓展「認知分向 × 自動化科技」的理論理解

學術價值說明：

研究首度指出，不同認知分向（executive/visuospatial vs. memory）在系統啟動與否時，對駕駛錯誤的影響不同，顯示自動化科技重塑了駕駛任務的認知需求結構。

原文引用 (Discussion) :

“The analysis suggests that different cognitive domains affect driving errors with and without the vehicle automation systems.”

二、臨床應用與實務意義 (Clinical & Practice Implications)

□自動化科技可作為「延長安全駕駛年限」的輔助策略

臨床意義說明：

IVIS 與 ADAS (特別是 ACC) 可降低高速公路駕駛錯誤，顯示其有潛力延長 PD 駕駛者的安全駕駛年限，支持科技輔助而非立即停駕的臨床決策方向。

原文引用 (Conclusion) :

“We have demonstrated how IVIS and ADAS reduced the driving errors for individuals with PD, particularly during highway driving.”

□對職能治療與駕駛復健提供具體介入方向

臨床意義說明：

研究結果支持將ADAS/IVIS 教育與訓練納入駕駛復健介入，作為補償 PD 駕駛在速度控制與動作遲緩上的功能缺損。

原文引用 (Strengths / Discussion) :

“Technology-based interventions extend fitness to drive the abilities of drivers with PD, modify driver behavior, and mitigate the PD-related factors affecting driving.”

□ 臨床評估需特別注意「記憶功能」對科技使用的影響

臨床意義說明：

研究指出，當自動化系統啟動時，記憶功能下降反而成為新的風險因子，提醒臨床人員在建議或訓練科技使用前，應納入記憶功能評估。

原文引用（Abstract / Conclusion）：

“Memory declines posed a challenge while using these technologies.”

“Memory declines may challenge drivers with PD to use these technologies effectively.”

□ 強調「教育與訓練」是科技安全效益的關鍵配套

臨床意義說明：

研究指出，ADAS/IVIS 的安全效益需搭配駕駛者教育、角色與責任訓練、介面設計優化，否則可能因誤用或過度依賴而降低安全性。

原文引用（Discussion）：

“These results… suggest that the use of ADAS and IVIS has benefits, but will require driver education, improved systems design, and careful planning.”

三、政策與未來研究意義（延伸價值）

□ 為交通平權與高齡神經退化疾病駕駛政策提供實證基礎

學術／政策意義說明：

研究支持將現有量產車輛中的 ADAS 視為短中期改善 PD 駕駛安全與社區移動力的可行方案，而非僅依賴尚未普及的高階自駕車。

原文引用（Introduction / Discussion）：

“Automated in-vehicle technologies hold opportunities to mitigate impaired driving in PD drivers.”

□ 整體統整一句話（論文評論或簡報可用）

本研究在學術上首次以真實道路 RCT 證實 IVIS 與 ADAS 對 PD 駕駛安全的效益，並揭示不同認知分向在科技介入下的差異影響；在臨床上，支持將 ADAS 納入職能治療與駕駛復健策略，同時強調記憶功能評估與使用者教育是確保科技安全效益的關鍵。