

111-048-3507
IOT-110-SBA101

現行國際疲勞駕駛監測科技 資料蒐集彙整



交通部運輸研究所

中華民國 111 年 5 月

111-048-3507
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、周文靜、黃士軒

交通部運輸研究所

中華民國 111 年 5 月

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蒐集彙整 / 江秉穎等

著.-- 初版.-- 臺北市：交通部運研所，民 111.05

面；公分

ISBN 978-986-531-400-2(平裝)

1. CST：交通管理 2. CST：交通安全

557

111007292

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、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 111 年 5 月

印刷者：全凱數位資訊有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 60 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定價：250 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：1011100634 ISBN：978-986-531-400-2 (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。

交通部運輸研究所合作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 978-986-531-400-2 (平裝)	政府出版品統一編號 1011100634	運輸研究所出版品編號 111-048-3507	計畫編號 110-SBA101
本所主辦單位：運輸安全組 主管：葉祖宏 計畫主持人：葉祖宏 研究人員：周文靜、黃士軒 聯絡電話：(02)2349-6862 傳真號碼：(02)2545-0429	合作研究單位：國際睡眠科學與科技協會臺灣分會 計畫主持人：江秉穎 研究人員：雲惟恩 地址：11473 臺北市內湖區文德路 25 號 聯絡電話：(02)2657-5779	研究期間 自 110 年 2 月 至 110 年 6 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 2017 年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 9.1 萬件的疲勞駕駛肇事，造成超過 800 人死亡、5 萬人受傷，以及 1,090 億美元的財務損失。至於國內疲勞駕駛現況，財團法人車輛研究測試中心 1 項研究報告指出，國內每年因駕駛過程中分心或疲勞駕駛而導致的交通事故比例約占總交通事故之 20%。</p> <p>車內對駕駛人疲勞與專注狀態的監測對於減少疲勞駕駛的風險至為關鍵，然而市場上各類疲勞駕駛偵測系統推陳出新，為了解疲勞駕駛偵測科技產品對於改善或發掘疲勞駕駛之應用情況，本計畫透過國內外資料蒐集與文獻回顧，探討疲勞駕駛量測指標如血氧濃度等科學數據與疲勞的關聯性，盤點國內外現有疲勞量測指標、車上疲勞偵測設備及國內外實務應用案例，並進行分析與比較，相關資料蒐集彙整成果，可提供公私營運輸機構改善疲勞駕駛相關安全管理作業之參據。</p>			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
111 年 5 月	138	250	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：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

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) ISBN 978-986-531-400-2(pbk.)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1011100634	IOT SERIAL NUMBER 111-048-3507	PROJECT NUMBER 110-SBA101
DIVISION: Safety Division DIVISION DIRECTOR: Tsu-Hurng Yeh PRINCIPAL INVESTIGATOR: Tsu-Hurng Yeh PROJECT STAFF: Wen-Jing Chou PHONE: (02)2349-6862 FAX: (02)2545-0429			PROJECT PERIOD FROM February 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 Road., Neihu District, Taipei City, 11473 , Taiwan (R.O.C.) PHONE: (02)2657-5779			
KEY WORDS: Fatigue Driving, Fatigue Monitoring, Road Safety, Sleep Disorders, Sleep Technologies			
ABSTRACT: According to multiple research studies, fatigue driving is a major cause of road accidents. There are about 91,000 cases of traffic accidents reported in 2017. According to the estimate of the National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), the cases of traffic accidents were related to fatigue, with 50,000 people injured and 800 people killed in 2017, as well as a total societal cost of \$109 billion US dollars in 2016. Nevertheless, this knowledge may be just the tip of an iceberg because the complex factors of traffic accidents associated with fatigue driving remains elusive. In-vehicle monitoring of driver drowsiness and attention is crucial to reducing the risk of fatigue driving. Various types of fatigue driving detection systems on the market have been introduced. In order to understand the application of fatigue driving detection technology products to improve or explore the application of fatigue driving, so as to reduce the risk of fatigue driving, this project discusses the measurement of fatigue driving through domestic and foreign data collection and literature review. The correlation between scientific data and fatigue of indicators such as blood oxygen concentration, inventory of existing domestic and foreign fatigue measurement indicators and on-board fatigue detection equipment, as well as collection of domestic and foreign practical application cases, analysis and comparison. Relevant data collection and compilation results can provide reference for public and private transportation agencies to improve safety management operations related to fatigue driving.			
DATE OF PUBLICATION May 2022		NUMBER OF PAGES 138	PRICE 250
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

目錄

目錄.....	III
圖目錄.....	V
表目錄.....	VII
縮寫對照表.....	VIII
第一章 緒論.....	1
1.1 計畫緣起.....	1
1.2 計畫目的.....	1
1.3 計畫內容與工作項目.....	2
1.4 研究流程與方法.....	2
第二章 文獻回顧.....	5
2.1 疲勞.....	5
2.2 疲勞駕駛.....	5
2.3 睡眠與疲勞.....	17
2.4 國內外現有疲勞量測指標.....	19
2.5 國內外現有車上疲勞偵測設備與人工智慧應用.....	39
2.6 綜合評析.....	61
第三章 結論與建議.....	75
3.1 結論.....	75
3.2 建議.....	76
參考文獻.....	79
附錄 1、工作會議紀錄.....	97
附錄 2、成果報告審查意見處理情形表.....	99
附錄 3、史丹佛嗜睡量表.....	111

附錄 4、卡羅連斯加嗜睡量表	112
附錄 5、艾普沃斯嗜睡量表	113
附錄 6、匹茲堡睡眠品質量表	114
附錄 7、失眠嚴重度量表	116
附錄 8、SF-36 健康量表	117

圖目錄

圖 1 國際 10-20 系統	24
圖 2 手指式血氧飽和儀	28
圖 3 智慧型手錶血氧飽和度測量功能	28
圖 4 NIRSleep 小型腦氧飽和度監測儀.....	29
圖 5 一般市售腦氧飽和度監測儀	30
圖 6 腦氧飽和度監測儀貼片	30
圖 7 白天多次入睡檢查.....	31
圖 8 保持清醒測試.....	31
圖 9 牛津睡眠阻抗測試	33
圖 10 瞳孔收縮與擴張	33
圖 11 電子瞳孔機.....	34
圖 12 電子瞳孔機熒幕	34
圖 13 Reflex 操作示範.....	35
圖 14 Reflex App 畫面	35
圖 15 電腦版 PASAT 測試畫面.....	35
圖 16 普渡釘板測試	36
圖 17 一般常見 PVT.....	37
圖 18 德國 AuReTim.....	38
圖 19 NASA PVT+	38
圖 20 賓州大學 Sleepalyzer.....	38
圖 21 賓士駕駛注意力輔助	40
圖 22 側面監測.....	41
圖 23 前方監測.....	41
圖 24 儀表板上方攝像機	41

圖 25 Panasonic 疲勞控制技術	56
圖 26 非接觸式技術與疲勞 5 個分級.....	57
圖 27 駕駛人員疲勞預測	58
圖 28 熱感覺檢測技術	58
圖 29 Affectiva 車上監測系統.....	59
圖 30 Affectiva 駕駛員疲勞監控.....	60
圖 31 Affectiva 駕駛員分心監控.....	60

表目錄

表 1 疲勞駕駛相關法規	10
表 2 史丹佛嗜睡量表	20
表 3 卡羅連斯加嗜睡量表	21
表 4 艾普沃斯嗜睡量表.....	22
表 5 腦波種類.....	24
表 6 眼瞼閉合的百分比	27
表 7 國外疲勞駕駛相關儀器設備	43
表 8 人工智慧疲勞偵測相關研究	55
表 9 嗜睡量表優缺點評比	63
表 10 客觀型疲勞量測指標評比	64
表 11 行車數據量測指標優缺點評比	68
表 12 車上疲勞偵測穿戴裝置評比	70
表 13 車上疲勞偵測設備評比	73

縮寫對照表

縮寫	英文對照	中文對照
AAA	American Automobile Association	美國汽車協會交通安全基金會
ACARP	Australian Coal Association Research Program	澳洲煤炭協會研究計畫
AEBS	Advanced Emergency Braking System	緊急煞車輔助系統
AECS	Average Eye Closure Speed	平均閉眼速度
AI	Artificial Intelligence	人工智慧
AILAG	Automotive Innovation Lab Access Grant	-
App	Application	應用程式
ARL	U.S. Army Research Lab	美國陸軍研究實驗室
ARTC	Automotive Research & Testing Center	財團法人車輛研究測試中心
ASTiD	Advisory System for Tired Drivers	-
BDC	Business Development Bank of Canada	加拿大商業發展銀行
BMBF	German Federal Ministry of Education and Research	德國聯邦教育科學部
BMW	Bayerische Motoren Werke	-
CFV	Christophorus Flugrettungsverein	奧地利空中救援團隊
DAC	Driver Attention Control	駕駛人警示控制系統
DGH	Directorate General of Highways	中華民國交通部公路總局

DHS	U.S. Department of Homeland Security	美國國土安全部
DVLA	Driver and Vehicle Licensing Agency	英國駕照及車輛牌照局
EC	European Commission	歐盟執行委員會
ECG	Electrocardiogram	心電圖
EDA	Electrodermal activity	膚電活動
EDS	Excessive Daytime Sleepiness	白天過度嗜睡
EEG	Electroencephalography	腦電圖
EMG	Electromyogram	肌電圖
EOG	Electrooculogram	眼動圖
ESS	Epworth Sleepiness Scale	艾普沃斯嗜睡量表
EU	European Union	歐洲聯盟
Euro-NCAP	The European New Car Assessment Programme	歐盟新車安全評鑑協會
FAA	U.S. Federal Aviation Administration	美國聯邦航空管理局
FDA	U.S. Food and Drug Administration	美國食品藥物管理局
FEMA	U.S. Federal Emergency Management Agency	美國緊急災難管理署
GABA	γ -Aminobutyric acid	γ -氨基丁酸
GHSA	U.S. Governors Highway Safety Association	美國州立公路安全協會
GLS	General Logistics Systems	-
GRA	Grey Relational Analysis	灰關聯分析法
HRV	Heart Rate Variability	心律變異度分析
HST	Home Sleep Test	居家睡眠檢測

Hz	Hertz	赫茲
IBAS	Austin Health Institute of Breathing and Sleep	奧斯丁醫院呼吸與睡眠健康研究所
ILOSH	Institute of Labor, Occupational Safety and Health	中華民國勞動及職業安全衛生研究所
IoT	Internet of Things	物聯網
ISI	Insomnia Severity Index	失眠嚴重度量表
ISL	Ohara Memorial Institute for Science of Labour	大原紀念勞動科學研究所
ISSTA	International Sleep Science and Technology Association	國際睡眠科學與科技協會
JDS	Johns Drowsiness Scale	Johns 疲勞指數
J-NCAP	Japan New Car Assessment Program	日本新車安全評鑑協會
KSS	Karolinska Sleepiness Scale	卡羅連斯加嗜睡量表
LDWS	Lane Departure Warning System	車道偏離輔助警示系統
LED	Light-emitting Diode	發光二極管
MDF	Multi Modal Driver Distraction and Fatigue Detection	-
MGF	Magnified Gradient Function	放大梯度函數
MIT	Massachusetts Institute of Technology	美國麻省理工學院
MOL	Ministry of Labor	中華民國勞動部
MOTC	Ministry of Transportation and Communications	中華民國交通部
MSLT	Multiple Sleep Latency Test	白天多次入睡檢查
MUARC	Monash University Accident	澳洲蒙納許大學事故研究

	Research Centre	中心
MWT	Maintenance of Wakefulness Test	保持清醒測試
NAA	Norwegian Air Ambulance	挪威空中救護車
NASA	U.S. National Aeronautics and Space Administration	美國國家航空暨太空總署
NASA-TLX	NASA-Task Load Index	NASA 工作負荷評估量表
NCSL	U.S. National Conference of State Legislature	全美州議會聯合會
NHTSA	U.S. National Highway Traffic Safety Administration	美國國家公路交通安全管理局
NIRS	Near-infrared Spectroscopy	紅外線光譜術
NRC IRAP	National Research Council of Canada Industrial Research Assistance Program	加拿大國家研究委員會產業研究協助計畫
NSF	U.S. National Sleep Foundation	美國國家睡眠基金會
OAS-LV	Operator Alertness System Light Vehicle	-
OSA	Obstructive Sleep Apnea	阻塞性睡眠呼吸中止症
OSLER	Oxford Sleep Resistance	牛津睡眠阻抗測試
PASAT	Paced Auditory Serial Addition Test	時限聽覺序列加法測試
PERCLOS	Percentage of Eyelid Closure	眼瞼閉合的百分比
PSG	Polysomnography	睡眠多項生理監測檢查
PSQI	Pittsburgh Sleep Quality Index	匹茲堡睡眠品質量表
PVT	Psychomotor vigilance test	心理動作警覺性測試
PVT-B	Brief Psychomotor Vigilance Test	-

RATP	Autonomous Parisian Transportation Administration	巴黎大眾運輸公司
REM	Rapid Eye Movement	快速動眼期
ROC	Receiver Operating Characteristic Curve	ROC 曲線法
RPE	Borg Rating of Perceived Exertion	柏格自覺努力量表
SAFTE	Sleep, Activity, Fatigue, and Task Effectiveness	-
SBIR	Small Business Innovation Research	中小型企業創新研發計畫
SBP	Standard Back Propagation	標準反向傳播演算法
ScO2	Cerebral Oxygen Saturation	腦氧飽和度
SDLP	Standard Deviation of Lane Position	標準車道位置偏離
SF-36	Short Form 36	SF-36 健康量表
SpO2	Blood Oxygen Saturation	血氧飽和度
SSS	Stanford Sleepiness Scale	史丹佛嗜睡量表
SWM	Steering Wheel Movement	方向盤移動變化
TGAM	ThinkGear ASIC Module	ThinkGear ASIC 模塊
VGA	Video Graphics Array	視訊圖形陣列

第一章 緒論

1.1 計畫緣起

鑑於疲勞駕駛所致車禍事故相當嚴重，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日邀集產官學研單位召開「睡眠健康與運輸安全修、立法可行性」公聽，會中邀請了國際睡眠科學與科技協會(International Sleep Science and Technology Association, ISSTA) 德國總會暨臺灣分會江秉穎理事長、輔仁大學法律學系陳榮隆教授、國立臺北大學金融與合作經營學系黃啟瑞教授等專家學者，針對睡眠健康與運輸安全相關研究、法規、產業影響等面向進行討論與交流。

本計畫主持人江秉穎醫師於該會「睡眠醫療科技在疲勞駕駛的研究現況」演講中討論：(1) 職業駕駛人員高比例的睡眠呼吸障礙；(2) 阻塞性睡眠呼吸中止症、睡眠不足、發作性嗜睡症、週期性肢動症，以及睡眠相位異常等睡眠障礙會使駕駛人疲勞感增加，提高交通事故風險；(3) 現有疲勞駕駛相關睡眠科技之應用。會中江醫師提議：(1) 以睡眠科技改善運輸安全；(2) 考取和更新駕照前進行睡眠篩檢，及早診斷與治療，預防因睡眠問題而引起疲勞駕駛。

為了解睡眠科技對於改善或發掘疲勞駕駛之應用情況，本所與國際睡眠科學與科技協會進行跨交通與醫學領域的合作計畫，就現行國際疲勞駕駛相關監測科技資料(訊)進行蒐集彙整，初步掌握國內外疲勞駕駛相關量測指標和偵測技術，做為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。

1.2 計畫目的

本計畫透過國內外文獻回顧，探討疲勞駕駛量測指標如血氧濃度等科學數據與疲勞的關聯性，盤點國內外現有疲勞量測指標與車上疲勞偵

測設備，以及蒐集國內外實務應用案例，以利做為駕照管理單位及公私營運輸機構，進行駕駛人員衛教與健康管理，乃至疲勞駕駛相關安全管理作業之參考，協助其在駕照核發與安全管理過程中，發掘易疲勞駕駛之高風險駕駛人。

1.3 計畫內容與工作項目

本計畫內容與工作項目如下：

1. 疲勞量測指標

- (1) 蒐集並整理國內外疲勞量測指標相關文獻，包括：主客觀的量測指標、疲勞相關問卷、實際應用案例等。
- (2) 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

- (1) 蒐集並整理國內外疲勞偵測之車上設備相關資料，包括：品項、型號、銷售國家/地區、通過之驗證項目、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。
- (2) 蒐集並整理國內外駕駛過程中疲勞偵測之穿戴裝置相關資料，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。
- (3) 根據上述資料及文獻建議，綜合評估準確度較高的優質車上疲勞偵測設備及穿戴裝置，供未來公私營運輸機構及安全管理單位進行疲勞管理及施政參考之用。

1.4 研究流程與方法

本計畫研究流程與方法如下：

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量測指標的科學文獻、書籍、網站資料和實務案例等。
 - 2) 整理文獻、綜合評析，提出未來研究方向建議。

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、綜合評析，提出未來研究方向建議。

(本頁空白)

第二章 文獻回顧

2.1 疲勞

本節主要探討疲勞的定義和分類方式。

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生心理信號，屬於人體的自然反應，且常使個體產生不舒服的情況。惟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 2 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，而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)。此外，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 (1) 每天駕駛汽車超過 8 小時；(2) 在從事其他過度消耗體力的工作後駕駛；或是 (3) 因睡眠不足導致昏昏欲睡或四肢虛弱，而使駕駛人員難以立即評估交通狀況，並做出準確反應 (Li et al., 2018)。

2. 國內外疲勞駕駛現況

根據財團法人車輛研究測試中心研究報告指出，分心或疲勞駕駛為交通事故主要肇事原因之一。國內每年因駕駛過程中分心或疲勞駕駛而導致的交通事故比例約占總交通事故之 20% (許立佑、柯明寬, 2014)。

根據 2017 年美國國家公路交通安全管理局 (National Highway Traffic Safety Administration, NHTSA) 的估計，美國約有 9.1 萬件的疲勞駕駛肇事，造成超過 800 人死亡、5 萬人受傷 (NHTSA, 2017)。美國州立公路安全協會 (Governors Highway Safety Association, GHSA) 2016 年統計顯示，疲勞駕駛所造成的財務損失高達 1,090 億美元 (GHSA, 2016)。美國國家睡眠基金會 (National Sleep Foundation, NSF) 2007 年調查指出，接受調查的駕駛人中約有 50% 的人承認駕駛時感到疲勞，而約 20% 的駕駛人承認駕駛期間睡著了 (NSF, 2007)。美國汽車協會交通安全基金會 (AAA Foundation for Traffic Safety) 估計，每年因疲勞造成的交通事故恐高達 32.8 萬件，為上述報告人數的 3 倍以上，其中，死亡人數達 6,400 人，受傷人數達 10.9 萬人 (Tefft, 2014)。另一項以自然駕駛之研究報告估計，因疲勞駕駛而造成的交通事故占比高達 8.8%-9.5%，較官方統計的 1%-2% 高出許多 (Owens et al., 2018)，顯示疲勞駕駛事故恐被嚴重低估。

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)，或是清醒時間超過 18 小時所引起 (Wheaton et al., 2014)。生理時鐘 (circadian rhythm)、酒精、藥物亦屬疲勞駕駛危險因子。人體內每個細胞、每個組織和器官都有屬於自己的生理時鐘，此內置時鐘負責調節身體大大小小的功能，包括睡眠、覺醒、行為活動、體溫以及新陳代謝。一般人會在下午 2 至 3 點左右，生理時鐘開始進入低潮，反應力變緩、易感覺昏昏欲睡 (Dement & Vaughan, 1999; Lavie, 1986)，若在這時段開車，可能發生疲勞駕駛的機率較高 (Johnson, 1998)。而酒精會作用於 γ -氨基丁酸(γ -Aminobutyric acid, GABA)與 GABA 受體之間的活動，降低神經元活性，使人覺得放鬆或昏昏欲睡。藥物如抗組織胺藥會產生嗜睡副作用，使人服藥後易昏昏欲睡。

無聊 (boredom) 亦為疲勞駕駛的潛在危險因子，尤其是在執行單調駕駛任務 (monotonous driving task)。駕駛人員在單調的高速公路上駕駛，或是機師在飛機處於自動駕駛模式之下，易因為長時間駕駛或飛行狀態，導致注意力逐漸下降、誘發被動疲勞 (passive fatigue)(Ma et al., 2018; Thiffault & Bergeron, 2003)。減低疲勞的因應對策如至高速公路休息站適當休息、補充含咖啡因飲品、駕駛期間聽音樂或廣播等。

4. 疲勞駕駛的影響

澳洲、英國和其他歐洲國家的研究也指出，10%至20%的交通事故是由疲勞的駕駛人所引起 (Amundsen & Sagberg, 2003)。疲勞與酒後駕駛一樣以類似的方式影響駕駛人，從而導致對環境的反應減少、警覺性降低、判斷力差、沮喪和魯莽駕駛等後果。研究顯示，清醒24小時後駕駛的危險程度等同於酒後駕駛。

更值得重視的是，疲勞很難像酒精測試那樣簡單容易地測量。因此，管理單位很難掌握足夠的知識和資訊來分析與疲勞駕駛有關的交通事故的原因。許多人都知道酒後駕車的危險，但卻忽略或欠缺疲勞駕駛會致命的認知，通常許多被判定為怪異或其他原因的交通事故，實際上可能都是由疲勞駕駛所引起的。

5. 各國疲勞駕駛相關法規

本計畫彙整了各國疲勞駕駛相關法規如表 1，包括美國聯邦汽車運輸安全管理局和阿拉巴馬州 (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) 等 7 州，以及歐盟、澳洲、日本及我國疲勞駕駛相關法規，並依性質歸納為 4 個類型，分別為宣示性法規、駕駛時數之標準與罰則、疲勞駕駛之認定標準與罰則，以及對業者的要求。

儘管各國法規對於駕駛時數多有明確規定，但疲勞仍可能因個人心理因素而發生於駕駛中，美國阿拉巴馬等州透過訂定疲勞駕駛宣傳日或宣傳週方式，提高民眾對疲勞駕駛的認知與重視；歐盟則已於車輛安全法規中訂出車輛配置駕駛人疲勞和注意力警告系統的時程，自 2022 年 7 月 6 日起 M 類和 N 類新型式車輛、2024 年 7 月 7 日起所有型式 M 類和 N 類新車皆須配置駕駛人疲勞和注意力警告系統，以透過車輛科技設備來防制疲勞駕駛的情形。

此外，權威車輛安全認證機構—歐盟新車安全評鑑協會 (European New Car Assessment Programme, EURO NCAP) 和澳大利亞新車安全評鑑協會 (Australasian New Car Assessment Program, ANCAP) 也將疲勞監測納為安全評估項目 (ANCAP, 2020)。可見，疲勞駕駛逐

漸受到各國產官學研機構及單位的關注。

我國對於疲勞駕駛課題亦相當重視，除了駕駛時數有所規範外，並致力將車輛安全輔助系統導入國內車輛法規，以提升交通安全。

《車輛安全檢測基準》第 72 規定，我國自 108 年 1 月 1 日起新型式之 M2、M3、N2、N3 類車輛，及 111 年 1 月 1 日起各型式之 M2、M3、N2、N3 類車輛，應配備符合本項規定之車道偏離輔助警示系統¹。《車輛安全檢測基準》第 72 項規定，自 108 年 1 月 1 日起新型式之甲類大客車及 N3 類車輛，及 111 年 1 月 1 日起各型式之甲類大客車及 N3 類車輛，應配備符合本項規定之緊急煞車輔助系統 (Advanced Emergency Braking System, AEBS)²；而自 110 年 1 月 1 日起，新型式之乙類大客車及 N2 類車輛及 112 年 1 月 1 日起，各型式之乙類大客車及 N2 類車輛應配備符合本項規定之緊急煞車輔助系統 (交通部, 2019)。

¹ 根據《車輛安全檢測基準》定義，車道偏離輔助警示系統係指車輛非依駕駛意圖而偏離原行駛車道時，提供警示駕駛之系統。

² 根據《車輛安全檢測基準》定義，緊急煞車輔助系統係指一系統能自動偵測前方潛在的碰撞風險並藉由煞車系統作動以避免或減緩車輛因碰撞所造成之損害。

表 1 疲勞駕駛相關法規

國家或地區	類型	編號	條文	譯文
美國聯邦汽車運輸安全管理局	對業者之要求	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>	確保任何對職業駕駛人員進行睡眠障礙的篩查、檢測或治療之新的或修訂的要求，或出於其他目的的採取措施，須依照規定的程序處理。
美國阿拉巴馬州	宣示性法規	SJR 71 (2016)	<i>“The state enacted a resolution that designates November 19th each year as Drowsy Driver Awareness Day.”</i>	阿拉巴馬州將每年的11月19日制定為疲勞駕駛宣傳日。
美國阿肯色州	疲勞駕駛之認定標準與罰則	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 sleep for 24 consecutive hours or is the state of sleep after being without sleep for 24 consecutive hours.”</i>	當駕駛人員連續 24 小時沒有睡眠或者連續 24 小時沒有睡覺後處於睡眠狀態之下涉及死亡事故，將疲勞駕駛歸類為過失殺人罪，可判處 A 類輕罪。

國家或地區	類型	編號	條文	譯文
美國加利福尼亞州	宣示性法規	SCR 27 (2005)	“The state enacted a resolution that proclaimed April 6, 2005 as Drowsy Driver Awareness Day.”	加利福尼亞州宣布自 2005 年 4 月 6 日起，制定每年這天為疲勞駕駛宣傳日。
美國佛羅里達州	宣示性法規	2010 Fla. Laws ch. 223	“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.”	佛羅里達州通過《朗沙伊·杜根斯法案》宣布每年 9 月的第 1 週為防制疲勞駕駛週。此週，鼓勵佛羅里達州公路安全及車輛監理部和佛羅里達州運輸部進行相關教育宣導，讓執法界和民眾瞭解疲勞與駕駛績效的關係，並呈現疲勞駕駛與酒後駕駛具相同危害等研究。

國家或地區	類型	編號	條文	譯文
美國新澤西州	疲勞駕駛之認定標準與罰則	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>	24 小時沒有睡覺的駕駛人員將被視為魯莽駕駛，與酒後駕駛人員屬同一等級。
美國德克薩斯州	宣示性法規	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>	德克薩斯州將每年 11 月 6 日至 11 月 12 日制定為防制疲勞駕駛週，以教育有開車的民眾有關疲勞駕駛之危險，並提供避免疲勞駕駛的預防措施。
美國猶他州	宣示性法規	SB 149 (2014)	<i>"Designates the third full week in August as Drowsy Driving Awareness Week to educate the public about the relationship between 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>	猶他州將 8 月的第 3 週制定為疲勞駕駛宣傳週，以教育民眾有關疲勞駕駛與駕駛績效的關係，並且鼓勵猶他州公共安全部和猶他州運輸部，推動認識疲勞駕駛危險性的教育工作。

國家或地區	類型	編號	條文	譯文
歐盟	對業者的要求	Regulation (EU) 2019/2144	“Regulation (EU) 2019/2144 of the European Parliament and of the Council mandates motor vehicles of categories M and N to be equipped with driver drowsiness and attention warning (DDAW) systems from 6 July 2022 for new types and from 7 July 2024 for all new vehicles.”	歐洲聯盟理事會 2019/2144 法規規定，自 2022 年 7 月 6 日起 M 類和 N 類新型式車輛須配置駕駛人疲勞和注意力警告系統，而自 2024 年 7 月 7 日起所有型式 M 類和 N 類新車須配置該系統。
	駕駛時數之標準與罰則	Regulation (EC) No 561/2006	“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.”	歐盟駕駛人員的駕駛時數限制旨在預防駕駛人於疲勞狀態之下開車，以提高其他路人的安全。不遵守法規者，可處 300 英鎊的定額罰款，最高 1,500 英鎊的累進罰款或法院傳票。
澳洲	疲勞駕駛之認定標準與罰則	Evidence Act 1977, section 47	“Under Heavy Vehicle National Law, a driver must not drive a fatigue-regulated heavy vehicle on a road while impaired by fatigue.”	《國家重型車輛法律》規定駕駛人員不得在疲勞狀態之下駕駛重型車輛。

國家或地區	類型	編號	條文	譯文
澳洲	駕駛時數之標準與罰則		<p>“Regular breaks for at least 15 minutes every 2 hours”</p> <p>“Never drive for more than 10 hours in a single day”</p>	<p>駕駛人員每 2 小時駕駛，應至少休息 15 分鐘。</p> <p>駕駛人員 1 天之內不得開車超過 10 個小時。</p>
日本	對業者的要求	<p>道路交通法第 3 條，第 20 條，第 21 條和第 48 條</p>	<p>“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 must also perform a pre-departure examination for each shift.”</p>	<p>公司必須檢測職業駕駛員工是否有任何可能影響其駕駛能力的疾病徵候或症狀。公司亦必須判斷員工是否能夠維持當前職務或調整職務，例如減少工時或行駛距離。此外，公司必須針對每班次執行行前檢查。</p>

國家或地區	類型	編號	條文	譯文
我國	駕駛時數之標準與罰則	道路交通管理處罰條例第34條	“汽車駕駛人，連續駕車超過8小時經查屬實，或患病足以影響安全駕駛者，處新臺幣1,200元以上2,400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3個月。”	無
	駕駛時數之標準與罰則	汽車運輸業管理規則第19-2條	<p>“營業大客車業者派任駕駛人駕駛車輛營業時，除應符合勞動基準法等相關法令關於工作時間之規定外，其調派駕駛勤務並應符合下列規定：</p> <p>一、每日最多駕車時間不得超過10小時。</p> <p>二、連續駕車4小時，至少應有30分鐘休息，休息時間如採分次實施者每次應不得少於15分鐘。</p> <p>但因工作具連續性或交通壅塞者，得另行調配休息時間；其最多連續駕車時間不得超過6小時，且休息須1次休滿45分鐘。”</p>	無

國家或地區	類型	編號	條文	譯文
我國	駕駛時數之標準與罰則	汽車運輸業管理規則第 19-7 條	<p>“汽車運輸業調派所屬逾 65 歲持有合格大型車職業駕駛執照之駕駛人執行駕駛勤務時，除符合本規則其他規定外，並應符合下列規定：</p> <p>一、限於上午 6 時至下午 6 時執行駕駛勤務。</p> <p>二、每日總駕駛時間以 8 小時為限；連續駕車 3 小時，至少應有 30 分鐘休息，休息時間如採分次實施者每次應不得少於 15 分鐘。連續兩個工作日之間，應有連續 10 小時以上休息時間。</p> <p>三、遊覽車客運業限調派其駕駛交通車。</p> <p>四、國道客運路線限調派其駕駛起訖至多間隔一縣市之路線。”</p>	無

資料來源：European Commission, 2016; Filomeno et al., 2016; National Conference of State Legislatures, 2018; Queensland Government, 2018; 司法院, 2020; 司法院, 2021; 司法院, 2021

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。研究顯示，國內成人睡眠呼吸中止症盛行率為2.6%，男性為3.4%，女性則為1.9% (Chang et al., 2020; Chuang et al., 2008)；失眠盛行率約25% (Kao et al., 2008)。

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，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

加拿大進行的1項研究顯示，超過一半的阻塞性睡眠呼吸中止症患者，其駕駛績效表現實際上比醉酒開車者更差 (George et al., 1996)。醒著超過18小時的受試者對模擬駕駛考試的反應較弱，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，當駕駛人每晚睡眠少於8小時，易有慢性睡眠剝奪。根據史丹佛大學和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3倍，造成車輛損壞的程度也比較嚴重 (Garbarino et al., 2017)。

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)，也能利用居家睡眠檢測 (home sleep test, HST) 儀器篩檢出睡眠呼吸障礙。

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，特別是針對職業駕駛人 (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 3 大類：主觀型疲勞量測 (subjective measures)、客觀型疲勞量測 (objective measures)，以及行車數據量測 (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(Stanford Sleepiness Scale, SSS)

史丹佛嗜睡量表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，其特性說明整理如表 2，實際問卷內容如附錄 3。

表 2 史丹佛嗜睡量表

項目	內容
用途	評估受試者白天嗜睡程度與精神情況
量測對象	適用於一般民眾，對象多為 18 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 24 小時完全睡眠剝奪 (total sleep deprivation) 情況顯著增加。
量測方式	自我量測；受試者從 7 項描述選取最貼近自身精神狀況的 1 項；量測過程 1 至 2 分鐘。
評分方式	僅 1 項；1 至 7 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(Karolinska Sleepiness Scale, KSS)

卡羅連斯加嗜睡量表是由卡羅連斯加學院 (Karolinska Institute) 學者所研發，其特性說明如表 3，實際問卷內容如附錄 4。

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程度與精神情況
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、注意力和表現相關研究。
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	自我量測；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 9 項描述選取最貼近自身精神狀況的 1 項；量測過程約 5 分鐘。
評分方式	僅 1 項；原始版為 1 至 9 分，改良版為 1 至 10 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(Epworth Sleepiness Scale, ESS)

艾普沃斯嗜睡量表由澳大利亞墨爾本 Epworth 醫院的 Murray Johns 博士於 1991 年推出，其特性說明如表 4，實際問卷內容如附錄 5。史丹佛大學和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)，結果顯示 ESS 分數與閃神和實際事故具關聯性。

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程度與精神情況
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	自我量測；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 8 種情境進行評估；量測過程約 5 分鐘
評分方式	8 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)；我國則規定 ESS 為年滿 68 歲至 70 歲小型車職業駕駛人體檢項目之一。

資料來源：Johns, 2000; Zakariassen et al., 2019; 公路總局, 2021

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 7 項可以測試疲勞程度的方法：白天多次入睡檢查 (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試 (Paced Auditory Serial Addition Test, PASAT)、普渡釘板測試 (Purdue Pegboard Dexterity Test)，以及心理動作警覺性測試 (Psychomotor vigilance test, PVT)。

(1) 腦電圖

腦電圖 (後續以 EEG 簡稱) 由德國漢斯伯格 (Hans Berger) 醫師所發明，藉由頭皮上的電位變化測量大腦活動。傳統 EEG 量測儀器包含電極量測頭套、生理記錄放大器、類比數位轉換器及運算電腦。而電極在頭皮上擺放位置是依據國際 10-20 系統，從鼻根位置到後腦勺枕骨之間距離的 10% 或 20% 進行配置(國際 10-20 系統如圖 1)。

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，做為判讀依據，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。

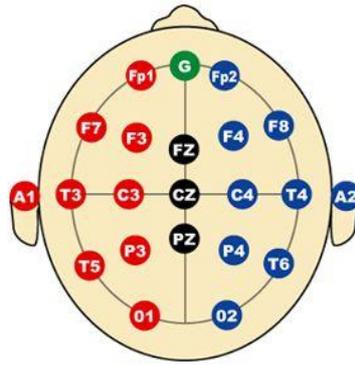


圖 1 國際 10-20 系統

目前人類的腦波以頻帶區分主要分為 5 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： γ 波，頻率高達 30Hz 以上，受試者處於高度集中狀態； β 波，頻率介於 12 至 30Hz，受試者處於警覺狀態； α 波，頻率介於 8 至 12Hz，受試者處於意識清醒且放鬆狀態； θ 波，頻率介於 4 至 8Hz，受試者處於極度放鬆或冥想狀態； δ 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 5)。

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。 α 波顯示早期的疲勞跡象， θ 波則顯示較後期且更嚴重的疲勞跡象 (Crowley et al., 2008)。這 2 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)。由於波形之間可能存在相依性，因此僅以單一波形做為疲勞判斷標準，其合宜性須更進一步的探討。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 θ 波為最佳疲勞指標 (Fu et al., 2017)。對於所蒐集到腦波訊號，可利用數據相關性分析和數據離散度分析等方法，進行疲勞駕駛相關統計分析。

我國勞動部勞動及職業安全衛生研究所最新研究指出，智慧型心率變異與壓力及憂鬱感測裝置為可以同時量測心電圖 (electrocardiogram, ECG) 與腦波訊號 (EEG) 之穿戴式裝置。該裝置不僅穿戴方便，且所搭配的軟體可將量測到的 ECG 訊號進行心律變異度分析 (heart rate variability, HRV)，提供時域 (time domain) 及頻域 (frequency domain) 的指標，並計算出 EEG 訊號中 α 波和 β 波頻帶的能量。結合心律變異度分析指標與 α 波頻帶能量，可以評估使用者當下身心的放鬆狀態；結合心律變異度分析指標與 β 波頻帶能量，則可做為評估警覺性的間接測量指標。當 β 波頻帶能量越強，代表警覺性越高 (潘致弘 & 洪桂彬, 2021)。

腦波屬較微弱的訊號，且易受環境、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，EEG 的干擾可分成 3 種 (Fatourehchi et al., 2007; Jiang et al., 2019; Radüntz et al., 2017; Tamburro et al.,

2019)：

- i. 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。
- ii. 機器干擾：60 Hz 交流電干擾和電極黏貼不良之干擾。
- iii. 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人疲勞程度，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)。駕駛人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 2 項產品利用 EEG 進行疲勞駕駛量測，即表 7 所列的「澳洲 SmartCap LifeBand」及「澳洲 Emotiv Systems EPOC X」。

(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、卡羅連斯加嗜睡量表分數和車道偏離的頻率 (frequency of lane departures) 密切相關 (Akerstedt et al., 2005)。另外，駕駛人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。眼瞼閉合百分比 (percentage of eyelid closure, PERCLOS)³如表 6 所示，當眼瞼閉合的百分比超過 80%時，表

³眼瞼閉合百分比 (PERCLOS)：受試者在特定時段內閉眼的時間比例。

示駕駛者處於疲勞狀態中 (Wierwille & Ellsworth, 1994)。

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，透過駕駛人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 2 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，隨著駕駛時間和疲勞程度的增加，駕駛人的 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，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 6 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⁴



圖 3 智慧型手錶血氧飽和度測量功能⁵

⁴ 照片來源：Masimo 官網，<https://www.masimo.com/products/monitors/spot-check/mightysatr/>

⁵ 照片來源：CNET 官網，<https://www.cnet.com/health/personal-care/apple-watch-blood-oxygen-app-how-it-works/>

(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，腦氧飽和度 (後續以 ScO2 簡稱) 會隨之降低。這也表明，長途駕駛中腦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 NIRSsleep 團隊共同研發出一款小型且方便攜帶的腦氧飽和度監測儀 (cerebral oximetry)(小型腦氧飽和度監測儀如圖 4)。基於缺氧易產生倦怠和疲勞，該團隊提出腦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 (腦氧飽和度監測儀如圖 5 和圖 6)。

血氧濃度器和腦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 NIRSsleep 小型腦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 NIRSsleep 小型腦氧飽和度監測儀⁶

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



圖 5 一般市售腦氧飽和度監測儀⁷



圖 6 腦氧飽和度監測儀貼片⁸

(5) 白天多次入睡檢查

白天多次入睡檢查(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 檢查如圖 7，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 2 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) 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。

⁷ 照片來源：Masimo 官網，<https://www.masimo.com/technology/brain-monitoring/cerebral-oximetry/>

⁸ 照片來源：Masimo 官網，<https://www.masimo.com/technology/brain-monitoring/cerebral-oximetry/>



圖 7 白天多次入睡檢查⁹

(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在特定時段內保持清醒的能力 (Mitler et al., 1982)。MWT 如圖 8 所示，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及睡著所需的時間。受試者越快睡著，表示保持清醒的能力越低。



圖 8 保持清醒測試¹⁰

⁹ 照片來源：Healthline，<https://www.healthline.com/health/multiple-sleep-latency-test>

¹⁰ 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睏意極高不適開車的族群。研究結果顯示，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 日起將白天過度嗜睡 (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 1 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 4 次測試，間隔之間受試者禁止入睡。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¹¹

(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 (Lowenstein et al., 1963)(瞳孔變化如圖 10)。

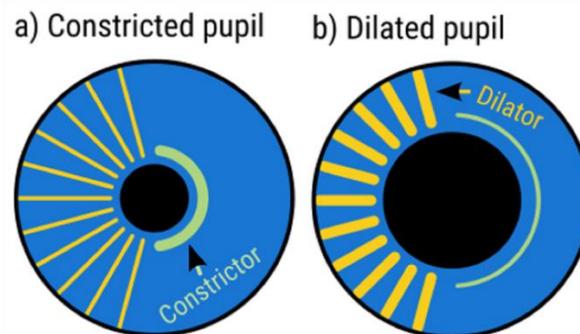


圖 10 瞳孔收縮與擴張¹²

¹¹ 照片來源：Stowood Scientific Instruments,
<http://www.stowood.co.uk/Brochures/OSLER%20Brochure.pdf>

¹² 照片來源：Journal of Cognition，<https://www.journalofcognition.org/articles/10.5334/joc.18/>

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 和圖 12)。



圖 11 電子瞳孔機¹³



圖 12 電子瞳孔機熒幕¹⁴

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 和應用程式如圖 13 和圖 14)。

¹³ 照片來源：NeurOptics，<https://neuroptics.com/>

¹⁴ 照片來源：NeurOptics，<https://neuroptics.com/>



圖 13 Reflex 操作示範¹⁵

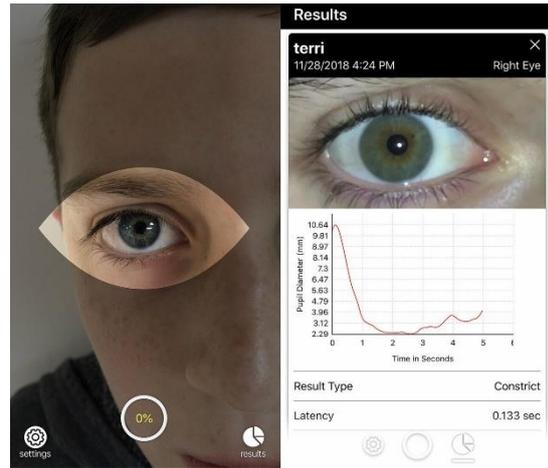


圖 14 Reflex App 畫面¹⁶

(9) 時限聽覺序列加法測試

時限聽覺序列加法測試 (後續以 PASAT 簡稱) 主要用於評估受試者資訊處理速度、注意力和工作記憶 (Tombaugh, 2006)。PASAT 測試時間約 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)。

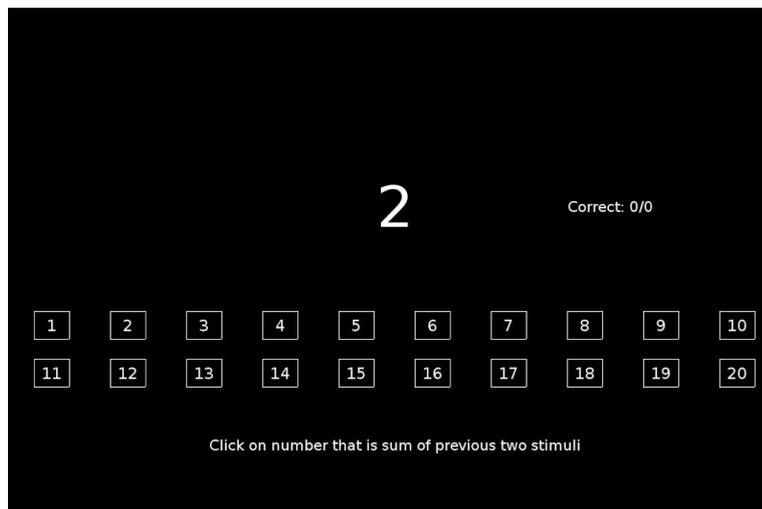


圖 15 電腦版 PASAT 測試畫面¹⁷

¹⁵ 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>

¹⁶ 照片來源：Medical Xpress，<https://medicalxpress.com/news/2019-01-brightlamp-smartphone-app-rapidly-brain.html>

¹⁷ 照片來源：PEBL YouTube，https://www.youtube.com/watch?v=_n80eMWI-0Y

(10) 普渡釘板測試

普渡釘板測試主要測試受試者的手眼協調能力 (hand-eye coordination)(Tiffin & Asher, 1948)。測試共分為 3 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 (普渡釘板測試如圖 16)。

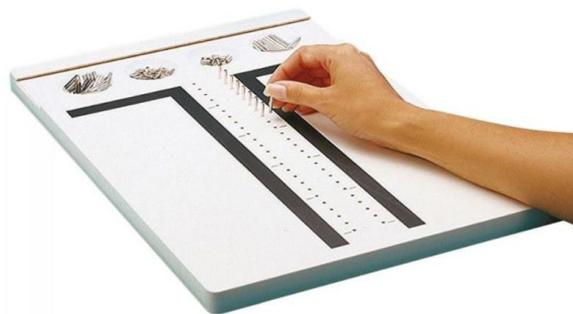


圖 16 普渡釘板測試¹⁸

(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) 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)。

¹⁸ 照片來源：Health and Care (UK) Ltd, <https://www.healthandcare.co.uk/upper-extremity-exercises/purdue-pegboard-test.html>



圖 17 一般常見 PVT¹⁹

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，有望未來做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+ (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 (Sleepalyzer 如圖 20)。

¹⁹ 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)

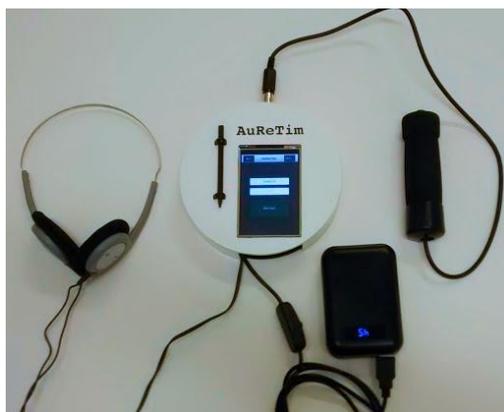


圖 18 德國 AuReTim²⁰

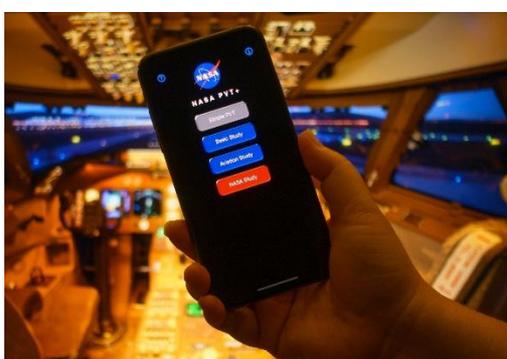


圖 19 NASA PVT+²¹

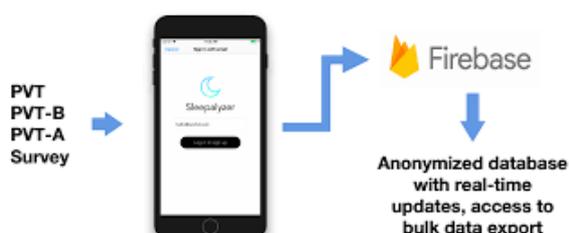


圖 20 賓州大學 Sleepalyzer²²

3. 行車數據量測指標

除了上述生理訊號量測，國內外學者也提出以車輛所收集到的數據做為疲勞駕駛量測指標，即行駛速度變化、標準車道位置偏離 (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

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

²⁰ 照片來源：Eberhard Karl University of Tübingen，<http://www.eye-tuebingen.de/strasserlab/technology-development/auretim/>

²¹ 照片來源：NASA Ames Research Center，<https://www.nasa.gov/feature/ames/fighting-fatigue-app>

²² 照片來源：Jerome Fisher Program in Management & Technology，<https://fisher.wharton.upenn.edu/wp-content/uploads/2019/06/Sleepalyzer.pdf>

(2) 標準車道位置偏離

標準車道位置偏離與疲勞的關聯性密切 (De Valck & Cluydts, 2001; Ingre, Akerstedt, Peters, Anund, & Kecklund, 2006)，標準車道位置偏離(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，睡眠不足的駕駛人其方向盤動作變化(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 做為區隔，隨著駕駛時間的增加，駕駛人方向盤小型 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，昏昏欲睡的駕駛人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設備與人工智慧應用

2.5.1 車上疲勞偵測設備

根據本計畫蒐集的國內外文獻，車上疲勞駕駛偵測設備依汽車前裝及後裝分為內置系統 (built-in system)與外部裝置 (external device)兩類。

1. 內置系統

隨著疲勞駕駛議題逐漸受到關注，全球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) 和福特 (Ford) 致力於研發相關輔助/監測系統。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：攝影機 (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，實務案例如下：

(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，如圖 21)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。



圖 21 賓士駕駛注意力輔助²³

(2) 富豪駕駛人注意力系統

富豪駕駛人注意力系統 (Volvo Driver Attention System) 包含了 2 大功能：駕駛人警示控制系統 (Driver Attention Control, DAC) 以及車道偏離輔助警示系統 (Lane Departure Warning System, LDWS)。車前鏡頭的攝影機將監測車道兩側標記，並將路段與駕駛人的方向盤移動進行比對若，車輛未均勻行駛於車道上，系統會向駕駛人發出警示 (富豪駕駛人注意力系統功能如圖 22 和圖 23)。

²³ 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>

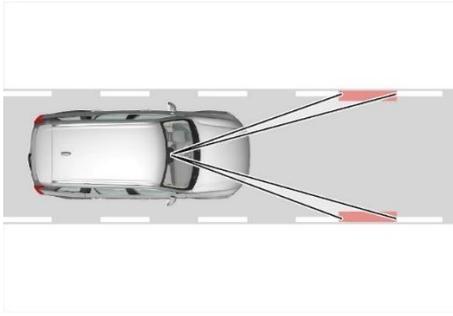


圖 22 側面監測²⁴

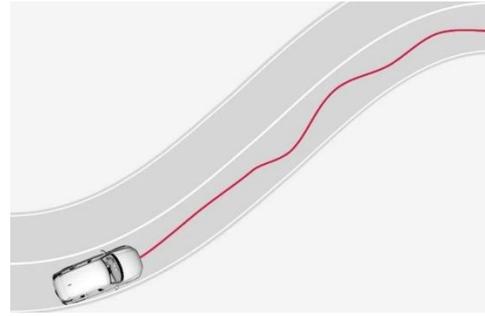


圖 23 前方監測²⁵

(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) 將攝影機安裝至儀表板上，即時監測駕駛人臉部變化，進而評估駕駛人的注意力 (BMW 駕駛監測系統如圖 24)。



圖 24 儀表板上方攝影機²⁶

²⁴ 照片來源：Volvo United Kingdom，
<https://www.volvocars.com/uk/support/manuals/xc90/2019w17/driver-support/driver-alert-control/driver-alert-control>

²⁵ 照片來源：Volvo United Kingdom，
<https://www.volvocars.com/uk/support/manuals/xc90/2019w17/driver-support/driver-alert-control/driver-alert-control>

²⁶ 照片來源：Road Show by CNET，
<https://www.cnet.com/roadshow/news/bmw-driver-monitor-camera-x5/>

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有腦波和心率等；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，或開車滑手機或吸菸等違規駕駛行為(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。勞動及職業安全衛生研究所 (後續以勞安所簡稱) 於 2020 年成功研發出智慧型生理疲勞監測系統 (鄭乃云等人, 2020)，其主要功能包含臉部、眼睛、嘴部等特徵建立辨識模組，並建立演算法提供個人疲勞等級；駕駛作業勞工可同時配戴智慧型手環，或進一步提供健檢資料，結合影像、手環資料、健檢資料等生理資訊獲得更完整的資訊。

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，由於疲勞特徵與形態相當複雜，大部分裝置會運用 2 種以上偵測方法來提升偵測效果。服務對象相當廣泛，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。茲將本計畫蒐集之國外疲勞駕駛相關儀器設備整理如表 7，所列的 12 項車上疲勞偵測產品中，目前僅有 3 項產品已通過驗證階段，即「澳洲 SmartCap LifeBand」和「澳洲 Optalert Glasses」穿戴裝置，以及「澳洲 Seeing Machines 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。

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	偵測方式	重要特徵	圖片	來源
穿戴裝置	澳洲 SmartCap	LifeBand	<ul style="list-style-type: none"> 生理訊號： 腦波 	<ul style="list-style-type: none"> 準確率：高達 94.7% 經澳洲 MUARC²⁷、IBAS²⁸和智利大學醫學院驗證 通過英美資源集團²⁹和 ACARP³⁰場域測試 價格：需聯絡該公司取得報價 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、澳洲醫療服務提供機構 Sano Health、澳洲礦商 		[31]

²⁷ 澳洲蒙納許大學事故研究中心 (Monash University Accident Research Centre, MUARC)

²⁸ 奧斯丁醫院呼吸與睡眠健康研究所 (Austin Health Institute of Breathing and Sleep, IBAS).

²⁹ 英美資源集團 (Anglo American Metallurgical Coal)

³⁰ 澳洲煤炭協會研究計畫 (Australian Coal Association Research Program, ACARP)

³¹ 資料來源：SmartCap，<http://www.smartcaptech.com>

表 7 國外疲勞駕駛相關儀器設備(續)

類別	產地與公司	產品名稱	偵測方式	重要特徵	圖片	來源
穿戴裝置	澳洲 Optalert	Optalert glasses	<ul style="list-style-type: none"> 眼部變化 	<p>NSW Mining、印度軟體科技公司 Vareli Tecnac 工作相關疲勞解決方案</p> <ul style="list-style-type: none"> 準確率：需聯絡該公司取得相關資訊 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 獲澳洲政府 Automotive Innovation Lab Access Grant (AILAG) 補助 		[32]

³² 資料來源：Optalert，<http://www.optalert.com>

表 7 國外疲勞駕駛相關儀器設備(續)

類別	產地與公司	產品名稱	偵測方式	重要特徵	圖片	來源
				<ul style="list-style-type: none"> ● 連結雲端平台將使用者狀況回饋屋主 ● 價格：若訂購 100 件以上並且使用自有安卓平板電腦做為顯示器，單價約新臺幣 28,000 元。另外，每月還需按服務級別額外支付新臺幣 600 至 1,400 元之間的訂閱費 ● 實務案例： (1) 澳洲職業賽車手 Dylan Young 競賽使用 		

表 7 國外疲勞駕駛相關儀器設備(續)

類別	產地與公司	產品名稱	偵測方式	重要特徵	圖片	來源
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"> 準確率：需聯絡該公司取得相關資訊 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 價格：耳機硬體售價約新臺幣 2,800 元，價格因型號而異；每月服務費用約新臺幣 840 元，服務費因車隊規模而調整 實務案例： <ul style="list-style-type: none"> (1) 與美國運輸管理與軟體供應商 McLeod Software 進行產學合作 		[33]

³³ 資料來源：Maven Machines，<https://mavenmachines.com/>

表 7 國外疲勞駕駛相關儀器設備(續)

類別	產地與公司	產品名稱	偵測方式	重要特徵	圖片	來源
穿戴裝置	加拿大 Fatigue Science	Readiband	<ul style="list-style-type: none"> 睡眠狀況 	<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> <ul style="list-style-type: none"> 準確率：92% 將前 1 晚所監測的睡眠數據輸入 ARL³⁴研發的 SAFTE 生物數學疲勞模型³⁵評估使用者精神狀況與當日工作適任性 獲加拿大商業發展銀行(BDC)³⁶和加拿大國家研究理事會工業研究援助計畫(NRC IRAP)補助³⁷ 價格：約新臺幣 8,400 元 		[39]

³⁴ 美國陸軍研究實驗室 (U.S. Army Research Lab, ARL)

³⁵ Sleep, Activity, Fatigue, and Task Effectiveness (SAFTE) biomathematical fatigue model

³⁶ Business Development Bank of Canada (BDC)

³⁷ National Research Council of Canada Industrial Research Assistance Program (NRC IRAP)

³⁹ 資料來源：Fatigue Science，<https://www.fatiguescience.com/readiband/>

表 7 國外疲勞駕駛相關儀器設備(續)

類別	產地與公司	產品名稱	偵測方式	重要特徵	圖片	來源
				<ul style="list-style-type: none"> ● 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)³⁸ 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、美國職業棒球球隊 Seattle Mariners、美國職業籃球球隊 Dallas Mavericks 等隊員疲勞管理方案 		

³⁸ Federal Emergency Management Agency (FEMA) under United States Department of Homeland Security

表 7 國外疲勞駕駛相關儀器設備(續)

類別	產地與公司	產品名稱	偵測方式	重要特徵	圖片	來源
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"> 準確率：需聯絡該公司取得相關資訊 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 價格：硬體單價約新臺幣 5,600 元；硬體附加額外車用充電器價格約新臺幣 6,600 元；硬體、車用充電器和 1 年保固價格約新臺幣 8,210 元 實務案例：已上市但無應用案例 		[40]

⁴⁰ 資料來源：StopSleep，<https://www.stopsleep.co.uk/>

表 7 國外疲勞駕駛相關儀器設備(續)

類別	產地與公司	產品名稱	偵測方式	重要特徵	圖片	來源
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"> 準確率：需聯絡該公司取得相關資訊 透過智慧紡織布料 (smart fabric) 和射頻遙測(radio frequency telemetry system) 收集駕駛人生理訊號並同時進行監測 價格：需聯絡該公司取得報價 實務案例：已上市但無應用案例 		[41]
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"> 準確率：需聯絡該公司取得相關資訊 14 通道 EEG：AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8, AF4 價格：硬體約新臺幣 24,000 元 實務案例：已上市但無應用案例 		[42]

⁴¹ 資料來源：BioPac Systems, <https://www.biopac.com/product/bioharness-telemetry-logging-systems/>

⁴² 資料來源：Emotiv, <https://www.emotiv.com/>

表 7 國外疲勞駕駛相關儀器設備(續)

類別	產地與公司	產品名稱	偵測方式	重要特徵	圖片	來源
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"> • 準確率：90% • 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座椅方式給予警示 • 連結 Guardian Live 雲端平台 • 價格：需聯絡該公司取得報價 • 實務案例：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 		[43]

⁴³ 資料來源：Seeing Machines，<https://www.seeingmachines.com/>

表 7 國外疲勞駕駛相關儀器設備(續)

類別	產地與公司	產品名稱	偵測方式	重要特徵	圖片	來源
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"> • 準確率：54% • 使用單一 VGA 標準攝影機和紅外線閃光燈 • 價格：需聯絡該公司取得報價 • 實務案例：已上市但無應用案例 		[44]
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"> • 準確率：需聯絡該公司取得相關資訊 • 透過機器學習演算法分析駕駛人疲勞狀態，適時給予警示 • 連結雲端平台以便主管做決策之用 • 價格：硬體約新臺幣 9,400 元 • 類似產品：英國 Transport Support 的 Driver Fatigue Monitor • 實務案例：已上市但無應用案例 		[45]

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

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

表 7 國外疲勞駕駛相關儀器設備(續)

類別	產地與公司	產品名稱	偵測方式	重要特徵	圖片	來源
車上設備	美國 Intelligent Automation	Multi Modal Driver Distraction and Fatigue Detection (MDF)	<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"> • 準確率：需聯絡該公司取得相關資訊 • 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 • 偵測駕駛人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 • 價格：需聯絡該公司取得報價 • 實務案例：美國政府單位如國防部、教育部、NASA、國土安全部、國家衛生院和國家司法研究所 		[46]

⁴⁶ 資料來源：Intelligent Automation，<https://www.i-a-i.com/>

表 7 國外疲勞駕駛相關儀器設備(續)

類別	產地與公司	產品名稱	偵測方式	重要特徵	圖片	來源
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 行駛時間長度 	<ul style="list-style-type: none"> 準確率：需聯絡該公司取得相關資訊 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，依據駕駛人睡眠品質調整偵測靈敏度 感應方向盤移動適時發出警報 價格：約新臺幣 28,000 元 實務案例：已上市但無應用案例 		[47]

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

2.5.2 人工智慧應用

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，相關研究整理如表 8，目前已商品化的產品有「澳洲 Seeing Machines Guardian」（產品特性整理於表 7），以及下列「日本松下電器疲勞控制技術」和「美國 Affectiva 汽車人工智慧」。

表 8 人工智慧疲勞偵測相關研究

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 ^{48,49}	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

⁴⁸ 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)。

⁴⁹ 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)。

1. 日本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，透過攝影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)。

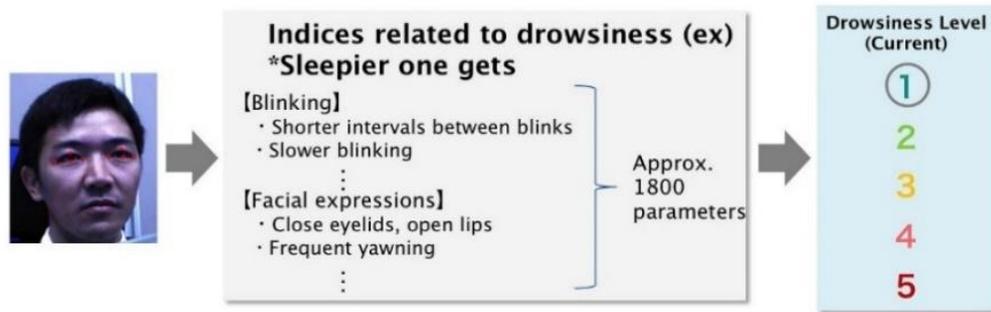


圖 25 Panasonic 疲勞控制技術⁵⁰

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 5 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 5 個分級如圖 26)。

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

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 5 個分級⁵¹

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) 所蒐集到的資料，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 (駕駛人員疲勞預測如圖 27)。

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

Surrounding environment parameters and predicts changes in drowsiness

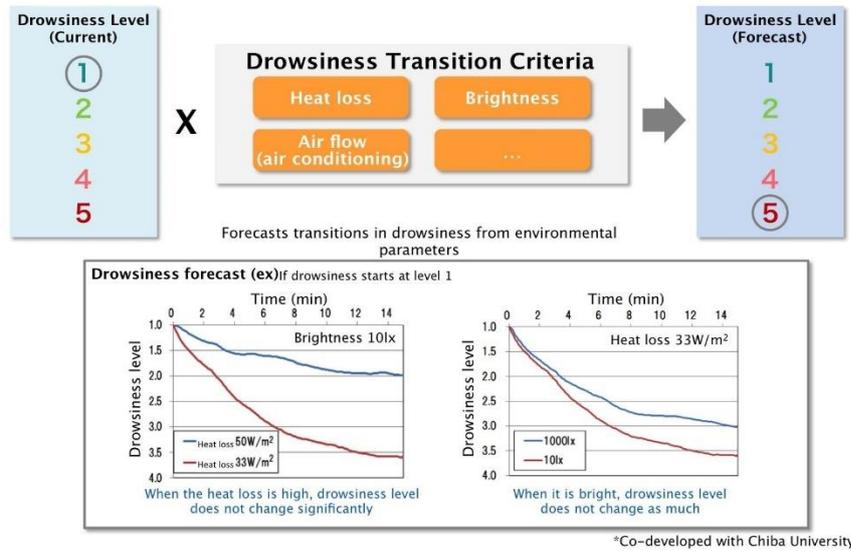


圖 27 駕駛人員疲勞預測⁵²

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

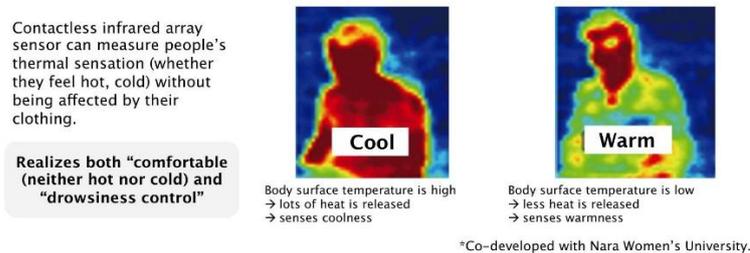


圖 28 熱感覺檢測技術⁵³

⁵² 照片來源：Panasonic 官網，<https://news.panasonic.com/global/stories/2017/49621.html>

⁵³ 照片來源：Panasonic 官網，<https://news.panasonic.com/global/stories/2017/49621.html>

2. 美國 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 (Affectiva 車上監測系統如圖 29)。

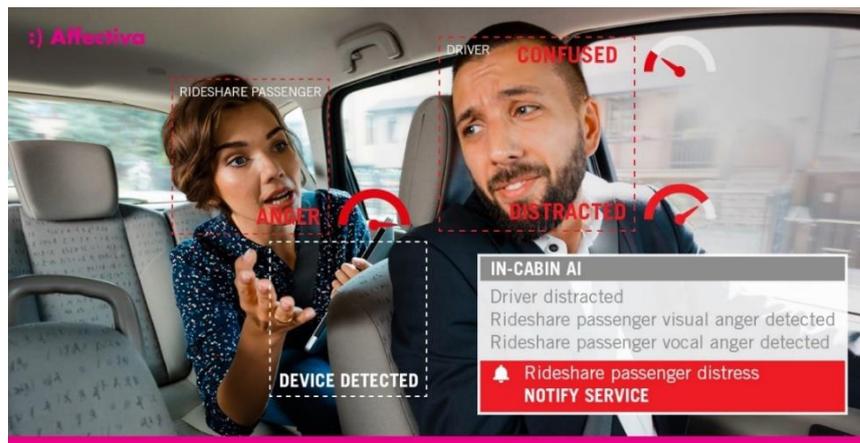


圖 29 Affectiva 車上監測系統⁵⁴

該系統會即時監控駕駛人疲勞程度，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 (Affectiva 疲勞監控畫面如圖 30)。

⁵⁴ 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/>

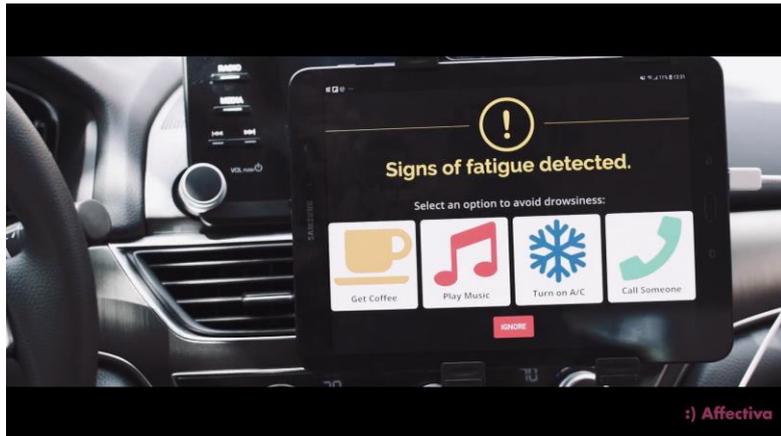


圖 30 Affectiva 駕駛人疲勞監控⁵⁵

另外，該系統也會監控駕駛人分心的程度。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 (Affectiva 分心監控畫面如圖 31)。

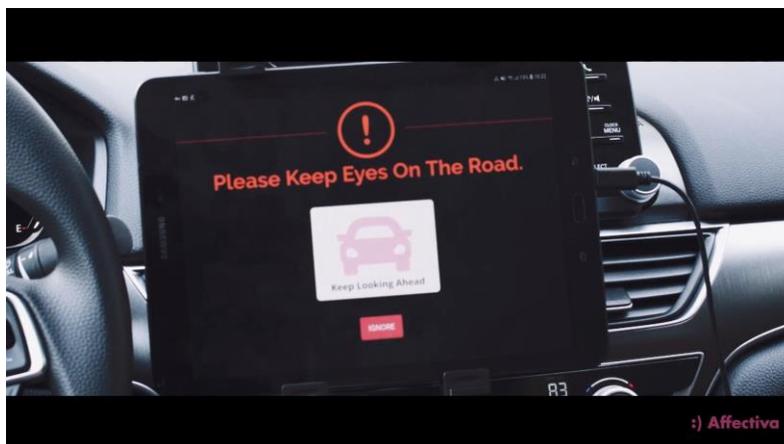


圖 31 Affectiva 駕駛人分心監控⁵⁶

⁵⁵ 照片截自：Affectiva 官方 YouTube，<https://www.youtube.com/watch?v=zRbGSxcosfg&t=35s>

⁵⁶ 照片截自：Affectiva 官方 YouTube，<https://www.youtube.com/watch?v=zRbGSxcosfg&t=35s>

2.6 綜合評析

本節將就疲勞量測指標和車上疲勞偵測技術進行重點說明和綜合評析。

1. 疲勞量測指標

本計畫蒐集到 17 項疲勞量測指標，其中有 3 項為主觀型疲勞量測指標、11 項為客觀型疲勞量測指標，另 3 項則為行車數據量測指標。

首先，本計畫所蒐集到的 3 項主觀型疲勞量測指標均為透過嗜睡程度量測疲勞的量表，即史丹佛嗜睡量表、卡羅連斯加嗜睡量表，以及艾普沃斯嗜睡量表。此 3 項嗜睡量表均為疲勞駕駛相關研究普遍應用的問卷，其優缺點評比如表 9。基於艾普沃斯嗜睡量表涵蓋項目較廣，且國內已有實務案例，故最終評比艾普沃斯嗜睡量表做為較有潛力的主觀型疲勞量測指標。

其次，本計畫所蒐集到的 11 項客觀型疲勞量測指標中，有 4 項為醫療器材，即腦波儀、瞳孔計、血氧飽和測定儀和腦氧飽和度監測儀。腦波儀⁵⁷和瞳孔計⁵⁸屬第 1 級醫療器材，而血氧飽和測定儀⁵⁹和腦氧飽和度監測儀⁶⁰則屬於第 2 級醫療器材，兩者皆須由醫療專業人員進行操作。市面上雖有不少號稱可以測量腦波和血氧飽和度的智慧型穿戴裝置或疲勞相關偵測儀器，但是這些產品多數未經由主管機關查驗及認可，準確度仍有待證實。另外有 3 項量測指標：MSLT、MWT 和 OSLER，須經由睡眠技師操作及判讀。PERCLOS、

⁵⁷ 資料來源：美國 FDA，

<https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/CFRSearch.cfm?CFRPart=882&showFR=1&subpartNode=21:8.0.1.1.28.2>

⁵⁸ 資料來源：衛授食字第 1101603189 號

⁵⁹ 資料來源：衛授食字第 1101603189 號

⁶⁰ 資料來源：美國 FDA，

<https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/cfrsearch.cfm?fr=870.2700>

PASAT、普渡釘板測試和 PVT 這 4 項指標不屬醫療器材且無須專業人員的操作，受試者可透過電腦或手機應用程式免費測試 PASAT 與 PVT；研究指出，PERCLOS 可能會受灰塵、照明不足及眩光等非疲勞相關因素影響，而產生誤報；普渡釘板測試須購置特定的釘板，實際測試上受限制，較不便利。

基於心理動作警覺性測試易取得性、易操作性、測試時間短，且適用於行車前和行車期間；以及隨著智慧型手錶 SpO2 功能普及化，可以藉由血氧飽和度如實反映疲勞程度，且適用於行車前和行車期間；最終選定兩者為應用潛力較大的 2 項客觀型疲勞量測指標（客觀型疲勞量測指標優缺點評比如表 10）。

最後，行車數據量測指標方面，包括行駛速度變化、標準車道位置偏離和方向盤移動變化等 3 項指標，雖然可由駕駛人本人所察覺，但在沒有任何警示之下，駕駛人員仍可能選擇性忽略自身疲勞癥兆，持續在疲勞狀態中開車。現今已有不少防止疲勞駕駛的產品，運用這 3 項指標做為參數之一，加上即時警示或透過將數據上傳雲端平台的方式即時通報雇主，進一步介入管理，避免員工的疲勞駕駛行為。基於標準車道位置偏離與疲勞高關聯性，以及實務案例較多，故選擇標準車道位置偏離做為較可靠的行車數據量測指標（行車數據量測指標優缺點評比如表 11）。

表 9 嗜睡量表優缺點評比

量表名稱	優點	缺點	評比
艾普沃斯嗜睡量表	<ol style="list-style-type: none"> 1. 適用於一般民眾 2. 量測項目有 7 項，涵蓋面向較廣，能夠更真實反映受試者嗜睡或疲勞程度 3. 可在網路免費下載 4. 可隨時隨地進行量測 5. 量測時間 5 分鐘 6. 已有國內實務案例 (交通部公路總局) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 年齡限制 18 至 78 歲 2. 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 	1
卡羅連斯加嗜睡量表	<ol style="list-style-type: none"> 1. 適用於一般民眾且無年齡限制 2. 可在網路免費下載 3. 可隨時隨地進行量測 4. 量測時間 5 分鐘 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 量測項目只有 1 項 2. 只有國外實務案例 3. 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 	2
史丹佛嗜睡量表	<ol style="list-style-type: none"> 1. 適用 18 歲以上成人 2. 可在網路免費下載 3. 可隨時隨地進行量測 4. 量測時間 1 至 2 分鐘 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 量測項目只有 1 項 2. 國內外無實務案例 3. 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 	3

表 10 客觀型疲勞量測指標評比

項目	優點	缺點	評比
血氧飽和度	<ol style="list-style-type: none"> 1. 血氧飽和度可以真實反映疲勞程度 2. 多數智慧型手錶可以測量血氧飽和度的功能 (例如：蘋果智慧型手錶) 3. 可以快速測試 4. 適用於行車前和行車期間量測疲勞 5. 適用於每日疲勞量測 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 智慧型手錶測量血氧飽和度之準確度有待驗證 	1
心理動作警覺性測試	<ol style="list-style-type: none"> 1. 可上網下載 PVT 應用程式免費測試 2. 易操作，一般民眾可以自行進行量測 3. 測試時間短 (10 分鐘) 4. 研究證實有助於預測 OSA 患者和機場行李檢查人員疲勞程度 5. 適用於行車前和行車期間，透過測量警覺性反映疲勞程度 6. 適用於每日疲勞量測 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 行車期間進行測試使駕駛人員分心 2. 駕駛人員可能選擇性忽略量測結果，持續在疲勞狀態下開車 	2

表 10 客觀型疲勞量測指標評比(續)

項目	優點	缺點	評比
時限聽覺序列加法測試	<ol style="list-style-type: none"> 1. 可上網下載 PASAT 應用程式免費測試 2. 測試時間短 (約 1 至 5 分鐘) 3. 一般民眾可以自行進行量測 4. 適用於行車前，透過測量警覺性反映疲勞程度 5. 適用於每日疲勞量測 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 不適用於即時疲勞量測 2. 駕駛人員可能選擇性忽略量測結果，持續在疲勞狀態下開車 3. 缺乏實務應用案例，實用性和可行性待深入探討 	3
腦電圖	<ol style="list-style-type: none"> 1. 根據腦部明確的判斷駕駛人員警覺程度 (警覺、放鬆、疲勞狀態) 2. 國內已有實務案例 (例如：勞安所研發可以同時量測 EEG 和 ECG 之穿戴裝置) 3. 疲勞駕駛監測產品常用參數之一 4. 適用於每日疲勞量測 5. 適用於即時疲勞監測 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 腦波訊號微弱易受干擾，容易產生誤判 2. 波形之間可能存在相依性，影響疲勞判斷結果 	4
眨眼次數和閉眼時間	<ol style="list-style-type: none"> 1. 疲勞駕駛監測產品常用參數之一 2. 可由旁人提醒發現駕駛人有疲勞的徵兆 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 受環境光線、灰塵等其他因素影響 2. 駕駛人員可能選擇性忽略此疲勞癥兆，持續在 	5

表 10 客觀型疲勞量測指標評比(續)

項目	優點	缺點	評比
	<ol style="list-style-type: none"> 3. 適用於行車期間量測疲勞 4. 研究證實可以反映疲勞程度 5. 適用於即時疲勞監測 6. 適用於每日疲勞量測 	疲勞狀態下開車	
瞳孔測量法	<ol style="list-style-type: none"> 1. 國外已有實務案例 (Reflex) 2. 適用於行車前疲勞量測 3. 適用於每日疲勞量測 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 受環境光線、灰塵等其他因素影響 	6
腦氧飽和度	<ol style="list-style-type: none"> 1. 國外已有相關實務案例 2. 適用於即時疲勞監測 3. 適用於每日疲勞量測 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 腦氧飽和度監測儀屬第 2 級醫療器材需由醫療人員進行判讀 2. 用於疲勞駕駛相關研究及實務案例偏少 	7
牛津睡眠阻抗測試	<ol style="list-style-type: none"> 1. 檢查地點不受限於醫院睡眠中心，可以在家進行檢測 2. 檢測較保持清醒測試簡單且效果相當 3. 適用於白天覺醒和警覺性評估之大規模應用 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 檢查需由睡眠技師執行 2. 檢查耗時 3. 需於白天進行檢查 4. 不適用於即時疲勞量測 5. 不適用於每日疲勞量測 	8

表 10 客觀型疲勞量測指標評比(續)

項目	優點	缺點	評比
保持清醒測試	<ol style="list-style-type: none"> 1. 可以客觀衡量駕駛人員保持清醒的能力 2. 研究證實可以真實反映疲勞程度 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 檢查地點限於醫院睡眠中心 2. 檢查需由睡眠技師執行 3. 檢查耗時 4. 需於白天進行檢查 5. 不適用於即時疲勞量測 6. 不適用於每日疲勞量測 	9
白天多次入睡檢查	<ol style="list-style-type: none"> 1. 客觀測量駕駛人，尤其是行車時間長的職業駕駛人員，白天在安靜環境中入睡的傾向 2. 研究證實可以反映疲勞程度 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 檢查地點限於醫院睡眠中心 2. 檢查需由睡眠技師執行 3. 檢查耗時 4. 需於白天進行檢查 5. 不適用於即時量測 6. 不適用於每日疲勞量測 	10
普渡釘板測試	<ol style="list-style-type: none"> 1. 適用於行車前疲勞量測 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 需特別購置設備才能進行測試，價格昂貴(約新臺幣 8,300 元) 2. 不適用於即時疲勞量測 3. 駕駛人員可能選擇性忽略量測結果，持續在疲勞狀態下開車 4. 缺乏實務應用案例，實用性和可行性待深入探討 	11

表 11 行車數據量測指標優缺點評比

項目	優點	缺點	評比
標準車道位置偏離	<ol style="list-style-type: none"> 1. 可由旁人提醒發現駕駛人有疲勞的徵兆 2. 標準車道位置偏離與疲勞的關聯性密切 3. 國外已有實務案例 (富豪駕駛人注意力系統、德國博世駕駛人輔助系統和福斯汽車智能駕駛輔助系統) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 車道標記需清晰；夜晚、惡劣的天氣和褪色的車道標記可能會使偵測失效 2. 駕駛人員可能選擇性忽略此疲勞癥兆，持續在疲勞狀態下開車 	1
方向盤移動變化	<ol style="list-style-type: none"> 1. 可由旁人提醒發現駕駛人有疲勞的徵兆 2. 國外已有實務案例 (賓士駕駛注意力輔助系統和富豪駕駛人注意力系統) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 可能受到駕駛情形影響而易誤報 2. 駕駛人員可能選擇性忽略此疲勞癥兆，持續在疲勞狀態下開車 	2
行駛速度變化	<ol style="list-style-type: none"> 1. 可由旁人提醒發現駕駛人有疲勞的徵兆 2. 國外已有實務案例 (賓士駕駛注意力輔助系統) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 可能受到駕駛情形影響而易誤報 (false alarm) 2. 駕駛人員可能選擇性忽略此疲勞癥兆，持續在疲勞狀態下開車 	3

2. 車上疲勞偵測設備與人工智慧應用

本計畫一共蒐集到 17 項車上疲勞偵測相關產品，其中有 3 項為汽車製造商研發的內置系統、2 項為車輛研究測試中心和勞安所研發的疲勞監測系統、12 項為外部裝置，另外蒐集到 2 項人工智慧相關疲勞偵測系統。

首先，3 項內置系統為賓士駕駛注意力輔助系統、富豪駕駛人注意力系統、BMW 駕駛監測系統。就目前而言，已有不少高級進口新車內部備有預防疲勞駕駛的系統，內部偵測設備普遍安裝於儀表板或方向盤上，外部偵測設備則安裝於車輛兩側；偵測項目除了眨眼次數、閉眼時間、行駛速度變化、標準車道位置偏離和方向盤移動變化，系統也會把車外風速等其他因素納為參數之一。我國勞安所研發的智慧型生理疲勞監測系統除了以臉部、眼睛、嘴部等特徵建立辨識模組、進行演算，還納入生理資訊作參數，更精準的偵測駕駛中疲勞狀態。

其次，12 項車上疲勞偵測外部裝置方面，其中有 7 項屬穿戴裝置，另 5 項屬車上設備。經評估產品準確度、實務案例現況、價格，最終選定準確度較高，且應用案例數較多的「澳洲 SmartCap LifeBand」和「加拿大 Fatigue Science Readiband」做為較有潛力的車上疲勞偵測穿戴裝置（車上疲勞偵測穿戴裝置評比如表 12），選定「澳洲 Seeing Machines Guardian」和「美國 Intelligent Automation Multi Modal Driver Distraction and Fatigue Detection」做為實際應用潛力較大的優質疲勞偵測車上設備（車上疲勞偵測設備評比如表 13）。

最後，本計畫所蒐集到的 2 項人工智慧相關疲勞偵測系統，即來自日本的「松下電器疲勞控制技術」和來自美國的「Affectiva 汽車人工智慧」，兩者均為產學合作研發的產品。

表 12 車上疲勞偵測穿戴裝置評比

產地	廠商名稱	品名	參數	警示方式	準確度	價格	優點	評比
澳洲	SmartCap	LifeBand	1. 腦波	N/A	94.7%	N/A	<ol style="list-style-type: none"> 1. 經學術單位驗證並通過場域測試 2. 國外有實務應用案例達 7 例 3. 即時監測疲勞並給予反饋 	1
加拿大	Fatigue Science	Readiband	1. 睡眠狀況	無	92%	8,400	<ol style="list-style-type: none"> 1. 獲國家級學術單位補助 2. 國外已有實務應用案例超過 8 例 3. 服務對象有美國提供美國聯邦緊急事務管理署 	2

表 12 車上疲勞偵測穿戴裝置評比(續)

產地	廠商名稱	品名	參數	警示方式	準確度	價格	優點	評比
美國	Maven Machines	Co-Pilot	1. 頭部動作	N/A	N/A	2,800	1. 國外已有實務應用案例有 3 例以上 2. 服務對象大部分為物流公司 3. 即時監測疲勞並給予反饋	3
澳洲	Optalert	Optalert Glasses	1. 眼部變化 (速度振幅比)	1. 視覺	N/A	28,000	1. 經學術單位驗證 2. 國外有實務應用案例有 1 例 3. 獲政府部門補助研發 4. 即時監測疲勞並給予反饋	4

表 12 車上疲勞偵測穿戴裝置評比(續)

產地	廠商名稱	品名	參數	警示方式	準確度	價格	優點	評比
澳洲	Emotiv Systems	EPOC X	1. 腦波 2. 頭部動作	N/A	N/A	24,000	1. 公司擁有 10 年研發經驗	5
美國	BioPac Systems	BioHarness Telemetry & Logging Systems	1. 心率 2. 呼吸	N/A	N/A	N/A	資料有限，本團隊無法列出產品優點	6
英國	StopSleep	Anti-sleep Alarm	1. 膚電活動	1. 聽覺 2. 震動	N/A	5,600	資料有限，本團隊無法列出產品優點	7

注：N/A 意指需聯絡該公司取得資料；金額以新臺幣表示

表 13 車上疲勞偵測設備評比

產地	廠商名稱	品名	參數	警示方式	準確度	價格	優點	評比
澳洲	Seeing Machines	Guardian	1. 眼部變化 (PERCLOS, 眨眼次數) 2. 頭部位置	1. 聽覺	90%	N/A	1. 國外有實務應用案例達 7 例	1
美國	Intelligent Automation	Multi Modal Driver Distraction and Fatigue Detection	1. 眼部變化 (PERCLOS, 平均閉眼速度 2. 臉部變化 (打哈欠) 3. 行駛速度變化 4. 標準車道位置偏離	N/A	N/A	N/A	1. 獲政府部門補助研發 2. 國外有實務應用案例達 6 例且服務對象均為政府機關	2

表 13 車上疲勞偵測設備評比(續)

產地	廠商名稱	品名	參數	警示方式	準確度	價格	優點	評比
瑞典	Hexagon	Operator Alertness System Light Vehicle	1. 頭部變化 2. 臉部變化 3. 眼部變化	1. 聽覺	N/A	9,400	1. Hexagon 為美國上市公司	3
瑞典	Smart Eye	AntiSleep	1. 眼部變化 (瞳孔變化、眨眼次數)	無	54%	N/A	1. 公司擁有 22 年的研發經歷	4
英國	Fatigue Management International	Advisory System for Tired Drivers	1. 方向盤移動 2. 行駛時間 3. 生理時鐘及睡眠狀況	1. 視覺 2. 聽覺	N/A	28,000	資料有限，本團隊無法列出產品優點	5

注：N/A 意指需聯絡該公司取得資料；金額以新臺幣表示

第三章 結論與建議

疲勞駕駛所致車禍事故相當嚴重，往往導致國人生命、財產重大損失，國內外已有許多研究指出疲勞駕駛事故恐被嚴重低估，主要因疲勞很難像酒精濃度那樣簡單容易地測量，在有限的資訊下，許多交通事故的原因難以確認與疲勞駕駛有關。

車內對駕駛人疲勞與專注狀態的監測對於減少疲勞駕駛的風險至為關鍵，市場上各類疲勞駕駛偵測科技產品推陳出新，為了解疲勞駕駛偵測科技產品對於改善或發掘疲勞駕駛之應用情況，本計畫透過國內外資料蒐集與文獻回顧，探討疲勞駕駛量測指標如血氧濃度等科學數據與疲勞的關聯性，盤點國內外現有疲勞量測指標、車上疲勞偵測設備及國內外實務應用案例，並進行分析與比較，相關資料蒐集彙整成果，可提供公私營運輸機構改善疲勞駕駛相關安全管理作業之參據。

3.1 結論

疲勞量測指標和車上疲勞偵測產品琳琅滿目，各國亦有駕駛時數或疲勞駕駛相關法規，茲將本計畫所蒐集彙整的資料與評比結果總結如下：

1. 本計畫彙整美國、歐盟、澳洲、日本及我國等疲勞駕駛相關法規，各國法規除對駕駛時數有明確規定外，美國阿拉巴馬等州透過訂定疲勞駕駛宣傳日或宣傳週方式，提高民眾對疲勞駕駛的認知與重視；歐盟則已於車輛安全法規中訂出車輛配置駕駛人疲勞和注意力警告系統的時程，預期可透過車輛科技設備來防制疲勞駕駛的情形。
2. 本計畫蒐集到國內外 3 項主觀型疲勞量測指標，以及其相關細節如：優缺點、信效度、量測對象、量測方式、評分方式和實務應用案例等資料，並評比艾普沃斯嗜睡量表做為較有潛力的主觀型疲勞量測指標。

3. 本計畫所蒐集 11 項客觀型疲勞量測指標，以及其相關細節如：優缺點、應用限制、應用場域、量測項目、評定方式、市面上販售種類、和實務應用案例等資料，最終選定心理動作警覺性測試及具血氧飽和度功能之智慧型手錶為應用潛力較大的 2 項客觀型疲勞量測指標。
4. 本計畫蒐集到 3 項行車數據疲勞量測指標，最終評比選擇標準車道位置偏離做為較可靠的行車數據量測指標。
5. 本計畫蒐集到 12 項國內外車上疲勞量偵測產品設備和穿戴裝置，以及其相關細節如：品項、產地、偵測方式、偵測參數、準確率、驗證機構、測試場域、警示方式、實務應用案例等資料，最終選定準確度較高，且應用案例數較多的「澳洲 SmartCap LifeBand」和「加拿大 Fatigue Science Readiband」做為較有潛力的車上疲勞偵測穿戴裝置；選定「澳洲 Seeing Machines Guardian」和「美國 Intelligent Automation Multi Modal Driver Distraction and Fatigue Detection」做為實際應用潛力較大的優質疲勞偵測車上設備。

3.2 建議

綜合文獻資料，本計畫針對運輸安全相關管理單位、運輸安全相關學研單位、運輸業者，以及駕駛人員，給予建議：

1. 運輸安全相關管理單位

建議運輸安全管理單位透過疲勞管理及疲勞衛教手冊等相關管道：(1) 提供疲勞量測指標及車上疲勞偵測技術等資訊，讓駕駛人員掌握疲勞駕駛相關科技知識與資訊；(2) 宣導駕駛人員連續駕駛時間不宜過長，應適時停車休息、活動筋骨並且適量飲用提神飲料；(3) 提供疲勞量表等資訊和資源，鼓勵駕駛人員進行自我量測，呼籲有嗜睡或長期疲勞倦怠徵候或症狀的駕駛人員，主動尋求醫療諮詢及

專業協助，預防疲勞駕駛交通事故；(4) 宣導睡眠健康的重要性及其對疲勞駕駛的影響相關知識，呼籲駕駛人重視睡眠品質，確保擁有充足的睡眠，並養成良好睡眠衛生 (sleep hygiene)，像是維持規律的睡眠作息、睡前避免使用電子產品、激烈運動或攝取含咖啡因食品、含尼古丁成分的口香糖、抽菸及喝酒等。

2. 運輸安全相關學研單位

本計畫所蒐集彙整的疲勞監測科技產品，像是以生理特徵資訊做為疲勞判斷依據的「澳洲 SmartCap LifeBand」，若在不同人員(長途駕駛大客車駕駛人、多重時段計程車駕駛人、公共運輸交通工具駕駛人等各類人員) 進行偵測，是否會出現不一致的偵測結果，值得深入探討。此外，本計畫所蒐集彙整的疲勞監測科技產品，其成效、可靠性、穩定性、是否可以依據產品偵測的數據做為疲勞判斷準則等問題，建議由國內具備相關檢測能量之機構或實驗室進一步探討、驗證和釐清，以利主管機關做為後續推動及管理之參據。

3. 運輸業者

建議物流配送公司、遊覽車公司、客運公司等運輸業者可以透過：(1) 提供疲勞量測量表，鼓勵員工自我檢測疲勞程度；(2) 進一步評估及分析公司是否需要導入疲勞偵測科技產品，安裝車上疲勞偵測設備如：「澳洲 Seeing Machines Guardian」和「美國 Intelligent Automation Multi Modal Driver Distraction and Fatigue Detection」，或為每位執勤員工配置疲勞偵測相關穿戴裝置如：「澳洲 SmartCap LifeBand」和「加拿大 Fatigue Science Readiband」，以科技輔助進行疲勞管理，確保員工當天執勤適任性，並即時檢測員工於執勤期間的精神狀況，預防因疲勞駕駛導致生命和財產損失；(3) 進一步評估及分析公司是否需要以疲勞監測數據為輔，適當調整工作班表，避免員工因疲勞駕駛造成車禍而損及公司利益；(4) 導入該產品前，建

議業者應先了解相關隱私及數據保護相關法規。

4. 駕駛人員

建議各年齡層駕駛人員，尤其是實際從業職業駕駛人員如長途駕駛大客車駕駛人、多重時段計程車駕駛人、公共運輸交通工具駕駛人等疲勞駕駛高風險族群：(1) 可以善用本計畫所蒐集彙整的主觀型疲勞量測指標，像是艾普沃斯嗜睡量表，進行自我量測，檢視疲勞程度；(2) 以客觀型疲勞量測指標，藉由自有的智慧型手錶血氧飽和度數據，或自行下載 PVT 檢視疲勞程度；(3) 對於量測結果有疑慮、長期為疲勞倦怠所苦、疑似因睡眠問題導致白天嗜睡情形者，建議可以運用睡眠相關量表如：匹茲堡睡眠品質量表 (Pittsburgh Sleep Quality Index, PSQI)、失眠嚴重度量表 (Insomnia Severity Index ISI)、SF-36 健康量表 (Short Form 36, SF-36)^{61,62,63} 等量表更進一步評估睡眠，或諮詢相關專業人士或睡眠專科醫師，找出根本原因，及時接受治療，以預防疲勞駕駛相關交通意外事故 (PSQI/ISI/SF-36 問卷內容如附錄 6 至附錄 8)。

⁶¹ 匹茲堡睡眠品質量表 (Pittsburgh Sleep Quality Index, PSQI) 由 1989 年 Buysse 等人所發展。

⁶² 失眠嚴重度量表 (Insomnia Severity Index, ISI) 由加拿大拉瓦爾大學心理學教授 Charles M. Morin 博士所發展，用於評估失眠嚴重程度。

⁶³ SF-36 健康量表 (Short Form 36, SF-36)，又稱健康調查簡表，為 RAND Corporation 所發展。

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
- ANCAP. (2020). *ANCAP Submission to the Joint Select Committee on Road Safety*. <https://s3.amazonaws.com/cdn.ancap.com.au/app/public/assets/a485508f62fbe292ab44b8e7777dfa41480ed954/original.pdf?1580782499>
- 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>

Buysse, D.J., Reynolds, C.F., Monk, T.H., Berman, S.R. and Kupfer, D.J. (1989). The Pittsburgh Sleep Quality Index: A New Instrument for Psychiatric Practice and Research. *Psychiatry Research*, 28, 193-

213. [https://doi.org/10.1016/0165-1781\(89\)90047-4](https://doi.org/10.1016/0165-1781(89)90047-4)
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>
- Chang, H.-P., Chen, Y.-F., & Du, J.-K. (2020). Obstructive sleep apnea treatment in adults. *The Kaohsiung Journal of Medical Sciences, 36*(1), 7–12. <https://doi.org/10.1002/kjm2.12130>
- Chuang, L.-P., Hsu, S.-C., Lin, S.-W., Ko, W.-S., Chen, N.-H., & Tsai, Y.-H. (2008). Prevalence of snoring and witnessed apnea in Taiwanese adults. *Chang Gung Medical Journal, 31*(2), 175–181.
- 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/smrv.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., BaHammam, 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>
- Dement, W. C., & Vaughan, C. (1999). *The promise of sleep: A pioneer in*

sleep medicine explores the vital connection between health, happiness, and a good night's sleep (pp. xiii, 556). Dell Publishing Co.

- 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>
- GHSA. (2016, August 8). *New Report Spotlights Dangers of Drowsy Driving*. <https://www.ghsa.org/resources/new-report-spotlights-dangers-drowsy-driving>
- 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>
- Johnson, K. (1998). PUT DROWSY DRIVING TO REST. *Traffic Safety (Chicago)*, 98(3). <https://trid.trb.org/view/487013>
- 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>
- Kao, C.-C., Huang, C.-J., Wang, M.-Y., & Tsai, P.-S. (2008). Insomnia: Prevalence and Its Impact on Excessive Daytime Sleepiness and Psychological Well-Being in the Adult Taiwanese Population. *Quality of Life Research*, 17(8), 1073–1080.
- 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>
- Lavie, P. (1986). Ultrashort sleep-waking schedule. III. “Gates” and

- “forbidden zones” for sleep. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 63(5), 414–425. [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(86\)90123-9](https://doi.org/10.1016/0013-4694(86)90123-9)
- 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, Y., Yamamoto, T., & Zhang, G. (2018). The effect of fatigue driving on injury severity considering the endogeneity. *Journal of Safety Research*, 64, 11–19. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2017.12.007>
- 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., 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.
- 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.
- Ma, J., Gu, J., Jia, H., Yao, Z., & Chang, R. (2018). The Relationship Between Drivers' Cognitive Fatigue and Speed Variability During Monotonous Daytime Driving. *Frontiers in Psychology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00459>
- 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, M. 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>
- NHTSA. (2017). *Drowsy Driving | NHTSA*. <https://www.nhtsa.gov/risky-driving/drowsy-driving>
- 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>
- Owens, J., Dingus, T., Guo, F., Perez, M., McClafferty, J., & Tefft, B. (2018, January 1). *Estimating the prevalence and crash risk of drowsy driving using data from a large-scale naturalistic driving study*.
- 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/s1-2013-0078#>

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>
- 中華民國交通部. (2019, January 7). 車輛安全檢測基準. 交通法規網站. <http://motclaw.motc.gov.tw/>
- 中華民國交通部公路總局. (2021, March 19). 68 至 70 歲小型車職業駕駛人體格檢查表. https://www.thb.gov.tw/sites/ch/modules/download/download_list?node=e8887d4c-498d-42af-8c4c-91d1dcdcb5d8&c=e3d6401c-dc1e-46d8-9c06-fb96cfcb5097
- 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>
- 司法院. (2021, March 19). 汽車運輸業管理規則§19-7-全國法規資料庫. <https://law.moj.gov.tw/LawClass/LawSingle.aspx?pcode=K0040003&flno=19-7>
- 潘致弘 & 洪桂彬. (2021). 建置職場有害物即時監測評估計畫(IV)—以營建工程業為例. 勞動部勞動及職業安全衛生研究所.
- 許立佑 & 柯明寬. (2014, November 14). 駕駛行為及狀態監控系統. 中華民國第十九屆車輛工程學術研討會, 臺灣中壢. artc.org.tw/upfiles/ADUupload/knowledge/tw_knowledge_492882818.pdf
- 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

鄭乃云, 林威成, 陳淑瑾, & 陳俊豪. (2020). *智慧型生理疲勞偵測模組建置研究*. 勞動部勞動及職業安全衛生研究所.

(本頁空白)

附錄 1、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臺灣分會—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 2、成果報告審查意見處理情形表

參與審查人員 及其所提之意見	研究機構處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
<p>(一)台灣睡眠醫學學會陳澤宏醫師：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 第二章有關法規、睡眠與疲勞的主客觀量測方法整理完整，車用量測技術回顧不夠深入，這些系統的建置應有更多理論根據及論文。 2. 第三章結論部分，因回顧資料較少實用後的實證科學證據，以致所達成的結論，稍嫌薄弱。 3. 第三章建議部分 <ol style="list-style-type: none"> (1) 具體措施的可行性宜更仔細地探討，例如各方面的衝擊、執行的困難度及解決方向。 (2) 由於達到結論的推導邏輯性待加強，無法有合理聯結及理由，以致建議的部分證據力薄弱及缺乏具體可行性，宜多參考各方面的專家意見，例如科技、心理、精神及其他睡眠專家意見，以達更全面的成果。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝台灣睡眠醫學學會陳澤宏醫師的批評與指教。對於本案所蒐集彙整文獻不足之處，本團隊將進行內部檢討，日後加強研究成果之質量。 2. 同上 3. 對於第三章建議部分，對於未經深入探討、可行性評估而直接建議有關國內疲勞駕駛預防性措施、推行睡眠篩檢等建議，實為唐突。故已刪除疲勞駕駛預防性措施之建議，並大幅修改建議之處，詳 3.2 節。 	<p>同意</p>
<p>(二)勞動部勞動及職業安全衛生研究所潘致弘簡任研究員：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 建議於表目錄後增列縮寫對照表，以利閱讀。 2. P.24-26 有關疲勞量測指標，智慧型心率變異與壓力及憂鬱感測裝置為同時可量測心電圖(ECG)與腦波訊號(EEG)之穿戴式裝置，而且穿戴方便。所搭配之軟體可將量測到心電圖訊號進行心律變異度分析，提供時域及頻域的指標，並計算出 EEG 訊號中 α 波頻帶與 β 波頻帶之能量。結合心律變異度分析指標與 α 波頻帶能量，可以評估受測者當下身心的放鬆狀 	<p>感謝勞動部勞動及職業安全衛生研究所潘致弘博士提供如此寶貴的建議：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 本團隊已於表目錄後增列縮寫對照表 2. 已增列參考文獻：潘致弘、洪桂彬，建置職場有害物即時監測評估計畫(IV)—以營建工程業為例，勞動部勞動及職業安全衛生研究所 2021。 3. 感謝潘致弘研究員提供寶貴建議。本團隊已增列參考文獻：智慧型生理疲勞監測系統探討之參考文獻，鄭乃云、林威成，職場勞工健康管理服務平台建置研究，勞動部勞動及職 	<p>同意</p>

<p>態；而結合心律變異度分析指標與 β 波頻帶能量，則可做為評估警覺性的間接測量指標。當 β 波頻帶能量越強，代表警覺性越高。以上，建議增列參考文獻：潘致弘、洪桂彬，建置職場有害物即時監測評估計畫(IV)—以營建工程業為例，勞動部勞動及職業安全衛生研究所 2021。</p> <p>3. P.40-43 有關國內外現有疲勞偵測技術，在智慧型生理疲勞監測模組部分，主要功能包含臉部、眼睛、嘴部等特徵建立辨識模組，並建立演算法提供個人疲勞等級；駕駛作業勞工可同時配戴智慧型手環，或進一步提供健檢資料，生理資訊（影像、手環資料、健檢資料）更可以完整記錄。以上建議增列智慧型生理疲勞監測系統探討之參考文獻，鄭乃云、林威成，職場勞工健康管理服務平台建置研究，勞動部勞動及職業安全衛生研究所 2020。</p>	<p>業安全衛生研究所 2020</p>	
<p>(三)國立臺灣海洋大學運輸科學系吳繼虹副教授： 整體而言，本研究內容豐富，資料蒐集廣泛且完整，惟有部分補強建議如下：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 根據需求說明書，本研究宜進行綜合評析，並對國內相關設備之發展應用提出建議。惟綜合評析的內容似為「小結」，並未針對車上疲勞偵測設備及穿戴裝置的偵測技術、警示方式、疲勞衡量參數、準確度、應用範疇/限制提出評析，建議宜補充。 2. 目前蒐集資料的內容較偏向於設備與技術的發展，是否有設備使用成效評估的相關研究文獻？若要達到本研究「提供駕照管理單位及公私營運機構進 	<p>感謝國立臺灣海洋大學運輸科學系吳繼虹副教授提供如此寶貴的建議：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝指正，本團隊已補充評析內容，增列優缺點評比表。 2. 感謝指正。此建議甚好，但因時間和人力限制無法蒐集到產品相關成效評估之研究文獻，故納入第三章建議，做為未來可以進一步探討的方向 3. 交通部規定，國內 68 至 70 歲小型車職業駕駛人體檢項目包含艾普沃斯嗜睡量表和匹茲堡睡眠品質量表；可見，報告中所列的嗜睡量表和睡眠品質量表是可應用在運輸業的駕駛安全管理實務作業。而失眠可能導致駕駛人員睡眠不足而影響白天的精神狀況、駕駛中疲 	<p>同意</p>

<p>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」之目的，建議宜補充並說明。</p> <p>3. 本研究蒐集內容相當豐富，包括有許多不同版本的嗜睡量表、睡眠品質量表與失眠嚴重度量表，這些量表是否僅應用在臨床研究或是可應用在運輸業的駕駛安全管理實務作業上？國內外是否有實際應用的案例或研究，建議補充說明。</p> <p>4. 部分內文圖表編排順序宜重新調整，如圖 6 與圖 4、5 順序；內文有許多錯漏字，建議宜檢視報告內容並妥善修改，以確保本研究報告的易讀性與完整性。</p>	<p>勞，故納入報告中，供相關單位參考。</p> <p>4. 已重新調整圖表編排順序；已檢視並修正報告中錯漏字。</p>	
<p>(四)交通部路政司：</p> <p>1. 本案文獻回顧之各國避免疲勞駕駛的法規，多以限制駕駛時數為主；我國相關法令(道路交通管理處罰條例第 34 條、汽車運輸業管理規則第 19-2 條)對於駕駛行車時間，亦已有制定相關規定。本研究案除敘明前揭駕駛時間之限制外，建議能觀察各國對於高風險族群疲勞駕駛管理政策，具體提出流程之相關部會分工、各國細部法令管制方法、進行流程所需時間、費用分攤、企業及駕駛各自身應負之法律責任。</p> <p>2. 目前陸運於道路交通安全規則第 64 條之 1 規定，對於年滿 60 歲職業駕駛人有以嗜睡指數做為評估標準，逾 68 歲之小型車職業駕駛人及汽車運輸業所屬逾 65 歲大型車職業駕駛人有使用睡眠品質(PSQI)問卷，目前使用尚無不良反應。本案研究團隊提出許多疲勞量表、睡眠量表、疲勞檢查，立意良善，惟在政府及企業預算及相關資</p>	<p>1. 感謝指正，本案乃著重於相關科技資料蒐集彙整，未分析其他國家推出預防疲勞駕駛政策之細節，並評估國內技術面、產業面、管理面及法規面等適用性，直接提出有關國內疲勞駕駛預防性措施、推行睡眠篩檢等建議，實為唐突。故已刪除疲勞駕駛預防性措施之建議，並大幅修改建議之處，詳 3.2 節。</p> <p>2. 已補充本計畫蒐集之嗜睡量表優缺點評比如表 9。</p> <p>3. 同第 1 點。</p> <p>4. 感謝交通部路政司用心推動車輛安全相關政策、致力與國際接軌。</p> <p>5. 敬悉。</p>	<p>同意</p>

<p>源限制下，建議將前揭量表做排序建議，並提供相關優缺點、檢測能量、檢測費用及檢測時間分析，以利政策決定與評估。</p> <p>3. 依據本案國外管理疲勞駕駛案例，建議了解國內技術面、產業面、管理面及法規面是否適用。</p> <p>4. 車輛安全與科技，本部當持續關注國際趨勢，並持續接軌國際，調和國際相關車輛安全及智慧科技法規檢討導入國內實施，提升車輛安全及增加智慧化、科技化。</p> <p>5. 有關疲勞駕駛與運輸安全修、立法可行性，俟運研所透過 AI 大數據分析加速將駕駛疲勞數據量化，並國內發展睡眠相關檢測設備及檢測能量後，逐步檢討不同的族群之需求、不同的交通工具運輸安全與駕駛人之間權利義務、法律苛責比例衡平性，可以再作盤點檢討，做為未來修正檢討修運輸安全法令之依據。</p>		
<p>(五) 交通部公路總局：</p> <p>1. P.61 第 1 行「公路總局指出，疲勞駕駛一直是交通事故之主要肇事原因之一。」經查這一段之資料似取自公路總局高雄區監理所之交通安全宣導資料之籠統說法，若做為報告書使用應求嚴謹，不宜採用該宣導說法，建請應有數據統計資料為據。若無統計資料，建請刪除「公路總局」字眼，以免造成機關單位不必要之困擾。</p> <p>2. P.67 第 2 段「駕駛時間長的職業駕駛人員和領有大型貨車客車駕照之輪班工作者，執業/考照/換照時外檢附睡眠健康檢查篩檢結果等法規」一節，意見如下：</p>	<p>1. 本團隊對於報告中的籠統說法引起貴局之不便深表歉意。已刪除原 P.61 第 1 行「公路總局指出，疲勞駕駛一直是交通事故之主要肇事原因之一。」之單位名稱。</p> <p>2. 貴局建議甚好，原報告的建議確實應從實際從業駕駛人做起。唯本案乃著重於相關科技資料蒐集彙整，未經掌握實務問題並進行必要性及可行性分析而直接提出有關國內疲勞駕駛預防性措施、推行睡眠篩檢等建議，實為唐突。故已刪除疲勞駕駛預防性措施之提議，並大幅修改建議之處，詳 3.2 節。</p>	<p>同意</p>

<p>(1) 職業駕照考照/換照所訂規定規範領有駕照之駕駛人，非僅限此段所述駕駛時間長的職業駕駛人員和領有大型貨車客車駕照之輪班工作者，如須作區隔應從實際從業之駕駛人做起。</p> <p>(2) 由於考領職業駕照不等同從業，又體檢結果為體檢當時之狀況，而疲勞駕駛與駕駛時間(工時)相關，為防止駕駛人疲勞駕駛影響行車安全，汽車運輸業管理規則已苛以業者對所屬駕駛人之工時及每日出車前酒測、量體溫等動態管理責任，倘納入睡眠健康檢查篩檢結果尚須考量成本、可行性及必要性之實務面。</p> <p>3. 有關車輛安全輔助系統已導入國內車輛法規，建議適當補充：</p> <p>(1) 車道偏離輔助警示系統：</p> <p>① 我國車輛安全檢測基準七十、車道偏離輔助警示系統(Lane Departure Warning System，簡稱LDWS)：指車輛非依駕駛意圖而偏離原行駛車道時，提供警示駕駛之系統。</p> <p>② 中華民國 108 年 1 月 1 日起，新型式之 M2、M3、N2、N3 類車輛及中華民國 111 年 1 月 1 日起，各型式之 M2、M3、N2、N3 類車輛應配備符合本項規定之車道偏離輔助警示系統。</p> <p>(2) 緊急煞車輔助系統：</p> <p>① 我國車輛安全檢測基準七十二、緊急煞車輔助系統(Advanced Emergency Braking System，AEBS)：係指一系統能自動偵測前</p>	<p>3. 感謝指正，本團隊已將車道偏離輔助警示系統、緊急煞車輔助系統相關法規資訊，納入報告中。</p> <p>4. 感謝指正，本案乃著重於相關科技資料蒐集彙整，未經掌握實務問題並進行必要性及可行性分析而直接提出有關國內疲勞駕駛預防性措施、推行睡眠篩檢等建議，實為唐突。故已刪除疲勞駕駛預防性措施之提議，並大幅修改建議之處，詳 3.2 節。</p>	
--	--	--

方潛在的碰撞風險並藉由煞車系統作動以避免或減緩車輛因碰撞所造成之損害。

② 中華民國 108 年 1 月 1 日起，新型式之甲類大客車及 N3 類車輛及中華民國 111 年 1 月 1 日起，各型式之甲類大客車及 N3 類車輛應配備符合本項規定之緊急煞車輔助系統。

③ 中華民國 110 年 1 月 1 日起，新型式之乙類大客車及 N2 類車輛及中華民國 112 年 1 月 1 日起，各型式之乙類大客車及 N2 類車輛應配備符合本項規定之緊急煞車輔助系統。

4. 綜合意見

(1) 查 109 年 8 月 28 日睡眠健康與運輸安全相關議題座談會議紀錄，本局人員會中已就駕駛人體格體能資格管理及汽車運輸業從業管理部分作說明，惟報告書並未就現行管理制度作說明，相對有與現實脫離之感。

(2) 報告中未提供國內有睡眠障礙應接受檢查之人數及比例，又易有此困擾之年齡層等，應有流行病學之統計資料等，以引申至職業駕駛人執業/考照/換照時外檢附睡眠健康檢查篩檢結果等，應有此方面檢測及檢測強度的說明，以提高說服。

(3) 交通管理政策向來須考量合理性、必要性及可行性。任何涉及民眾權益之政策，必受相對利益關係人或團體用放大鏡檢視及質疑，爰請研究團隊加強必要性及可行性方面之論述，方有形成政策之可能。

<p>(六) 財團法人車輛研究測試中心：</p> <p>1. P.6 有關研究範圍：</p> <p>(1) 未將臺灣地區職業駕駛人細分為具體類型研究對象，例如長途駕駛大客車駕駛人、多重時段計程車駕駛人、公共運輸交通工具駕駛人等。</p> <p>(2) 可針對不同研究對象以不同的測試以及相對應分析工具與實驗解析面向。</p> <p>2. P.9 有關疲勞駕駛定義：</p> <p>(1) 如果國內外文獻沒有廣為接受的定義，後面各單位的疲勞指標判斷準則或依據為何？</p> <p>(2) 若是由各單位自行認定，是否能依相關科學或實驗數據定義出疲勞判斷準則？</p> <p>3. P.11 疲勞駕駛中的各國相關法規，除了現存的條款外，對於目前 Euro-NCAP 與 Japan-NCAP 持續推動的安全評估項目中駕駛人疲勞檢測相關議題亦可加入彙整。</p> <p>4. P.25 對於腦電圖中的各式腦波分類需嚴謹說明，因為有些波形資訊存在相依性，是否合宜做為個別獨立檢測疲勞駕駛情形的資訊指標判斷，需再確認。</p> <p>5. P.63 透過腦電圖資訊進行駕駛人疲勞解析之統計分析工具，可列舉出明確且可行的分析方法，例如：數據相關性分析，數據離散度分析等。</p>	<p>感謝財團法人車輛研究測試中心提供如此寶貴的建議：</p> <p>1. 對於貴中心細分研究對象、針對不同研究對象以不同的測試以及相對應分析工具與實驗解析面向之建議，已納入第三章之建議，作為未來相關研究方向之參考。</p> <p>2. 本團隊說明如下：</p> <p>(1) 國內外文獻沒有廣為接受的定義所指的是疲勞，而非疲勞駕駛。本團隊已修正報告中疲勞駕駛的定義。</p> <p>(2) 對於後面各單位的疲勞指標判斷準則或依據，值得深入討論。故以納入第三章之建議。</p> <p>3. 本計畫團隊已將 NCAP 相關資訊加入報告中。</p> <p>4. 感謝指正，本團隊已根據建議，修改報告內容。</p> <p>5. 本團隊已根據建議，增列數據相關性分析、數據離散度分析等方法。</p>	<p>同意</p>
<p>(七) 財團法人車輛安全審驗中心：</p> <p>1. P.42 報告中提及有關駕駛疲勞偵測相關外部裝置，其部分偵測裝置藉由生理特徵資訊作為疲勞駕駛依據，惟此部分係透過生理特徵資訊作為疲勞判斷依據，故建議研究團隊可進一步深入探討，若在不同人員身上是否會出現不一致的偵測結</p>	<p>感謝財團法人車輛安全審驗中心提供如此寶貴的建議：</p> <p>1. 比較在不同人員偵測結果之建議甚好，唯相關產品如「澳洲 SmartCap LifeBand」的實務案例資料取自該公司官方網站發布的新聞稿。新聞稿中僅透露與其他公司合作消息，並無釋出產品使用前後之數據或研究</p>	<p>同意</p>

<p>果情形。</p> <p>2. P.69 針對表 9 疲勞駕駛預防措施，強制舊有職業用車輛加裝疲勞偵測設備部分，考量國際間對於使用中車輛並無相關強制性要求，建議研究團隊後續可透過相關計畫與運輸業者合作進行試驗，進一步掌握實務問題與成效/可行性分析，以供主管機關未來推動相關政策之參考。</p> <p>3. 針對歐盟未來欲實施的駕駛者疲勞和注意力偵測警示系統，因隱私及數據保護要求，於法規中要求該偵測設備不可使用任何車輛駕駛人的生理特徵資訊(包括臉部識別)，故建議研究團隊可納入考量，如國內亦有相關隱私要求時，研提相關疲勞駕駛指標供主管機關作為安全管理之參考。</p> <p>4. 有關建議主管機關強制安裝疲勞偵測設備或疲勞預警系統部分，查報告中並未提及國內是否具有執行該等設備之檢測能量情形，故建議研究團隊可協助蒐集彙整國內具備該檢測能量之機構或實驗室，以提供主管機關作為後續推動及管理之參考。</p>	<p>報告，因此無法得知在不同人員身上是否會出現不一致的偵測結果。</p> <p>2. 感謝指正，本案乃著重於相關科技資料蒐集彙整，未經掌握實務問題並進行成效/可行性分析而直接提出有關國內疲勞駕駛預防性措施之建議實為唐突。故已刪除疲勞駕駛預防性措施之提議，並大幅修改建議之處，詳 3.2 節。</p> <p>3. 貴中心之考量十分周全。本計畫團隊已將隱私相關建議，納入第三章之建議。</p> <p>4. 本案乃著重於疲勞駕駛相關科技資料蒐集彙整，蒐集彙整國內具備該檢測能量之機構或實驗室不屬研究範圍之內。</p>	
<p>(八) 本所運輸計畫組：</p> <p>1. 1.3 研究範圍與對象：研究對象請確認是否如報告書所述為「臺灣地區職業駕駛人」？本計畫文獻回顧含括國內外文獻，應不僅有臺灣地區，且本案需求說明書並未侷限研究對象為「職業」駕駛人。</p> <p>2. P.9~10 第 1 點將疲勞駕駛定義為在缺乏充足睡眠情況下駕駛，但第 3 點又說明可能有其他原因（生理時鐘、酒精、藥物）？請確認其定義是否須修正。</p>	<p>1. 感謝指正，經回顧本案需求說明書，進行確認後，已修改報告中研究對象臺灣地區職業駕駛人為駕駛人。</p> <p>2. 已修正疲勞駕駛之定義，並註明疲勞駕駛定義之出處。另外，也補充生理時鐘、酒精、藥物對疲勞駕駛相關描述。</p> <p>3. 已將我國汽車運輸業管理規則第 19-2 條補充納入。</p> <p>4. 已將職業駕駛人修正為駕駛人，並補充國內一般成人罹患睡眠障礙之比例。</p>	<p>同意</p>

<p>3. P.14 建議補充我國「汽車運輸業管理規則」第 19-2 條有關營業大客車業者調派駕駛人勤務時間之規定。</p> <p>4. P.18 (首段)「本節呈現...，以及職業駕駛人罹患睡眠障礙...」，建議無須侷限於職業駕駛人，另建議補充國內一般駕駛人（或一般民眾）罹患睡眠障礙之比例，是否與職業駕駛人有顯著差異。</p> <p>5. P.38~39 有關(12)小結「至於...OSLER 和瞳孔測量法，須由專業醫療人員進行檢測及判讀，...，實務應用上較為不便」與「本研究藉由 OSLER 適用於大規模應用...認為這三項疲勞量測指標較有潛力且實用」，前後論述略有矛盾，請釐清 OSLER 是否具實務應用價值。</p> <p>6. 表 7 當中有數種穿戴裝置為「實務案例：暫無」，請釐清其係儀器設備尚未上市，或已上市而無應用案例。</p>	<p>5. 感謝指正。本團隊已釐清 OSLER 之實用性，並修改內容</p> <p>6. 已釐清表 7 沒有實務案例之產品，已上市但無應用案例，並修正「暫無」為「已上市但無應用案例」。</p>	
<p>(九) 本所運輸工程組：</p> <p>1. 需求說明書有提到計畫蒐集並整理國內外車上疲勞偵測設備及穿戴裝置相關資料，包括：品項、型號、規格、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、單價，以及實務應用案例等。報告書中國外案例中有部分項目缺漏如單價等，建議是否補充。此外國內是否有類似相關設備，建議一併補充。</p> <p>2. 報告中雖蒐集到 17 項車上疲勞偵測相關產品，然在評估上似乎未見到評估準則或指標，請再補充說明最後建議結果之評定標準為何。</p>	<p>1. 已補充表 7 產品之價格。國內類似設備已增列勞安所智慧型生理疲勞偵測系統。</p> <p>2. 感謝指正，本團隊已補充說明最後建議結果之評定標準。</p>	<p>同意</p>
<p>(十) 本所運輸經營管理組：</p>		

<ol style="list-style-type: none"> 1. 報告書 p.11 頁探討各國疲勞駕駛相關法規，我國汽車運輸業管理規則第 19-2 條及第 19-7 條亦有針對國內運輸業者駕駛時間部分進行規範，以避免超工時、疲勞駕駛等問題，建議可將上述法規納入。 2. 報告書 p.63 頁疲勞量測指標綜合評析，僅針對主觀型及客觀型疲勞量測指標進行篩選評析，建議針對車上量測指標部分補充說明。 3. 報告書 p.65、p.68 頁提及穿戴裝置產品部分，建議可一同列出產地、公司與產品名稱，俾利對照報告書所述之產品功能，如「澳洲 Smartcap」可修正為「澳洲 Smartcap LifeBand」。 4. 報告書內文請研究團隊再次檢核是否有前後說明不一致之情形，如報告書 p.11 頁以「四個類型分別歸納各國法規」、p.64 頁「五項為疲勞偵測車上設備」等。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本團隊已納入我國汽車運輸業管理規則第 19-2 條及第 19-7 條 2. 本團隊已針對針對車上量測指標部分補充說明如表 11。 3. 本團隊已根據建議進行修正，一同列出產地、公司與產品名稱如表 12。 4. 感謝指正，本團隊已針對報告書檢核是否有前後說明不一致之情形，並進行修正。 	<p>同意</p>
<p>(十一) 本所運輸資訊組： 部分表格內數字呈現建議統一，如表 2 及表 4 有阿拉伯及中文呈現數字。</p>	<p>已修正並統一以阿拉伯數字呈現</p>	<p>同意</p>
<p>(十二) 本所綜合技術組：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 本案於經費及時間有限條件下，所彙整國際疲勞駕駛監測科技相關資料已屬紮實，具一定參考價值。 2. 第二章建議可蒐集下述文獻，以強化本案研究目的（盤點國內外現有的睡眠與疲勞量測/偵測工具）之重要性：「當駕駛者疲勞入睡後，如果在短時間內醒來，通常會否認他們睡著了。換言之，若駕駛者能夠回憶起事故發生之成因係因其行車時打瞌睡，並將為此承擔保險問題以及後續法律責任，多 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝意見。 2. 感謝建議。此議題值得討論，唯本案著重於疲勞監測科技產品之蒐集彙整，所提建議牽涉主觀感覺、道德人品、個人利益等議題，與科技較不相關。 3. 本團隊已補充無聊相關文獻內容、成因和普遍因應作法。 4. 本案有蒐集其他國家駕駛工時管理制度及罰則，見成果報告表 1。本案屬疲勞檢測相關科技資料蒐集彙整之計畫，對於連續駕車超過 8 小時始視為疲勞駕駛，並處 1200 元至 2400 元 	<p>同意</p>

<p>數駕駛者並不願意承認肇事前本身為疲勞駕駛。」</p> <p>3. 本研究文獻回顧內容充實，已蒐集身體疲勞、精神疲勞、睡眠障礙等文獻，惟「無聊」似為疲勞的特殊型態（過程），建議可蒐研其成因及普遍因應作法，或許對本研究成果有助益。</p> <p>4. 我國法令針對駕駛時數係規定連續駕車超過 8 小時始視為疲勞駕駛，並處 1200 元至 2400 元罰鍰，該定義及罰則是否允當亦應受到重視，故建議可蒐集各國駕駛工時管理制度及罰則。</p> <p>5. 第三章結論與建議部分，本研究有協助選定相關潛力疲勞偵測產品，惟似未見準確率數據或比較表，建請補充說明。</p>	<p>罰鍰，該定義及罰則是否允當，非本計畫探討課題。</p> <p>5. 本團隊已於表 7 補充準確度相關數據，且於第三章結論處新增比較表。</p>	
<p>(十三) 本所運輸安全組：</p> <p>1. 本計畫案主要工作項目包括： (1)睡眠/疲勞檢測指標相關資料蒐集彙整與評析，(2)車上疲勞偵測設備及穿戴裝置相關資料蒐集彙整與評析，均能符合契約要求。</p> <p>2. 本計畫著重於相關科技資料蒐集彙整，最後直接提出有關國內疲勞駕駛預防性措施之建議，欠缺國內實務推動的可行性評估，建議調整為後續可進一步探討的課題或方向。</p> <p>3. 其他疑義、誤植或需補充部分，請檢視修正： (1) 第 1.1 節計畫緣起第 1 段，請摘要說明公聽會討論課題及重要結論，進而連接到本計畫的產生。第 2 段與第 1.2 節重覆性高，建議刪除。 (2) P.5 將疲勞駕駛定義為「在缺乏充足睡眠情況下駕駛」太過狹隘，其文獻出處為何？</p>	<p>1. 敬悉。</p> <p>2. 感謝指正，本案乃著重於相關科技資料蒐集彙整，最後直接提出有關國內疲勞駕駛預防性措施之建議實為唐突，且欠缺國內實務推動的可行性評估。故已刪除疲勞駕駛預防性措施之提議，並大幅修改建議之處，見修正報告第 3.2 節。</p> <p>3. 本團隊已依據建議，檢視報告內容，並且進行修正： (1) 已加入摘要說明公聽會討論課題及重要結論，並刪除第 1.1 節計畫緣起第二段 (2) 已修正疲勞駕駛之定義，並註明疲勞駕駛定義之出處 (3) 已將 2007 年 NHTSA 對於每年疲勞駕駛傷亡人數及財損估計，更新至 2016 和 2017 年的統計資料 (4) 已納入國內 68 歲至 70 歲小型車職業駕駛人為 ESS</p>	<p>同意</p>

<p>(3) P.5 引用 2007 年 NHTSA 對於每年疲勞駕駛傷亡人數及財損估計，資料太過老舊，建請更新到較新年期的統計資料。</p> <p>(4) P.23 表 4 有關 ESS 的實務案例，國內職業駕駛體檢有此項目，請納入。</p> <p>(5) P.24 請補充介紹國際 10-20 系統內涵。</p> <p>(6) P.26 第 3 段最後一句「僅有兩項產品利用 EEG 進行疲勞駕駛量測」，是否指表 7 本計畫蒐集到的相關設備，請釐清。</p> <p>(7) P.42 第 2 段提及「第肆章第二節」是否誤植，請修正。</p>	<p>實務案例</p> <p>(5) 已補充介紹國際 10-20 系統內涵</p> <p>(6) 原 P. 26 第 3 段最後一句「僅有兩項產品利用 EEG 進行疲勞駕駛量測」所指的確實是表 7 的設備。已修正為僅有兩項產品利用 EEG 進行疲勞駕駛量測，即表 7 所列的「澳洲 SmartCap LifeBand」及「澳洲 Emotiv Systems EPOC X」。</p> <p>(7) 原 P.42 第 2 段提及「第肆章第二節」為誤植，已刪除「第肆章第二節」。</p>	
--	---	--

附錄 3、史丹佛嗜睡量表

請從以下 7 項描述中，選取最貼近自身精神狀況的 1 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，能集中註意力 (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 4、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 1 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 10 項為改良版新增描述。

附錄 5、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

附錄 6、匹茲堡睡眠品質量表

請你就過去 1 個月來的日常 (大多數) 的睡眠習慣回答下列問題：

1. 過去 1 個月來，你通常何時上床? _____ 時 _____ 分
2. 過去 1 個月來，你通常多久才能入睡? _____ 分鐘
3. 過去 1 個月來，你早上通常何時起床? _____ 時 _____ 分
4. 過去 1 個月來，你實際每晚可以入睡幾小時? _____ 時 _____ 分

以下問題選擇一個適當的答案打勾，請全部作答？

5. 過去 1 個月來，你的睡眠出現下列困擾情形，每星期約有幾次？

	從未發生	不到 1 次	約 1、2 次	3 次(含)以上
(1) 無法在 30 分鐘內入睡	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
(2) 半夜或凌晨便清醒	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
(3) 必須起來上廁所	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
(4) 覺得呼吸不順暢	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
(5) 大聲打鼾或咳嗽	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
(6) 會覺得冷	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
(7) 覺得躁熱	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
(8) 作惡夢	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
(9) 身上有疼痛	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
(10) 其他，請說明： _____				

6. 過去 1 個月來，整體而言，你覺得自己的睡眠品質如何？

很好
 還不錯
 差了點
 很差

7. 過去 1 個月來，你通常一星期幾個晚上需要使用藥物幫忙睡眠？

未發生
 不到 1 次
 1、2 次
 3 次或 3 次以上

8.過去一個月來，你是否曾在用餐、開車或社交場合瞌睡而無法保持清醒，每星期約幾次？

未發生 不到1次 1、2次 3次或3次以上

9.過去一個月來，你會感到無心完成該做的事。

沒有 有一點 的確有 很嚴重

10.你有睡伴和室友嗎？

沒有睡伴或室友 睡伴或室友不同臥房
睡伴同室友不同床 睡伴或室友同床

假如有睡伴或室友，請你問他並繼續作答；過去1個月來，下列情形每星期約出現幾次？

	從未發生	不到1次	約1、2次	3次(含)以上
(1) 大聲打鼾	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
(2) 入睡中出現一陣子停止呼吸現象	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
(3) 睡中出現腳(包括腿部)抽動或顫動現象	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
(4) 夜間起來出現意識混亂或人時地分不清楚現象	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
(5) 其他入睡中的躁動與不安情形	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

請說明：_____

附錄 7、失眠嚴重度量表

請勾選最符合自身狀態的描述：

1. 評估近 2 周內失眠問題的嚴重程度	無	輕度	中度	重度	非常嚴重
入眠困難	<input type="checkbox"/>				
無法維持較長的睡眠	<input type="checkbox"/>				
太早醒	<input type="checkbox"/>				
2. 您滿意自己最近的睡眠狀態嗎?	非常滿意	滿意	中等	不滿意	非常不滿意
	<input type="checkbox"/>				
3. 睡眠問題是否有干擾到您的日常生活功能? (如：工作表現/日常瑣事、專注力、記憶力、情緒等)	完全無干擾	一點	稍微	很多	非常多
	<input type="checkbox"/>				
4. 他人是否有注意到您的生活品質因睡眠問題受到影響?	完全沒注意	一點	稍微	很多	非常注意
	<input type="checkbox"/>				
5. 最近的睡眠問題是否令您擔心/困擾?	完全不擔心	一點	稍微	很多	非常擔心
	<input type="checkbox"/>				
6. 您失眠至今多久了?	沒有失眠	小於 1 個月		大於 1 個月	
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		

附錄 8、SF-36 健康量表

以下問題是詢問您對自己健康狀況的看法，您自己覺得做日常活動的能力怎麼樣。請您儘量給出最好的答案，並在本問卷最後的空白處寫上您的注釋與評論。

1. 總體來講，您的健康狀況是：

- ①非常好
- ②很好
- ③好
- ④一般
- ⑤差

2. 跟 1 年以前比您覺得自己的健康狀況是：

- ①比 1 年前好多了
- ②比 1 年前好一些
- ③跟 1 年前差不多
- ④比 1 年前差一些
- ⑤比 1 年前差多了

以下這些問題都和日常活動有關。請您想一想，您的健康狀況是否限制了這些活動？如果有限制，程度如何？

3. 重體力活動：如跑步舉重、參加劇烈運動等：

- ①限制很大
- ②有些限制
- ③毫無限制

4. 適度的活動：如移動一張桌子、掃地、打太極拳、做簡單體操等

- ①限制很大
- ②有些限制
- ③毫無限制

5. 手提日用品：如買菜、購物等

- ①限制很大

②有些限制

③毫無限制

6. 上幾層樓梯：

①限制很大

②有些限制

③毫無限制

7. 上一層樓梯：

①限制很大

②有些限制

③毫無限制

8. 彎腰、屈膝、下蹲：

①限制很大

②有些限制

③毫無限制

9. 步行 1600 米以上的路程：

①限制很大

②有些限制

③毫無限制

10. 步行 800 米的路程：

①限制很大

②有些限制

③毫無限制

11. 步行 100 米的路程：

①限制很大

②有些限制

③毫無限制

12. 自己洗澡、穿衣：

①限制很大

②有些限制

③毫無限制

在過去 4 個星期裡，您的工作和日常活動有無因為身體健康的原因而出現以下這些問題？

13. 減少了工作或其他活動時間：

①是

②不是

14. 本來想要做的事情只能完成一部分：

①是

②不是

15. 想要做的工作或活動種類受到限制：

①是

②不是

16. 完成工作或其他活動困難增多 (比如需要額外的努力)：

①是

②不是

在過去 4 個星期裡，您的工作和日常活動有無因為情緒的原因 (如壓抑或憂慮) 而出現以下這些問題？

17. 減少了工作或活動時間：

①是

②不是

18. 本來想要做的事情只能完成一部分：

①是

②不是

19. 做事情不如平時仔細：

①是

②不是

20. 在過去 4 個星期裡，您的健康或情緒不好在多大程度上影響了您與家人、朋友、鄰居或集體的正常社會交往？

- ①完全沒有影響
- ②有一點影響
- ③中等影響
- ④影響很大
- ⑤影響非常大

21. 在過去 4 個星期裡，您有身體疼痛嗎？

- ①完全沒有疼痛
- ②有一點疼痛
- ③中等疼痛
- ④嚴重疼痛
- ⑤很嚴重疼痛

22. 在過去 4 個星期裡，您的身體疼痛影響了您的工作和家務嗎？

- ①完全沒有影響
- ②有一點影響
- ③中等影響
- ④影響很大
- ⑤影響非常大

以下這些問題是關於過去 1 個月裡您自己的感覺，對每一條問題所說的事情，您的情況是什麼樣的？

23. 您覺得生活充實：

- ①所有的時間
- ②大部分時間
- ③比較多時間
- ④一部分時間
- ⑤小部分時間
- ⑥沒有這種感覺

24. 您是一個敏感的人：

- ①所有的時間
- ②大部分時間
- ③比較多時間
- ④一部分時間
- ⑤小部分時間
- ⑥沒有這種感覺

25. 您的情緒非常不好，什麼事都不能使您高興起來：

- ①所有的時間
- ②大部分時間
- ③比較多時間
- ④一部分時間
- ⑤小部分時間
- ⑥沒有這種感覺

26. 您的心理很平靜：

- ①所有的時間
- ②大部分時間
- ③比較多時間
- ④一部分時間
- ⑤小部分時間
- ⑥沒有這種感覺

27. 您做事精力充沛：

- ①所有的時間
- ②大部分時間
- ③比較多時間
- ④一部分時間
- ⑤小部分時間
- ⑥沒有這種感覺

28. 您的情緒低落：

- ①所有的時間
- ②大部分時間
- ③比較多時間

- ④一部分時間
- ⑤小部分時間
- ⑥沒有這種感覺

29. 您覺得筋疲力盡：

- ①所有的時間
- ②大部分時間
- ③比較多時間
- ④一部分時間
- ⑤小部分時間
- ⑥沒有這種感覺

30. 您是個快樂的人：

- ①所有的時間
- ②大部分時間
- ③比較多時間
- ④一部分時間
- ⑤小部分時間
- ⑥沒有這種感覺

31. 您感覺厭煩：

- ①所有的時間
- ②大部分時間
- ③比較多時間
- ④一部分時間
- ⑤小部分時間
- ⑥沒有這種感覺

32. 不健康影響了您的社會活動(如走親訪友)：

- ①所有的時間
- ②大部分時間
- ③比較多時間
- ④一部分時間
- ⑤小部分時間
- ⑥沒有這種感覺

請看下列每一條問題，哪一種答案最符合您的情況？

33. 我好像比別人容易生病：

- ① 絕對正確
- ② 大部分正確
- ③ 不能肯定
- ④ 大部分錯誤
- ⑤ 絕對錯誤

34. 我跟周圍人一樣健康：

- ① 絕對正確
- ② 大部分正確
- ③ 不能肯定
- ④ 大部分錯誤
- ⑤ 絕對錯誤

35. 我認為我的健康狀況在變壞：

- ① 絕對正確
- ② 大部分正確
- ③ 不能肯定
- ④ 大部分錯誤
- ⑤ 絕對錯誤

36. 我的健康狀況非常好：

- ① 絕對正確
- ② 大部分正確
- ③ 不能肯定
- ④ 大部分錯誤
- ⑤ 絕對錯誤

問卷出處：

Steward, A., Ware, J. (1992). Measuring Functioning and Well-Being: The Medical Outcomes Study Approach. Durham, NC: Duke University Press.

Gandek, B., Ware, Jr. J. E. (1998). Methods for Validating and Norming Translations of Health Status Questionnaires: The IQOLA Project Approach. J Clin Epidemiol, 51.

ISBN 978-986-531-400-2

00250



9 789865 314002

GPN : 1011100634

定價 250 元