

000-000-0000
MOTC-IOT-110-SBA101

現行國際疲勞駕駛監測科技 資料蒐集彙整

Current International Monitoring Technology for Fatigued Driving



交通部運輸研究所
Institute of Transportation,
Ministry of Transportation and Communication

中華民國 110 年 04 月
April, 2021

000-000-0000
MOTC-IOT-110-SBA101

現行國際疲勞駕駛監測科技 資料蒐集彙整

著者:江秉穎、雲惟恩、葉祖宏、賴靜慧、周文靜、黃士軒

Authors: **Rayleigh Ping-Ying Chiang, et. al.**

交通部運輸研究所

中華民國 110 年 04 月

000 現行國際疲勞駕駛監測科技資料彙整

(1/2)

交通部運輸研究所

GPN: 0000000000
定價 000 元

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

現行國際疲勞駕駛監測科技資料彙整 / 江秉穎等著. -

- 初版. -- 臺北市：交通部運研所, 民 110.04

面；公分

ISBN 0000000000(平裝)

1.疲勞科技 2.駕駛安全

557

106014987

現行國際疲勞駕駛監測科技資料蒐集彙整

著者：江秉穎、雲惟恩、葉祖宏、賴靜慧、周文靜、黃士軒

出版機關：交通部運輸研究所

地址：105004 臺北市松山區敦化北路 240 號

網址：www.iot.gov.tw (中文版>數位典藏>本所出版品)

電話：(02)2349-6789

出版年月：中華民國 110 年 00 月

印刷者：OOOOOOOOOO

版(刷)次冊數：初版一刷 000 冊

書同時登載於交通部運輸研究所網站

定價：000 元

展售處：

交通部運輸研究所運輸資訊組·電話：(02)2349-6789

國家書店松江門市：104472 臺北市中山區松江路 209 號·電話：(02)2518-0207

五南文化廣場：400002 臺中市區中山路 6 號·電話：(04)2226-0330

GPN: 0000000000 ISBN: 000-000-000-000-0 (平裝)

著作財產權人：中華民國 (代表機關：交通部運輸研究所)

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部分內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

現行國際疲勞駕駛監測科技資料蒐集彙整

著 者：江秉穎、雲惟恩、葉祖宏、賴靜慧、周文靜、黃士軒

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：105004 臺北市松山區敦化北路 240 號

網 址：www.iot.gov.tw (中文版>數位典藏>本所出版品)

電 話：(02)2349-6789

出版年月：中華民國 110 年 00 月

印 刷 者：OOOOOOOOOO

版(刷)次冊數：初版一刷 000 冊

定 價：非賣品

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

著作財產權人：中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部分內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

交通部運輸研究所合作研究/共同研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：現行國際疲勞駕駛監測科技資料蒐集彙整			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN (平裝)	政府出版品統一編號	運輸研究所出版品編號 IOT-110-SBA101	計畫編號 110-SBA101
本所主辦單位：運輸研究所 主管：林繼國 計畫主持人：江秉穎 研究人員：雲惟恩 聯絡電話：(02)2349-6789 傳真號碼：(02)2717-6381	合作研究/共同研究單位：國際睡眠科學與科技協會台灣分會 計畫主持人：江秉穎 研究人員：雲惟恩 地址：11473 台北市內湖區文德路 25 號 聯絡電話：(02)2657-5779	研究期間 自 110 年 02 月 至 110 年 06 月	
關鍵詞：疲勞駕駛、疲勞偵測、駕駛安全、睡眠障礙、睡眠科技			
<p>摘要：</p> <p>根據《自由時報》報導，分心駕駛及疲勞駕駛是造成道路交通事故主要原因之一，台灣每年因為駕駛分心或疲勞駕駛，而發生事故比例約占總車禍事件數的 20%，位於各類交通事故原因第二名（自由時報，2018）。而根據交通部安全網統計，國內因分心與疲勞駕駛占交通事故的原因達 2 成之多，2016 年因疲勞駕駛而肇事事務達 29 萬 6,826 次，肇事人數高達 63 萬 5,036 人（數位時代，2019）。</p> <p>交通部道安委員會參事兼執行秘書謝銘鴻表示，美國平均 5 件交通事故當中便有 1 件為疲勞駕駛引起，且研究顯示疲勞駕駛危險的程度不亞於醉態駕駛，尤其天色昏暗易造成視線不佳，易造成視線死角，精神狀況不佳加上反應時間延長，容易無法注意周遭環境而產生危險（臺北市警察局公共關係室，2020）。雖然國內疑似疲勞駕駛和駕駛員困倦的案例目前在規範機制無法確認其和車禍肇事的關連性，但根據歷年來的研究，以及 2017 年 ISSSTA 睡眠科技亞太經合會提案都指出，若要減少疲勞駕駛的風險，改善睡眠障礙與車內對駕駛人疲勞與專注狀態的監測至為關鍵。</p> <p>疲勞駕駛偵測科技產品推陳出新，以致市面上疲勞駕駛相關產品眾多。因應實際駕駛安全的需求，本計畫預計除了探討疲勞駕駛相關文獻以外，還會進一步的蒐集和彙整更多種類與不同產地研發的現有的疲勞駕駛偵測科技產品等資源，進行分析與比較，以提供公私營運輸機構參考。</p>			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
110 年 00 月	000	000	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
<p>備註：1.本研究之結論與建議不代表交通部之意見。</p> <p>2.本研究係使用 經費辦理。（本研究計畫如係使用其他機關經費辦理者，請加列此項，書明該機關名稱；如否，則刪去，英文版亦同。）</p>			

PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS
 INSTITUTE OF TRANSPORTATION
 MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS

TITLE: CURRENT FATIGUE MONITORING TECHNOLOGIES FOR DRIVERS, AN INTERNATIONAL SURVEY			
ISBN(OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER	IOT SERIAL NUMBER IOT-110-SBA101	PROJECT NUMBER 110-SBA101
DIVISION: INSTITUTE OF TRANSPORTATION (IOT) DIVISION DIRECTOR: CHI-KUO, LIN PRINCIPAL INVESTIGATOR: PING-YING, CHIANG PROJECT STAFF: VE ERN, WOON PHONE: (02)2349-6789 FAX: (02)2717-6381			PROJECT PERIOD FROM FEB 2021 TO JUNE 2021
RESEARCH AGENCY: INTERNATIONAL SLEEP SCIENCE AND TECHNOLOGY ASSOCIATION (ISSTA) PRINCIPAL INVESTIGATOR: PING-YING, CHIANG PROJECT STAFF: VE ERN, WOON ADDRESS: 1F., NO. 25, WENDE RD., NEIHU DIST., TAIPEI CITY 11473 , TAIWAN (R.O.C.) PHONE: (02)2657-5779			
KEY WORDS: FATIGUE DRIVING, FATIGUE MONITORING, ROAD SAFETY, SLEEP DISORDERS, SLEEP TECHNOLOGIES			
ABSTRACT: <p>According to multiple research studies, fatigue driving is a major cause of road accidents. There are about 100,000 cases of traffic accidents reported each year. According to the estimate of the National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), the cases of traffic accidents were related to fatigue, with 71,000 people injured, 1,550 people killed, which led to a total financial loss of \$ 1.25 billion US dollars. Nevertheless, this knowledge may be just the tip of an iceberg because the complex factors of traffic accidents associated with fatigue driving remains elusive.</p> <p>Many people understand the danger of drunk driving, but very few know that sleepiness/fatigue driving can be as deadly. Drunk driving and sleepiness/fatigue both affect drivers in a similar way that lead to the following consequences: reduced reaction to the environment, reduced alertness, poor judgment, or frustration and reckless driving. Studies show that the level of danger associated with driving after being awake for 24 hours is equal to drunk driving.</p> <p>Fatigue is a common problem for patients with sleep disorders, and this affects their daytime cognitive and behavioral abilities, which results in decreased alertness/acute, and in turn, increases the probabilities of accidents. Many studies have shown the strong link between OSA and traffic accidents, and the relevant laws have been established. A joint investigation conducted by Stanford University and the ISSTA was performed to study the danger of sleepy near-misses. The result showed that the actual rate of accidents happened was 23.2% when drivers were aware of near misses without being self-aware of sleepiness.</p> <p>Sleep disorders not only result in daytime drowsiness, but also trigger other diseases. Most of the patients are not self-aware of the danger of and the relationship between fatigue driving and sleep disorders, and this ignorance is the most dangerous thing. Hence, sleep disorders should be regarded as a silent killer. Fatigue driving is an important issue for the public and the government.</p>			
DATE OF PUBLICATION		NUMBER OF PAGES	PRICE
1. The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications. 2. The budget of this research project is contributed by .			

交通部運輸研究所自行研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：現行國際疲勞駕駛監測科技資料蒐集彙整			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN (平裝)	政府出版品統一編號	運輸研究所出版品編號 IOT-110-SBA101	計畫編號 110-SBA101
本所主辦單位：運輸研究所 主管：林繼國 計畫主持人：江秉穎 研究人員：雲惟恩 聯絡電話：(02)2349-6789 傳真號碼：(02)2717-6381			研究期間 自 110 年 02 月 至 110 年 06 月
關鍵詞：疲勞駕駛、疲勞偵測、駕駛安全、睡眠障礙、睡眠科技			
摘要： <p>根據《自由時報》報導，分心駕駛及疲勞駕駛是造成道路交通事故主要原因之一，台灣每年因為駕駛分心或疲勞駕駛，而發生事故比例約占總車禍事件數的 20%，位於各類交通事故原因第二名（自由時報，2018）。而根據交通部安全網統計，國內因分心與疲勞駕駛占交通事故的原因達 2 成之多，2016 年因疲勞駕駛而肇事事事故達 29 萬 6,826 次，肇事人數高達 63 萬 5,036 人（數位時代，2019）。</p> <p>交通部道安委員會參事兼執行秘書謝銘鴻表示，美國平均 5 件交通事故當中便有 1 件為疲勞駕駛引起，且研究顯示疲勞駕駛危險的程度不亞於醉態駕駛，尤其天色昏暗易造成視線不佳，易造成視線死角，精神狀況不佳加上反應時間延長，容易無法注意周遭環境而產生危險（臺北市政府警察局公共關係室，2020）。雖然國內疑似疲勞駕駛和駕駛員困倦的案例目前在規範機制無法確認其和車禍肇事的關連性，但根據歷年來的研究，以及 2017 年 ISSSTA 睡眠科技亞太經合會提案都指出，若要減少疲勞駕駛的風險，改善睡眠障礙與車內對駕駛人疲勞與專注狀態的監測至為關鍵。</p> <p>疲勞駕駛偵測科技產品推陳出新，以致市面上疲勞駕駛相關產品眾多。因應實際駕駛安全的需求，本計劃預計除了探討疲勞駕駛相關文獻以外，還會進一步的蒐集和彙整更多種類與不同產地研發的現有的疲勞駕駛偵測科技產品等資源，進行分析與比較，以提供公私營運輸機構參考。</p>			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
000 年 00 月	000	000	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
備註：1.本研究之結論與建議不代表交通部之意見。 2.本研究係使用 _____ 經費辦理。（本研究計畫如係使用其他機關經費辦理者，請加列此項，書明該機關名稱；如否，則刪去，英文版亦同。）			

PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS
INSTITUTE OF TRANSPORTATION
MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS

TITLE: CURRENT FATIGUE MONITORING TECHNOLOGIES FOR DRIVERS, AN INTERNATIONAL SURVEY			
ISBN(OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER	IOT SERIAL NUMBER IOT-110-SBA101	PROJECT NUMBER 110-SBA101
DIVISION: INSTITUTE OF TRANSPORTATION (IOT) DIVISION DIRECTOR: CHI-KUO, LIN PRINCIPAL INVESTIGATOR: PING-YING, CHIANG PROJECT STAFF: VE ERN, WOON PHONE: (02)2349-6789 FAX: (02)2717-6381			PROJECT PERIOD FROM FEB 2021 TO JUNE 2021
KEY WORDS: FATIGUE DRIVING, FATIGUE MONITORING, ROAD SAFETY, SLEEP DISORDERS, SLEEP TECHNOLOGIES			
ABSTRACT: <p>According to multiple research studies, fatigue driving is a major cause of road accidents. There are about 100,000 cases of traffic accidents reported each year. According to the estimate of the National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), the cases of traffic accidents were related to fatigue, with 71,000 people injured, 1,550 people killed, which led to a total financial loss of \$ 1.25 billion US dollars. Nevertheless, this knowledge may be just the tip of an iceberg because the complex factors of traffic accidents associated with fatigue driving remains elusive.</p> <p>Many people understand the danger of drunk driving, but very few know that sleepiness/fatigue driving can be as deadly. Drunk driving and sleepiness/fatigue both affect drivers in a similar way that lead to the following consequences: reduced reaction to the environment, reduced alertness, poor judgment, or frustration and reckless driving. Studies show that the level of danger associated with driving after being awake for 24 hours is equal to drunk driving.</p> <p>Fatigue is a common problem for patients with sleep disorders, and this affects their daytime cognitive and behavioral abilities, which results in decreased alertness/acute, and in turn, increases the probabilities of accidents. Many studies have shown the strong link between OSA and traffic accidents, and the relevant laws have been established. A joint investigation conducted by Stanford University and the ISSTA was performed to study the danger of sleepy near-misses. The result showed that the actual rate of accidents happened was 23.2% when drivers were aware of near misses without being self-aware of sleepiness.</p> <p>Sleep disorders not only result in daytime drowsiness, but also trigger other diseases. Most of the patients are not self-aware of the danger of and the relationship between fatigue driving and sleep disorders, and this ignorance is the most dangerous thing. Hence, sleep disorders should be regarded as a silent killer. Fatigue driving is an important issue for the public and the government.</p>			
DATE OF PUBLICATION		NUMBER OF PAGES	PRICE
1. The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications. 2. The budget of this research project is contributed by .			

目錄

目錄	III
圖目錄	IV
表目錄	V
第一章 緒論	1
1.1 計畫緣起	1
1.2 計畫目的	1
1.3 研究範圍與對象	1
1.4 計畫內容與工作項目	1
1.5 研究流程	2
第二章 文獻回顧	4
2.1 疲勞	4
2.2 疲勞駕駛	4
2.3 睡眠與疲勞	9
2.4 國內外現有疲勞量測指標	11
2.5 國內外現有車上疲勞偵測技術	32
第三章 結論與建議	53
參考文獻	54
附錄一、期中報告審查意見處理情形表	67
附錄二、期末報告審查意見處理情形表	69
附錄三、史丹佛嗜睡量表	70
附錄四、卡羅連斯加嗜睡量表	71
附錄五、艾普沃斯嗜睡量表	72

圖目錄

圖 1 國際 10-20 系統	15
圖 2 手指式血氧飽和儀.....	20
圖 3 智慧型手錶血氧飽和度測量功能.....	20
圖 4 一般市售腦部血氧飽和度監測儀.....	21
圖 5 腦部血氧飽和度監測儀貼片.....	21
圖 6 NIRSleep 小型腦部血氧飽和度監測儀.....	22
圖 7 白天多次入睡潛時測試.....	23
圖 8 保持清醒測試.....	23
圖 9 牛津睡眠阻抗測試.....	25
圖 10 瞳孔收縮與擴張.....	26
圖 11 電子瞳孔機.....	27
圖 12 電子瞳孔機熒幕.....	27
圖 13 Reflex 操作示範.....	27
圖 14 Reflex App 畫面	27
圖 15 電腦版 PASAT 測試畫面	28
圖 16 普渡釘板測驗.....	28
圖 17 一般常見 PVT	30
圖 18 德國 AuReTim.....	30
圖 19 NASA PVT+	30
圖 20 賓州大學 Sleepalyzer.....	30
圖 21 賓士駕駛注意力輔助.....	33
圖 22 側面監測.....	33
圖 23 前方監測.....	33
圖 24 儀表板上方攝像機.....	34
圖 25 Panasonic 疲勞控制技術	49
圖 26 非接觸式技術與疲勞五個分級.....	49
圖 27 駕駛人員疲勞預測.....	50
圖 28 熱感覺檢測技術.....	50
圖 29 Affectiva 車上監測系統.....	51
圖 30 Affectiva 駕駛員疲勞監控.....	52
圖 31 Affectiva 駕駛員分心監控.....	52

表目錄

表 1 疲勞駕駛相關法規.....	6
表 2 史丹佛嗜睡量表.....	12
表 3 卡羅連斯加嗜睡量表.....	13
表 4 艾普沃斯嗜睡量表.....	14
表 4 腦波種類.....	16
表 5 眼瞼閉合的百分比.....	19
表 6 國外疲勞駕駛相關儀器設備.....	36
表 7 AI 疲勞偵測相關研究.....	48

第一章 緒論

1.1 計畫緣起

鑑於疲勞駕駛所致車禍事故嚴重，往往導致國人生命、財產重大損失，立法院何委員欣純於 109 年 5 月 26 日邀集產官學研召開「睡眠健康與運輸安全修、立法可行性」公聽會，與會人員均認同疲勞駕駛議題研究的重要性。

本計畫將透過國內外文獻回顧方式，蒐集國內外現有睡眠與疲勞量測/偵測工具、偵測設備、實務應用案例與應用效益等，以及探討睡眠與疲勞駕駛偵測指標如血氧濃度等科學數據與疲勞的關聯性，以利後續做為駕照管理單位及公私營運機構進行安全管理之參考，協助其在核照與管理過程中發掘易發生疲勞的高風險駕駛人。

1.2 計畫目的

本計畫將以盤點國內外現有的睡眠與疲勞量偵及偵測工具為主，回顧國內外文獻為輔，蒐集國內外實務應用案例，探討疲勞駕駛偵測指標如血氧濃度等科學數據與疲勞的關聯性，以利後續做為駕駛人衛教與健康促進之用。希望研究結果有助於駕照管理單位運用，協助其在核照與管理過程中發掘易發生疲勞的高風險駕駛人。

1.3 研究範圍與對象

本計畫主要運用資料蒐集與文獻回顧進行研究。研究對象為台灣地區職業駕駛人。

1.4 計畫內容與工作項目

本計畫內容與工作項目如下：

1. 疲勞量測工具

- 收集並整理國內外疲勞偵測指標和文獻，包括：客觀的量測或偵測工具、疲勞相關問卷、實際應用案例等，作為日後公私營運輸機構改善疲勞駕駛，甚至是預防疲勞駕駛管理之參考。
- 文獻綜合評析，並對未來國內實務應用可行性提出建議。

2. 車上疲勞偵測設備及穿戴裝置

- 收集並整理國內外車上疲勞偵測設備相關資料，包括：品項、型號、銷售國家/地區、通過之驗證項目、量(偵)測技術、警示方式、疲勞衡量參數、準確度、應用範疇/限制，以及實務應用案例等。
- 收集並整理國內外駕駛過程中疲勞偵測穿戴裝置相關資料，包括：品項、型號、銷售國家/地區、通過之驗證項目、量(偵)測技術、警示方式、疲勞衡量參數、準確度、應用範疇/限制，以及實務應用案例等。
- 根據上述文獻結果建議，綜合評估準確度和精準度較高的優質車上疲勞偵測設備及穿戴裝置，供未來運輸安全相關單位管理及施政參考之用。

1.5 研究流程

本計劃研究流程如下：

1. 疲勞量測工具

- 研究方法：資料蒐集和文獻回顧
- 研究步驟：
 - 1) 系統性蒐集國內和國外有關疲勞偵測指標的科學文獻、書籍、網站資料和實務案例等。

- 2) 整理文獻並且針對內容建議未來研究方向。
- 3) 提供成果報告

2. 車上疲勞偵測設備及穿戴裝置

- 研究方法：資料蒐集和文獻回顧
- 進行步驟：
 - 1) 系統性蒐集國內和國外有關車上疲勞偵測設備的科學文獻、書籍、網站資料、各廠商儀器之官方版本使用說明書和實務案例等。
 - 2) 系統性蒐集國內和國外有關駕駛過程中疲勞偵測穿戴裝置的科學文獻、書籍、網站資料和實務案例。
 - 3) 整理文獻並且針對內容建議未來研究方向。
 - 4) 提供成果報告

第二章 文獻回顧

2.1 疲勞

本節主要探討疲勞的定義，以及分類方式。

1. 疲勞定義

疲勞 (fatigue) 經常用於描述身體或精神上的疲勞。在程度上，它已超出一般的勞累 (tiredness) 程度。呂學冠等人 (2014) 則將疲勞定義為身體所傳遞出的一種心生理信號，屬於人體的自然反應，且常使個體產生不舒服的情況。自 1994 年至今，國內外學者對於疲勞並沒有廣為接受的標準定義 (Brown, 1994)。

2. 疲勞分類

疲勞可分為兩大類，即身體疲勞 (physical fatigue) 及精神疲勞 (mental fatigue)。身體疲勞涉及無法如預期般施力，並可能造成全身或局部性的疲倦感。身體疲勞最常見的原因為運動及睡眠不足。精神疲勞普遍涉及注意力、執行任務能力的下降。造成精神疲勞問題如嗜睡，通常是因正常睡眠模式 (sleep pattern) 的喪失或中斷而引起 (Lavidor et al., 2003)。除此之外，疲勞亦可分成：睡眠相關疲勞 (sleep-related fatigue)，主動型任務相關疲勞 (active task-related fatigue)，以及被動型任務相關疲勞 (passive task-related fatigue) (Desmond & Hancock, 2001; Wascher et al., 2016)。

2.2 疲勞駕駛

本節將呈現疲勞駕駛的定義、國內外現況、潛在因子與影響力，以及國內外疲勞駕駛相關法規。

1. 疲勞駕駛定義

疲勞駕駛 (fatigue driving 或 drowsy driving 或 sleep-deprived driving) , 又稱作精神疲勞駕駛, 定義為在缺乏充足睡眠情況下駕駛。

2. 國內外疲勞駕駛現況

根據美國國家公路交通安全管理局(National Highway Traffic Safety Administration, NHTSA) 的估計, 美國每年約有 10 萬件的疲勞駕駛肇事, 造成超過 1,550 人死亡, 7.1 萬人受傷, 以及 125 億美元的財務損失 (NSF, 2007)。更值得注意的是, 根據美國國家睡眠基金會 (National Sleep Foundation, NSF) 2007 年調查指出, 接受調查的駕駛員中約有 50%的人承認駕駛時感到疲勞, 而約 20%的駕駛員承認駕駛時睡著了(NSF, 2007)。而美國汽車協會交通安全基金會 (AAA Foundation for Traffic Safety) 估計, 美國每年因疲勞造成的交通事故高達 32.8 萬件, 為上述報告人數的三倍。其中, 死亡人數達 6,400 人, 受傷人數達 10.9 萬人。因此, 研究人員認為疲勞駕駛致死率可能比實際報導高出 350%以上 (Tefft, 2014)。

3. 疲勞駕駛危險因子

疲勞駕駛可能由慢性疾病如潛在睡眠障礙 (undiagnosed sleep disorder)、睡眠不足 (sleep deprivation), 或是清醒超過 18 小時引起 (Wheaton et al., 2014) 。此外, 其他危險因子如: 生理時鐘 (circadian rhythm)、酒精、藥物也可能導致疲勞駕駛。

4. 疲勞駕駛的影響

在澳大利亞、英國和其他歐洲國家的研究也表明, 交通事故的 10%至20%是由疲勞的駕駛員引起的 (Amundsen & Sagberg, 2003)。疲勞與酒後駕駛一樣以類似的方式影響駕駛員, 從而導致以下後果: 對環境的反應減少, 警覺性降低, 判斷力差、沮喪和魯莽駕駛。研究顯示, 醒著24小時後與駕駛相關的危險程度等同於酒後駕駛。

更值得重視的是，疲勞很難像簡單的酒精測試那樣容易地測量。因此，當局很難掌握足夠的知識和信息來分析與疲勞駕駛有關的交通事故的原因。被判定為怪異或其他原因的許多交通事故實際上可能是由疲勞駕駛員引起的。許多人都不知道酒後駕車的危險，但很少有人知道疲勞駕駛會致命。

5. 各國疲勞駕駛相關法規

本研究彙整了美國聯邦政府及七州：阿拉巴馬州 (Alabama)、阿肯色州 (Arkansas)、加利福尼亞州 (California)、佛羅里達州 (Florida)、新澤西州 (New Jersey)、德克薩斯州 (Texas) 和猶他州 (Utah)、歐盟、英國、澳洲、日本及台灣疲勞駕駛相關法規 (各國疲勞駕駛相關法規如表 1)。

表 1 疲勞駕駛相關法規

執行國家及單位	編號	條文
美國聯邦汽車運輸安全管理局	H.R.3095	<i>“To ensure that any new or revised requirement providing for the screening, testing, or treatment of individuals operating commercial motor vehicles for sleep disorders is adopted pursuant to a rulemaking proceeding, and for other purposes.”</i>
美國阿拉巴馬州	SJR 71(2016)	<i>“The state enacted a resolution that designates November 19th each year as Drowsy Driver Awareness Day.”</i>
美國阿肯色州	SB 874, 2013 Ark. Pub. Act. No. 1296 (2013)	<i>“Classifies fatigued driving as an offense under negligent homicide- punishable by a class A misdemeanor- when the driver involved in a fatal accident has been without</i>

		<i>sleep for 24 consecutive hours or is the state of sleep after being without sleep for 24 consecutive hours.”</i>
美國加利福尼亞州	SCR 27 (2005)	<i>“The state enacted a resolution that proclaimed April 6, 2005 as Drowsy Driver Awareness Day.”</i>
美國佛羅里達州	2010 Fla. Laws ch. 223	<i>“The state passed the Ronshay Dugans Act proclaiming the first week of September as Drowsy Driving Prevention Week. During the week, the Department of Highway Safety and Motor Vehicles and the Department of Transportation are encouraged to educate the law enforcement community and the public about the relationship between fatigue and performance and the research showing fatigue to be as much of an impairment as alcohol and as dangerous while driving a motor vehicle.”</i>
美國新澤西州	New Jersey Statutes §2C:11-5	<i>“A driver that has been without sleep for 24 hours is considered to be driving recklessly, in the same class as an intoxicated driver.”</i>
美國德克薩斯州	HR 1389 (2013)	<i>“Recognizes the week of November 6 to November 12 as Drowsy Driving Prevention Week to educate the motoring public about the dangers of drowsy driving and offer preventative methods to avoid drowsy driving.”</i>
美國猶他州	SB 149 (2014)	<i>“Designates the third full week in August as Drowsy Driving Awareness Week to educate the public about the relationship between</i>

		<i>fatigue and driving performance and encourage the Department of Public Safety and the Department of Transportation to recognize and promote educational efforts on the dangers of drowsy driving.”</i>
歐盟	Regulation (EC) No 561/2006	<i>“EU drivers’ hours driving limits are intended to keep fatigued drivers off the road and improve safety for other road users. Failure to comply can result in a £300 fixed penalty, a graduated deposit of up to £1500, or a court summons.”</i>
英國	Law RTA 1988 sect 94	<i>“Make sure that you are fit to drive. You MUST report to the Driver and Vehicle Licensing Agency (DVLA) any health condition likely to affect your driving.”</i>
澳洲	Evidence Act 1977, section 47	<i>“Under Heavy Vehicle National Law, a driver must not drive a fatigue-regulated heavy vehicle on a road while impaired by fatigue.”</i> <i>“Regular breaks for at least 15 minutes every 2 hours”</i> <i>“Never drive for more than 10 hours in a single day”</i>
日本	道路交通法第 3 條, 第 20 條, 第 21 條和第 48 條	<i>“Company must check if employee (commercial driving) has any signs or symptoms of illness that may affect their driving ability. Subsequently, the company must decide if employee is able to maintain current position or change to a new one (i.e. decrease hours/driving distance). Company</i>

		<i>must also perform a pre-departure examination for each shift.”</i>
台灣	道路交通管理處罰條例第 34 條	“汽車駕駛人，連續駕車超過八小時經查屬實，或患病足以影響安全駕駛者，處新臺幣一千二百元以上二千四百元以下罰鍰，並禁止其駕駛；如應歸責於汽車所有人者，得吊扣其汽車牌照三個月。”

資料來源：European Commission, 2016; Filomeno et al., 2016; National Conference of State Legislatures, 2018; Queensland Government, 2018; 司法院, 2020

2.3 睡眠與疲勞

本節呈現睡眠障礙與疲勞駕駛之間的關係，以及職業駕駛人罹患睡眠障礙的現況，探討因睡眠引起的疲勞駕駛問題。

1. 睡眠障礙與疲勞駕駛

睡眠障礙 (sleep disorders) 是產生疲勞的主因之一 (Goldman et al., 2008; Lichstein et al., 1997)。引起疲勞駕駛的睡眠障礙普遍有阻塞性睡眠呼吸中止症 (obstructive sleep apnea, OSA)、睡眠不足 (sleep deprivation)、失眠 (insomnia) 和猝睡症 (narcolepsy) 等。

睡眠障礙不僅導致白天嗜睡，還引發其他疾病 (Marshall et al., 2014; Shahar et al., 2001; Ye et al., 2017)。大多數患者對疲勞駕駛和睡眠障礙之間的關係，及其導致的嚴重後果並不了解，而這種無知是最危險的事情。因此，睡眠障礙應被視為沈默的殺手。各國政府相關單位應該對民眾多加宣導，並且完整規劃預防及解決方案。

(1) 阻塞性睡眠呼吸中止症

在加拿大進行的一項研究表明，超過一半的阻塞性睡眠呼吸中止症患者實際上比醉酒和開車的患者表現更差 (George et al., 1996)。醒來超過18小時的個體受試者對模擬駕駛考試的反應/反應較弱，其水平相當於血液酒精濃度大於0.05%的人 (Williamson & Feyer, 2000)。

(2) 睡眠不足

除了睡眠呼吸中止症以外，長期的睡眠不足也容易導致疲勞駕駛。它不僅會使身體累積睡眠債 (sleep debt)，更會嚴重影響行為、健康及工作效率，進而形成慢性睡眠剝奪 (chronic sleep deprivation)。多項研究顯示，慢性睡眠剝奪會影響警覺度，降低對事物的反應能力，而導致交通事故。

根據Powell與Copping (2010) 研究顯示，當駕駛員每晚睡眠少於8小時，易有慢性睡眠剝奪。根據史丹佛大學與國際睡眠科學與科技協會 (International Sleep Science and Technology Association, ISSTA) 一項聯合調查報告顯示，人們在感到疲勞的時候，易於清醒的情況下陷入2至30秒的微睡眠 (microsleep)，隨之產生閃神 (near miss) 而導致事故風險的增加 (Powell et al., 2007)。

(3) 失眠

研究發現，交通事故嚴重程度與睡眠障礙之間存在正相關關係 (de Mello et al., 2013)。此外，與沒有睡眠障礙的人相比，經歷失眠和嗜睡的人在交通事故中受傷的可能性高出三倍，造成車輛損壞的程度也比較嚴重 (Garbarino et al., 2017)。2010年一項新聞報導台灣高鐵的一名駕駛員入睡，並在13分鐘內未監視火車的控制系統，而危及乘客的安全 (蘋果日報, 2010)。

2. 職業駕駛人罹患睡眠障礙之現況

根據多項國外的研究，睡眠障礙非常普遍存在職業駕駛人身上。其中，職業駕駛人罹患睡眠呼吸中止症的盛行率比一般民眾更高 (Howard et al., 2004; Moreno et al., 2004; Stoohs et al., 1993)。另外國內針對74位職業駕駛人的身心狀況進行資料分析，發現竟有一半有自覺睡眠困難，顯示職業駕駛人普遍存在睡眠障礙的問題 (張倩倫, 2016)。

除了傳統的睡眠多項生理監測檢查 (polysomnography, PSG) 檢測，也能利用居家睡眠檢測 (home sleep test, HST) 儀器篩檢出睡眠相關的呼吸障礙。研究顯示，居家睡眠檢測中的脈搏血氧飽和度 (pulse oximetry) 和呼吸暫停流量偵測 (apnea flow detection) 為篩檢出睡眠呼吸障礙症 (sleep disordered breathing) 的指標，特別是針對專業駕駛員 (Ting et al., 2014)。

2.4 國內外現有疲勞量測指標

疲勞量測 (drowsiness measures) 指標一共可分為三大類：主觀型疲勞量測 (subjective measures)、客觀型疲勞量測 (objective measures)，以及車上數據量測 (vehicle-based measures) (Liu et al., 2009)。

1. 主觀型疲勞量測指標

主觀型疲勞量測常以問卷或量表的方式進行，其中以史丹佛嗜睡量表 (Stanford Sleepiness Scale, SSS)、卡羅連斯加嗜睡量表 (Karolinska Sleepiness Scale, KSS)，以及艾普沃斯嗜睡量表 (Epworth Sleepiness Scale, ESS) 最被廣泛使用 (Horne & Reyner, 1996; Ingre, Akerstedt, Peters, Anund, Kecklund, et al., 2006; Moller et al., 2006; Reyner & Horne, 1998)。

(1) 史丹佛嗜睡量表

SSS 為史丹佛大學睡眠研究中心 (Stanford University Sleep Research Center) 創辦人 William C. Dement 等學者所設計 (史丹佛嗜睡量表如表 2)。

表 2 史丹佛嗜睡量表

項目	內容
用途	評估受試者白天嗜睡與精神情況
量測對象	適用於一般民眾，對象多為十八歲或以上的成人。
信度與效度	相較於部分睡眠剝奪 (partial sleep deprivation)，SSS 分數於二十四小時完全睡眠剝奪 (total sleep deprivation) 顯著增加。
量測方式	自陳量測；受試者從七項描述選取最貼近自身精神狀況的一項，量測過程一至兩分鐘。
評分方式	僅一項；一至七分，分數越高表示嗜睡越嚴重。
實務案例	目前多數以學術研究機構探討為主，產業界並無實務案例。

資料來源：Hoddes et al., 1973; Shahid et al., 2012b

(2) 卡羅連斯加嗜睡量表

KSS 是由卡羅林斯卡學院 (Karolinska Institute) 學者所創造 (卡羅連斯加嗜睡量表如表 3)。

表 3 卡羅連斯加嗜睡量表

項目	內容
用途	評估受試者白天嗜睡與精神情況
量測對象	無特定族群，適用於一般民眾。經常用於輪班工作和時差與駕駛能力、注意和表現相關研究。
信度與效度	分數會隨著入睡時間點等參數而異，以致不易測量其再測信度(test-retest reliability); KSS 與腦電圖和行為變項 (behavioral variables) 高度相關，效度高。
量測方式	自陳量測；一般民眾可隨時自行測量，或由專業醫師進行評估；受試者從九項描述選取最貼近自身精神狀況的一項，量測過程約五分鐘。
評分方式	僅一項；原始版為一至九分，改良版為一至十分，分數越高表示嗜睡越嚴重。
實務案例	實務案例僅有挪威空中救護車 (Norwegian Air Ambulance, NAA)和奧地利空中救援團隊 (Christophorus Flugrettungsverein, CFV) 探索性研究 (pilot study)

資料來源：Kaida et al., 2006; Shahid et al., 2012a; Zakariassen et al., 2019

(3) 艾普沃斯嗜睡量表

根據史丹佛大學與國際睡眠科學與科技協會 (International Sleep Science and Technology Association, ISSTA) 一項聯合調查報告顯示，人們在感到疲勞的時候，易於清醒的情況下陷入 2 至 30 秒的微睡眠 (microsleep)，隨之產生閃神 (near miss) 而導致事故

風險的增加 (Powell et al., 2007)。此外，結果顯示 ESS 分數與閃神和實際事故具關聯性 (艾普沃斯嗜睡量表如表 4)。

表 4 艾普沃斯嗜睡量表

項目	內容
用途	評估受試者白天嗜睡與精神情況
量測對象	建議年齡介於 18 至 78 歲的民眾進行測量。
信度與效度	敏感度 0.94；特異度 1.00
量測方式	自陳量測；一般民眾可隨時自行測量，或由專業醫師進行評估；受試者針對八種情景進行評估，量測過程約五分鐘。
評分方式	八項，每項 0 至 3 分；最低 0 分，最高 24 分，分數越高表示嗜睡越嚴重。
實務案例	實務案例僅有挪威空中救護車 (Norwegian Air Ambulance, NAA) 和奧地利空中救援團隊 (Christophorus Flugrettungsverein, CFV) 探索性研究 (pilot study)

資料來源：Johns, 2000; Zakariassen et al., 2019

(4) 小結

上述主觀型疲勞量測工具均屬李克特量表 (Likert scale)，優點在於民眾可隨時隨地利用以上嗜睡量表進行量測，或尋求專業醫師從旁協助進行更精確的評估。無論英文或中文版本，皆可輕易透過網路取得。但是，基於主觀感受，受試者可能會低估自己嗜睡的情形或駕駛過程中入睡的可能性。因此，就疲勞量測而言，主觀型疲勞量測說服力較弱。此外，SSS 和 KSS 量表

僅有一項，雖然有利於量測速度，但其單一面向相對有損問卷效度。相反的，ESS 七個項目涵蓋面向較廣，能夠更真實反映受試者嗜睡或疲勞程度。

2. 客觀型疲勞量測指標

客觀型疲勞量測有生理訊號量測 (physiological measures)。而常見的生理訊號量測指標有：腦電圖 (electroencephalography, EEG)，又稱腦波圖；以及眨眼次數 (eye blink) 或閉眼時間 (eye closure duration)。除此之外，也有研究顯示腦部氧飽和度 (cerebral oxygen saturation, ScO2) 和血氧飽和度 (blood oxygen saturation, SpO2) 可以用於測量駕駛人員的疲勞程度。

除了上述指標，還有七項可以測試疲勞程度的方法：白天多次入睡潛時測試 (Multiple Sleep Latency Test, MSLT)、保持清醒測試 (Maintenance of Wakefulness Test, MWT)、牛津睡眠阻抗測試 (Oxford Sleep Resistance, OSLER)、瞳孔測量法 (pupillometry)、時限聽覺序列加法測驗 (Paced Auditory Serial Addition Test, PASAT)、普渡釘板測驗 (Purdue Pegboard Dexterity Test)，以及心理動作警覺性測試 (Psychomotor vigilance test, PVT)(國際 10-20 系統如圖 1)。

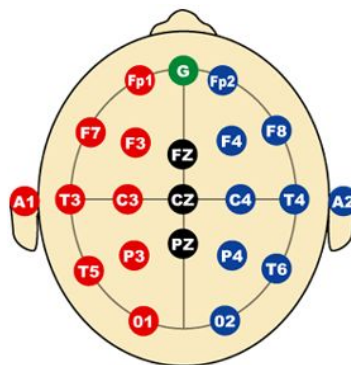







圖 1 國際 10-20 系統

(1) 腦電圖

腦電圖(後續以 EEG 簡稱)發明自德國漢斯伯格(Hans Berger)醫師，藉由頭皮上的電位變化測量大腦活動。一般而言，腦波需經由臨床經驗豐富的醫師從腦電圖中找到特徵訊號，作為判讀依據。但隨著科技的進步，國內外研究利用訊號處理技術進行腦波判讀。

目前人類的腦波以頻帶區分主要分為五種：即 gamma (γ) 波、beta (β) 波、alpha (α) 波、theta (θ) 波，以及 delta (δ) 波。不同的腦波反映著不同意識狀態：Gamma 波，頻率高達 30Hz 以上，受試者處於高度集中狀態；Beta 波，頻率介於 12 至 30Hz，受試者處於警覺狀態；Alpha 波，頻率介於 8 至 12Hz，受試者處於意識清醒且放鬆狀態；Theta 波，頻率介於 4 至 8Hz，受試者處於極度放鬆或冥想狀態；Delta 波，頻率 4Hz 以下，受試者處於深層睡眠、無夢且無知覺狀態(腦波種類如表 4)。

表 5 腦波種類

名稱	圖示
γ 波	
β 波	
α 波	
θ 波	
δ 波	

國內外已有不少研究利用腦波頻率評估受試者的疲勞程度。Alpha 波顯示早期的疲勞跡象，Theta 波則顯示較後期且更嚴重的疲勞跡象 (Crowley et al., 2008)。這兩種波的活動會隨著駕駛時間的增加而增加，並且隨著攝取咖啡因或小睡而減少 (Horne & Reyner, 1996; Otmani et al., 2005)。另外，也有研究運用 ROC 曲線法 (Receiver Operating Characteristic Curve) 及灰關聯分析法 (Grey Relational Analysis, GRA) 進行特徵提取，結果顯示 Theta 波為最佳疲勞指標 (Fu et al., 2017)。

腦波屬較微弱的訊號，且易受環境干擾、雜訊、腦波儀器精密度等因素影響，使得在 EEG 的辨識與判讀上較為困難，以致容易產生誤判。就目前而言，對於 EEG 的干擾有下列三大項 (Fatourechi et al., 2007; Jiang et al., 2019; Radüntz et al., 2017; Tamburro et al., 2019):

1. 生理反應的干擾：心臟循環系統、呼吸的干擾波、流汗的干擾波、肌電圖 (electromyogram, EMG) 的干擾波、眼動圖 (electrooculogram, EOG) 的干擾波、舌動的干擾波，以及身體移動的動作雜訊。
2. 機器干擾：60 Hz 交流電干擾和電極黏貼不良之干擾
3. 環境干擾：靜電與電源插頭上的電干擾

為了更精確的偵測駕駛員疲勞程度，亦有學者結合高解析度 EEG、心率和眨眼次數發展出工作負荷指數 (EEG-based cerebral workload index)(Borghini et al., 2012)。然而，EEG 極易受外界干擾，導致在疲勞偵測上難以操作。另外，駕駛員在駕駛中的睡著狀態可能與一般入睡狀態不一樣，過程中會產生昏昏欲睡與努力保持清醒的混合反應，而限制 EEG 的量測。多數腦






波與疲勞的案例還停留在研究階段，僅有兩項產品利用 EEG 進行疲勞駕駛量測。

(2) 眨眼次數和閉眼時間

研究顯示，當人處於疲勞狀態時，眨眼模式如：眼瞼運動 (eyelid movement) 的速度和幅度，以及眨眼頻率和眨眼所需時間會有所變化 (Peng et al., 2014; Schleicher et al., 2008)。研究發現，眨眼次數與卡羅連斯加嗜睡量表分數和車道偏移的頻率 (frequency of lane departures) 密切相關 (Akerstedt et al., 2005)。另外，駕駛人員閉眼時間會隨著其疲勞程度的增加而增加，進而影響駕駛表現。當眼瞼閉合的百分比 (percentage of eyelid closure, PERCLOS)¹ 超過百分之八十時，表示駕駛者處於疲勞狀態中 (Wierwille & Ellsworth, 1994)(眼瞼閉合百分比如表 5)。

¹眼瞼閉合百分比 (PERCLOS): 受試者在特定時段內閉眼的時間比例。

表 6 眼瞼閉合的百分比

眼瞼閉合的百分比	圖示
0%	
25%	
50%	
75%	
100%	

多篇研究證實，眼動參數屬疲勞駕駛量測可靠的指標之一。與腦波相比之下，透過駕駛員的眨眼次數及閉眼時間進行疲勞偵測較為容易。但是，在實際駕駛過程中，眼動參數可能會受到頭部和車輛移動等因素而影響 (Wilkinson et al., 2013)。因此，建議後續研究應納入兩種以上的參數，以發展更精準的疲勞駕駛指標 (Haworth et al., 1988; Williamson & Chamberlain, 2005)。

美國 NHTSA 將 PERCLOS 訂定為疲勞駕駛判定標準。不僅如此，許多研究亦結果證實 PERCLOS 無論在模擬駕駛 (simulated driving) 或真實駕駛情況下屬相對穩定的判定指標之一。相反的，眨眼次數可能會受到道路照明及其他車輛的前燈

等外部因素影響，使得在即時疲勞偵測上可靠性不足 (Johns et al., 2007)。

(3) 血氧飽和度

氧氣是維持生命最重要的元素之一。隨著疲勞感的增加，血液中的氧氣含量也會隨之降低。因此，血氧飽和度 (後續以 SpO₂ 簡稱) 亦屬於疲勞駕駛中重要的測量指標之一。許多研究結果發現，隨著行駛時間和疲勞程度的增加，駕駛人員的 SpO₂ 也會隨之減少 (Jing et al., 2020; Kobayashi et al., 2002; Sung et al., 2005)。目前可測量 SpO₂ 的儀器為醫療級手指式血氧飽和儀 (fingertip pulse oximeter)(手指式血氧飽和儀如圖 2)。但隨著智慧穿戴裝置的普及化，市面上也有販售可測量 SpO₂ 的消費者級別 (consumer grade) 智慧手錶或手環，例如：第六代蘋果智慧型手錶 (Apple Watch Series 6)(智慧型手錶 SpO₂ 功能如圖 3)。



圖 2 手指式血氧飽和儀²



圖 3 智慧型手錶血氧飽和度測量功能³

(4) 腦氧飽和度

國外研究團隊利用紅外線光譜術 (near-infrared spectroscopy, NIRS) 進行研究後發現，當駕駛時間越長，腦血氧飽和度 (後續

² 照片來源：Masimo 官網，<https://www.masimo.com/products/monitors/spot-check/mightysatrx/>

³ 照片來源：CNET 官網，<https://www.cnet.com/health/personal-care/apple-watch-blood-oxygen-app-how-it-works/>

以 ScO₂ 簡稱) 會隨之降低。這也表明, 長途駕駛中腦血氧輸送有減少的傾向 (Li et al., 2009)。

除了紅外線光譜術, 北卡羅萊納州立大學 (North Carolina State University) 與 NIRSleep 團隊共同研發出一款小型且方便攜帶的腦部血氧飽和度監測儀 (cerebral oximetry)(小型腦部血氧飽和度監測儀如圖 6)。基於缺氧易產生倦怠和疲勞的現象, 該團隊提出腦部血氧飽和度監測儀對於偵測飛機師在高空缺氧而引發疲勞的實用性 (腦部血氧飽和度監測儀如圖 4 和 5)。

血氧濃度器和腦部血氧飽和度監測儀同屬非侵入醫療器材。相較血氧飽和度, 有關腦部血氧飽和度與疲勞駕駛的研究偏少, 相關產品技術仍不成熟, 像是 NIRSleep 小型腦部血氧飽和度監測儀目前仍處於原型機測試階段並未正式販售。



圖 4 一般市售腦部血氧飽和度監測儀⁴ 圖 5 腦部血氧飽和度監測儀貼片⁵

⁴ 照片來源: Masimo 官網, <https://www.masimo.com/technology/brain-monitoring/cerebral-oximetry/>

⁵ 照片來源: Masimo 官網, <https://www.masimo.com/technology/brain-monitoring/cerebral-oximetry/>



圖 6 NIRSleep 小型腦部血氧飽和度監測儀⁶

(5) 白天多次入睡潛時測試

白天多次入睡潛時測試(後續以 MSLT 簡稱)主要測量受試者白天在安靜環境中入睡的傾向 (Carskadon, 1986), 亦為猝睡症之標準檢查。MSLT 檢查地點為醫院睡眠中心且由睡眠技師執行。檢測時間為白天, 過程中燈光需與夜間睡眠一樣。受試者於兩小時間隔進行 5 次每次 20 分鐘的檢測。受試者入睡後, 睡眠技師 (sleep technician) 會依據腦電圖、眼動圖 (electrooculogram, EOG)、肌電圖 (electromyogram, EMG) 及心電圖 (electrocardiogram, ECG or EKG) 等數據進行判讀, 其檢測項目有入睡時間 (sleep latency)、快速動眼期 (rapid eye movement, REM) 開始時間 (REM latency), 以及白天嗜睡的程度 (MSLT 如圖 7)。

⁶ 照片來源: NIRSsleep 官網, <https://nirsleep.com/technology/>



圖 7 白天多次入睡潛時測試⁷

(6) 保持清醒測試

保持清醒測試(後續以 MWT 簡稱)主要測試受試者白天的機敏程度與並在特定時段內保持清醒的能力 (Mitler et al., 1982)。MWT 檢查地點為醫院睡眠中心且由睡眠技師執行。檢測時間為白天, 受試者每隔 2 小時需半臥坐於黑暗中, 並且儘量保持清醒, 睡眠技師則藉由腦電圖、肌電圖以及眼動圖數據得知受試者是否有在過程中睡著和睡著所需的時間。受試者越快睡著, 表示保持清醒的能力越低 (MWT 如圖 8)。



圖 8 保持清醒測試⁸

⁷ 照片來源: Healthline, <https://www.healthline.com/health/multiple-sleep-latency-test>

⁸ 照片來源: Verywell Health, <https://www.verywellhealth.com/maintenance-of-wakefulness-test-3015117>

Pizza 等人(2009)利用駕駛模擬器 (Driving Simulator, DS) 研究駕駛表現、MSLT 與 MWT 之間關係後發現，MWT 較 MSLT 關聯性更高。Mitler 和 Miller (1996) 將 MWT 入睡時間少於 15 分鐘的受試者歸納為困意極高不適開車的族群。研究報告結果顯示，在未經治療的睡眠呼吸中止症患者中，MWT 入睡時間異常減少 (約 0 至 19 分鐘) 有損於駕駛模擬器及真實駕駛過程中的駕駛表現 (Banks et al., 2005; Philip et al., 2008; Sagaspe et al., 2007)。法國於 2005 年 12 月 28 日起規範具白天過度嗜睡 (excessive daytime sleepiness, EDS) 患者的駕駛執照進行管制 (Caen University Hospital, 2013)。

(7) 牛津睡眠阻抗測試

牛津睡眠阻抗測試 (後續以 OSLER 簡稱) 主要衡量受試者保持清醒的能力並評估白天的警覺性 (Bennett et al., 1997)。OSLER 可謂簡化版 MWT，無需透過繁瑣的 EEG，睡眠技師利用電腦程式操控儀器並儲存檢測數據，使得檢測地點不受限於睡眠中心，受試者亦可以在家裡進行檢測，且檢測效果與 MWT 相當。OSLER 須由睡眠技師執行，受試者在測試過程中需保持清醒，並對操控儀上 LED 每 3 秒一次的閃爍點擊做出回應。受試者若未能做出回應達 7 次後，檢測即結束。檢測時間以 2 小時為間隔，共進行四次測試，間隔之間受試者禁止不允許入睡。研究證實，OSLER 適用於白天覺醒 (wakefulness) 和警覺性 (vigilance) 評估之大規模應用 (OSLER 如圖 9)。



圖 9 牛津睡眠阻抗測試⁹

(8) 瞳孔測量法

瞳孔測量法原為測量瞳孔直徑的一種方法。早在數百年前的文藝復興時代，義大利科學家 Felice Fontana 利用瞳孔測量法探討人類視覺和認知過程 (Fontana, 1765; Goldinger & Papesh, 2013)。美國聯邦航空管理局 (Federal Aviation Administration, FAA) 一項研究觀察到，受試者在清醒且警覺時，瞳孔相對大且穩定。相反的，隨著疲倦感的增加，瞳孔會變得越來越來小，瞳孔的收縮 (constriction) 和擴張 (dilation) 即瞳孔波動 (pupillary oscillation) 比較不穩定 (Otto Lowenstein et al., 1963)(瞳孔變化如圖 10)。

⁹ 照片來源：Stowood Scientific Instruments,
<http://www.stowood.co.uk/Brochures/OSLER%20Brochure.pdf>

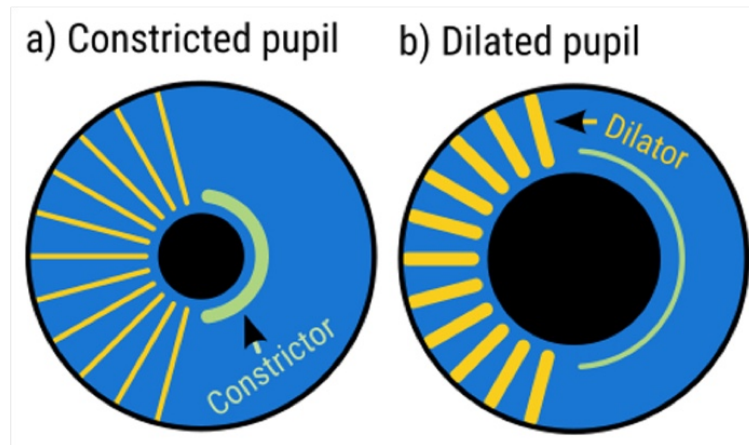


圖 10 瞳孔收縮與擴張¹⁰

研究發現，人類的瞳孔不僅會隨著光線的強弱而變化 (Lowenstein & Loewenfeld, 1958)，亦隨著非視覺刺激如情感 (emotion) 和思想 (thoughts) 等心理因素而改變 (Goldwater, 1972; Janisse, 1974)。此外，Morad 等人 (2000) 提出利用瞳孔測量法測量瞳孔大小和反應性來反映受試者的警覺性 (電子瞳孔機如圖 11 和 12)。數篇研究發現，嗜睡症 (hypersomnia) 族群如猝睡症、睡眠呼吸中止症，以及患有睡眠中斷 (sleep disruption) 症狀的患者，其瞳孔變化幅度大 (Cluydts et al., 2002; Yoss et al., 1969)。現今除了一般電子瞳孔測量機，美國普渡大學 (Purdue University) 與新創公司 brightlamp 共同研發具瞳孔測量的手機應用程式—Reflex (Reflex 應用程式如圖 13 和 14)。

¹⁰ 照片來源：Journal of Cognition, <https://www.journalofcognition.org/articles/10.5334/joc.18/>



圖 11 電子瞳孔機¹¹



圖 12 電子瞳孔機螢幕¹²



圖 13 Reflex 操作示範¹³

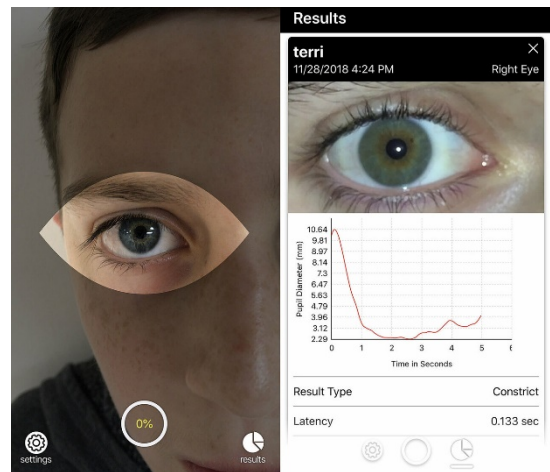


圖 14 Reflex App 畫面¹⁴

(9) 時限聽覺序列加法測驗

時限聽覺序列加法測驗 (後續以 PASAT 簡稱) 主要用於評估受試者信息處理速度、注意力和工作記憶 (Tombaugh, 2006)。PASAT 測驗時間約 1 至 5 分鐘，以每 1.2 秒至每 2.4 秒顯示 1 個數字的速率進行測試。受試者須在時間限制內連續聽取 61 個隨

¹¹ 照片來源: NeurOptics, <https://neuroptics.com/>

¹² 照片來源: NeurOptics, <https://neuroptics.com/>

¹³ 照片來源: Purdue University, <https://www.purdue.edu/newsroom/releases/2019/Q3/improved-reflex-app-from-brightlamp-unlocks-the-diagnostic-power-of-the-pupil,-provides-diagnostic-data-for-concussions-in-seconds.html>

¹⁴ 照片來源: Medical Xpress, <https://medicalxpress.com/news/2019-01-brightlamp-smartphone-app-rapidly-brain.html>

機排列數值為 1 至 9 的數字，並且計算 2 個數字之合 (Goetz, 2007) (PASAT 如圖 15)。

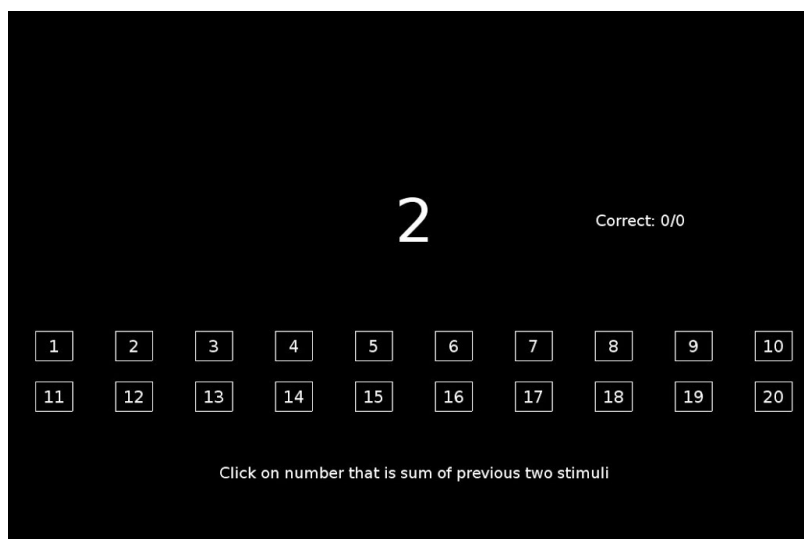


圖 15 電腦版 PASAT 測試畫面¹⁵

(10) 普渡釘板測驗

普渡釘板測驗主要測試受試者的手眼協調能力 (hand-eye coordination)(Tiffin & Asher, 1948)。測驗共分為三個部分：慣用手 (dominant hand)、非慣用手 (non-dominant hand)，以及雙手，分別評估受試者將指定數量的釘子放至木板所需時間 (如圖 16)。



圖 16 普渡釘板測驗

¹⁵ 照片來源：PEBL YouTube, https://www.youtube.com/watch?v=_n80eMWl-0Y

(11) 心理動作警覺性測試

心理動作警覺性測試 (後續以 PVT 簡稱) 用於評估受試者的反應時間以及警覺度是否有異常 (Dinges & Powell, 1985)。標準的 PVT 測試時間為 10 分鐘，主要利用隨機刺激間距 (interstimulus intervals, ISI) 如視覺或聽覺刺激，記錄受試者的簡單反應時間 (simple reaction time) 來評估其注意力 (Dorrian et al., 2005; Sehgal et al., 2015; Warm et al., 2008)(PVT 如圖 17)。

基於易操作性，PVT 廣泛應用於睡眠剝奪相關研究 (Doran et al., 2001; Lim & Dinges, 2008)。研究證實，PVT 有助於預測 OSA 患者的表現受損 (performance impairment) 風險，例如：交通事故 (Li et al., 2017)。為了增加實務應用的方便性，Basner 與 Rubenstein 將原本 10 分鐘的 PVT 改良為 3 分鐘的 PVT-B (Basner et al., 2011)。實驗證實，PVT-B 有利於預測機場行李檢查人員工作疲勞程度，有望未來作為專業駕駛人員出車前的適勤 (fitness-for-duty) 評估 (Basner & Rubinstein, 2011)。

除了一般的 PVT 如：德國聯邦教育科學部 (German Federal Ministry of Education and Research, BMBF) 補助研發圖賓根大學 (Eberhard Karls University of Tübingen) 的 AuReTim (AuReTim 如圖 18)；亦有 PVT 的手機應用程式，像是美國國家航空暨太空總署 (National Aeronautics and Space Administration, NASA) 研發的 NASA PVT+ (如圖 19)；以及美國賓州大學華頓商學院 (Wharton School of the University of Pennsylvania) 研發的 Sleepalyzer (如圖 20)。

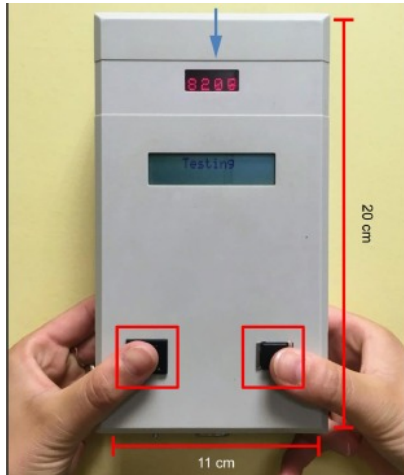


圖 17 一般常見 PVT¹⁶



圖 18 德國 AuReTim¹⁷



圖 19 NASA PVT+¹⁸

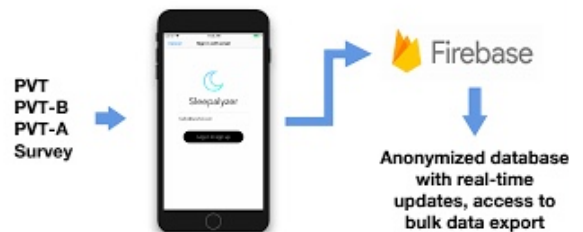


圖 20 賓州大學 Sleepalyzer¹⁹

(12) 小結

雖然客觀型疲勞指標均比主觀的問卷量表等指標來得可靠，但這些指標在實際運用上仍然有其弊端，像是腦波微弱的訊號導致易干擾、眨眼次數會受環境光線影響等。至於腦氧飽和度、MSLT、MWT、OSLER 和瞳孔測量法，須由專業醫療人員進行檢測及判讀，且部分有場域和檢測時間限制，實務應用上較為

¹⁶ 照片來源：Journal of Hepatology, [https://www.journal-of-hepatology.eu/article/S0168-8278\(19\)30005-4/fulltext](https://www.journal-of-hepatology.eu/article/S0168-8278(19)30005-4/fulltext)

¹⁷ 照片來源：Eberhard Karl University of Tübingen, <http://www.eye-tuebingen.de/strasserlab/technology-development/auretim/>

¹⁸ 照片來源：NASA Ames Research Center, <https://www.nasa.gov/feature/ames/fighting-fatigue-app>

¹⁹ 照片來源：Jerome Fisher Program in Management & Technology, <https://fisher.wharton.upenn.edu/wp-content/uploads/2019/06/Sleepalyzer.pdf>

不便。PASAT 與普渡釘板測驗缺乏實務應用案例，故需再深入探討其實用性和可行性。綜合而言，本研究藉由 PERCLOS 穩定性相對高、SpO₂ 於智慧穿戴的普及化，以及 PVT 易操作性且不耗時，認為這三項疲勞量測指標較有潛力且實用。

3. 車上數據量測指標

除了上述生理訊號量測，國內外學者也提出以車上所收集到的數據作為疲勞駕駛量測指標，即行駛速度變化、標準車道位置偏差 (standard deviation of lane position, SDLP)，以及方向盤移動變化 (steering wheel movement, SWM)。

(1) 行駛速度變化

睡眠不足的駕駛員會產生較大的行駛速度變化 (Arnedt et al., 2000; Fairclough & Graham, 1999)。

(2) 標準車道位置偏差

此外，標準車道位置偏差與疲勞的關聯性密切 (De Valck & Cluydts, 2001; Ingre, Akerstedt, Peters, Anund, & Kecklund, 2006)。其中以標準車道位置偏差 (後續以 SDLP 簡稱) 與前述提到的卡羅連斯加嗜睡量表 (後續以 KSS 簡稱) 分數有相關。研究結果顯示，SDLP 會隨著 KSS 分數增加而增加。

(3) 方向盤移動變化

研究發現，睡眠不足的駕駛員其方向盤動作變化 (後續以 SWM 簡稱) 較少。以 1 至 5 度為小型 SWM，6 至 10 度為大型 SWM 作為區隔，隨著駕駛時間的增加，駕駛員方向盤小型 SWM 減少，大型 SWM 反而增加 (Thiffault & Bergeron, 2003)。這與上述 SDLP 有著極大的關係。由於在疲勞狀態之下，昏昏欲

睡的駕駛員並不察覺自己已逐漸偏離車道，當清醒之時則必須將方向盤進行大型 SWM 來校正車道偏差。

2.5 國內外現有車上疲勞偵測技術

根據國內外現有的文獻，車上疲勞駕駛偵測技術 (Automotive Internet of Things, 簡稱 Automotive IoT) 可分為三大類，即：內置系統 (built-in system)、外部裝置 (external device)，以及人工智慧 (artificial intelligence)。

1. 內置系統

隨著疲勞駕駛議題逐漸受到關注，大部分知名汽車廠商如賓士 (Mercedes-Benz)、BMW (Bayerische Motoren Werke)、富豪 (Volvo)、裕隆日產 (Nissan)、豐田 (Toyota)，以及福特 (Ford) 致力於開發相關注意力輔助系統。車上內置系統透過車輛內部感應器像是方向盤，以及外部感應器如：攝像機 (camera)、光達 (light detection and ranging, lidar)、雷達 (radar) 和超聲波感應器 (ultrasonic sensor) 等進行監控，並於儀表板 (dashboard) 上給予警示，見下方實務案例。

(1) 賓士駕駛注意力輔助系統

賓士駕駛注意力輔助系統 (Mercedes-Benz Attention Assist) 會記錄駕駛者的開車習慣如：方向盤移動變化和方向盤移動速度，並且利用駕駛者當下情形比對後台的 70 種參數如：行駛時間、路況及風速等數據資料，來判斷其是否有注意力不足或疲憊等跡象，進而警惕駕駛者停駛休息 (賓士駕駛注意力輔助系統如圖 21)。



圖 21 賓士駕駛注意力輔助²⁰

(2) 富豪駕駛員注意力系統

富豪駕駛員注意力系統 (Volvo Driver Attention System) 包含了兩大功能：駕駛員警示控制系統 (Driver Attention Control, DAC) 以及車道偏移警告系統 (Lane Departure Warning, LDW)。車前鏡頭的攝像機將監測車道兩側標記，並將路段與駕駛員的方向盤移動進行比對。若車輛未均勻行駛於車道上，系統會向駕駛員發出警示 (富豪駕駛員注意力系統功能如圖 22 和 23)。

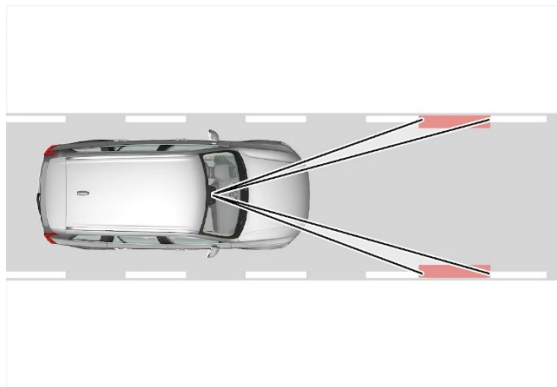


圖 22 側面監測²¹

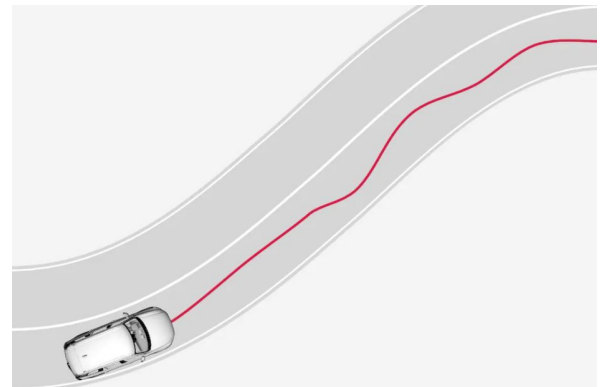


圖 23 前方監測²²

²⁰ 照片來源：Mercedes-Benz Australia, <https://www.mercedes-benz.com.au/vans/en/v-class/intelligent-drive-technologies/teaser-group-1/attention-assist>

²¹ 照片來源：Volvo United Kingdom, <https://www.volvocars.com/uk/support/manuals/xc90/2019w17/driver-support/driver-alert-control/driver-alert-control>

²² 照片來源：Volvo United Kingdom, <https://www.volvocars.com/uk/support/manuals/xc90/2019w17/driver-support/driver-alert-control/driver-alert-control>

(3) BMW 駕駛監測系統

有別於賓士和富豪的注意力輔助系統，BMW 駕駛監測系統 (BMW Driver Monitoring System) 將攝像機安裝至儀表板上，即時監測駕駛員臉部變化，進而評估駕駛員的注意力 (如圖 24)。



圖 24 儀表板上方攝像機²³

2. 外部裝置

目前市面上疲勞駕駛相關外部裝置以生理訊號、頭部、臉部和眼部監測為主。疲勞偵測外部裝置常收集的生理訊號就如同第肆章第二節所列；臉部變化偵測如財團法人車輛研究測試中心 (Automotive Research & Testing Center, ARTC) 所研發的駕駛者異常行為偵測技術，主要透過車內攝影機和紅外線裝置偵測駕駛人臉部及凝視方向的辨識，判斷駕駛人是否有分心，或違規駕駛行為如：開車滑手機或吸菸 (財團法人車輛研究測試中心, 2017)；眼動監測系統 (eye monitoring system) 的儀器多數以眨眼次數、閉眼次數、視覺干擾或固定凝視暫定 (gaze-fixation pause) 進行偵測。由於疲勞特徵與形態相當複雜，因此為了提升偵測效果，大部分裝置會運用兩種以上

²³ 照片來源：Road Show by CNET，<https://www.cnet.com/roadshow/news/bmw-driver-monitor-camera-x5/>

方法進行。本研究將以圖表方式呈現裝置相關資訊 (國外疲勞駕駛相關儀器設備如表 6)。

表 7 國外疲勞駕駛相關儀器設備

類別	產地與公司	產品名稱	偵測方法	重要特徵	圖片	來源
穿戴 裝置	澳洲 SmartCap	LifeBand	○ 生理訊號：腦波	<ul style="list-style-type: none"> ○ 準確率高達 94.7% ○ 經學澳洲 MUARC²⁴、IBAS²⁵和智利大學醫學院驗證 ○ 通過英美資源集團²⁶和 ACARP²⁷場域測試 ○ 實務案例： <ul style="list-style-type: none"> (1) 與加拿大 Newtrax Technologies 合作解決地下採礦工人工作相關疲勞問題 (2) 提供澳洲運輸公司 Australian Reef Pilots、澳洲醫療服務提 		[28]

²⁴ 澳洲蒙納許大學事故研究中心 (Monash University Accident Research Centre, MUARC)

²⁵ 奧斯丁醫院呼吸與睡眠健康研究所 (Austin Health Institute of Breathing and Sleep, IBAS).

²⁶ 英美資源集團 (Anglo American Metallurgical Coal)

²⁷ 澳洲煤炭協會研究計劃 (Australian Coal Association Research Program, ACARP)


²⁸ 資料來源：Smartcap, <http://www.smartcaptech.com>

				供機構 Sano Health、澳洲礦商 NSW Mining、印度軟體科技公司 Vareli Tecnac 工作相關疲勞解決方案		
穿戴裝置	澳洲 Optalert	Optalert glasses	<ul style="list-style-type: none"> ○ 眼部變化 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 利用紅外光線偵測使用者眼部變化 ○ 由澳洲睡眠醫師 Murray Johns 創立至今 20 年 ○ 結合 Johns 疲勞指數 (Johns Drowsiness Scale, JDS) 並且連結車上設備 Eagle Industries 或 Eagle Light 平板，具疲勞預警功能 ○ 經澳洲 MUARC 和美國哈佛大學醫學院驗證 		[29]

²⁹ 資料來源：Optalert, <http://www.optalert.com>

				<ul style="list-style-type: none"> ○ 獲澳洲政府 Automotive Innovation Lab Access Grant (AILAG) 補助 ○ 連結雲端平台將使用者狀況回顧雇主 ○ 實務案例： <ul style="list-style-type: none"> (1) 澳洲職業賽車手 Dylan Young 競賽使用 		
穿戴裝置	美國 Maven Machines	Co-Pilot	<ul style="list-style-type: none"> ○ 頭部動作 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 透過感測器監測使用者頭部動作，確保使用者定期注意後視鏡，評估使用者精神和集中狀況 ○ App 定期更新駕駛時道路及天氣狀況 ○ 連結 Smartsense 雲端平台將使用者狀況回顧雇主 ○ 實務案例： 		[30]

³⁰ 資料來源：Maven Machines, <https://mavenmachines.com/>

				<p>(1) 與美國運輸管理與軟體供應商 McLeod Software 進行產學合作</p> <p>(2) 提供美國運輸公司 Daylight Transport、美國物流公司 Ward Transport & Logistics、加拿大物流公司 GLS Canada 工作相關疲勞解決方案</p>		
穿戴裝置	加拿大 Fatigue Science	Readiband	<ul style="list-style-type: none"> ○ 睡眠狀況 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 睡眠數據與標準 PSG³¹可比性達 92% ○ 將前一晚所監測的睡眠數據輸入 ARL³²研發的 SAFTE 生物數學疲 		[37]

³¹ 睡眠多項生理監測檢查 (polysomnography, PSG)

³² 美國陸軍研究實驗室 (U.S. Army Research Lab, ARL)

³⁷ 資料來源: Fatigue Science, <https://www.fatiguescience.com/readiband/>


				<p>勞模型³³評估使用者精神狀況與當日工作適任性</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 獲加拿大商業發展銀行(BDC)³⁴和加拿大國家研究理事會工業研究援助計劃(NRC IRAP) 補助³⁵ ○ 實務案例： <ul style="list-style-type: none"> (1) 與美國智慧穿戴裝置公司 FitBit 和 Garmin 合作 (2) 提供美國聯邦緊急事務管理署 (FEMA)³⁶消防人員、加拿大黃金生產公司 Goldcorp 員工、加拿大運輸公司 Arrow Transportation Systems、美國 	
--	--	--	--	--	--

³³ Sleep, Activity, Fatigue, and Task Effectiveness (SAFTE) biomathematical fatigue model




³⁴ Business Development Bank of Canada (BDC)

³⁵ National Research Council of Canada Industrial Research Assistance Program (NRC IRAP)

³⁶ Federal Emergency Management Agency (FEMA) under United States Department of Homeland Security

				<p>人力資源公司 Total Workforce Solutions、美國佛羅里達州立大學女子足球隊、美國職業足球隊 Seattle Seahawks、美國職業棒球隊 Seattle Mariners、美國職業籃球隊 Dallas Mavericks 等隊員疲勞管理方案</p>		
穿戴裝置	英國 StopSleep	Anti-sleep alarm	<ul style="list-style-type: none"> 生理訊號：膚電活動 	<ul style="list-style-type: none"> 利用皮膚感測器偵測食指與中指的膚電活動 (Electrodermal activity, EDA) 評估駕駛人員疲勞狀態，異狀時透過聲音和震動方式給予警示 實務案例：暫無 		[38]

³⁸ 資料來源：StopSleep, <https://www.stopsleep.co.uk/>



穿戴裝置	美國 BioPac Systems	BioHarness Telemetry & Logging Systems	<ul style="list-style-type: none"> 生理訊號：心電圖、心率、呼吸 	<ul style="list-style-type: none"> 透過智慧紡織布料 (smart fabric) 和射頻遙測 (radio frequency telemetry system, RF) 收集駕駛員生理訊號並同時進行監測 實務案例：暫無 		[39]
穿戴裝置	澳洲 Emotiv Systems	EPOC X	<ul style="list-style-type: none"> 生理訊號：腦波 頭部動作 	<ul style="list-style-type: none"> 十四通道 EEG：AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8, AF4 實務案例：暫無 		[40]
車上設備	澳洲 Seeing Machines	Guardian	<ul style="list-style-type: none"> 頭部位置 閉眼情形 	<ul style="list-style-type: none"> 偵測頭部位置與閉眼情形並透過人工智慧分析疲勞與分心狀態 透過聲音警報和震動駕駛人員座椅方式給予警示 		[41]

³⁹ 資料來源：BioPac Systems, <https://www.biopac.com/product/bioharness-telemetry-logging-systems/>

⁴⁰ 資料來源：Emotiv, <https://www.emotiv.com/>


⁴¹ 資料來源：Seeing Machines, <https://www.seeingmachines.com/>

				<ul style="list-style-type: none"> ○ 連結 Guardian Live 雲端平台 ○ 實務案例： <ul style="list-style-type: none"> (1) 提供美國航太與國防科技創新企業 L3Harris Technologies、紐西蘭物流公司 TIL Logistics Group、英國客運公司 First Bus、美國救護車服務提供公司 Priority Ambulance、美國高級汽車品牌 Cadillac、美國客運公司 Coach USA、法國公共運輸服務公司 RATP 等工作相關疲勞解決方案 	
--	--	--	--	--	--


車上設備	瑞典 Smart Eye	AntiSleep	<ul style="list-style-type: none"> ○ 頭部位置 ○ 凝視方向 ○ 眼瞼閉合 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 使用單一 VGA 標準攝像機和紅外線閃光燈 ○ 實務案例：暫無 		[42]
車上設備	瑞典 Hexagon	Operator Alertness System Light Vehicle (OAS-LV)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 頭部變化 ○ 臉部變化 ○ 眼部變化 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 透過機器學習演算法分析駕駛人員疲勞狀態，適時給予警示 ○ 連結雲端平台以便主管做決策之用 ○ 類似產品：英國 Transport Support 的 Driver Fatigue Monitor (DFM2) ○ 實務案例：暫無 		[43]

⁴² 資料來源：Smart Eye, <http://smarteye.se/wp-content/uploads/2016/04/Anti-Sleep.pdf>

⁴³ 資料來源：Hexagon, <https://www.hexagonmining.com/>

<p>車上設備</p>	<p>美國 Intelligent Automation</p>	<p>Multi Modal Driver Distraction and Fatigue Detection (MDF)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 頭部變化 ○ 眼部變化 ○ 方向盤移動 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 經中小型企業創新研發計畫 (Small Business Innovation Research, SBIR) 獲得美國運輸部補助 ○ 偵測駕駛員的姿勢和警覺性等心理生理指標，如 PERCLOS 和平均閉眼速度 (AECS)、打哈欠情形及手勢；感應器偵測偏航及不穩定速度變化。 ○ 實務案例： <ul style="list-style-type: none"> (1) 服務提供對象：美國政府單位如國防部、教育部、NASA、國土安全部、聯邦航空總署國家衛生院和國家司法研究所 		<p>[44]</p>
-------------	----------------------------------	---	---	--	---	-------------

⁴⁴ 資料來源：Intelligent Automation, <https://www.i-a-i.com/>

車上設備	英國 Fatigue Management International	Advisory System for Tired Drivers (ASTiD)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 生理時鐘及睡眠評估 ○ 方向盤移動 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 系統將納入駕駛人員的生理時鐘、行駛時間和行駛特性等因素，依據駕駛員睡眠品質調整偵測靈敏度 ○ 感應方向盤移動適時發出警報 ○ 實務案例：暫無 		[45]
------	-------------------------------------	---	--	--	---	------

⁴⁵ 資料來源：Fatigue Management International, <https://www.fmiapplications.com/>

現行疲勞駕駛相關裝置及設備種類繁多，且產品所使用的偵測技術和警示方式大致相似。服務對象廣泛除了運輸相關行業如：汽車製造公司、客運公司、公共運輸服務公司、物流公司以外，亦提供服務於政府單位、職業運動團體，以及人力資源公司等，協助它們監測並且管理員工及隊員的精神狀況。本研究所列的十二項產品中，目前僅有三項產品已通過驗證階段，即：澳洲 LifeBand 和 Optalert 穿戴裝置，以及 Guardian 車上設備。值得注意的是，並非每一項產品都有實務案例，導致部分產品技術成熟度、實用性和可靠性無法被證實。

3. 人工智慧

為了達到更精準的疲勞量測，國外研究團隊會利用生理訊號等數據資料結合人工智慧 (artificial intelligence, AI) 領域中的機械學習 (machine learning) 進行演算。大部分運用 AI 進行疲勞偵測還停留在研究階段，如表 7，而目前已商品化的產品有前一節來自澳洲的 Seeing Machines，以及下列日本松下電器和美國 Affectiva (AI 疲勞偵測相關研究如表 7)。

表 8 AI 疲勞偵測相關研究

名稱	技術	資料來源
單通道腦電圖儀器 (single channel EEG device with TGAM-based chip)	1. EEG 2. 紅外線 EOG 3. SSS、RPE 以及 NASA-TLX 量表 ⁴⁶⁴⁷	Morales et al., 2017
基於人工類神經網路從腦波早期偵測疲勞 (driver fatigue detection system using artificial neural network)	1. 腦波圖 2. 放大梯度函數(magnified gradient function, MGF) 3. 標準反向傳播演算法 (standard back propagation algorithm, SBP)	King et al., 2006

(1) 松下電器疲勞控制技術

松下電器疲勞控制技術 (Panasonic Drowsiness Control Technology) 主要運用非接觸式技術 (contactless technology) 來感測駕駛人員精神狀態和車內環境，透過攝像機偵測駕駛人員的眼部和臉部 (松下電器疲勞控制技術如圖 25)。接著以人工智慧技術進行疲勞與臉部表情分析 (drowsiness-facial expression analysis) 駕駛人員眨眼情形等數據，依據大原紀念勞動科學研究所 (Ohara Memorial Institute for Science of Labour, ISL) 研發的疲勞五個分級 (five levels of drowsiness) 評估駕駛人員的疲勞程度 (Kitajima et al., 1997)(非接觸式技術和疲勞五個分級如圖 26)。

⁴⁶ 柏格自覺努力量表 (Borg Rating of Perceived Exertion, RPE) 用於測量受試者生理與心理的努力程度 (Borg et al., 1987)。

⁴⁷ NASA 工作負荷評估量表 (NASA-Task Load Index, NASA-TLX) 用於衡量受試者的心智負荷、身體負荷、時間負荷、精力耗費、表現績效及挫折程度之間的負荷程度 (Hart & Staveland, 1988)。

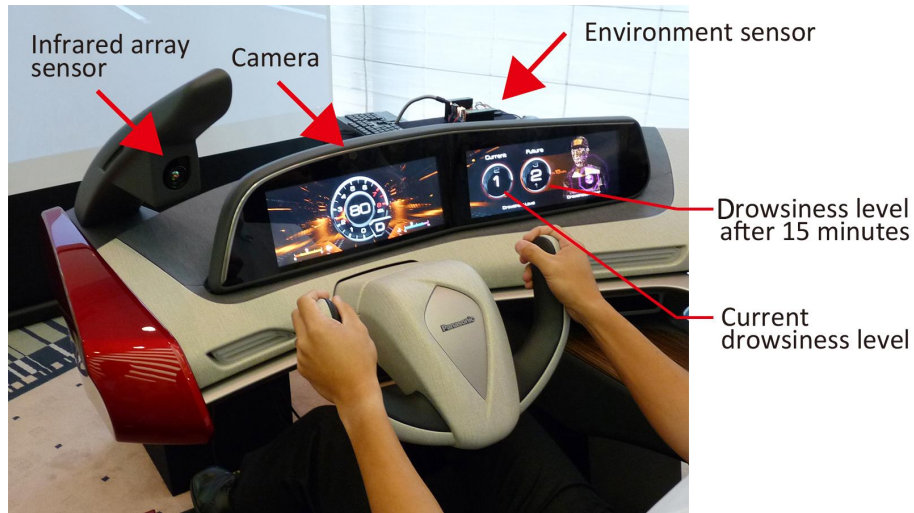
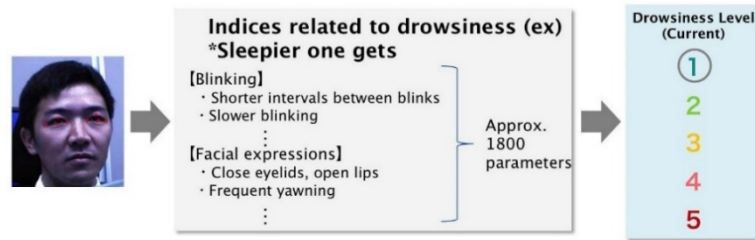


圖 25 Panasonic 疲勞控制技術⁴⁸

Contactless technology measures blinking and facial expressions and detects even very low, hardly noticeable levels of drowsiness



Proprietary AI processing predicts “drowsiness”

Based on the results from the drowsiness-facial expression analysis conducted in collaboration with The Ohara Memorial Institute for Science of Labour.

Level of drowsiness*	1	2	3	4	5
	Not sleepy	A little sleepy	Sleepy	Quite sleepy	Extremely sleepy
Some signs	<ul style="list-style-type: none"> Gaze moves quickly and often Blinking cycle is even 	<ul style="list-style-type: none"> Gaze moves slower Lips part open 	<ul style="list-style-type: none"> Blinking is slow and often Incidental movement, such as mouth moves, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> Conscious blinking Yawning 	<ul style="list-style-type: none"> Close lids Head tilts forward

* The Ohara Memorial Institute for Science of Labour's "5 Levels of Drowsiness"

圖 26 非接觸式技術與疲勞五個分級⁴⁹

除此之外，松下電器與千葉大學 (Chiba University) 共同開發了一款系統，透過車內 GRID-EYE 紅外線陣列感測器 (infrared array sensor) 和環境感測器 (environment sensor) 所收集到的資料如：熱損失 (heat loss)、氣流通量和環境光照程度，預測駕駛人員 15 分鐘後的疲勞程度 (相關如圖 27)。

⁴⁸ 照片來源：Panasonic 官網，<https://news.panasonic.com/global/stories/2017/49621.html>

⁴⁹ 照片來源：Panasonic 官網，<https://news.panasonic.com/global/stories/2017/49621.html>

Surrounding environment parameters and predicts changes in drowsiness

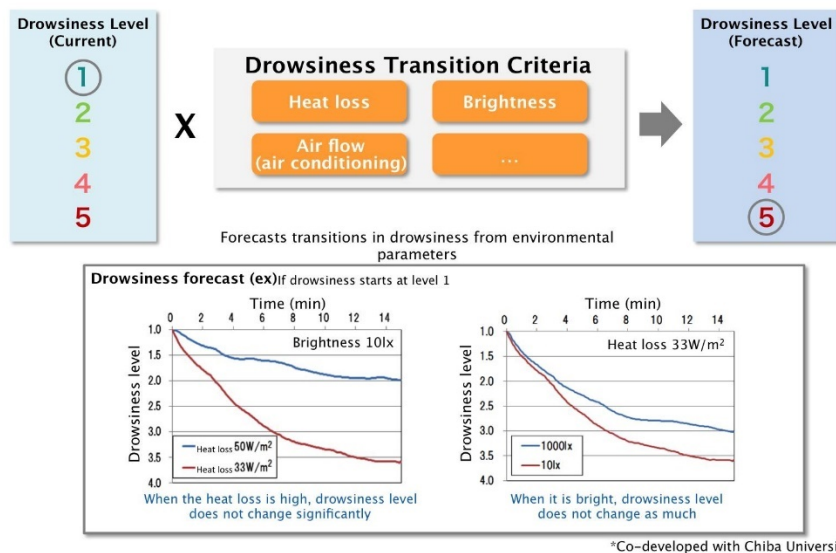


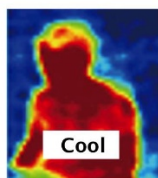
圖 27 駕駛人員疲勞預測⁵⁰

結合熱環境 (thermal environment) 和生理學 (physiology) 等知識，松下電器與奈良女子大學 (Nara Women's University) 合作開發了一款監測熱感覺 (thermal sensation) 的技術，調節車內氣流量和熱舒適 (thermal comfort)，有助駕駛人員在駕駛過程中保持舒適和清醒 (相關技術如圖 28)。

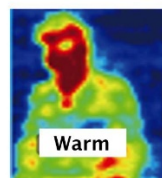
Technology that measures thermal sensation to keep people comfortably awake with air conditioning

Contactless infrared array sensor can measure people's thermal sensation (whether they feel hot, cold) without being affected by their clothing.

Realizes both "comfortable (neither hot nor cold) and "drowsiness control"



Body surface temperature is high
→ lots of heat is released
→ senses coolness



Body surface temperature is low
→ less heat is released
→ senses warmth

*Co-developed with Nara Women's University.

圖 28 熱感覺檢測技術⁵¹

⁵⁰ 照片來源：Panasonic 官網，<https://news.panasonic.com/global/stories/2017/49621.html>

⁵¹ 照片來源：Panasonic 官網，<https://news.panasonic.com/global/stories/2017/49621.html>

(2) Affectiva 汽車人工智慧

Affectiva 汽車人工智慧 (Affectiva Automotive AI) 為美國麻省理工學院 (Massachusetts Institute of Technology) 媒體實驗室 (MIT Media Lab) 分拆出來的科技公司 Affectiva，運用人工情感智慧 (Artificial Emotional Intelligence) 開發能夠分析和識別人類情感的車上監測系統 (如圖 29)。

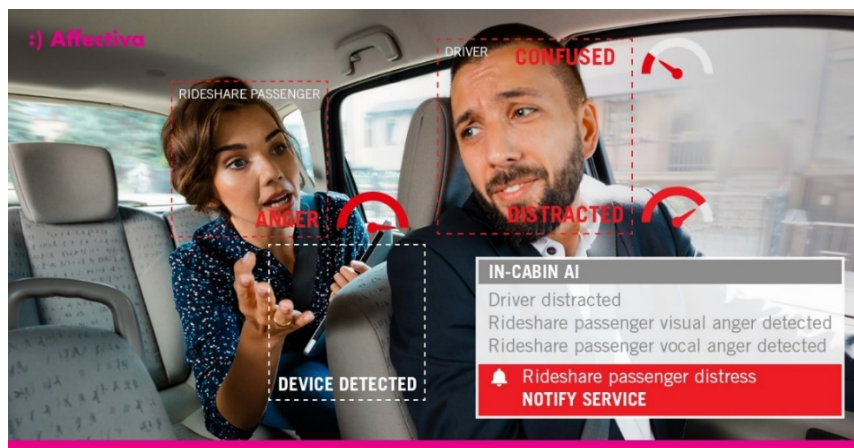


圖 29 Affectiva 車上監測系統⁵²

該系統會即時監控駕駛員疲勞程度，利用不同方式給予警示或建議駕駛人員停駛休息：以聽覺或視覺警示駕駛人員；透過安全帶或方向盤振動的方式、調節車內溫度或播放生動的音樂使駕駛人員保持清醒 (疲勞監控畫面如圖 30)。

⁵² 照片來源：Venture Beat, <https://venturebeat.com/2019/04/11/affectiva-raises-26-million-to-bring-emotional-intelligence-ai-to-car-safety-systems/>

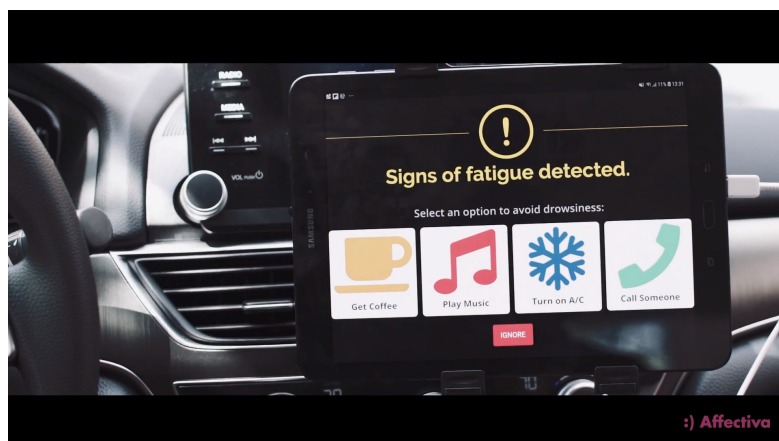


圖 30 Affectiva 駕駛員疲勞監控⁵³

另外，該系統也會監控駕駛員分心的程度。除了前述提醒和提神功能，系統設有虛擬人對話 (in-vehicle conversational agent) 功能，透過即時回饋機制協助駕駛人員集中精神 (分心監控畫面如圖 31)。

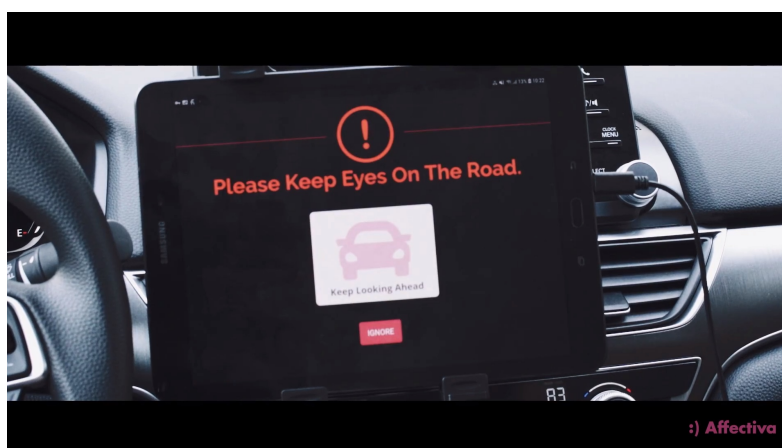


圖 31 Affectiva 駕駛員分心監控⁵⁴

⁵³ 照片截自：Affectiva 官方 YouTube, <https://www.youtube.com/watch?v=zRbGSxcosfg&t=35s>

⁵⁴ 照片截自：Affectiva 官方 YouTube, <https://www.youtube.com/watch?v=zRbGSxcosfg&t=35s>

第三章 結論與建議

雖然已有研究證實，不少量測指標，無論是主觀嗜睡量表、客觀標準如 PERCLOS 和 PVT、高科技穿戴裝置和車上設備，對於偵測疲勞駕駛潛力相當。但由於駕駛人員的疲勞狀態可能非單一因素造成，因此相關執行單位應同時考慮多項參數，更精確的偵測疲勞駕駛。此外，因為大量的醫療與科學上的證據已經證實，睡眠障礙是引起疲勞駕駛以及交通安全的直接導因之一，本研究強烈建議相關單位重視因睡眠障礙引起的疲勞駕駛問題，例如我們在民國 109 年 5 月 26 日在立法院舉辦的「睡眠健康與運輸安全修立法可行性」公聽會提出的建議，從職業駕駛人考照時的睡眠呼吸中止篩檢做起，因為這些睡眠障礙都是可控的，可預防及治療的。但目前因為缺乏政府的政策，自民國 104 年 10 月 13 日交通部運研所邀集專家與運輸業者舉辦之「睡眠科技專家論壇」之後，疲勞駕駛產生的問題仍舊持續發生。希望本案結案之後，相關單位能夠推動改善疲勞駕駛相關政策，漸少因為睡眠障礙導致的疲勞駕駛與車禍事件。

如我們在 109 年 8 月 28 日交通部運研所舉辦之「睡眠健康與駕駛安全座談會」中提到的 3 個 E，即科技 (Engineering)、教育 (Education) 和法規 (Enforcement)。期許未來能藉由疲勞駕駛相關科技的應用，教育民眾睡眠障礙對於駕駛安全的影響教育，以及透過睡眠障礙之篩檢，改善因睡眠障礙引起的疲勞駕駛的政策法規，防止疲勞駕駛所持續帶來的不良後果。

參考文獻

- Akerstedt, T., Peters, B., Anund, A., & Kecklund, G. (2005). Impaired alertness and performance driving home from the night shift: A driving simulator study. *Journal of Sleep Research*, *14*(1), 17–20. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2869.2004.00437.x>
- Amundsen, A. H., & Sagberg, F. (2003). *HOURS OF SERVICE REGULATIONS AND THE RISK OF FATIGUE AND SLEEP-RELATED ROAD ACCIDENTS. A LITERATURE REVIEW*. Undefined. /paper/HOURS-OF-SERVICE-REGULATIONS-AND-THE-RISK-OF-AND-A-Amundsen-Sagberg/ad0e23113559e9117d45e430cccd7edf07e4c493
- Arnedt, Wilde, Munt, & Maclean. (2000). Simulated driving performance following prolonged wakefulness and alcohol consumption: Separate and combined contributions to impairment. *Journal of Sleep Research*, *9*(3), 233–241. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2869.2000.00216.x>
- Banks, S., Catcheside, P., Lack, L. C., Grunstein, R. R., & McEvoy, R. D. (2005). The Maintenance of Wakefulness Test and driving simulator performance. *Sleep*, *28*(11), 1381–1385. <https://doi.org/10.1093/sleep/28.11.1381>
- Basner, M., Mollicone, D., & Dinges, D. F. (2011). Validity and Sensitivity of a Brief Psychomotor Vigilance Test (PVT-B) to Total and Partial Sleep Deprivation. *Acta Astronautica*, *69*(11–12), 949–959. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2011.07.015>
- Basner, M., & Rubinstein, J. (2011). Fitness for duty: A 3 minute version of the Psychomotor Vigilance Test predicts fatigue related declines in luggage screening performance. *Journal of Occupational and Environmental Medicine / American College of Occupational and Environmental Medicine*, *53*(10), 1146–1154. <https://doi.org/10.1097/JOM.0b013e31822b8356>
- Bennett, L. S., Stradling, J. R., & Davies, R. J. (1997). A behavioural test to

- assess daytime sleepiness in obstructive sleep apnoea. *Journal of Sleep Research*, 6(2), 142–145. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2869.1997.00039.x>
- Borg, G., Hassmén, P., & Lagerström, M. (1987). Perceived exertion related to heart rate and blood lactate during arm and leg exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 56(6), 679–685. <https://doi.org/10.1007/BF00424810>
- Borghini, G., Vecchiato, G., Toppi, J., Astolfi, L., Maglione, A., Isabella, R., Caltagirone, C., Kong, W., Wei, D., Zhou, Z., Polidori, L., Vitiello, S., & Babiloni, F. (2012). Assessment of mental fatigue during car driving by using high resolution EEG activity and neurophysiologic indices. *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Annual International Conference*, 2012, 6442–6445. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2012.6347469>
- Brown, I. D. (1994). Driver Fatigue. *Human Factors*, 36(2), 298–314. <https://doi.org/10.1177/001872089403600210>
- Caen University Hospital. (2013, February 26). *Method of Assessment of Driving Ability in Patients Suffering From Wakefulness Pathologies. Impact of Lactulose and Carnitine Treatment*. https://clinicaltrials.gov/ct2/history/NCT01231828?V_5=View
- Carskadon, M. A. (1986). Guidelines for the Multiple Sleep Latency Test (MSLT): A Standard Measure of Sleepiness. *Sleep*, 9(4), 519–524. <https://doi.org/10.1093/sleep/9.4.519>
- Cluydts, R., De Valck, E., Verstraeten, E., & Theys, P. (2002). Daytime sleepiness and its evaluation. *Sleep Medicine Reviews*, 6(2), 83–96. <https://doi.org/10.1053/smr.2002.0191>
- Crowley, K., Johns, M., Chapman, R., Tucker, A., & Patterson, J. (2008). An Ocular Measure of Drowsiness and the EEG: Changes with Sleep

- Deprivation. *Sleep*, 31, A119.
- de Mello, M. T., Narciso, F. V., Tufik, S., Paiva, T., Spence, D. W., BaHamam, A. S., Verster, J. C., & Pandi-Perumal, S. R. (2013). Sleep Disorders as a Cause of Motor Vehicle Collisions. *International Journal of Preventive Medicine*, 4(3), 246–257.
- De Valck, E., & Cluydts, R. (2001). Slow-release caffeine as a countermeasure to driver sleepiness induced by partial sleep deprivation. *Journal of Sleep Research*, 10(3), 203–209. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2869.2001.00260.x>
- Desmond, P. A., & Hancock, P. A. (2001). ACTIVE AND PASSIVE FATIGUE STATES. *STRESS, WORKLOAD AND FATIGUE*. <https://trid.trb.org/view/683362>
- Dinges, D. F., & Powell, J. W. (1985). Microcomputer analyses of performance on a portable, simple visual RT task during sustained operations. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 17(6), 652–655. <https://doi.org/10.3758/BF03200977>
- Doran, S. M., Van Dongen, H. P., & Dinges, D. F. (2001). Sustained attention performance during sleep deprivation: Evidence of state instability. *Archives Italiennes De Biologie*, 139(3), 253–267.
- Dorrian, J., Rogers, N., & Dinges, D. (2005). Psychomotor Vigilance Performance: Neurocognitive Assay Sensitive to Sleep Loss. *Sleep Deprivation: Clinical Issues, Pharmacology, and Sleep Loss Effects*, 193.
- European Commission. (2016, September 22). *Driving time and rest periods* [Text]. Mobility and Transport - European Commission. https://ec.europa.eu/transport/modes/road/social_provisions/driving_time_en
- Fairclough, S. H., & Graham, R. (1999). Impairment of driving performance caused by sleep deprivation or alcohol: A comparative study. *Human Factors*, 41(1), 118–128. <https://doi.org/10.1518/001872099779577336>

- Fatourechi, M., Bashashati, A., Ward, R. K., & Birch, G. E. (2007). EMG and EOG artifacts in brain computer interface systems: A survey. *Clinical Neurophysiology: Official Journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*, *118*(3), 480–494. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2006.10.019>
- Filomeno, R., Ikeda, A., & Tanigawa, T. (2016). Developing policy regarding obstructive sleep apnea and driving among commercial drivers in the United States and Japan. *Industrial Health*, *54*(5), 469–475. <https://doi.org/10.2486/indhealth.2015-0229>
- Fontana, F. (1765). *Dei moti dell'iride*. Jacopo Giusti.
- Fu, R., Wang, S., & Wang, S. (2017). Real-time Alarm Monitoring System for Detecting Driver Fatigue in Wireless Areas. *PROMET - Traffic&Transportation*, *29*, 165. <https://doi.org/10.7307/ptt.v29i2.2058>
- Garbarino, S., Magnavita, N., Guglielmi, O., Maestri, M., Dini, G., Bersi, F. M., Toletone, A., Chiorri, C., & Durando, P. (2017). Insomnia is associated with road accidents. Further evidence from a study on truck drivers. *PLoS ONE*, *12*(10). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187256>
- George, C. F., Boudreau, A. C., & Smiley, A. (1996). Simulated driving performance in patients with obstructive sleep apnea. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, *154*(1), 175–181. <https://doi.org/10.1164/ajrccm.154.1.8680676>
- Goetz, C. G. (Ed.). (2007). *Textbook of clinical neurology* (3rd ed). Saunders Elsevier.
- Goldinger, S. D., & Papesh, M. H. (2013). Recollection is Fast and Easy. In *Psychology of Learning and Motivation* (Vol. 59, pp. 191–222). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-407187-2.00005-8>
- Goldman, S. E., Ancoli-Israel, S., Boudreau, R., Cauley, J. A., Hall, M., Stone, K. L., Rubin, S. M., Satterfield, S., Simonsick, E. M., Newman, A. B., & Health, Aging and Body Composition Study. (2008). Sleep problems and

- associated daytime fatigue in community-dwelling older individuals. *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences*, 63(10), 1069–1075. <https://doi.org/10.1093/gerona/63.10.1069>
- Goldwater, B. C. (1972). Psychological significance of pupillary movements. *Psychological Bulletin*, 77(5), 340–355. <https://doi.org/10.1037/h0032456>
- Hart, S. G., & Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research. In *Advances in Psychology* (Vol. 52, pp. 139–183). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0166-4115\(08\)62386-9](https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)62386-9)
- Haworth, N. L., Grey, E. M., Triggs, T. J., & Federal Office of Road Safety, D. of T. and C. (1988). *Driver fatigue: Concepts, measurement and crash countermeasures*.
- Hoddes, E., Zarcone, V., Smythe, H., Phillips, R., & Dement, W. C. (1973). Quantification of Sleepiness: A New Approach. *Psychophysiology*, 10(4), 431–436. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1973.tb00801.x>
- Horne, J. A., & Reyner, L. A. (1996). Counteracting driver sleepiness: Effects of napping, caffeine, and placebo. *Psychophysiology*, 33(3), 306–309. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1996.tb00428.x>
- Ingre, M., Akerstedt, T., Peters, B., Anund, A., & Kecklund, G. (2006). Subjective sleepiness, simulated driving performance and blink duration: Examining individual differences. *Journal of Sleep Research*, 15(1), 47–53. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2869.2006.00504.x>
- Ingre, M., Akerstedt, T., Peters, B., Anund, A., Kecklund, G., & Pickles, A. (2006). Subjective sleepiness and accident risk avoiding the ecological fallacy. *Journal of Sleep Research*, 15(2), 142–148. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2869.2006.00517.x>
- Janisse, M. P. (1974). Pupillometry: Some Advances, Problems and Solutions. In M. P. Janisse (Ed.), *Pupillary Dynamics and Behavior* (pp. 1–8). Springer

US. https://doi.org/10.1007/978-1-4757-1642-9_1

- Jiang, X., Bian, G.-B., & Tian, Z. (2019). Removal of Artifacts from EEG Signals: A Review. *Sensors (Basel, Switzerland)*, *19*(5). <https://doi.org/10.3390/s19050987>
- Jing, D., Liu, D., Zhang, S., & Guo, Z. (2020). Fatigue driving detection method based on EEG analysis in low-voltage and hypoxia plateau environment. *International Journal of Transportation Science and Technology*, *9*(4), 366–376. <https://doi.org/10.1016/j.ijtst.2020.03.008>
- Johns, M. W. (2000). Sensitivity and specificity of the multiple sleep latency test (MSLT), the maintenance of wakefulness test and the epworth sleepiness scale: Failure of the MSLT as a gold standard. *Journal of Sleep Research*, *9*(1), 5–11. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2869.2000.00177.x>
- Johns, M. W., Tucker, A., Chapman, R., Crowley, K., & Michael, N. (2007). Monitoring eye and eyelid movements by infrared reflectance oculography to measure drowsiness in drivers. *Somnologie - Schlafforschung Und Schlafmedizin*, *11*(4), 234–242. <https://doi.org/10.1007/s11818-007-0311-y>
- Kaida, K., Takahashi, M., Akerstedt, T., Nakata, A., Otsuka, Y., Haratani, T., & Fukasawa, K. (2006). Validation of the Karolinska sleepiness scale against performance and EEG variables. *Clinical Neurophysiology: Official Journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*, *117*(7), 1574–1581. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2006.03.011>
- King, L. M., Nguyen, H. T., & Lal, S. K. L. (2006). Early driver fatigue detection from electroencephalography signals using artificial neural networks. *Conference Proceedings: ... Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Annual Conference, 2006*, 2187–2190. <https://doi.org/10.1109/IEMBS.2006.259231>

- Kitajima, H., Numata, N., Yamamoto, Keiichi, & Goi, Y. (1997). Prediction of Automobile Driver Sleepiness. 1st Report. Rating of Sleepiness Based on Facial Expression and Examination of Effective Predictor Indexes of Sleepiness. *TRANSACTIONS OF THE JAPAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS Series C*, 63(613), 3059–3066. <https://doi.org/10.1299/kikaic.63.3059>
- Kobayashi, F., Watanabe, T., Watanabe, M., Akamatsu, Y., Tomita, T., Nakane, T., Furui, H., Takeuchi, K., Okada, A., Ohashi, R., & Hayano, J. (2002). Blood Pressure and Heart Rate Variability in Taxi Drivers on Long Duty Schedules. *Journal of Occupational Health*, 44(4), 214–220. <https://doi.org/10.1539/joh.44.214>
- Lavidor, M., Weller, A., & Babkoff, H. (2003). How sleep is related to fatigue. *British Journal of Health Psychology*, 8(1), 95–105. <https://doi.org/10.1348/135910703762879237>
- Li, Y., Vgontzas Alexandros, Kritikou Ilia, Fernandez-Mendoza Julio, Basta Maria, Pejovic Slobodanka, Gaines Jordan, & Bixler Edward O. (2017). Psychomotor Vigilance Test and Its Association With Daytime Sleepiness and Inflammation in Sleep Apnea: Clinical Implications. *Journal of Clinical Sleep Medicine*, 13(09), 1049–1056. <https://doi.org/10.5664/jcsm.6720>
- Li, Z., Zhang, M., Zhang, X., Dai, S., Yu, X., & Wang, Y. (2009). Assessment of cerebral oxygenation during prolonged simulated driving using near infrared spectroscopy: Its implications for fatigue development. *European Journal of Applied Physiology*, 107(3), 281–287. <https://doi.org/10.1007/s00421-009-1122-6>
- Lichstein, K. L., Means, M. K., Noe, S. L., & Aguillard, R. N. (1997). Fatigue and sleep disorders. *Behaviour Research and Therapy*, 35(8), 733–740. [https://doi.org/10.1016/s0005-7967\(97\)00029-6](https://doi.org/10.1016/s0005-7967(97)00029-6)
- Lim, J., & Dinges, D. F. (2008). Sleep deprivation and vigilant attention. *Annals*

- of the New York Academy of Sciences, 1129, 305–322.
<https://doi.org/10.1196/annals.1417.002>
- Liu, C. C., Hosking, S. G., & Lenné, M. G. (2009). Predicting driver drowsiness using vehicle measures: Recent insights and future challenges. *Journal of Safety Research*, 40(4), 239–245.
<https://doi.org/10.1016/j.jsr.2009.04.005>
- Lowenstein, O., & Loewenfeld, I. E. (1958). Electronic pupillography; a new instrument and some clinical applications. *A.M.A. Archives of Ophthalmology*, 59(3), 352–363.
- Lowenstein, Otto, Feinberg, R., & Loewenfeld, I. E. (1963). Pupillary Movements During Acute and Chronic Fatigue: A New Test for the Objective Evaluation of Tiredness. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 2(2), 138–157.
- Marshall, N. S., Wong, K. K. H., Cullen, S. R. J., Knuiiman, M. W., & Grunstein, R. R. (2014). Sleep Apnea and 20-Year Follow-Up for All-Cause Mortality, Stroke, and Cancer Incidence and Mortality in the Busselton Health Study Cohort. *Journal of Clinical Sleep Medicine*, 10(04), 355–362. <https://doi.org/10.5664/jcsm.3600>
- Mitler, M. M., Gujavarty, K. S., & Browman, C. P. (1982). Maintenance of wakefulness test: A polysomnographic technique for evaluation treatment efficacy in patients with excessive somnolence. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 53(6), 658–661.
[https://doi.org/10.1016/0013-4694\(82\)90142-0](https://doi.org/10.1016/0013-4694(82)90142-0)
- Mitler, Merrill M., & Miller, J. C. (1996). Methods of Testing for Sleeplessness. *Behavioral Medicine (Washington, D.C.)*, 21(4), 171–183.
- Moller, H. J., Kayumov, L., Bulmash, E. L., Nhan, J., & Shapiro, C. M. (2006). Simulator performance, microsleep episodes, and subjective sleepiness: Normative data using convergent methodologies to assess driver drowsiness. *Journal of Psychosomatic Research*, 61(3), 335–342.

<https://doi.org/10.1016/j.jpsychores.2006.04.007>

Morad, Y., Lemberg, H., Yofe, N., & Dagan, Y. (2000). Pupillography as an objective indicator of fatigue. *Current Eye Research*, *21*(1), 535–542.

Morales, J. M., Díaz-Piedra, C., Rieiro, H., Roca-González, J., Romero, S., Catena, A., Fuentes, L. J., & Di Stasi, L. L. (2017). Monitoring driver fatigue using a single-channel electroencephalographic device: A validation study by gaze-based, driving performance, and subjective data. *Accident; Analysis and Prevention*, *109*, 62–69. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.09.025>

National Conference of State Legislatures. (2018, July 10). *Summaries of Current Drowsy Driving Laws*. <https://www.ncsl.org/research/transportation/summaries-of-current-drowsy-driving-laws.aspx>

NSF. (2007). *Drowsy Driving Prevention Week*. National Sleep Foundation. <https://drowsydriving.org/wp-content/uploads/2009/10/DDPW-Drowsy-Driving-Facts.pdf>

Otmani, S., Pebayle, T., Roge, J., & Muzet, A. (2005). Effect of driving duration and partial sleep deprivation on subsequent alertness and performance of car drivers. *Physiology & Behavior*, *84*(5), 715–724. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2005.02.021>

Peng, Y., Lu, B.-L., Chen, X., Chen, S., & Wang, C. (2014, July 6). *Recognizing slow eye movement for driver fatigue detection with machine learning approach*. Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks. <https://doi.org/10.1109/IJCNN.2014.6889615>

Philip, P., Sagaspe, P., Taillard, J., Chaumet, G., Bayon, V., Coste, O., Bioulac, B., & Guilleminault, C. (2008). Maintenance of Wakefulness Test, obstructive sleep apnea syndrome, and driving risk. *Annals of Neurology*, *64*(4), 410–416. <https://doi.org/10.1002/ana.21448>

Pizza, F., Contardi, S., Mondini, S., Trentin, L., & Cirignotta, F. (2009). Daytime

- sleepiness and driving performance in patients with obstructive sleep apnea: Comparison of the MSLT, the MWT, and a simulated driving task. *Sleep*, 32(3), 382–391. <https://doi.org/10.1093/sleep/32.3.382>
- Powell, N. B., Schechtman, K. B., Riley, R. W., Guilleminault, C., Chiang, R. P.-Y., & Weaver, E. M. (2007). Sleepy Driver Near-Misses May Predict Accident Risks. *Sleep*, 30(3), 331–342. <https://doi.org/10.1093/sleep/30.3.331>
- Powell, R., & Copping, A. (2010). Sleep deprivation and its consequences in construction workers. *Journal of Construction Engineering and Management*, 136(10), 1086–1092. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0000211](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0000211)
- Queensland Government. (2018, October 1). *Heavy Vehicle (Fatigue Management) National Regulation*. <https://www.legislation.qld.gov.au/view/whole/html/inforce/current/sl-2013-0078#>
- Radüntz, T., Scouten, J., Hochmuth, O., & Meffert, B. (2017). Automated EEG artifact elimination by applying machine learning algorithms to ICA-based features. *Journal of Neural Engineering*, 14(4), 046004. <https://doi.org/10.1088/1741-2552/aa69d1>
- Reyner, L. A., & Horne, J. A. (1998). Falling asleep whilst driving: Are drivers aware of prior sleepiness? *International Journal of Legal Medicine*, 111(3), 120–123. <https://doi.org/10.1007/s004140050131>
- Sagaspe, P., Taillard, J., Chaumet, G., Guilleminault, C., Coste, O., Moore, N., Bioulac, B., & Philip, P. (2007). Maintenance of Wakefulness Test as a Predictor of Driving Performance in Patients With Untreated Obstructive Sleep Apnea. *Sleep*, 30(3), 327–330. <https://doi.org/10.1093/sleep/30.3.327>
- Santos-Longhurst, A. (2019, February 15). *Epworth Sleepiness Scale: Scoring, Interpretation, How It Works*. Healthline.

<https://www.healthline.com/health/epworth-sleepiness-scale>

- Schleicher, R., Galley, N., Briest, S., & Galley, L. (2008). Blinks and saccades as indicators of fatigue in sleepiness warnings: Looking tired? *Ergonomics*, *51*(7), 982–1010. <https://doi.org/10.1080/00140130701817062>
- Sehgal, A., Allada, R., & Sehgal, A. (2015). *Methods in enzymology. Part B Circadian rhythms and biological clocks Part B Circadian rhythms and biological clocks*.
- Shahar, E., Whitney, C. W., Redline, S., Lee, E. T., Newman, A. B., Javier Nieto, F., O’connor, G. T., Boland, L. L., Schwartz, J. E., & Samet, J. M. (2001). Sleep-disordered Breathing and Cardiovascular Disease. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, *163*(1), 19–25. <https://doi.org/10.1164/ajrccm.163.1.2001008>
- Shahid, A., Wilkinson, K., Marcu, S., & Shapiro, C. M. (2012a). Karolinska Sleepiness Scale (KSS). In A. Shahid, K. Wilkinson, S. Marcu, & C. M. Shapiro (Eds.), *STOP, THAT and One Hundred Other Sleep Scales* (pp. 209–210). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9893-4_47
- Shahid, A., Wilkinson, K., Marcu, S., & Shapiro, C. M. (Eds.). (2012b). *STOP, THAT and One Hundred Other Sleep Scales*. Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9893-4>
- Sung, E.-J., Min, B.-C., Kim, S.-C., & Kim, C.-J. (2005). Effects of oxygen concentrations on driver fatigue during simulated driving. *Applied Ergonomics*, *36*(1), 25–31. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2004.09.003>
- Tamburro, G., Stone, D. B., & Comani, S. (2019). Automatic Removal of Cardiac Interference (ARCI): A New Approach for EEG Data. *Frontiers in Neuroscience*, *13*. <https://doi.org/10.3389/fnins.2019.00441>
- Tefft, B. C. (2014). *Prevalence of Motor Vehicle Crashes Involving Drowsy Drivers, United States, 2009 – 2013*. AAA Foundation for Traffic Safety. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.684.6347&rep>

=rep1&type=pdf

- Thiffault, P., & Bergeron, J. (2003). Monotony of road environment and driver fatigue: A simulator study. *Accident; Analysis and Prevention*, *35*(3), 381–391. [https://doi.org/10.1016/s0001-4575\(02\)00014-3](https://doi.org/10.1016/s0001-4575(02)00014-3)
- Tiffin, J., & Asher, E. J. (1948). The Purdue Pegboard: Norms and studies of reliability and validity. *Journal of Applied Psychology*, *32*(3), 234–247. <https://doi.org/10.1037/h0061266>
- Tombaugh, T. N. (2006). A comprehensive review of the Paced Auditory Serial Addition Test (PASAT). *Archives of Clinical Neuropsychology: The Official Journal of the National Academy of Neuropsychologists*, *21*(1), 53–76. <https://doi.org/10.1016/j.acn.2005.07.006>
- Warm, J. S., Parasuraman, R., & Matthews, G. (2008). Vigilance requires hard mental work and is stressful. *Human Factors*, *50*(3), 433–441. <https://doi.org/10.1518/001872008X312152>
- Wascher, E., Getzmann, S., & Karthaus, M. (2016). Driver state examination—Treading new paths. *Accident; Analysis and Prevention*, *91*, 157–165. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2016.02.029>
- Wheaton, A. G., Shults, R. A., Chapman, D. P., Ford, E. S., Croft, J. B., & Division of Population Health, National Center for Chronic Disease Prevention and Health Promotion. (2014). Drowsy driving and risk behaviors—10 States and Puerto Rico, 2011-2012. *MMWR. Morbidity and Mortality Weekly Report*, *63*(26), 557–562.
- Wierwille, W. W., & Ellsworth, L. A. (1994). Evaluation of driver drowsiness by trained raters. *Accident; Analysis and Prevention*, *26*(5), 571–581. [https://doi.org/10.1016/0001-4575\(94\)90019-1](https://doi.org/10.1016/0001-4575(94)90019-1)
- Wilkinson, V. E., Jackson, M. L., Westlake, J., Stevens, B., Barnes, M., Swann, P., Rajaratnam, S. M. W., & Howard, M. E. (2013). The Accuracy of Eyelid Movement Parameters for Drowsiness Detection. *Journal of Clinical Sleep Medicine*, *09*(12), 1315–1324.

<https://doi.org/10.5664/jcsm.3278>

Williamson, A., & Chamberlain, T. (2005). *Review of on-road driver fatigue monitoring devices.*

Williamson, A. M., & Feyer, A.-M. (2000). Moderate sleep deprivation produces impairments in cognitive and motor performance equivalent to legally prescribed levels of alcohol intoxication. *Occupational and Environmental Medicine*, 57(10), 649–655.

<https://doi.org/10.1136/oem.57.10.649>

Ye, J., Li, J., Xu, J., Yin, G., & Zhan, S. (2017). Obstructive sleep apnea and cardiovascular risk in Chinese population: A Meta-analysis. *European Respiratory Journal*, 50(suppl 61).

<https://doi.org/10.1183/1393003.congress-2017.PA367>

Yoss, R. E., Moyer, N. J., & Ogle, K. N. (1969). The pupillogram and narcolepsy. A method to measure decreased levels of wakefulness. *Neurology*, 19(10), 921–928. <https://doi.org/10.1212/wnl.19.10.921>

Zakariassen, E., Waage, S., Harris, A., Gatterbauer-Trischler, P., Lang, B., Voelckel, W., Pallesen, S., & Bjorvatn, B. (2019). Causes and Management of Sleepiness Among Pilots in a Norwegian and an Austrian Air Ambulance Service—A Comparative Study. *Air Medical Journal*, 38(1), 25–29. <https://doi.org/10.1016/j.amj.2018.11.002>

司法院. (2020, June 10). *道路交通管理處罰條例§34-全國法規資料庫*. <https://law.moj.gov.tw/LawClass/LawSingle.aspx?pcode=K0040012&flno=34>

蘋果日報. (2010, May 10). *司機昏睡 高鐵 500 旅客遇險*. 蘋果新聞網. <https://tw.appledaily.com/headline/20100510/HJYCB34NG5GDPHAJFRNV55NBZM/>

財團法人車輛研究測試中心. (2017). *駕駛者異常行為偵測技術*. https://www.artc.org.tw/chinese/03_service/03_02detail.aspx?pid=3184

附錄一、期中報告審查意見處理情形表

工作會議紀錄

採購案編號：IOT-110-SBA101

採購案標的名稱：現行國際疲勞駕駛監測科技資料蒐集彙整

時間：110年3月30日(星期二) 下午 1:30

地點：運研所 7樓會議室

主持人：葉組長祖宏

出席者：

國際睡眠科學與科技協會台灣分會—主持人江秉穎理事長、計畫參與人員雲惟恩研究助理

運研所—葉組長祖宏、周文靜研究員

紀錄：雲惟恩、周文靜

壹、討論議題：

執行進度說明與討論

貳、主要結論：

- 一、請整理疲勞偵測量表與儀器設備的應用時機(出車前/車上/在家中)、場域、應用限制、民眾可否自我量測/須醫師協助進行、準確率、信效度、優缺點，以及各國/公司應用實務案例等細節。
- 二、請補充其他國家對於疲勞駕駛法規的規範現況，例如：MSLT 和 MWT 為美國和加拿大職業駕駛人測量疲勞的指標之一、違反可吊銷駕照等規定。
- 三、案例或產品建議可分類成：構想、研發、商品化階段，以利評估相關技術於國內應用的可行性，以及後續研究的切入點和定位。

- 四、請納入疲勞管理 (fatigue management) 及疲勞衛教等內容。
- 五、請於最後一章提供綜合評析、總結與建議。
- 六、相關量表之問項內容與門檻值等，請納入報告之附錄。

附錄二、期末報告審查意見處理情形表

附錄三、史丹佛嗜睡量表

請從以下七項描述中，選取最貼近自身精神狀況的一項：

1. 覺得很有勁、生龍活虎，而且清醒 (feeling active and vital; alert; wide awake)
2. 活動力雖然未達巔峰，但仍保持高水準，能集中注意力 (functioning at a high level, but not at peak; able to concentrate)
3. 放鬆、仍然維持醒著，但無法完全警覺，有點遲鈍 (relaxed; awake; not at full alertness; responsive)
4. 有點模糊，精神不振 (a little foggy; not at peak; let down)
5. 意識模糊，開始覺得無法專心，難以保持清醒 (fogginess; beginning to lose interest in remaining awake; slowed down)
6. 嗜睡、想躺下來，已經意識不清 (sleepiness; prefer to be lying down; fighting sleep; woozy)
7. 完全不能保持清醒，隨時可以睡著 (almost in reverie; sleep onset soon; lost struggle to remain awake)

附錄四、卡羅連斯加嗜睡量表

以下所列是針對一般人精神狀態的描述。請您詳細閱讀以下之描述，然後選取一項最符合自身狀態的描述：

1. 極度警覺 (extremely alert)
2. 很警覺 (very alert)
3. 警覺 (alert)
4. 有一點警覺 (rather alert)
5. 既不警覺但也不想睡 (neither alert nor sleepy)
6. 有一些睡意 (some signs of sleepiness)
7. 想睡，但不需特別去努力維持清醒 (sleepy, but no effort to keep awake)
8. 想睡，需要花費一些努力去維持清醒 (sleepy, some effort to keep awake)
9. 非常想睡，需非常努力維持清醒來對抗睡意 (very sleepy, great effort to keep awake, fighting sleep)
10. 極度想睡，無法清醒 (extremely sleepy, can't keep awake)

註：第十項為改良版新增描述。

附錄五、艾普沃斯嗜睡量表

請圈選出您在下列不同情境之下打瞌睡的頻率：

	情景	從 未	很 少	一半以 上	幾乎都 會
1	坐著閱讀時 (sitting and reading)	0	1	2	3
2	看電視時 (watching television)	0	1	2	3
3	公眾場合如戲院或會議室安靜 坐著時 (sitting inactive, in a public space)	0	1	2	3
4	不含自己開車，坐車連續超過 一個小時時 (as a passenger in a car for an hour without a break)	0	1	2	3
5	在下午躺著休息時 (lying down to rest in the afternoon when circumstances permit)	0	1	2	3
6	坐著與人交談時 (sitting and talking to someone)	0	1	2	3
7	沒喝酒情況下，午餐後安靜坐 著時 (sitting quietly after lunch without alcohol)	0	1	2	3
8	開車中，車子停下來數分鐘時 候 (in a car, while stopped for a few minutes in the traffic)	0	1	2	3

評分方式：

1. 0 至 10 分：正常
2. 11 至 14 分：輕度嗜睡

3. 15 至 17 分：中度嗜睡

4. 18 至 24 分：嚴重嗜睡

資料來源：Santos-Longhurst, 2019