

國立臺灣師範大學運動與休閒學院
樂活產業高階經理人企業管理碩士在職專班

碩士論文

Executive Master of Business Administration Program in
Lifestyles of Health and Sustainability
College of Sports and Recreation
National Taiwan Normal University
Master's Thesis

運動輔助判決技術的發展歷程—以球類運動為例

The Development History of Sports Assistance Technology :
Using Ball Sports as an Example



麥沛賢

Pei-Hsien Mai

指導教授：林玫君 博士

Advisor: Mei-Chun Lin, Ph.D.

中華民國 114 年 7 月

July 2025

謝誌

本論文得以順利完成，對我而言是一段充滿挑戰與成長的歷程。從一開始研究主題的選擇就碰到難題，到後來確定選擇這個題目之後，從資料的蒐集到逐字稿的撰寫與系統性的分析，每一個步驟都讓我深刻體會到，學術研究並非單純的知識堆砌，而且非常需要耐心與毅力才能完成。在此我要衷心感謝我的指導教授林玫君老師，老師在整個研究過程中給我極大的包容與自由，讓我能勇於嘗試與探索。還記得在我選擇第一個題目時，老師始終鼓勵我勇敢去做，並提醒我保持學術的好奇心與開放性。雖然後來因多方面的考量而更換成現在的題目，老師仍持續耐心地提供明確的建議與方向，協助我釐清問題核心並找到解決方案。老師嚴謹的學術態度與細膩的指導，不僅幫助我完成論文，也讓我在學術道路上獲益匪淺。

同時，我也要誠摯感謝口試委員辛華昀副教授與林國欽教授。感謝兩位委員不辭辛勞，兩度從外地專程前來參與口試並提出寶貴意見。您們專業而中肯的指導，讓我得以看見研究中尚待補強之處，也讓這份論文更加完整與嚴謹。這些意見不僅僅是對這篇論文的修正，更將成為我未來持續學習與研究的重要養分。

最後要感謝所有在這段時間幫忙的學長姐們，正是因為您們的支持與協助，我才能專心完成這項論文。回首這段心路歷程，從一開始的不確定與焦慮，到逐漸找到方向、突破困難並完成研究，每一步都充滿挑戰，也讓我學會了如何面對壓力、調整心態並堅持到底。在這段旅程中，我真正學習到的不僅是知識與研究方法，更重要的是成長與韌性。謹以此謝誌，向所有曾經給予幫助與支持的人致上最深的感謝與敬意。

麥沛賢 謹誌 2025 年 9 月 15 日

運動輔助判決技術的發展歷程—以球類運動為例

2025 年 7 月

研究生：麥沛賢

指導教授：林政君

摘要

在運動競技的舞台上，隨著全球化與商業化的發展，選手與觀眾對比賽公正性的需求日益提升。隨著科技不斷的進步，各類運動輔助判決技術應運而生，旨在強化比賽的公平性與準確性。從早期的電視回放系統逐步演進至現代的數位化系統，例如網球的鷹眼系統、棒球的電子好球帶，以及足球的 VAR 及半自動越位技術等，這些技術已成為現代運動不可或缺的一環。這些技術不僅顯著降低誤判率，還重塑了比賽的生態結構與裁判的專業角色。然而，技術的應用亦帶來挑戰，如比賽流暢性中斷、技術誤判爭議，以及裁判角色的倫理爭議等問題，促使本研究深入探討其發展歷程與影響。本研究首先爬梳各種輔助判決技術的發展歷程，進而探討輔助判決所產生的挑戰、爭議與倫理議題。研究採用訪談法與文件分析法，聚焦足球、網球、羽球、籃球、棒球與板球等球類運動，詳述輔助判決系統所使用的技術原理及發展歷程，以及實施過程中遇到的挑戰與爭議。同時，透過訪談資深裁判與選手，深入探討輔助判決系統的引入對於裁判行為、比賽生態及運動文化的深遠影響。研究結論指出，未來輔助判決系統有可能在 AI 的驅動下逐步取代裁判部分功能。但目前輔助判決系統與裁判的角色仍是相輔相成的，輔助判決系統尚無法完全取代裁判的工作，裁判也需要透過輔助判決系統持續精進判讀的敏銳度與決策的精準性，從而成為主動駕馭科技，而非被動依賴科技的專業執法者。同時，AI 與其他新興技術的發展雖然能分擔判罰責任，減輕裁判的心理壓力，但這也引發另一層次的思考，我們在追求「零誤判」的同時，是否也削弱了比賽的戲劇性與張力。

關鍵詞：鷹眼、即時重播、VAR、人工智慧、裁判

The Development History of Sports Assistance Technology: Using Ball Sports as an Example

July, 2025

Author: Pei-Hsien Mai

Advisor: Mei-Chun Lin

Abstract

In the context of contemporary sports, the advancement of globalization and commercialization has heightened demands for fairness and accuracy from both athletes and spectators. The rapid development of technology has given rise to assistance technology designed to enhance the integrity of competitions. Evolving from early instant replay system to modern digital system such as the Hawk-Eye system in tennis, Automated Ball-Strike System in baseball, and Video Assistant Referee (VAR) and Semi-Automated Offside Technology (SAOT) in soccer, these systems have become integral to modern sports. They not only reduce the error rate, but also reshape the ecological structure of the game and redefine the role of referees. Despite these advantages, the integration of assistance technology has generated new challenges, including interruptions in game flow, technical controversies, and ethical debates concerning refereeing authority. This study investigates the development history of assistance technology and critically examines the associated challenges, controversies, and ethical implications. Employing interviews and document analysis, the research focuses on ball sports such as soccer, tennis, badminton, basketball, baseball, and cricket, and detailing the technological principles, development history, and practical issues surrounding implementation. Insights from interviews with senior referees and players further illuminate the impact of assistance technology on refereeing behavior, competition structures, and sporting culture. Findings indicate that while AI may progressively assume certain refereeing functions in the future. However, at present, the roles of referees and assistance technology remain complementary rather than fully substitutive. Referees must continue to refine their interpretive

sensitivity and decision-making accuracy with technological support, thereby actively mastering rather than passively relying on it. Moreover, although the development of AI and other emerging technologies may share the responsibility of refereeing and reduce psychological pressure on referees, it also raise deeper questions about whether the pursuit of "zero error" diminishes the inherent drama and tension that define the essence of sport.

Keywords: Hawk-Eye, Instant Replay System, VAR, AI, Referee



目 次

謝誌.....	i
中文摘要.....	ii
英文摘要.....	iii
目 次.....	v
表 次.....	vii
圖 次.....	viii
第壹章 緒論.....	1
第一節 研究緣起與目的.....	1
第二節 文獻探討.....	5
第三節 研究方法.....	12
第四節 資料處理.....	14
第貳章 輔助判決技術的發展.....	16
第一節 光學感測技術.....	16
第二節 聲音偵測技術.....	20
第三節 壓力感測技術.....	22
第四節 電磁感應技術.....	24
第五節 雷達技術.....	26
第六節 影像技術.....	28

第參章 輔助判決技術的爭議與倫理	43
第一節 系統錯誤爭議	43
第二節 人為失誤爭議	51
第三節 比賽連續性中斷	56
第肆章 輔助判決技術的想像	61
第一節 科技與賽事的平衡	61
第二節 裁判的定位	64
第三節 未來的技術	66
第伍章 結論與建議	72
第一節 結論	72
第二節 研究建議	74
引用文獻	76

表 次

表 1-1 研究參與者列表.....	13
表 1-2 研究參與者訪談大綱.....	14
表 2-1 輔助判決系統列表.....	40
表 4-1 輔助判決與 AI 判決比較表	69



圖 次

圖 2-1 紅外線熱點示意圖.....	17
圖 2-2 Cyclops 系統示意圖	18
圖 2-3 光電開關系統架構圖.....	20
圖 2-4 Real-life Snickometer showing Bat-Ball Edge.....	21
圖 2-5 聚酯薄膜導電塑膠壓力感測器.....	23
圖 2-6 The Electroline.....	23
圖 2-7 GoalRef 示意圖	25
圖 2-8 Cairos 示意圖	26
圖 2-9 Trackman 示意圖.....	27
圖 2-10 MLB 裁判戴著耳機等候重播中心判決結果.....	30
圖 2-11 VAR 監控攝影機示意圖	31
圖 2-12 VAR 控制室團隊.....	32
圖 2-13 ball tracking	33
圖 2-14 鷹眼系統示意圖.....	34
圖 2-15 羽球鷹眼系統的電腦模擬動畫.....	35
圖 2-16 門線技術系統中使用多個攝影機的示意圖.....	36
圖 2-17 半自動越位技術偵測球員身體部位.....	38
圖 2-18 半自動越位技術顯示越位結果.....	38
圖 2-19 電子好球帶示意圖.....	39
圖 3-1 紅外線熱點與聲波碰撞偵測結果.....	44
圖 3-2 鷹眼模擬畫面，沒有出現球軌跡及落點.....	45
圖 3-3 即時重播畫面與鷹眼模擬畫面飛行軌跡不同.....	46

圖 3-4 鷹眼回放後明顯出界.....	47
圖 3-5 足球明顯越過球門線.....	48
圖 3-6 轉播畫面與鷹眼畫面落點差距.....	49
圖 3-7 轉播畫面與鷹眼畫面落點差距.....	50
圖 3-8 轉播畫面顯示球員未觸及壘包.....	53



第壹章 緒論

第一節 研究緣起與目的

在 2020 東京奧運和 2024 巴黎奧運羽球男子雙打李洋及王齊麟兩位雙打好手所組成的「麟洋配」連續兩屆獲得金牌，以及戴資穎的風潮加持下，羽球在台灣掀起前所未有的熱潮，運動人口呈現爆炸式成長，成為全民生活的一部分，越來越多人持拍上場打球，無論是公園、學校運動館還是專業羽球場，隨處可見揮拍的身影，男女老少皆投入這項兼具競技性與趣味性的運動。根據教育部體育署 111 年運動現況調查顯示，羽球已占球類運動人口 11.4%，為所有球類運動之冠（教育部體育署，2022），讓羽球儼然成為台灣的「新國球」。從幾乎每周席捲全台的路跑活動，到羽球館如雨後春筍般在各地湧現，運動已不再是少數人的專屬，而是融入民眾日常的健康與社交方式。尤其是 2020 東京奧運男雙冠軍戰的最後一球用鷹眼挑戰完美結束比賽，更替這段歷史性的奪冠過程增添了戲劇性，而最後一球的鷹眼模擬畫面更是被許多人製作成 T 恤、悠遊卡與各式周邊商品，成為球迷津津樂道的經典記憶。這一幕不僅讓更多大眾第一次認識鷹眼系統的運作原理，也顯示高可視度的輔助判決技術如何在關鍵時刻增添戲劇張力、放大勝利情緒，鷹眼系統在奧運舞台上所展現的公正與精準，不僅提升了觀眾對科技判決的信任，更使得科技本身成為運動文化標誌，也讓科技判決成為比賽中不可磨滅的一環。

羽球的運動人口的激增，相關賽事也如雨後春筍般湧現，從社區級的小型比賽到全國性的大型賽事，無不吸引著熱衷運動的民眾參與。對於許多初學者而言，羽球的入門門檻相對較低，從運動小白到逐漸上手，過程充滿樂趣與成就感。隨著技術的進步與對運動的熱情，許多人開始投資高階裝備，尋找專業教練指導，進行系統化的體能訓練，並與不同球友切磋球技，逐步感受到自身實力的提升。在這一過程中，參加比賽成為檢驗自我進步的重要途徑。初次參賽時，許多人抱著「重在參與」的心態，認為輸贏並非首要，只要享受比賽的樂趣即可。然而，隨著參賽次數增加，球友們在練球—比賽—再

練球的循環中逐漸燃起勝負欲，渴望在比賽中脫穎而出，爭取更好的名次，甚至追求更高的榮譽。

然而，賽事數量激增的背後，卻隱藏著一個長期被忽視的結構性問題——「裁判供給嚴重不足」。在基層和業餘賽事中，裁判資源的匱乏已成為制約運動發展的瓶頸，無論是人數眾多的公開賽還是小規模的社區比賽，場上往往只有一名裁判負責全場判決，即便在重要賽事如四強或決賽階段，最多也僅增設兩名線審。這樣的裁判配置在高強度的比賽中顯得捉襟見肘，特別是在羽球這類高速運動中，球速可達每小時 400 公里以上，肉眼判斷的局限性更為突出。當球的落點清晰可辨時，裁判尚能做出正確判決；但一旦出現落點模糊、雙方選手爭執不下的情況時，裁判往往只能依賴瞬間的主觀印象或選手的反應來做出裁決，導致誤判風險大幅上升。若誤判改變了比賽結果，輸球一方難免心生挫折與不平，並可能透過社群媒體進一步放大爭議，最終形成對裁判與賽會制度的普遍質疑，久而久之形成惡性循環。這樣的情況相信不只發生在羽球，其他如籃球、排球等業餘比賽同樣屢見不鮮。

同時，國際運動賽事的全球化與商業化發展，觀眾對比賽公正性、透明度及娛樂性的要求不斷提升。尤其是在高張力的職業賽事中，裁判判決的準確性常常成為比賽勝負的關鍵因素之一。如果裁判出現明顯誤判，不僅可能直接影響比賽結果，更會損及賽事的公信力和觀賞體驗。例如，2010 年世界盃足球賽德國隊與英格蘭隊比賽時的門線事件（英格蘭球員射門擊中橫樑後明顯越過門線卻未判進球），引發球員與球迷強烈不滿，這起事件最終促使國際足球總會（Federation Internationale de Football Association, FIFA）重新評估是否引進門線技術的討論（潘建州等，2013）。可見隨著運動水平和競爭強度的提高，確保判罰公平已成為運動賽事不可或缺的一環。

傳統賽事的判罰主要依賴裁判肉眼觀察與經驗判斷，這種方式高度依賴裁判的視覺敏銳度、經驗與專注力。然而，人的感官能力有其局限性，當球速過快、位置靠近邊線、環境光線或裁判視角受阻等情況時，又因為裁判必須在不到一秒內做出判決所產生的巨大壓力，都容易導致判斷錯誤或爭議判決的產生（王子仁，2020）。隨著比賽速度和難度

提升，裁判出現誤判的概率也隨之增加，誤判所帶來的不公平感容易激化球員與教練團隊的情緒，甚至引發現場與轉播觀眾的不滿，進一步降低對賽事結果的信任。為維護競賽的公平並保障裁判判決的權威性，如何減少裁判誤判並提高判決準確性，逐漸成為各運動項目協會與技術團隊的重要課題。

為了提升比賽的公正性與觀賞性，各運動項目都開始引入各種先進科技作為裁判的輔助工具。早期，各運動項目針對特定判決難題研發了專門技術，成為輔助判決科技發展過程中的重要里程碑。例如，網球運動在 1980 年代引入了 Cyclops 發球線電子判定系統，利用紅外線光束判斷發球是否落在界內或出界。板球運動則發展出 Snickometer（俗稱 Snicko）聲波偵測技術，透過麥克風捕捉球與球棒微弱碰撞聲並結合影像重播，協助裁判判斷擊球是否擦棒。足球方面，為解決過去難以判斷的進球門線爭議，由德國研究機構 Fraunhofer 與 Select Sport 聯合開發了 GoalRef 門線技術，透過在球門框架產生磁場並在足球內置感應器來偵測足球是否完全越過球門線，該技術於 2012 年首次在國際賽事中投入使用。以上這些輔助系統各自針對單一運動項目的特定需求，顯示科技介入判罰的可行性，為後續更全面的輔助判決系統奠定了基礎。

除了以上針對單一判罰需求所研發的專門裝置外，更具跨運動影響力的技術里程碑，則是「即時重播系統 (Instant Replay System, IRS)」。1963 年，陸軍與海軍美式足球賽中，Tony Verna 發明了一套系統，透過錄影帶將比賽即時重現，為日後運動賽事的影像輔助判決奠定基礎。此後，職業美式足球聯盟 (National Football League, NFL) 於 1986 年允許裁判使用即時重播系統檢視比賽中的判決，並在 1999 年增加總教練挑戰制度，並限制每隊二次提出挑戰判決的機會，確保比賽的流暢性與公平性，確立現代美式足球回放機制的雛形 (林青輝等，2012)。美國職棒大聯盟 (Major League Baseball, MLB) 則於 2008 年使用即時重播系統用於全壘打界內外的判定，並於 2014 年擴大至壘上的攻防判定，是北美四大職業運動聯盟中最晚使用這套系統的 (廖文靖，2016)。

在眾多輔助判決的科技中，最具代表性且發展最成熟的當屬鷹眼系統 (Hawk-Eye)。鷹眼系統最初於 2001 年應用於板球比賽的轉播，用以追蹤板球投球的軌跡。隨著技術

進步和信度提高，鷹眼系統逐步被引入至正式比賽判決中，並陸續擴展應用於網球、足球、羽球、排球等多項運動領域(Boyo, 2023)。以網球為例，國際網壇自 2006 年起在職業賽事中導入鷹眼挑戰制度，允許球員對界內外判決提出挑戰，由鷹眼系統即時計算球的落點來協助裁判複核判決。研究顯示，引進鷹眼系統後網球司線裁判的整體誤判率降低了近 8%，有效提升了判罰的準確度與公正性(Hoak, 2024)。

鷹眼系統之所以能廣受各運動項目青睞，在於其結合高速攝影機、多角度攝影機、影像處理與三維軌跡建模技術的視覺追蹤系統，可即時、客觀地重建球體飛行軌跡並計算落點位置，誤差僅在毫米等級。裁判透過螢幕回放鷹眼軌跡圖像，即可判定球是否出界或得分，大幅降低了人為錯誤對比賽結果的影響。

儘管鷹眼系統等輔助判決科技日趨普及且技術相對成熟，仍存有不少潛在的問題與挑戰。一個顯著的限制在於系統建置成本與場地部署的要求較高，不論是多機位高速攝影設備的安裝維護，還是精密運算系統的建置，都需要大量資金投入和技術支持。因此，此類先進系統主要應用在職業體壇的高階賽事之中，對於較低層級的聯賽或業餘賽事而言，由於資源有限往往難以負擔。其次，輔助判決技術雖然比單純肉眼的判斷客觀，但也並非百分百的準確。以鷹眼系統為例，在 2005 年的平均誤差為 3.6 毫米，近年則減少至平均 2.6 毫米，但仍有理論誤差的存在。在極少數情況下（例如軌跡演算受到遮擋干擾或設備故障），系統判讀可能出現偏差，導致判決結果仍具爭議。此外，不同運動項目對輔助判決系統的依賴程度和規則設計也有所差異。例如，網球、羽球和排球採用挑戰次數限制來平衡比賽節奏，而足球的影像輔助裁判（Video Assistant Referee, VAR）則需權衡技術介入與比賽流暢度之間的關係（梁建偉，2018）。這些都顯示當前輔助判決技術在使用規範、判讀延遲、比賽連貫性等方面仍有優化空間。

輔助判決技術的發展歷程從早期特定技術逐步邁向如鷹眼這樣更全面、更即時且更精確的系統。然而，現有技術仍存在諸多挑戰與限制，尚需深入探討與持續優化。因此本研究希望透過蒐集並分析相關文獻，系統性整理各種運動項目中曾經使用過的輔助判決系統之發展脈絡、實際應用方式與成效評估，聚焦足球、網球、羽球、籃球、棒球與

板球等球類運動。藉由梳理不同技術在不同運動中的應用經驗與影響，希望更全面地理解輔助判決系統於現代運動中的角色定位以及所面臨的困境，並探討其對裁判行為、比賽生態及運動文化的深遠影響。

透過本研究的整理與分析，期望能為未來運動科技之發展提供參考方向與改進建議。根據上述的研究背景，本研究目的如下：

- 一、系統性整理與歸納歷史及現有之各類輔助判決系統。
- 二、分析各系統的技術原理與發展歷程。
- 三、整理與剖析代表性爭議事件。
- 四、反思輔助判決技術的未來發展。

第二節 文獻探討

2020 年新冠疫情衝擊全球職業體壇，為降低場館人員密度與防疫風險，網球幾個賽事率先全面採用電子線審系統 (Hawk-Eye Live) 取代傳統人工線審，人工線審一瞬間失業，又再次把使用電腦判決或是人工判決的討論度推向了另一個高峰。

回顧時間軸，1960 年代首次出現即時重播技術，當時它僅僅是為了讓觀眾重溫精彩的瞬間，尚未涉入裁判裁量，但卻為電視轉播運動賽事帶來了前所未有的改變。1986 年，職業美式足球聯盟 (NFL) 才允許裁判透過即時重播系統檢視球場上的判決。之後如 Electroline、Cyclops 等等系統的誕生至消失，就只為了一個目的，為了追求更公平的比賽。而 2001 年鷹眼系統的出現，結合了多角度高速攝影與三維軌跡重建的技術，迅速改變比賽的生態，讓「鷹眼」這兩個字幾乎已經成為了輔助判決系統的代名詞。

科技的進步也引發了廣泛爭論，電腦判決或是人工判決，一直都是各界討論的話題。一方認為，人工判斷所代表的是裁判的專業尊嚴與運動人文的精神，認為誤判也是比賽的一部分，為比賽增添了不可預測的魅力與觀賞性。另一方則認為，球場的主角應是運動員，裁判的判決不應成為左右比賽勝負的關鍵因素，科技的介入能確保更公平、客觀

的結果。這兩種觀點的交鋒，反映了技術進步與傳統價值之間的碰撞，也促使人們重新思考運動的本質與公平性的平衡。因此，本研究的文獻回顧分為以下三個部分：一是運動員的困境，二是輔助判決對於比賽的影響，三是輔助判決對於裁判的影響，來進一步探討。

一、運動員的困境

在輔助判決尚未成為比賽的執法工具之前，運動員普遍生活在裁判人為誤判的陰影下，身為賽場上的執法者，裁判在賽場上的公正與權威是不容質疑的，且運動員對於賽場上裁判的判決必需接受並尊重，不容許運動員的質疑與挑戰，但裁判的一個判決可能會直接影響比賽最後的結果。而誤判不僅會讓球員在比賽中失去信心，還可能在關鍵比賽中對其職業發展造成長期負面影響。此外，沒有技術輔助的比賽中，球員可能會因為對裁判判決的不信任而採取更保守的比賽策略。例如，在籃球比賽中，球員可能會避免積極防守，以免被誤判犯規，這無疑限制了他們的發揮空間和比賽的激烈程度。這種保守策略可能降低比賽的觀賞性，並使球員無法充分展現自己的技術和能力。另一方面，誤判還可能引發球員與裁判之間的衝突，甚至導致比賽中斷，例如足球或棒球中也不時有因為與裁判的爭議導致清空板凳的狀況發生，這不僅影響比賽的流暢性，還可能損害運動精神。

徐茂洲與謝漢唐(2008)整理出 2004-2007 年間職業網球賽事的爭議事件，其中 2004 年美國網球公開賽女單八強小威廉絲對卡普里亞蒂一役中至少出現三球嚴重誤判，該場賽後美國網球協會承認裁判疏失並表示該場主審艾維茲不會再擔任本屆美國網球公開賽的裁判，這事件間接促使了 2006 年鷹眼系統正式引入網球賽事之中。

楊瑞珠與周財勝(2014)整理出 2007-2013 年間羽球比賽的爭議事件，文章中指出由於羽球球速幾乎是所有球類項目速度最快的，裁判往往需要在 0.5 秒之內做出界內外的判斷，這也導致裁判的判決常常會出現爭議，且由於 2006 年網球賽事開始使用鷹眼系統後，包括林丹、李宗偉在內的眾多世界級運動員多次呼籲世界羽球聯盟(Badminton

World Federation, BWF) 採用鷹眼系統，最終於 2013 年羽球年終超級系列賽總決賽中開始使用。

潘建州等人 (2013) 以 2010 南非世界盃足球賽為例，該屆世足賽誤判接連不斷，甚至被戲稱誤判比進球還多的情況產生。因過去國際足球總會 (FIFA) 一向拒絕在球場安裝感應器，而 2010 世足賽的誤判事件，迫使 FIFA 主席為了該屆嚴重爭議的裁判誤判事件道歉，並重新思考方針促進未來採用新的科技來輔助判決。

廖文靖 (2016) 以 2010 年美國職棒為例，2010 年 6 月 3 日底特律老虎隊與克里夫蘭印地安人的比賽中，老虎隊先發投手 Armando Galarraga 已經投滿 8.2 局，只差最後一名打者就能寫下珍貴的「完全比賽 (perfect game)」紀錄。最後該名打者擊出滾地球，照理應該出局，而一壘審則認為打者安全上壘，讓該投手締造歷史記錄的機會就此落空。賽後，大聯盟與該名裁判雖然坦承判決失誤，但無論如何都無法彌補投手失去的那唯一一次成就傳奇的時刻。

在沒有輔助判決系統的時代，一次爭議的判罰往往會引起媒體或輿論廣泛的討論和批評。而運動員不僅要承受比賽失利的痛苦，還可能要面對媒體和輿論的巨大壓力，這種不確定性是一個持續的挑戰，因為他們無法預測裁判的判決是否準確，只能被動接受結果，這種無力感可能在比賽結束後仍長期存在，影響他們對運動的熱情和投入。甚至一些運動員可能會為了確保勝利而採取不光彩的手段，例如假摔、故意製造犯規等，這些行為往往利用裁判視野的盲區進行，使得這些小動作難以被有效識別和懲罰。例如，在足球比賽中，球員可能在禁區內模擬被對方犯規，以誘導裁判判罰點球。這種行為不僅破壞了比賽的公平性，還對堅持遵守運動道德的運動員造成了不公平的競爭環境。隨著這類不正當行為的逐漸普遍，運動員可能因此感受到巨大的心理壓力。他們需要在維護個人道德標準與追求比賽勝利的目標之間做出艱難抉擇，這種內心掙扎可能長期累積，進而對他們的心理健康產生嚴重負面影響。

輔助判決系統的出現，極大地改善了上述困境，也讓運動員能夠更專注於比賽本身。而現代科技的介入，不僅提升了競技運動的觀賞性，更重要的是，它讓運動員從依賴裁

判的「人治」轉向更客觀的「法治」。總體而言，輔助判決系統的出現是一場革命性的變革，它讓運動員得以從過去的困境中解放出來，專注於比賽本身，並在更公平、更透明的環境中追求卓越。同時，這也讓競技運動更具吸引力，成為運動員與觀眾共同享受的舞台。

二、輔助判決對於比賽的影響

近年來，隨著感測器、攝影精度與即時傳輸技術日新月異，各項運動紛紛導入科技輔助判決技術，目的在於降低人為誤判、縮短球場上的爭議並強化觀眾對比賽公平性的信任。從 2010 年代起，「科技介入裁判」已由過去的輔助性質轉變為賽事不可或缺的基礎設施，足球採用了影像輔助裁判 (VAR)，棒球設立了重播挑戰與自動好球帶試行，羽毛球和排球引進了鷹眼系統，網球更在 2020 年全球疫情期間大規模採用採用鷹眼即時電子線審系統取代了人工線審等。

林青輝等人 (2012) 的研究指出，職業美式足球聯盟 (NFL) 使用即時重播系統來輔助判決之後，根據統計在 1999 年的 248 場比賽中，透過重播檢視了 195 次判決，其中有 57 次改判，改判率為 29.23%；在 2000 年的 248 場比賽中，透過重播檢視了 247 次判決，其中有 83 次改判，改判率為 33.6%。而在棒球領域，美國職棒大聯盟 (MLB) 2008 年開始使用即時重播系統來輔助判決；到 2010 年賽季結束，統計總共透過重播檢視了 123 次判決，其中有 48 次判決被改判，改判率為 39%。

邱榮貞等人 (2020) 整理指出 2019 年亞洲男子排球錦標賽中首次架設了鷹眼系統，並且統計了總共 100 次挑戰中，挑戰成功次數為 39 次，改判率為 39%。

網球在 2006 年首次使用鷹眼系統，而根據該年十站的美國網球系列比賽中的統計資料顯示，鷹眼技術總共使用了 839 次，其中有 327 次改判，改判率為 39% (徐茂洲等，2008)。

足球在 2018 年俄羅斯世界盃時首度導入影像輔助裁判系統 (VAR)，但因只有在主裁判提出質疑時 VAR 才能派上用場，所以部分判罰亦存有不少爭議。雖然如此，該屆

引入 VAR 還是減少了不少誤判。根據國際足球總會 (FIFA) 官方統計數據表示，VAR 的使用將裁判判決的準確度從 95% 提高到 99.3% (陳信全等, 2018)。

綜觀上述案例，儘管輔助判決系統的導入大幅提升了判罰的精準度，然而，這些技術的應用並非毫無爭議，它們在提升判決精度的同時，也引發了關於比賽流暢性以及技術可靠性等問題的討論。

最常見的擔憂是對於比賽流暢性的影響，頻繁的回放審查可能會導致比賽節奏被打斷，以 NBA 和 MLB 為例，兩大聯盟皆為降低誤判、維持比賽公信力而成立即時重播中心，將所有比賽的畫面傳送至該中心，由該中心裁判迅速審視並將判決結果回傳給場上的主裁判。而反對輔助判決的人則認為像 VAR、NBA 和 MLB 重播中心，查看重播時間的時間過長，並且認為這些審查流程的本質還是透過人工裁判去觀看回放畫面做出判決，而不同的裁判可能產生不同的判決結果，如何有一致的尺度和準則，如何在高效率與判罰一致性之間取得平衡，仍是現行輔助判決系統面臨的最大挑戰之一。

以棒球比賽為例，一場棒球比賽時間平均大約為 3 小時，比賽的時間相對於其他運動更長，美國職棒大聯盟 (MLB) 當初面對外界要求導入即時重播系統時，一直拒絕此項提案，認為這會拖延比賽進行的時間與節奏 (林青輝等, 2012)。據統計 MLB 於 2014 年擴大即時重播輔助判決的範圍後，平均比賽時間只增不減，到 2016 年平均比賽時間首次超過 3 小時，到 2021 年更達到 3 小時 10 分鐘的最高點。最後儘管遭到球員工會反對，MLB 仍在 2023 年實施投球計時器等一系列加快比賽節奏的措施，也確實讓該年平均比賽時間降至 2 小時 40 分鐘 (Press, 2023)。

而足球一場比賽時間 90 分鐘，在還沒使用 VAR 之前，補時時間通常在 3-5 分鐘，而 2018 年開始引入 VAR 後出現過長達 9 分鐘甚至 13 分鐘的超長補時 (愛范兒, 2018)。2022 年卡達世界盃，全場補時接近 30 分鐘，寫下自 1966 年以來，單場世界盃最長的補時記錄 (自由時報, 2022)。

足球的補時時間越來越長對於觀眾來說可能是個好消息，代表觀眾可以看到更長的比賽，但是對於球員來說，可能會增加運動的負擔並增加受傷的風險。VAR 的引入雖然

帶來了公平性，然而球員進球的當下不能馬上慶祝，而必須等到 VAR 結果出爐之後才能確定結果，不管是球員或者觀眾對於進球的喜悅和慶祝的慾望可能都會大打折扣。

在使用輔助判決系統上如何確保比賽公平與觀賞性之間取得平衡是一直以來的問題，不管是棒球長時間的比賽導致觀眾專注度與熱情度的降低，又或者是足球進球後不能馬上慶祝進球的喜悅，會讓人思考我們究竟是在看比賽還是看「重播畫面」。

三、輔助判決對於裁判的影響

高三福等人（2014）指出，影響球賽滿意度的關鍵因素是來源於球員的表現，而裁判的判罰則可能影響球員與球隊的整體表現。若裁判的判罰達到卓越品質的標準，球員、教練與觀眾會認為是理所當然的，而一旦裁判的判罰出現錯誤或標準不一致，則可能引發不滿情緒。

在輔助判決還沒出現前，裁判在球場上是絕對的權威者，為了樹立裁判的公信力，其判決的當下極少會推翻原判決。然而這份權威伴隨沉重壓力，任何關鍵誤判都可能改寫比賽結果，甚至引發球隊、球迷和媒體的強烈反彈，而所有後果與壓力皆由裁判獨自承擔。以籃球為例，楊紀瑜、許志祥（2006）以及胡凱揚、王俊明（2016）都曾調查指出籃球裁判員最主要的壓力來源來自於做出錯誤的判決，以及擔心來自不管是球員、教練或觀眾的語言暴力。而輔助判決出現後看似能分擔裁判誤判的責任，但其帶來的可能是更大的壓力，輔助判決的出現可能在三個層面上，對裁判產生更複雜的衝擊：執法行為、心理壓力與專業定位。

輔助判決的出現最直接的影響是提高判罰精度，但它同時也可能會改變裁判的吹判思維與行為模式。傳統裁判工作主要依賴即時觀察與個人經驗，隨著輔助判決的出現，裁判可能無形中增加對輔助判決的依賴程度。一旦輔助判決推翻了裁判的原始判決時，不僅會對裁判的專業權威形成挑戰，也可能削弱裁判對自身判斷的信心與獨立性。其次，輔助判決出現導致比賽的連續性中斷，裁判如何在判決精度與場上的流暢性之間取捨變得非常重要，過長的比賽時間對於球員、裁判或觀眾的專注度都會造成影響。

輔助判決技術的引入在提高判決準確性的同時，也對裁判的心理狀態產生了顯著影響，裁判在執法時必須更加謹慎，全神貫注，以避免因誤判而遭到負面評價，尤其在當今科技進步的背景下，比賽轉播中的重播檢視功能使得任何誤判都會被迅速放大，甚至在網路社群媒體上發酵，更讓裁判遭受大量的抨擊或質疑，進一步加劇裁判的壓力。陳進發（2002）則指出，裁判的執法表現受到心理壓力、觀察角度與即時反應能力的限制，而害怕失敗是觸發裁判焦慮的最主要因素。當誤判發生、比賽仍須繼續進行時，裁判必須在高度自責與外部壓力雙重夾擊下快速調整心態，以維持後續執法的品質。

綜上所述，運動輔助判決技術的出現與發展，已在不同層面產生深遠影響。首先，多數研究一致指出輔助判決能顯著降低裁判的誤判率，提升比賽的公平性與透明度，對賽事公信力具有正面助益。然而，輔助判決也對比賽節奏與觀賞性帶來衝擊，尤其是在足球、棒球等需要透過人工審查的運動中，過度的審查與長時間的比賽中斷也為觀眾與球員帶來了巨大的影響。此外，雖然科技在一定程度上減輕了裁判獨自承擔誤判的風險與壓力，但也產生對裁判專業自主性與權威性逐漸被削弱的疑慮，甚至可能改變其判斷思維與執法模式。

輔助判決技術的普及不僅改變了裁判的執法方式，還對其角色的定位產生了深遠影響。傳統運動文化將裁判塑造成比賽的最高仲裁者，也因為裁判的不可挑戰性，裁判的一個判決可能影響了整場比賽的最終結果，也讓「誤判也是比賽的一部分」一詞成為了所有人共同的觀念。然而，隨著輔助判決的引入，裁判的角色逐漸從單一的決策者轉向技術與人為判斷的協調者，這對其專業技能和角色定位提出了新的要求，另外也使得裁判的權威受到一定程度的挑戰。隨著輔助判決精度的提升，傳統賽場上出現誤判時，來自球員、教練與觀眾的不滿聲浪愈加強烈，進一步引發「既然科技判得更準，是否還需要裁判？」的社會討論。如何在科技助判與人類裁量之間取得動態平衡，已成為當前裁判制度改革的核心議題。值得強調的是，輔助判決系統的設計初衷並非削弱裁判，而是藉由多維度的客觀數據，在時間壓力與高強度比賽環境下協助裁判做出更精確的判決。實務證據也顯示，科技介入不僅顯著提升了判罰的精度，更在一定程度上緩解了賽場上

因誤判而引發的爭執與衝突，改善了比賽氛圍與觀賽體驗。

第三節 研究方法

本文之研究方法採用訪談法與文件分析法，透過蒐集相關文獻與歷史賽事判例，系統性梳理各項運動輔助判決技術的發展脈絡及其爭議情形，並邀請現役裁判與教練，共同進行焦點團體訪談了解輔助判決對於比賽或裁判的影響。

一、文件分析法

文件分析法是一種系統性研究方法，透過蒐集、整理與分析既有文獻與文件，以獲取與研究議題相關資訊的方法。本研究將針對各類運動中曾經出現或正在使用的輔助判決技術，以及相關的爭議案例進行蒐集、分類與歸納。文件資料的主要來源包括：運動聯盟的官方文件與規章、比賽紀錄與技術報告；相關圖書、期刊與論文、報章新聞、網路文章等等。此外，為補充文件分析的不足，本研究亦將透過訪談，邀請具國際或國內賽事執法經驗之現任或退役裁判，蒐集第一線的實務觀點，進一步理解輔助判決技術在實際場域中的操作情境、面臨的挑戰與其對裁判專業角色的影響。

二、焦點團體訪談

本研究同時採用焦點團體訪談法，焦點團體訪談又稱焦點訪談或團體深度訪談，是一種由主持人依據事先擬定的問題設計，帶領一群具備共同背景或經驗的受訪者進行非正式、開放式的討論方法，期盼獲得各種不同的觀點。由於受訪者背景相近，在彼此回應與交流的過程中，往往能補充或修正單一個體難以完整表達的經驗與看法，進而豐富研究資料的廣度與深度。本研究的受訪者主要是一線的裁判或教練，這些受訪者不僅對賽事規則及執法流程具有高度專業性，同時也直接面對輔助判決系統所帶來的影響。他們的實務經驗與感受，有助於研究者從第一手角度掌握輔助判決技術對比賽運行、裁判

執法、公平性維護以及運動倫理等層面的具體衝擊。訪談將圍繞以下幾個主題展開：其一，輔助判決對比賽節奏與連續性的影響；其二，輔助判決對裁判心理壓力與專業角色定位改變的影響；其三，對未來輔助判決技術普及化與其未來的想像與評估。透過這些討論，研究期望能獲得更多元且具批判性的觀點，補充文件分析法可能因資料單向性所產生的限制。本研究的訪談對象基本資料可參閱下表 1-1。

表 1-1

研究參與者列表

編號	經歷	受訪時間
A	國內籃球裁判近 30 年 國際籃球裁判 15 年 國內女排教練 20 年	2025/06/28
B	國內籃球裁判 30 年 國際籃球裁判 13 年	
C	國內籃球裁判 24 年 國際籃球裁判 11 年	
D	國際籃球裁判 16 年 國際籃球裁判指導員 6 年	2025/06/29
E	羽球選手 20 年 羽球國家級教練 7 年	

資料來源：本研究自行編製

表 1-2

研究參與者訪談大綱

題項	探討面向	問題內容
1	輔助判決對於比賽連續性的影響	當比賽因輔助判決而暫停時，您認為對場上戰術與球員專注度產生哪些具體影響？
2		當比賽因輔助判決而暫停時，您認為多少的停頓時間是可以接受的？
3	輔助判決對於裁判的影響	您認為裁判對輔助判決的「依賴程度」是否正在上升？
4		在引入輔助判決系統後，這對裁判場上即時判斷能力有何長遠影響？
5	對於輔助判決未來的想像	您覺得未來還需要人工的裁判來做判決嗎？未來對於裁判的角色定位是什麼？
6		對基層或業餘賽事而言，高成本系統難以負擔。您認為有什麼辦法可以提升小型賽事的公平性？

資料來源：本研究自行編製

第四節 資料處理

本研究首先擬定明確的訪談主題，並於訪談前將訪談大綱提供給受訪者，以便其事先了解討論方向並準備相關回應。正式訪談開始之前，研究者會向受訪者詳細說明研究的動機與目的，確保其充分理解並同意參與。訪談過程全程以錄音方式進行，以確保資料的完整性與準確性，訪談結束後再將錄音內容逐字轉錄，形成逐字稿以利後續分析。為保障受訪者的隱私與研究倫理，本研究在撰寫與呈現過程中，均不公開受訪者之個人

資料或任何足以辨識個人身分的資訊，並將所有受訪者以化名方式進行處理。為系統化管理訪談資料，研究者對五位受訪者進行編碼，分別以 A 至 E 作為代號。逐字稿引用時，採「受訪者代號, 逐字稿行號」的標記方式，例如「A, 8-16」代表受訪者 A 於訪談逐字稿中第 8 至 16 行的談話內容。此外，本研究在逐字稿處理過程中，為保持受訪者原意，盡可能保留其語意表達與口語特徵；同時，為提升資料的可讀性與研究分析的嚴謹性，適度刪除冗贅語句或非語意性的語氣詞，但不改動其核心內容。



第貳章 輔助判決技術的發展

隨著現代運動賽事的節奏加快、戰術日益多元化，以及觀眾對公平性與即時互動的需求不斷提升，各項運動紛紛導入各式輔助判決技術，以期在高張力的競爭環境中降低誤判爭議並提升比賽的可信度。回顧其發展歷程，早在 1960 年代美國電視轉播首次採用的即時重播系統，使觀眾能夠重現比賽瞬間，雖然最初僅作為觀賞用途，但此舉無疑揭開了科技介入判決工作的序幕。此後，隨著科技的進步，出現了現在備受矚目的鷹眼系統、VAR 乃至電子好球帶系統。這些系統從單純輔助裁判的「佐證工具」，逐漸演進為在部分運動中能直接取代人工判決的「核心決策依據」，充分展現了科技對於比賽公正性的推動力量。

因此，透過回顧與整理輔助判決技術的發展軌跡，有助於理解其背後的技術原理與演進歷程，也能為現行系統的優化或未來系統的創新提供寶貴的實務經驗與理論依據。本章將依據不同的技術原理，系統性整理歷史上與現今所使用的各項輔助判決技術的發展過程。

第一節 光學感測技術

光學感測技術其原理主要透過光線變化來偵測球或球員是否觸及特定區域。常見的光學感測方法可分為兩大類：其一為紅外線熱成像技術，利用熱感應裝置捕捉物體摩擦瞬間所產生的熱能，進而顯示接觸痕跡。其二則是光遮斷式感測技術，透過在邊線或球網兩側架設發射器與接收器，形成一道由雷射或紅外線組成的光柵，只要球或球員肢體有任何遮斷光束的情況，系統便能立即偵測並傳送訊號給裁判或電子判決系統進行判定。

一、紅外線熱點技術 (Hot Spot)

紅外線熱點技術 (Hot Spot) 是一種應用於板球比賽的紅外線成像技術，主要功能在於輔助裁判判斷球是否接觸到擊球手、球棒、護腿板或其他物體。其技術原理基於紅

外線熱成像，利用位於球場地面兩端的兩個紅外線攝影機，監測並捕捉由摩擦產生的微小熱量變化，通過捕捉碰撞瞬間所產生的熱量來確定接觸點。當球與物體接觸時，碰撞瞬間所產生的摩擦會在接觸點生成熱量，這些熱量變化會被紅外線攝影機捕捉，並轉化為黑白負片圖像，顯示在計算機螢幕上，見圖 2-1。這些圖像以高對比度的形式清晰呈現接觸點的精確位置，白色的亮點代表明顯的熱量集中區域，即碰撞發生的接觸點；黑色或暗色部分則表示無碰撞或沒有溫度變化的區域。透過這種高對比度的顯示方式，為裁判提供直觀的視覺證據，幫助判斷球的路徑和接觸情況。(ESPNcrinfo, 2009)



圖 2-1 紅外線熱點示意圖。取自：https://en.wikipedia.org/wiki/Hot_Spot_%28cricket%29

該技術於 2006 年第一次測試使用(SVG, 2006)，並於 2009 年進行過第二及第三次測試。通過這些測試，熱點技術的穩定性和可靠性得到了顯著提升，逐步被國際板球理事會(International Cricket Council, ICC)認可並納入決策回放系統(Decision Review System, DRS)。2011 年，熱點技術正式成為 DRS 的一部分(Ugra, 2011)，與其他如鷹眼(Hawk-Eye)等技術結合使用，廣泛應用於國際板球比賽。

二、Cyclops 系統

Cyclops 是一種應用於網球比賽的紅外線輔助判決技術，主要功能在於協助裁判判

斷發球是否落在界內或界外。該系統於 1980 年首次在溫布頓錦標賽中投入使用，標誌著網球運動在輔助判決領域的重大突破(BBC Sport Academy, n.d.)。

該系統的技術原理基於紅外線技術，通過在發球區域上方約 10 毫米處投射五至六條水平紅外線光束，其中一條光束會覆蓋發球線的有效區域(界內)，其餘光束則分佈覆蓋發球線外的無效區域(界外)，見圖 2-2。當球員發球時，若球觸及到有效區域的光束，系統不會產生任何反應；若球觸及到無效區域的光束，系統便會立即發出聲響，提示裁判發球出界。為確保系統的準確性，Cyclops 必須由發球線裁判於每次發球前手動啟動，這一設計旨在避免系統在非發球時段被誤觸。(Hodgkinson, 2007)

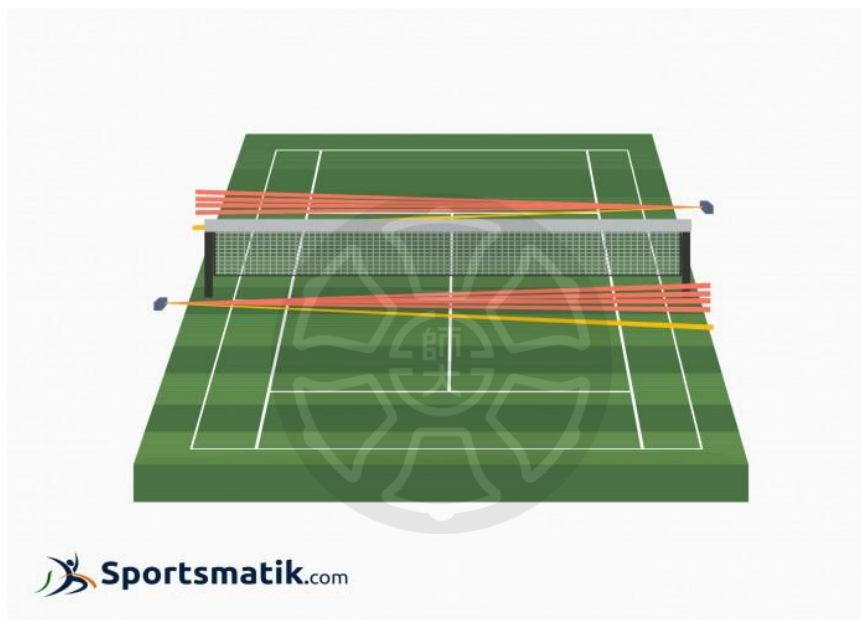


圖 2-2 Cyclops 系統示意圖。取自：<https://sportsmatik.com/sports-corner/sports-technology/cyclops>

然而，Cyclops 系統的限制也相當明顯。首先，單一紅外線光束的寬度約有幾公分，導致判定精度有限，容易因誤差範圍過大而產生誤判。其次，由於紅外線裝置對外界極為敏感，可能因昆蟲、球員動作或異物干擾而誤觸，造成比賽中斷或重賽該比分(Hawling, 2017)。再者，該系統僅能針對發球線的落點進行監測，無法涵蓋於比賽中其他區域的判決，例如底線或邊線的界內外判斷，這限制了其全面性。更重要的是，該系統每次發球都需發球裁判手動啟動，對比其他全自動技術顯得不夠便捷。隨著 2000 年後更為精準

且功能全面的鷹眼系統問世，Cyclops 系統逐漸失去其原有地位，並在賽事應用中被取而代之。

三、紅外線邊線系統

由周婉瑩等人於 2012 年提出一種應用於羽球場的新型專利，該專利提出在底線(端線)、雙打邊線、單打邊線設置紅外線感應裝置平鋪於羽球場地下。每條邊線下方都鋪設平行的電路導線，以連接紅外線發射器和接收器模組，從而形成沿邊線延伸的光學檢測通道。系統工作時，紅外發射器不斷向同一邊線的另一側發射光束，若羽球以一定速度穿越邊線進入場外，紅外線光束會被球體擾動或阻斷，使接收器收到的訊號發生變化，透過這種變化判定球是否出界。而一旦判定球出界，會即時發出燈光或警報，協助裁判做出判決。

紅外線檢測的優勢在於其高靈敏度和快速響應能力，能精準判定物體是否經過，特別適用於速度快的物體。且相較於鷹眼系統，安裝成本較低，適合中小型賽事。然而，其局限性包括僅能檢測邊線出界，無法提供球路軌跡或全場分析，且需精確校準以區分球體與其他物體（如選手腳步或球拍）的誤觸，增加了技術複雜性，導致該技術並沒有被廣泛應用。

四、光電開關電子線審系統

王振碩（2016）提出了一種應用於羽球比賽的電子線審系統，其核心原理是利用光電開關進行落點偵測。系統設計在場地四周邊線部署光電開關感測模組，當羽球落地並觸及邊線範圍時，會立即觸發感測器，隨即傳送訊號至微控制器。此時系統會自動開始計時，直到羽球彈離地面，感測裝置回復到穩定為止。透過電腦端的分析程式，將計時結果與觸發訊息進行比對，由此判斷該球的落點屬於界內或界外，見圖 2-3。

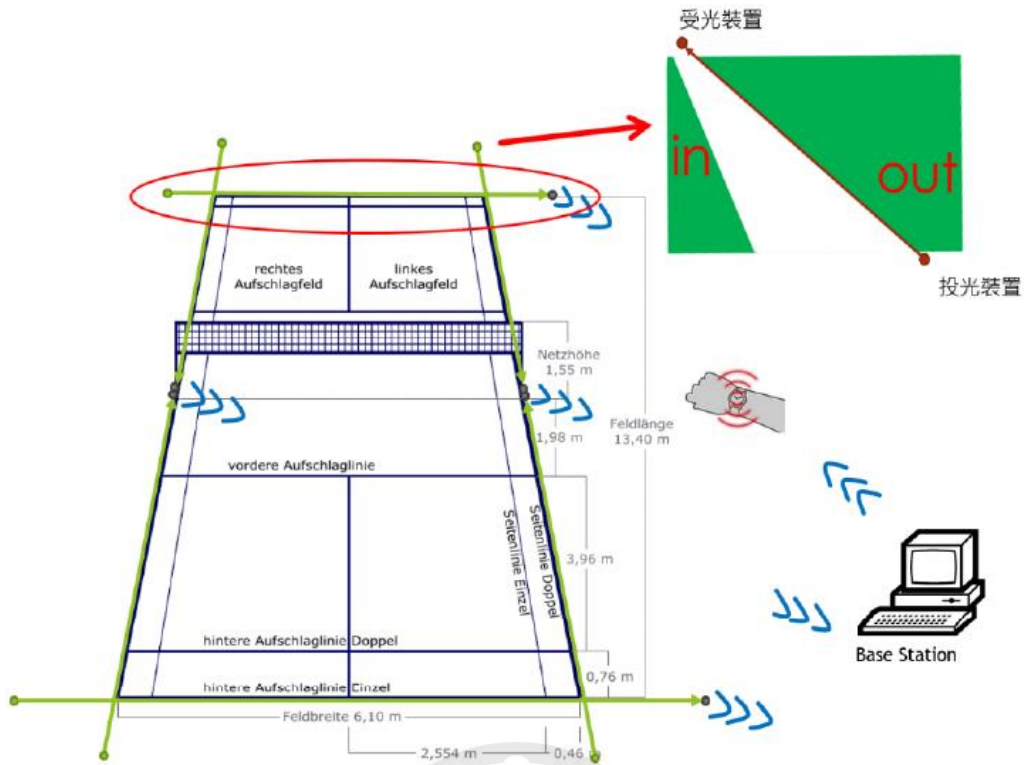


圖 2-3 光電開關系統架構圖。資料來源：王振碩（2016）

由於該系統只有當羽球落點接近邊線並觸發光電模組時才會啟動判定，若為明顯的界內外或者球員身體導致觸發了感測裝置的情況都仍需裁判自行判斷。因此，作者指出該系統僅能作為輔助判斷的參考工具而非直接判定依據。

綜上所述，光學感測技術在運動輔助判決的發展史上具有開創性的意義，該技術以光束遮斷或熱成像等方式，提供了快速、直接且相對低成本的判決依據。然而，其單一檢測功能的限制，加上在實際比賽中容易受到運動員身體遮擋、環境光線變化與設備靈敏度等外部因素干擾，導致誤判或錯判的情況時有發生，影響了比賽的公正性與系統的可靠度。隨著比賽強度提升與觀眾對判決透明度要求的提高，光學感測技術逐漸難以滿足現代競技的需求，使其逐漸被更全面的高速攝影機系統（如鷹眼系統）所取代。

第二節 聲音偵測技術

聲音偵測技術是一種利用高靈敏度麥克風的輔助判決方式，核心原理是捕捉球體與

球棒或其他物體接觸時所產生的微小聲音，並將聲音訊號轉換為波形圖，顯示在示波器上，並與比賽的慢動作影像精確同步，以確保聲音和畫面的時間點一致，藉此來判斷肉眼難以判斷的細微接觸。

一、Snickometer

Snickometer 又稱 Snicko，是板球運動中一種基於聲波碰撞偵測技術的輔助判決系統，主要功能是透過聲音判斷球棒與球是否接觸的一項技術。其技術的原理是透過高靈敏度的麥克風捕捉聲音訊號，將聲音訊號轉換為波形圖，顯示在示波器上。同時，系統會將聲音訊號與比賽中的慢動作影像同步，確保兩者的時間點一致，見圖 2-4。當球通過球棒時，若麥克風捕捉到短促且尖銳的聲音，且波形圖顯示的聲音峰值與影像中球接近球棒的瞬間相互吻合，即可合理推斷球棒與球發生接觸；反之，若聲音波形平緩或聲音峰值與影像時間點不相符，則聲音可能源自於其他干擾，如球擊中球員護具或地面。(Harris, 2022)



圖 2-4 Real-life Snickometer showing Bat-Ball Edge。資料來源：Snickometer Edge Detection by Feature Extraction in TF Plane and Wavelet Domain。取自：

https://www.researchgate.net/figure/Real-life-Snickometer-showing-Bat-Ball-Edge_fig1_329917446

該技術由英國工程師 Allan Plaskett 在 1990 年代中期開發，最初只是作為一種實驗性技術，並於 1999 年引入板球比賽的測試階段(Maume, 1999)。然而，該技術最初引入測試時被認為不夠準確。直到 2013 年，經過多次測試和驗證，國際板球理事會 (ICC) 正式將改進後的 Snickometer 納入 DRS。

Snickometer 的出現對板球比賽具有重要意義，尤其是在「邊緣接觸」(edge) 難以用肉眼辨識的情境中，該技術為裁判提供了一種可靠的判斷依據。相較於紅外線熱點技術 (Hot Spot)，雖然 Hot Spot 透過紅外線成像能夠清晰呈現球棒與球接觸時產生的熱能痕跡，判斷更為直觀，但其安裝與操作成本極為昂貴，需要專業設備的攝影機。而 Snickometer 則提供了另一種相對簡易且具成本效益的方式，只需透過高靈敏度麥克風與影像同步比對，即可推斷球棒與球是否接觸，為賽事提供了更具彈性的技術選擇。然而，Snickometer 並非毫無缺點，其最大挑戰在於容易受到環境雜音的干擾，增加誤判或需要更多的時間進行判讀。值得注意的是，Snickometer 的技術影響不僅限於板球，2019 年澳洲澳式足球聯盟 (Australian Football League, AFL) 借鑒其技術原理，開發了另一套類似的聲波偵測系統，安裝於球門柱上，用於檢測球是否與門柱接觸，另外取名為「AFL Edge」。(Laughton, 2019)

第三節 壓力感測技術

壓力感測技術是指在場地嵌入能感知受力變化的元件，當球體或鞋子與其接觸、施壓或撞擊時，感測層能即時將機械壓力轉換成可量測的電訊號，通過分析訊號的大小強度與分佈，判斷球是否真正壓線或落點是否有效。然而，壓力感測技術由於需要在整片球場鋪設大量感測裝置，導致成本高昂、安裝複雜且耗時，並可能因場地材質或結構限制而影響部署效果，該系統逐漸被其他的技術而取代。

一、Electroline 系統

Electroline 系統的技術原理，是在球場表面下方沿著底線、邊線等關鍵邊界線鋪設大型、薄型的聚酯薄膜導電塑膠壓力感測器，見圖 2-5。當球或球員腳步等物體接觸地面時，會對感測器施加機械壓力，這些壓力會被立即轉換為電壓脈衝訊號並傳送至系統。系統隨後透過電腦運算，分析脈衝訊號的特徵，包括脈衝的強度、持續時間以及分佈模式，藉此區分球的落點與球員腳步或其他物體（如球拍或衣物）接觸的不同特徵，進而判斷球是否落在界內或界外，見圖 2-6。(Mason, 1976)



圖 2-5 聚酯薄膜導電塑膠壓力感測器。取自：

https://en.wikipedia.org/wiki/Electronic_line_judge

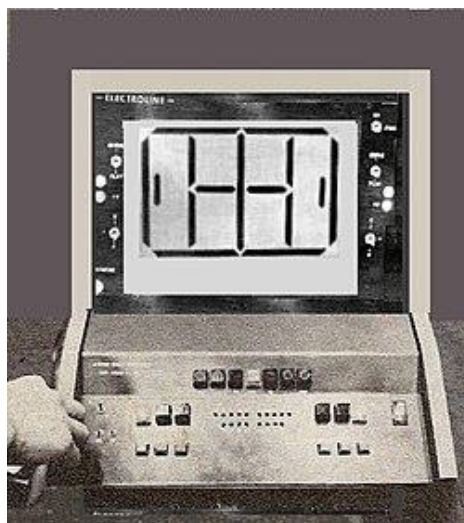


圖 2-6 The Electroline。取自：https://en.wikipedia.org/wiki/Electronic_line_judge

Electroline 系統於 1974 年首次在職業比賽中展示並使用，為後續的電子線審技術奠定了基礎，並推動了網球運動對技術輔助判決的接受度。然而，Electroline 系統的局限性也較為顯著。由於需要在場地邊線下方鋪設大面積的感測器，安裝過程複雜且成本高昂，且感測器可能因場地材質、磨損或環境因素（如濕度或溫度變化）而影響準確性，加上長時間使用後需要定期維護與更換，最終被其他技術所取代。

第四節 電磁感應技術

電磁感應技術是一種基於法拉第電磁感應定律的檢測技術，通過在場地中部署線圈或天線產生穩定或變化的磁場，當另一個含有線圈的物體進入此磁場時，會引發電流或磁場的擾動，感測端通過測量這些變化來精確判斷物體的位置、速度或運動軌跡。根據磁場能量供給方式的不同，該技術可分為主動式與被動式兩種類型：主動式系統通過主動發射電磁訊號，當物體進入感應範圍時，接收器捕捉目標物反射或感應的電磁訊號來進行探測或定位；被動式系統則不主動發射訊號，而是利用物體進入磁場時，引發電流或磁場的擾動進行測量。

一、GoalRef 門線技術

GoalRef 門線技術是由德國研究機構 Fraunhofer 與 Select Sport 聯合開發的一種足球門線技術系統，主要功能在於通過精確檢測足球是否完全越過球門線來輔助裁判判斷進球是否有效，從而提升足球比賽判決的準確性和公平性。該技術原理是基於被動式電磁感應技術，通過在球門框架上安裝多個線圈，線圈會在球門周圍產生低頻磁場，覆蓋球門區域。同時，在足球內部嵌入數個微型線圈，覆蓋球體的所有部分，確保無論球以何種角度或姿態通過球門，均能有效觸發磁場變化。當足球進入球門區域並越過門線時，球內的感應線圈與球門線圈產生的磁場相互作用，引發磁場的微小擾動，系統通過高靈敏度的感測器檢測這些變化，並即時分析以確定球是否完全越過門線，見圖 2-7。一旦

確認進球，系統就會通過加密的無線電信號向裁判佩戴的專用手錶發送通知，手錶隨即振動並顯示進球的消息。(Wojcik, 2012)

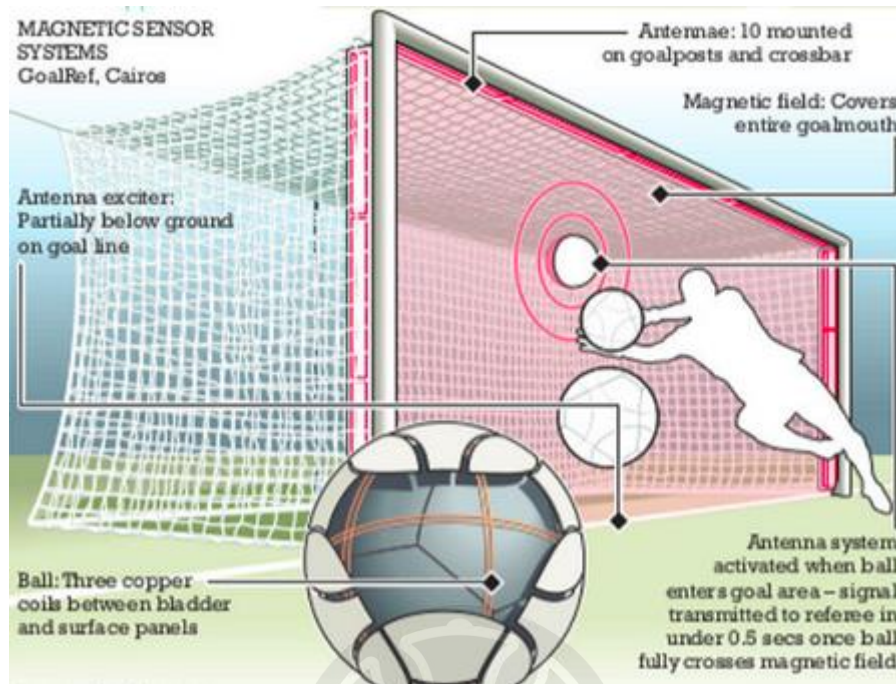


圖 2-7 GoalRef 示意圖。取自：<https://passtechnologycaitlin.weebly.com/history.html>

國際足球協會理事會 (International Football Association Board, IFAB) 於 2012 年 7 月 5 日批准了 GoalRef 技術，並於 2012 年 12 月 6 日的國際足總俱樂部世界盃首次使用了該技術(BBC Sport, 2012)，成為首批應用於國際賽事的門線技術之一。

二、Cairos 門線技術

Cairos 門線技術是由德國 Cairos Technologies AG 與運動品牌 Adidas 聯合開發的一種足球門線技術系統。該技術原理是基於主動式電磁感應技術，通過在球門底線與球門禁區的草皮下鋪設多條細小電纜線，這些細線通電後產生一個均勻的低頻磁場，覆蓋球門關鍵區域。同時，足球內部嵌入一個主動式無線電子感測器，該感測器包含電池和微型晶片，能主動發送訊號。當足球進入磁場區域並越過門線時，球內感測器與磁場相互作用，產生電磁訊號，立即回傳球的精確位置資訊至場邊的接收器，計算機隨即計算確認球是否完全越過球門線，將結果傳送至主裁判專用手錶並振動提示，見圖 2-8。(Peshin,

2017)

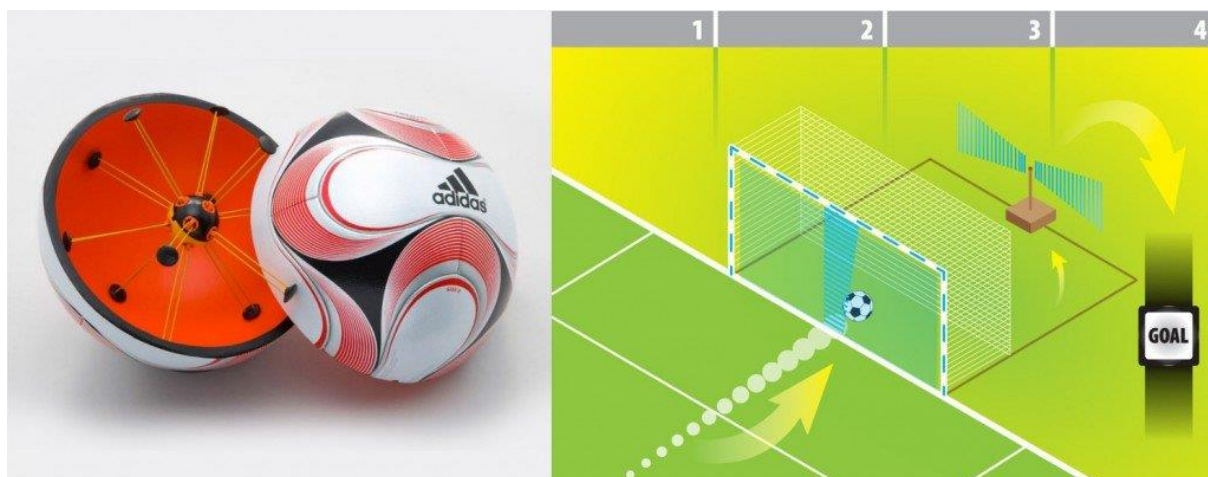


圖 2-8 Cairos 示意圖。取自：<https://www.scienceabc.com/innovation/how-does-the-goal-line-technology-work.html>

與 GoalRef 相比，Cairos 的主要區別在於其採用主動晶片球，球內的感測器需要電池供電並主動發送訊號，這要求比賽用球定期充電或更換電池，增加了維護成本和操作複雜性。此外，Cairos 需要在球門底線和禁區草皮下鋪設大量細線，安裝過程涉及剷除草皮、埋設線纜並恢復場地，顯著增加了場地改造和維護的成本及工作量。相比之下，GoalRef 只需要在球門框架上安裝感應線圈，完全不需要更動草皮，無需更動草皮，且其被動式設計不需依賴額外電池，降低了安裝和維護的複雜性與成本，因此在實際應用中更具優勢。

Cairos 門線技術最早於 2003 年啟動研發，並在 2005 年於國際足聯 U-17 世界盃期間首次公開測試(McKeegan, 2007)。2007 年在日本國際足聯世界盃上進行了正式測試，儘管表現出較高的準確性和可靠性。然而，由於場地改造成本高昂和維護等等因素，未能於完成測試後獲得廣泛採用。

第五節 雷達技術

雷達技術是指利用電磁波訊號進行精確定位與運動追蹤的輔助系統，用於偵測球體或運動員的位置與動態。其技術原理是在場地周邊部署發射線圈或天線，持續發射特定

頻率的電磁波，通過分析反射訊號的時間差與多普勒效應引起的頻率位移，即時計算球體或運動員的三維座標、速度及旋轉參數。

一、Trackman 系統

Trackman 是一種基於多普勒雷達技術的運動追蹤系統，最初源自軍事領域用於追蹤導彈與飛機的先進雷達技術，後被改進應用於運動領域。該系統的技術原理是通過在場地周邊部署高靈敏度雷達設備，持續發射特定頻率的電磁波，利用反射訊號的時間差和多普勒效應計算球體的三維座標和動態數據，提供高精度的實時分析，見圖 2-9。Trackman 目前廣泛應用於全球頂級職業球隊和高爾夫球運動中，該系統可以測量投手與打者送出的球，測量其回轉數、角度、方位和飛行距離等（湯易鑫，2024）。Trackman 目前廣泛應用於全球頂級職業球隊和高爾夫球運動中，用於精確測量球體的運動參數，包括回轉數、投擲或擊球角度、飛行方位、速度以及飛行距離等，提供進階分析以改善球員訓練。



圖 2-9 Trackman 示意圖。資料來源：Trackman.com

Trackman 公司成立於 2003 年，最初專注於高爾夫球運動，幫助球員分析擊球的軌

跡、旋轉和距離，以提升揮桿技術。2008 年，Trackman 開始進軍棒球領域，針對投手和打者的球路進行數據追蹤，並在全球範圍內廣泛使用。2015 年美國職棒大聯盟（MLB）將 Trackman 納入首代 Statcast（用來分析球員動作和運動能力的工具）並正式啟用，作為分析球員動作和運動能力的核心工具。儘管 Trackman 剛出來時備受矚目，甚至在小聯盟測試階段被視為電子好球帶的潛力候選技術。然而，雷達技術雖能精確鎖定高速飛行中的球體，但無法即時測量打者膝蓋到胸口的好球帶位置，一旦打者蹲低、起身或臨時調整站姿時，系統難以準確識別好球帶的上下界限，種種因素導致其未正式成為輔助判決系統。最後 MLB 在 2020 年宣布，未來電子好球帶將採用鷹眼的影像辨識技術。儘管 Trackman 未能成為輔助判決系統，該技術仍扮演著關鍵角色，其仍然廣泛用於投打數據的追蹤與訓練輔助等，並持續在高爾夫和其他運動中擴展應用，成為運動數據追蹤與分析資料的重要工具。



第六節 影像技術

影像技術主要通過多台高速攝影機捕捉影像並結合計算機視覺與圖像處理技術，從不同角度連續捕捉比賽場景的影像數據，實現對球體軌跡、落點或運動員動作的精確分析，透過回放或演算法計算產生 3D 模擬圖，將結果提供給裁判做為判決的依據。

一、即時重播系統

早在 1950 年代，還在使用膠片的時代，加拿大冰上曲棍球之夜（Hockey Night in Canada）的電視轉播便嘗試採用一種叫做 wet-film replay 的顯像管錄影（kinescope recordings）技術，將膠片拍攝的比賽畫面快速沖洗、剪輯並重新播放，讓觀眾得以即時回顧精彩瞬間。然而，此一技術在當時成本高昂、操作繁複且耗時，因而未能在當時的運動轉播中廣泛推行。1963 年，陸軍與海軍美式足球賽中，Tony Verna 發明了一套系統，透過錄影帶將比賽即時重現，徹底改變了運動賽事的電視轉播方式，為影像輔助判決奠

定了技術基礎（林青輝等，2012）。

職業美式足球聯盟（NFL）於 1986 年允許裁判使用即時重播系統檢視比賽中的判決，並在 1999 年增加總教練挑戰制度，並限制每隊二次提出挑戰判決的機會，確保比賽的流暢性與公平性，確立現代美式足球回放機制的雛形（林青輝等，2012）。

板球運動則於 1992 年首次在南非對印度的測試賽中引入第三裁判制度，該制度單純地交由第三名裁判員利用電視重播協助場上裁判做出判決(Wisden, 1994)。從 2008 年，國際板球理事會（ICC）首次批准在正式國際比賽中開始試行挑戰制度，允許球員對裁判判決提出異議，主裁判會將此案交由第三裁判審查。

NBA 籃球運動則於 2002-2003 年賽季正式引入即時重播系統，初期僅用於判定確定出球是否超時、惡意犯規等極少數情況下才可調用重播。而從 2008-2009 年賽季開始，NBA 擴大影片重播範圍，增加審查是否出界、是否踩線等等應用範圍，且裁判可在比賽中任意時刻啟用影片重播。2014 年 NBA 在新澤西州設立中央重播中心，經工作人員檢視畫面後，傳達判決給現場裁判。2019-2020 賽季，NBA 正式引入教練挑戰制度，允許每隊在每場比賽中提出 1 次挑戰。（馬特洪峰，2020）

美國職棒大聯盟（MLB）則於 2008 年首次引入即時重播系統，在紐約設立重播輔助中心，經工作人員檢視畫面後，傳達判決給現場裁判，見圖 2-10。初期僅用於判定全壘打是否有效，也是北美四大職業運動賽事中最晚使用這項科技的運動。2014 年 MLB 擴大即時重播的範圍，並允許教練挑戰多種判決，包括壘上封殺、觸殺、外野接殺、界內界外球等，而原本用於重播輔助判決的獨立攝影機數量從 12 台增至 24 台。（林青輝等，2012）



圖 2-10 MLB 裁判戴著耳機等候重播中心判決結果。取自：

https://en.wikipedia.org/wiki/Instant_replay

足球比賽中透過即時重播與通訊系統協助主裁判提供判決的建議，因為該系統被賦予助理裁判的角色，是裁判體系中的一員，其不單純只是即時重播的功能，所以在足球中將該系統稱為影像輔助裁判（Video Assistant Referee, VAR）。長期以來，國際足球總會（FIFA）對在比賽中引入科技輔助判罰持保守態度，擔心過多的技術干預可能破壞足球比賽的流暢性與傳統精神。然而，2010 南非世界盃足球賽中的連續誤判事件成為改變這一立場的轉折點，迫使 FIFA 重新思考引入科技來輔助判決。2016 年，國際足球總會理事會（IFAB）正式批准 VAR 試驗計畫，允許在比賽中進行測試。經過兩年的試驗與改進，IFAB 於 2018 年 3 月正式將 VAR 納入足球的比賽規則之中。同年，2018 年俄羅斯世界盃成為 VAR 首次在全球頂級賽事中全面應用的舞臺，並成功糾正多項關鍵判決，彰顯其在高水平比賽中的成熟應用與可靠性（陳信全等，2018）。VAR 是在球場周圍安裝多台高速攝影機，這些攝影機會從多個角度全面覆蓋比賽場地，其中還包括超慢動作與越位專用的攝影機，見圖 2-11。這些攝影機捕捉的影像會即時傳送至 VAR 控制室，並由三人組成的團隊透過觀看相關事件的影片片段來審查主裁判所做的判定，見圖 2-12。比賽中有四種情況可以使用 VAR：第一，進球是否有效及其進球前是否存在犯規行為，

例如手球、犯規或越位；第二，點球判罰及其判罰前的相關犯規，例如禁區內的爭議動作；第三，直接紅牌事件，涉及嚴重犯規或暴力行為；第四，發卡時身分錯誤，例如向錯誤的球員出示紅黃牌。VAR 的審查流程通常由兩種方式觸發：一是由主裁判主動要求 VAR 團隊檢查；二是由 VAR 團隊在發現潛在錯誤時主動建議主裁判審查。需要強調的是，由於 VAR 僅提供建議性意見，主裁判保留最終決策權，可以選擇採納或忽略 VAR 團隊的建議。

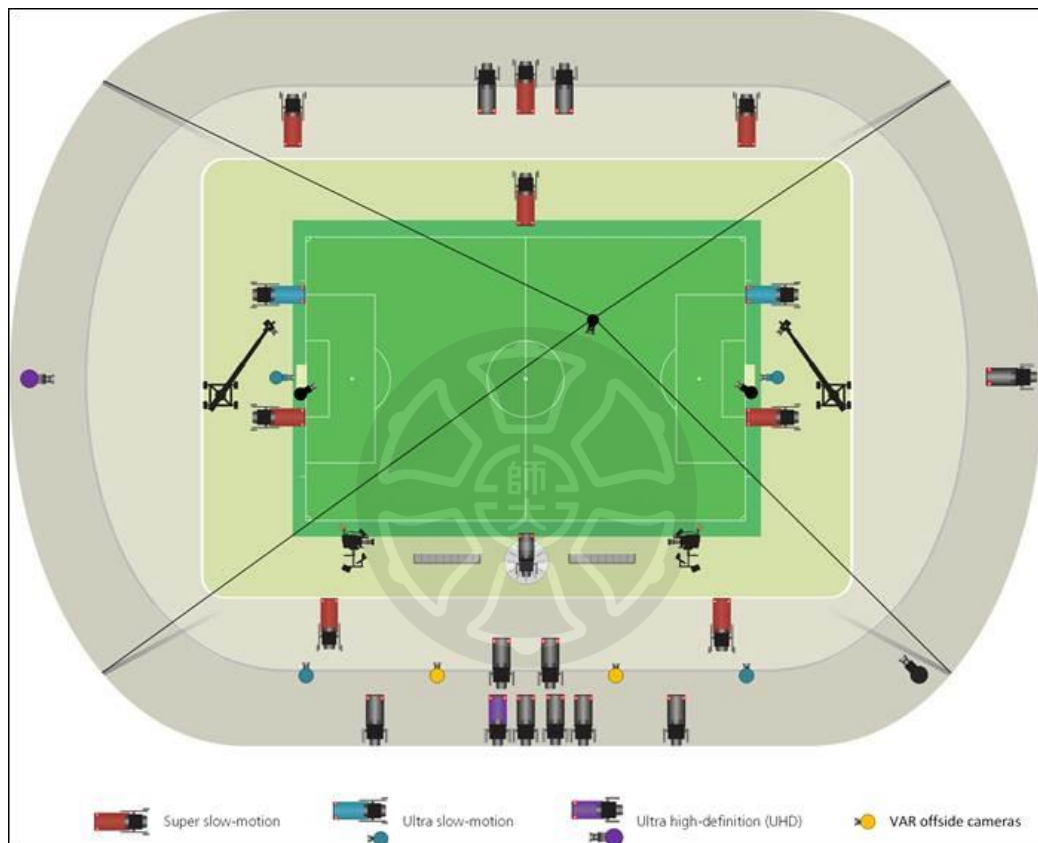


圖 2-11 VAR 監控攝影機示意圖。資料來源：FIFA



圖 2-12 VAR 控制室團隊。資料來源：FIFA

即時重播系統作為科技與運動融合的標誌性產物，已逐漸成為多項運動賽事中不可或缺的重要環節。此技術的核心價值在於能於關鍵時刻提供更貼近事實的判決依據，減少因人為誤判所引發的爭議。然而，即時重播系統的應用也伴隨若干挑戰與質疑，其中最常被提出的問題在於審查過程需暫停比賽，打斷比賽的流暢性與連貫性，對球員的比賽節奏與觀眾的沉浸感造成了一定的影響。此外，重播畫面的判讀仍依賴裁判人工決策，若缺乏一致的標準與規範，仍可能出現不同判讀結果，導致公平性受到質疑。儘管如此，即時重播系統在現代運動中的正面效益仍然不可忽視。即時重播系統不僅提升了比賽的透明度與可信度，透過多角度和慢動作的回放功能，為觀眾創造出更具臨場感與參與感的觀賽體驗。對球迷而言，即時重播使其能夠近距離重溫比賽中的關鍵瞬間，進一步加深了對比賽過程的理解與投入感。整體而言，即時重播系統已成為兼具技術價值與文化意涵的輔助判決工具，雖仍存在挑戰，但其推動運動專業化與科技化的作用已具有不可替代的地位。

二、鷹眼系統 (Hawk-Eye)

鷹眼系統 (Hawk-Eye) 是一種基於高速攝影機和計算機視覺技術的運動輔助判決系統，通過多台高速攝影機從不同角度捕捉比賽畫面，結合三角測量和物件追蹤演算法，精確重建球的運動軌跡、三維座標、速度及落點，並以視覺化形式（如 3D 軌跡線或落點投影）呈現結果，廣泛應用於板球、網球、羽球、足球、排球等多項運動（楊瑞珠，2014）。

該系統最早於 2001 年應用在板球運動中，2001 年在 Lord's Cricket Ground 舉行的巴基斯坦和英格蘭的測試賽中首次亮相。在當時主要用於協助裁判分析「腿前觸球出局」的判決，透過預測球的可能路徑，穿過擊球手的腿部，以判斷其是否會擊中三柱門，見圖 2-13(Wood, 2008)。這一成功應用迅速獲得廣泛認可，並促使國際板球理事會 (ICC) 於 2008 年將鷹眼納入決策回放系統 (DRS)，用於測試賽和國際比賽。



圖 2-13 ball tracking。資料來源：Hawk-Eye Ball Tracking System for Cricket。取自：
<https://www.topendsports.com/sport/cricket/equipment-hawkeye.htm>

網球則於 2006 年正式引入鷹眼系統，見圖 2-14，首次使用鷹眼系統進行挑戰發生於 2006 年 3 月 22 日，地點為美國邁阿密舉行的 NASDAQ-100 Open（現稱邁阿密公開

賽)，美國選手 Jamea Jackson 在對戰 Ashley Harkleroad 的比賽中，Jamea Jackson 成為網球中第一位使用鷹眼系統提出挑戰的球員(Sokolowski, 2025)。2017 年職業網球運動員協會總決賽首次採用鷹眼即時電子線審系統 (Hawk-Eye Live)，這一系統完全取代了傳統線審，所有的判決交給鷹眼系統判斷，透過預先錄製的聲音宣布 Out、Fault、Foot Fault，實現了全自動化判決。2020 年，受 COVID-19 疫情影響，美國公開賽大多數的比賽都使用了 Hawk-Eye Live 以減少人員接觸，而 2021 年澳洲公開賽上全面實施該系統。2024 年，男子世界職業網球協會巡迴賽 (ATP Tour) 以及溫布頓網球賽，宣布計劃將在 2025 年後全面使用 Hawk-Eye Live。最後網球四大賽中，僅剩下紅土地地的法國網球公開賽，尚未跟進以科技代替人員執法。

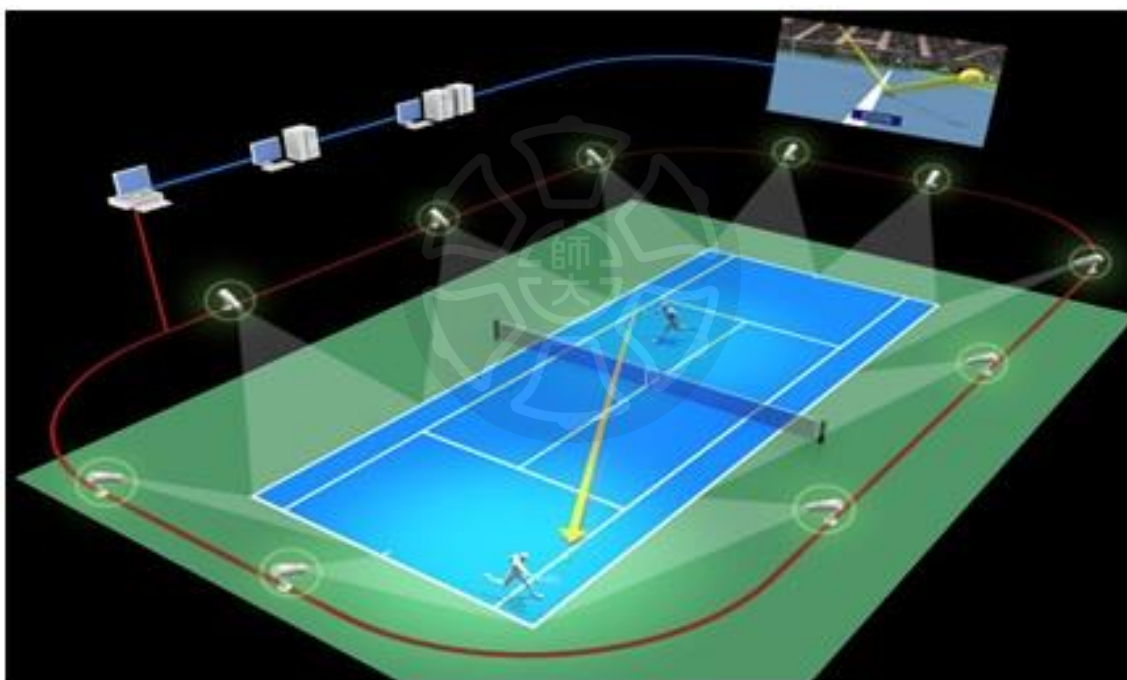


圖 2-14 鷹眼系統示意圖。資料來源：The Impact of the Hawk-Eye System in Tennis。取自：<https://trainingwithjames.wordpress.com/research-papers/the-impact-of-the-hawk-eye-system-in-tennis/>

從 2006 年網球賽事中開始使用鷹眼系統後，越來越多的人提議將鷹眼系統應用至羽球比賽中，早在 2011 年就有多位羽球選手，包括馬來西亞名將李宗偉，公開呼籲表示，希望世界羽聯 (BWF) 盡快推進鷹眼系統在羽球場的應用。最終促使 BWF 於 2013

年年終總決賽首次使用鷹眼即時回放系統，見圖 2-15，並且在該場小組賽馬來西亞選手李宗偉對中國選手王睜茗的比賽中，由李宗偉通過鷹眼挑戰成功獲得一分，成為羽球中首位使用該系統的球員(Liew, 2013)，也宣告了羽球鷹眼時代的正式來臨。

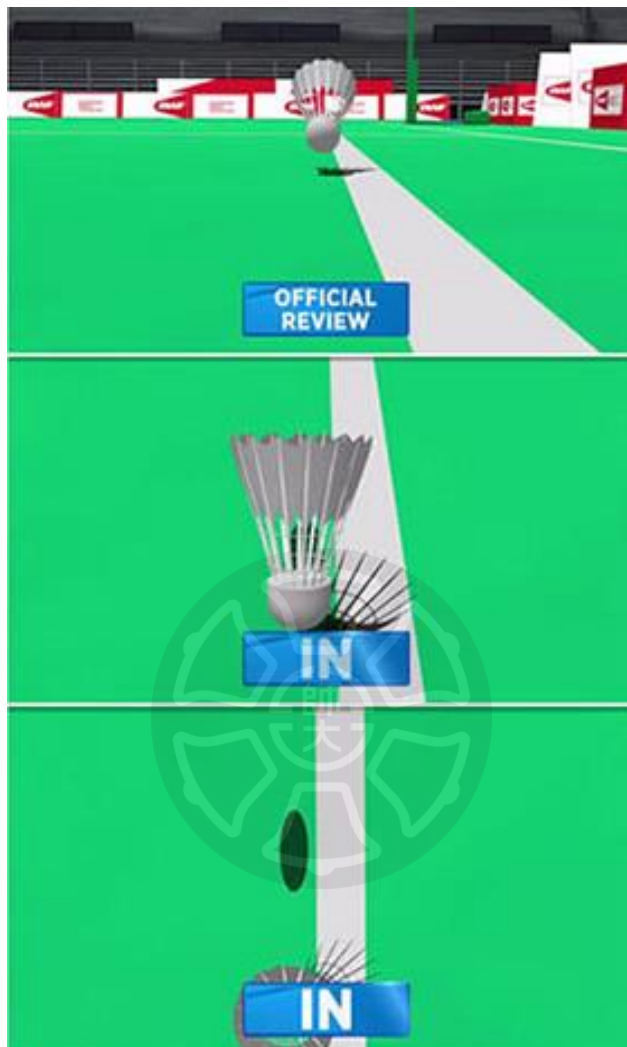


圖 2-15 羽球鷹眼系統的電腦模擬動畫。取自：

<https://www.victorsport.com.tw/badmintonaz/6968>

鷹眼系統的出現，結合了多角度高速攝影與三維軌跡重建的技術，迅速改變了全球多項運動的比賽生態，為裁判決策提供了前所未有的精準性與公平性。其影響力之大，使「鷹眼」幾乎已經成為了輔助判決系統的代名詞，象徵著科技介入運動裁判工作的里程碑。然而，鷹眼系統並非毫無爭議，它在技術上仍存在極小的誤差範圍，在某些極端情況下仍可能影響判決結果。其次，該系統的建置與維護成本極為昂貴，讓許多小型賽

事因資源有限而難以負擔，形成科技普及化的落差。再者，部分批評者認為，過度依賴鷹眼讓比賽過程逐漸趨向冰冷與公式化，失去運動中原有的人味與戲劇性。

三、門線技術

除了前面提到使用電磁感應技術的門線系統外，另外還有一種利用多台高速攝影機所構成的門線技術。該技術的核心原理是透過多角度攝影機持續捕捉球門區域的影像，攝影機每秒可拍攝 200-500 張照片，擷取照片中球體在三維空間的精確座標、速度和運動軌跡。隨後，系統結合計算機視覺技術進行即時分析，用以判斷足球是否完全越過球門線，從而確認進球是否有效。一旦演算法計算結果顯示球體已完全超過球門，系統會在 0.5-1 秒內將進球訊息傳送至主裁判專用手錶並振動提示，見圖 2-16。(BBC Sport, 2013)

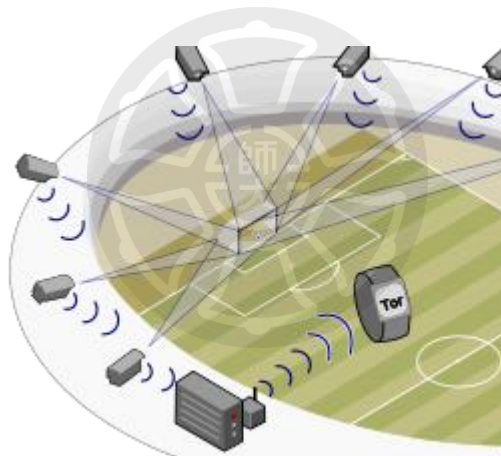


圖 2-16 門線技術系統中使用多個攝影機的示意圖。取自：

https://en.wikipedia.org/wiki/Goal-line_technology

其中國際足球總會 (FIFA) 認證的有英國公司的鷹眼系統 (Hawk-Eye) 與德國公司 GoalControl (後改名 vieww)。鷹眼系統由於應用於板球和網球取得重大成功的經驗，2012 年被 FIFA 認證為門線技術，憑藉其成熟的影像分析技術和穩定性迅速成為主流。GoalControl 則由德國公司於 2012 年推出，並於 2014 年巴西世界盃首次使用，並成功協助裁判判定進球與否。2018 年由於 GoalControl 接連產生誤判的爭議，導致其他賽事改採用鷹眼系統，導致一度市佔趨近於零(Dautreppe, 2018)，直到 2022 德國聯賽重新計畫

引入 vieww（前 GoalControl 於 2019 年改名），其市佔率才有所回升。

四、半自動越位技術（Semi-Automated Offside Technology, SAOT）

雖然影像輔助裁判（VAR）的出現後對於越位的判斷看得更精細，但本質上仍依賴 VAR 助理裁判透過回放來檢視，容易受到視角限制和人為主觀因素影響。此外，由於判決必須透過多次畫面比對，需要耗費大量的時間，從而導致比賽的中斷。根據 FIFA 官網統計，平均每次 VAR 的越位檢查需要耗時 70 秒(FIFA, 2023)，不僅延長了比賽的時間，也大幅影響觀眾的觀賽體驗與比賽的流暢性。

而半自動越位偵測系統（SAOT）的出現，則是為了解決 VAR 對於越位判罰的精確性、效率和比賽流暢性的問題，並提升比賽的公平性與觀賞體驗。該技術是利用安裝在球場屋頂的 12 台專用攝影機，即時追蹤場上最多 29 名球員的身體關鍵點（包括頭部、四肢和軀幹等關鍵點），見圖 2-17，以每秒 50 次的頻率發送數據，同時在比賽用球內嵌入慣性測量單元（IMU）感測器，並以每秒 500 次的頻率傳輸數據，精準捕捉足球被傳出或接觸的一瞬間。(FIFA, 2023)



圖 2-17 半自動越位技術偵測球員身體部位。資料來源：FIFA

透過感測器捕捉足球被傳出或接觸的一瞬間，系統通過整合攝影機數據和 IMU 感測器數據，透過演算法立即計算所有被追蹤物體在球場上的位置，並自動判定是否發生越位情況。一旦檢測到越位發生，系統會立即將向 VAR 控制室的裁判團隊發出警報，隨後由 VAR 團隊快速審查自動生成的分析結果，確認無誤後通過無線通訊通知場上主裁判做出最終判決。主裁判判罰完成後，SAOT 會生成 3D 動畫圖像，展示越位球員的具體位置和球的運動軌跡，通過場內大螢幕和電視轉播向觀眾直觀呈現，增強判決透明度和觀賞體驗，見圖 2-18。



圖 2-18 半自動越位技術顯示越位結果。資料來源：FIFA

相較於傳統 VAR 平均耗時 70 秒的人工分析，SAOT 的自動化分析將審查時間大幅縮短至 25 秒，顯著減少比賽中斷，提升比賽的流暢性與觀眾體驗。2022 年，FIFA 正式宣布在卡達世界盃全面啟用 SAOT，成為首個在頂級賽事中應用的半自動越位系統，成功協助多場比賽的越位判罰。

五、自動好壞球挑戰系統 (Automated Ball-Strike System, ABS)

傳統上，棒球比賽中的好球帶完全依靠主審的肉眼判斷，也因裁判的視角、經驗和

疲勞程度不同，經常導致判決不一致，例如高低球或邊緣球的誤判，引發球員、教練和球迷的不滿。於是隨著鷹眼系統應用成功的經驗，許多人便開始談論電子好球帶的可能性，希望能有統一的好球帶範圍，不要再出現有偏袒特定球隊的疑慮。

自動好壞球挑戰系統（ABS）又俗稱電子好球帶，是美國職棒大聯盟（MLB）為提升棒球比賽中好壞球判決精確性而開發的輔助判決技術，主要功能在於解決主審判決好球帶不一致的長期爭議，確保判罰的客觀性與公平性。其技術原理是利用高速攝影機和計算機視覺技術，在球場的一壘側、三壘側和中外野各部署一台高速攝影機，從多角度捕捉投球軌跡與打者站姿。系統預先登錄每名打者的身高，據此自動計算出電子好球帶的高度範圍，而寬度則為本壘板的固定值，並且會根據打者的站姿（如蹲低或起身）動態調整好球帶範圍，見圖 2-19(Kukuma, 2024)。判決結果會透過無線通訊即時傳送至主審的耳機，主審再根據系統的判定做出手勢。由於球的進壘點只要有稍微接觸到電子好球帶的範圍，就會被認定為好球，因此打者需要花時間適應電子好球帶的判決。

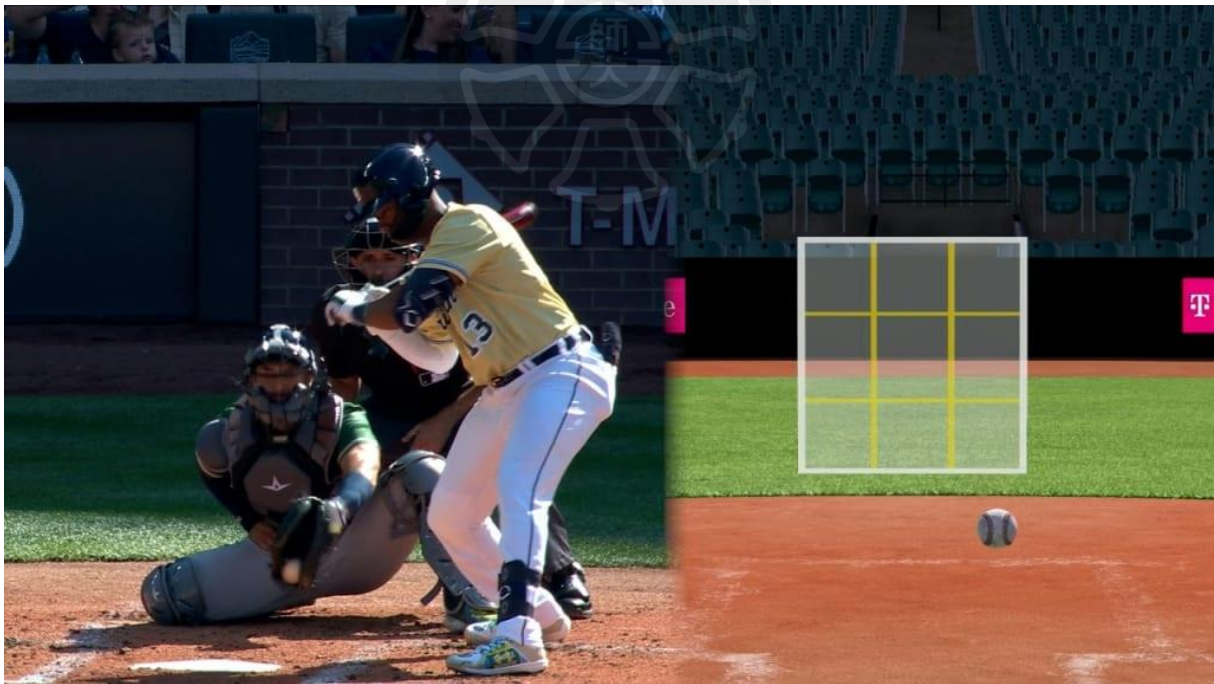


圖 2-19 電子好球帶示意圖。資料來源：MLB 官網

美國職棒大聯盟（MLB）自 2019 年起在獨立聯盟和小聯盟中測試電子好球帶系統。並從 2023 年起在 3A 比賽中實施混合模式：一半的比賽由 ABS 全權判定，而另一半則

是由裁判判決，但開放球隊用 ABS 來挑戰好壞球判決。而 2025 年春訓期間，MLB 在部分比賽中繼續測試該系統，並有可能於 2026 年全面引入例行賽。(Castrovince, 2025)

本章透過系統性回顧，探討了輔助判決技術的發展歷史與運作原理，這些技術的歷史演進反映了科技進步與運動公平性需求的緊密結合，也展現了科技介入運動場域的必然性與持續性。這些技術不僅改變了裁判的執法模式，也逐步重塑了比賽的觀賞性與運動文化的價值。為進一步闡明各輔助判決技術的特性與影響，將以表格形式比較各輔助判決系統的技術原理及優缺點。

表 2-1

輔助判決系統列表

技術分類	技術系統	技術原理	優點	缺點
光學感測技術	Hot Spot	紅外線熱成像	精準度高	成本高 需專業設備
	Cyclops	紅外線技術	安裝成本低 高靈敏 快速判斷	適用情境少 需人工開關 容易受外部干擾觸發
	紅外線邊線系統、光電開關	紅外線技術	安裝成本低 高靈敏 快速判斷	容易受外部干擾觸發 需人工區分球或其他物體的觸發
聲音偵測技術	Snickometer	聲波收集	捕捉細微擊球音 簡單、容易安裝	環境噪音干擾 需配合影像判斷
壓力感測技術	Electroline	壓力感測	捕捉瞬間細節	成本高 安裝複雜 對場地條件需求高

(續下頁)

表 2-1

輔助判決系統列表 (續)

技術分類	技術系統	技術原理	優點	缺點
電磁感應技術	GoalRef 門線技術	被動式電磁感應	精準、快速	球與球門需安裝專用感應器
	Cairos 門線技術	主動式電磁感應	精準、快速	需改裝比賽用球與場地
雷達技術	Trackman 系統	多普勒雷達技術	高精度追蹤球速、球路、旋轉等數據	成本高 維護需求高 無法針對打者調整偵測範圍
影像技術	即時重播系統	多角度攝影機畫面回放	應用廣泛 多角度審查	需要人工回放審查， 延長了比賽時間 判決仍具主觀差異
	鷹眼系統 (Hawk-Eye)	多台高速攝影機並結合計算機演算模擬軌跡	精準度高 快速審查 對場地條件需求小	成本高 需部署多台攝影機
	門線技術	多台高速攝影機	精準度高 快速審查 對場地條件需求小	成本高 需部署多台攝影機 如角度被遮擋仍會導致誤判
	半自動越位技術 (SAOT)	多台高速攝影機與 IMU 感測器	準確率高 減少主觀誤判	成本高 需部署多台攝影機 如角度被遮擋仍會導致誤判
	自動好壞球挑戰系統 (ABS)	多台高速攝影機	準確率高 減少主觀誤判	成本高 需部署多台攝影機

資料來源：本研究自行編製

總體而言，傳統的裁判決策高度依賴個人經驗和即時觀察，難以避免因視角限制、快速動作或壓力環境導致的誤判。輔助判決系統的核心價值在於通過科技手段彌補人類判斷的局限性，通過提升判決的準確性與比賽的透明度，深刻改變了現代運動的生態。未來，可以預見的是輔助判決系統可能將完全接管比賽，逐漸全面取代裁判。雖然在短期內，科技仍無法取代裁判所有的判斷，但已經值得我們反思未來科技與人文在運動中的平衡，在追求「零誤判」的過程中，運動是否也失去其原本的人文溫度。倘若所有行為都經由系統即時監控並裁決，這樣公式化的運動是否還能激發觀眾的情感共鳴？此外，過度依賴技術可能引發新的挑戰，例如系統故障、駭客攻擊或人為的濫用，這些都可能對比賽的公平性與普及性構成威脅。因此，輔助判決系統固然應不斷精進，以提升公正與效率；同時，運動所承載的人類競技精神、情感共鳴與文化價值，也絕不可被冰冷的數據與演算法掩埋。唯有在技術精準與人文溫度交織共存之下，現代運動才能兼顧公平與魅力，持續激發人心。



第參章 輔助判決技術的爭議與倫理

儘管輔助判決技術的設計初衷在於提升裁判判決的公正性與準確性，然而在實務應用中，這些技術並非萬無一失。無論是技術本身的侷限性、人為失誤或濫用等問題，都可能導致比賽出現新的爭議與質疑。因此，本章透過整理並分析各類具代表性的爭議案例，說明輔助判決系統在運作過程中所面臨的挑戰與不足，並從中反思其適用性與未來改進空間。藉由檢視這些案例，不僅有助於釐清輔助判決在提升比賽公平性與透明度上的真實效果，也能幫助我們理解其對比賽文化與倫理層面的衝擊。同時，亦可作為未來在系統優化、技術創新與倫理規範制定上的重要參考。

第一節 系統錯誤爭議

輔助判決系統所造成的錯誤，主要是指硬體設備、軟體設計或演算法層面出現故障或計算偏差等問題，導致系統判決結果與真實情況不符，進而引發比賽的爭議事件。此類錯誤不僅推翻了「科技更可靠」的假設，亦削弱觀眾與球員對系統的信任，甚至更進一步造成比賽結果被質疑或聯盟的公信力受損。

一、板球 2020 年度爭議-印度與澳大利亞誤判

板球賽事在 2020 年 Vodafone 測試系列賽，印度與澳大利亞的比賽中，發生了一起與決策回放系統（DRS）相關的爭議事件。板球比賽中，DRS 結合多項技術，包括鷹眼（Hawk-Eye）用於追蹤球的飛行軌跡、紅外線熱點（Hot Spot）用於檢測球是否擊中球棒或護具，以及聲波碰撞偵測（Snickometer）用於捕捉球與球棒接觸時的細微聲音。在這一事件中，澳大利亞選手 Tim Paine 的一次擊球中被懷疑觸及球的邊緣，場上裁判第一時間判定他出局。Tim Paine 隨即提出挑戰，在隨後的檢視過程中，紅外線熱點並未顯示球與球棒之間有任何接觸痕跡。然而，聲波碰撞偵測卻在球通過球棒附近的瞬間，捕捉到一個微弱的尖銳聲響，見圖 3-1。基於這個聲音訊號結果，最終導致 Tim Paine 維持

被判出局的判決。(Chakraborty, 2020)



圖 3-1 紅外線熱點與聲波碰撞偵測結果。取自：https://youtu.be/a1E3cFD_UEM

而賽後分析和討論則認為，聲波偵測所捕捉到的聲音訊號並不一定來自球棒與球的接觸，有可能來自於選手的腳在球場上拖曳或裝備摩擦所產生的聲音。這一事件暴露了即使 DRS 整合鷹眼、熱點和聲波偵測等多項技術，理論上能夠提供更全面的判決依據，但在技術證據矛盾或不一致時，裁判如何權衡證據的問題成為了重點。另一方面，此事件也暴露了聲波偵測對環境干擾的敏感性可能導致誤判。

二、網球 2017 年度爭議-加拿大網球公開賽鷹眼幽靈球

網球賽事在 2017 年加拿大網球公開賽的男子單打比賽，西班牙選手 Rafael Nadal 與克羅埃西亞選手 Borna Coric 的比賽。比賽進行至第二盤時，Rafael Nadal 比分以 4 比 1 領先，Borna Coric 的一記擊球被判定為出界。Borna Coric 隨即提出挑戰，依照規則，鷹眼應透過多台高速攝影機捕捉網球飛行軌跡，並生成三維模擬影像，以清晰呈現球的實際落點。然而，在這次挑戰中，鷹眼的模擬畫面異常，螢幕上僅顯示不斷拉近的鏡頭畫面，卻無法提供球的完整飛行軌跡與落點模擬，無法提供清晰的判斷依據，見圖 3-2。由於鷹眼系統未能正常運作，主裁判不得不透過對講機與技術團隊反覆確認，最終宣布

該球為界內，推翻了最初的出界判罰。(Gatto, 2018)



圖 3-2 鷹眼模擬畫面，沒有出現球軌跡及落點。取自：

<https://youtu.be/g5sX2m0JhOE?t=20>

這一事件引發了對鷹眼系統可靠性的質疑，原本鷹眼作為「公正與精準」的象徵，被寄望能夠消弭爭議、降低誤判，但當系統在關鍵時刻失靈，未能提供預期的清晰回放，導致判決過程缺乏透明度，也使得比賽的公信力受到影響。更進一步來看，這一事件凸顯了兩個問題。首先，在高度依賴科技的裁判環境下，如何建立完善的備援機制至關重要，例如當鷹眼失靈時，是否應有即時替代方案來降低爭議。其次，透明度與信任感同樣不可或缺，若比賽現場與觀眾無法明確得知系統異常的原因與解決過程，容易導致「科技黑箱」的質疑，進一步削弱觀眾對技術的信任。

三、網球 2024 年度爭議-邁阿密公開賽電子線審誤判

網球賽事在 2024 年 3 月 25 日美國邁阿密公開賽的女子單打，俄羅斯選手 Daria Kasatkina 與羅馬尼亞選手 Sorana Cirstea 的比賽。第一盤比賽中，Daria Kasatkina 比分以 4 比 2 領先，Sorana Cirstea 在一次發球中疑似發出界外，但電子線審系統判定是界

內，見圖 3-3。然而，透過轉播即時重播畫面，清楚顯示球的飛行軌跡是偏向畫面的右側飛行，並且落點是在發球區外側，幾乎可以確定是落在界外，而鷹眼的模擬畫面卻顯示球的軌跡往左側飛行，且落點在發球區內側。轉播畫面與電子線審模擬畫面結果之間的明顯矛盾，立刻引發廣泛的質疑與討論。(Watson, 2024)



圖 3-3 即時重播畫面與鷹眼模擬畫面飛行軌跡不同。取自：

<https://x.com/WTArussians/status/1772277260323852358>

這一事件引發了廣泛討論，因為它暴露了完全依賴電子線審系統的潛在風險，Daria Kasatkina 在比賽中表現出明顯的困惑和沮喪，她在場上與裁判爭論了約 45 秒，試圖表達對系統判決的不滿。然而，依照規定電子線審已在該賽事全面取代人工線審，所有判決皆由系統自動完成，選手無權提出挑戰或要求人工覆核。最終，Daria Kasatkina 與裁判的爭論無效，只能無奈的接受判決，最終心態受到影響輸掉了比賽。這一事件突顯了過度依賴電子線審系統的隱憂，因為當系統出現異常或與直觀畫面相矛盾時，缺乏人工干預的「最後防線」，會讓判決顯得僵化且失去彈性。也讓球員和觀眾對電子線審系統的可靠性提出質疑，質疑電子線審是否真的能百分之百代表公平，甚至有聲音呼籲應恢復人工線審，至少在系統出現異常時能提供補充或校正。

四、網球 2024 年度爭議-美國辛辛那提公開賽電子線審失靈

網球賽事在 2024 年 8 月 13 日美國辛辛那提公開賽的男子單打，美國選手 Taylor

Fritz 與 Brandon Nakashima 的比賽。該比賽已經全面採用鷹眼即時電子線審系統，完全取代了傳統的人工線審，系統會自動判斷球的落點是否在界內，並在球出界時立即發出鳴叫信號以通知主裁判。然而，在比賽中途，Brandon Nakashima 的一次回球中出界，但是電子線審系統沒有立即發出提示，主裁判也未立即停止比賽。兩位球員因此繼續進行了好幾個回球後，主審才突然舉手中止比賽，並主動啟動了鷹眼回放進行審查。透過鷹眼回放畫面顯示，確認 Brandon Nakashima 的回球確實是出界的，見圖 3-4，理應判該分由 Taylor Fritz 得分。(Williams, 2024)



圖 3-4 鷹眼回放後明顯出界。資料來源：Tennis TV。取自：

<https://pic.twitter.com/00SRdw5NZk>

然而，Taylor Fritz 對主裁判的處理方式提出質疑，認為既然球已出界，系統或主裁判應在第一時間停止比賽，而不是在多回合後才介入。主審也解釋按照規定，若系統未自動鳴叫時，主審只能在確認存在「顯而易見的錯誤」後，才有權主動中止比賽並啟動回放審查。在這一事件中，主裁判最終認定鷹眼系統出現技術故障，導致未能即時判斷出界，因此根據規則判定該分重賽，而非直接判給 Fritz 得分。這一決定更引起 Taylor Fritz 不滿，因為他認為這球已判定為出界，理應由他直接得分，而不是重賽。這一事件也反應了，即便完全採用科技取代人工判罰，仍然需要人為最後把關，即使是先進技術

也可能在關鍵時刻失效，影響比賽的公平性。另外對於職業網球聯合會（Association of Tennis Professionals, ATP）而言，這一事件是一個重要的教訓，避免因為系統錯誤，最後卻由選手承擔後果，如此才能真正贏得球員與觀眾對無人工線審時代的信任。

五、足球 2020 年度爭議-英超門線技術失靈

足球賽事在 2020 年 6 月的英超聯賽，Aston Villa 與 Sheffield United 兩個球隊的比賽。比賽進行到上半場第 42 分鐘，Sheffield United 的一位球員射門，Aston Villa 的門將試圖攔住球，但整個人連同球向後陷入球門線內，見圖 3-5，按照國際足球協會理事會（IFAB）的足球規則，當球的整體完全越過球門線時，應判為進球。然而，現場三名裁判以及負責輔助判決的鷹眼系統均未判定此球進門，導致比賽繼續進行。最終，這場比賽兩隊比分以零比零的比分結束。(BBC Sport, 2020)



圖 3-5 足球明顯越過球門線。取自：<https://youtu.be/w3ottIXJOGg?t=81>

透過轉播畫面的慢動作回放，清楚顯示球的整體已越過球門線，應被判定為進球。這一誤判引發了球迷、球員和評論員的強烈反響。賽後鷹眼系統公司承認誤判並且道歉，表示誤判的原因在於球被門將和其他球員完全遮擋，導致系統的攝影機無法準確捕捉球的軌跡，從而未能正確識別進球。這也是英超聯賽自引入鷹眼系統作為門線技術以來首

次公開承認的誤判事件，而這又一次凸顯備用機制的重要性。

六、羽球 2016 年度爭議-鷹眼回放誤差

羽球賽事在 2016 年 12 月於杜拜舉行的世界羽聯超級系列賽總決賽小組賽的男子單打，中國選手田厚威與丹麥選手 Viktor Axelsen 的比賽。比賽首局進行至 4 比 5 時出現一次爭議的挑戰判決。田厚威的一個反拍挑球將球打向底線右角，球落地後線審立即判決該球出界。田厚威隨即對判決提出挑戰，經過鷹眼系統的模擬畫面顯示，判定田厚威挑戰成功。然而，透過電視轉播的重播畫面顯示，球落點似乎較靠近單打右側邊線，而鷹眼模擬畫面顯示，球落點明顯偏向場地中央線的區域，見圖 3-6，兩者之間存在明顯差異。

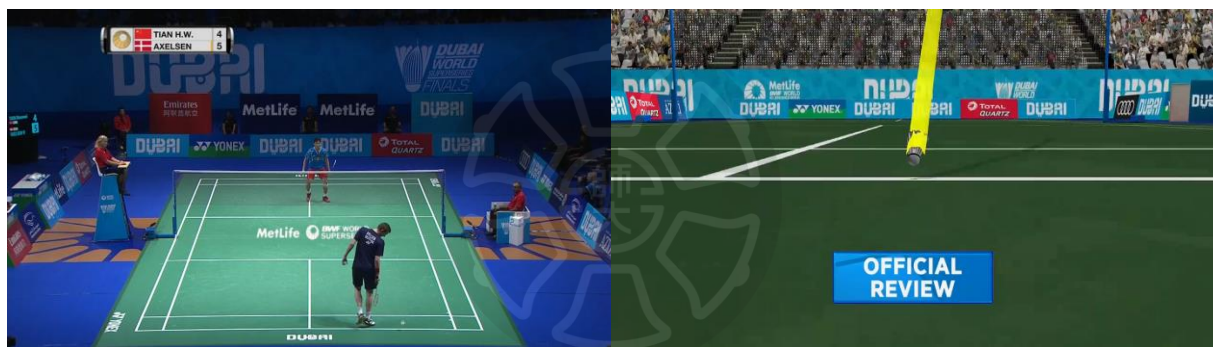


圖 3-6 轉播畫面與鷹眼畫面落點差距。資料來源：BWF TV。取自：

<https://youtu.be/G3mNdE25-WU?t=774>

這一事件立即引發選手、評論員與觀眾對鷹眼系統準確度的質疑，凸顯了輔助判決系統於比賽中可能的潛在問題。模擬畫面與轉播畫面落差過大，使人們開始懷疑鷹眼在實際運作中的可靠性。這一案例凸顯了鷹眼系統雖具高科技特性，卻並非萬無一失，仍可能在特定條件下出現誤差。這也引發了對鷹眼系統技術的討論，例如系統的攝影機數量、角度、校準精確度以及場地環境（如光線或地面條件）是否會造成干擾甚至影響判決結果。對於 BWF 而言，這是一個重要的案例，提醒 BWF 需要持續進一步檢視鷹眼系統的運作機制與優化系統，並思考如何提高其透明度和可信度。

七、羽球 2021 年度爭議-印尼名人賽鷹眼判決失誤

羽球賽事在 2021 年印尼大師賽的男子雙打，印尼選手 Kevin Sanjaya Sukamuljo 和 Marcus Fernaldi Gideon 與馬來西亞選手 Ong Yew Sin 和 Teo Ee Yi 的比賽。比賽進行至 20 比 18 時出現一次爭議的挑戰判決。馬來西亞選手 Teo Ee Yi 進行發球，而主裁判判定發球過短，未能越過發球線判決出界。隨即馬來西亞對主裁判的判決提出挑戰，經過鷹眼系統的模擬畫面顯示，顯示發球竟然落在發球線上，見圖 3-7，判定挑戰成功。然而，透過電視轉播的重播畫面顯示，清楚顯示羽球落點實際上距離發球線仍有大約 5 到 8 公分的距離。(BWF, 2021)



圖 3-7 轉播畫面與鷹眼畫面落點差距。資料來源：BWF TV。取自：

<https://youtu.be/L29xsLDYn6Y?t=1373>

賽後鷹眼公司與 BWF 發表聯合聲明，承認該次判定有誤並致歉，強調將改進演算法防止類似情況。而這一事件不僅突顯了輔助判決於比賽中失效的可能性，但根據羽球比賽規則，鷹眼系統的判決具有最終權威性，主裁判的初始判決在挑戰成功後會被推翻，且沒有其他辦法申述，這種情況也可能影響選手的心理狀態和比賽節奏，特別是在比分膠著的關鍵時刻。

第二節 人為失誤爭議

人為所引發的爭議，往往並非源自於硬體故障或演算法偏差，而是來自操作流程、溝通不足、制度濫用或程序執行中的人為疏失。雖然現代賽事廣泛運用高速攝影與即時演算法以提升判罰的精準度，但在多數情況下，最終的判決仍需仰賴裁判或回放室的專責人員進行畫面檢視與判讀，這意味著判決結果依然存在主觀性與不一致性。由於整個裁決過程對外界通常缺乏透明度，觀眾與球員僅能被動接受最終結果，卻無從得知判讀的細節與依據。一旦最終判決與觀眾直覺的畫面理解或選手的現場感受產生落差，錯誤與疑慮便會在高度緊張的比賽氛圍下被放大，進而引發球員、教練與觀眾對回放挑戰機制的信任危機。

一、足球 2023 年度爭議-英超 VAR 誤判及溝通失誤

足球賽事在 2023 年 9 月 30 日的英超聯賽，Tottenham Hotspur 與 Liverpool 兩個球隊的比賽。比賽進行到上半場第 34 分鐘時，Liverpool 的一位球員射門進球，按照標準程序，VAR 裁判會檢視進球前是否存在越位違規。透過 VAR 的重播畫面，清楚顯示進球前並無越位情況，進球應被判定有效。然而，在 VAR 裁判跟主裁判回報檢查結果時，VAR 裁判僅簡單表示「檢查完畢」，VAR 裁判試圖表達的意思是「進球有效」。但主裁判誤解意思是「越位產生，進球無效」，因此錯誤地取消了 Liverpool 的進球。根據比賽規則，一旦比賽繼續進行，VAR 判決無法回頭更改，導致誤判無法即時糾正。(Johnson, 2023)

賽後英國職業賽事裁判公司 (Professional Game Match Officials Limited, PGMOL) 公開道歉承認犯了重大人為失誤，誤判完全源於 VAR 裁判與主裁判之間的溝通失誤。PGMOL 進一步解釋，VAR 裁判未使用明確的標準化用語，導致主裁判誤解檢查結果，而 VAR 團隊在比賽繼續後也未能及時發現並糾正這一錯誤。

這一事件凸顯 VAR 執行中的人為疏失風險，即便技術本身運作正常，人為誤操作或溝通不暢也能導致誤判。該事件事後也重新檢討了 VAR 的透明度和執行流程，並確立裁判溝通的標準化用語和雙重確認機制，確保 VAR 裁判在發現判決錯誤時，仍然可

以緊急叫停比賽，以防止類似情況重演。

二、棒球 2017 與 2018 年度爭議-美國職棒大聯盟偷暗號事件

在美國職棒大聯盟 (MLB) 中，偷取對手暗號長期以來都是一種潛在的戰術手段。尤其當跑者佔據二壘時，往往能藉由觀察捕手的手勢暗號，推測投手即將投出的球種。然而，聯盟嚴格禁止使用電子設備（如攝影機、即時影片回放或其他科技工具）來進行暗號偷取，這被視為不公平的行為，會嚴重破壞比賽公平性，因為這可能影響比賽結果。

2017 年休士頓太空人隊的偷暗號醜聞，是 MLB 史上最具爭議的事件之一。起因是該球隊在例行賽和季後賽中，利用設置於中外野的攝影機即時捕捉對手捕手的暗號，並將影像傳送到休息區。球隊人員在解碼暗號後，透過敲擊聲等方式直接向打者提示球種。此事件影響廣泛，甚至對於該球隊在 2017 年贏得世界大賽冠軍的正當性產生重大質疑。(Passan, 2020)

2018 年紅襪隊偷暗號的事件，雖然規模與影響遠小於太空人事件，但仍被 MLB 調查認定違反規定。此事件起因是每個 MLB 球場休息區都會有的影片回放室，這是一種專用設施，該設施會配備監視器顯示即時比賽影像，供球隊回顧場上畫面、分析戰術並協助挑戰裁判判決。每支球隊的回放室由專職操作員管理，負責監控影像、與教練團溝通及提交挑戰請求。然而，紅襪隊的操作員被發現違規使用回放室的即時影像，該操作員利用即時比賽影像分析對手捕手的暗號，並將解碼資訊傳遞給休息區，再透過二壘跑者向打者提示可能的球種。經過 MLB 的調查後，雖然該行為只有出現於例行賽，並未延續至季後賽，且管理層、教練團及大多數球員都不知情，事後僅對該操作員做出懲處，並沒有造成太大的影響。(Lauber, 2017)

這兩起事件凸顯了在科技快速發展下的監管問題，揭示了球隊濫用電子設備以獲取不公平競爭的優勢。科技雖然為球隊提供了合法的戰術分析工具，但若缺乏嚴格監管時，容易被濫用成為違規手段，破壞運動的公平性與競技精神。這些事件後也促使 MLB 採取對策，包括在回放室派駐監察員，並於 2022 年引入 PitchCom 無線通訊系統，讓捕手

透過電子訊號直接與投手溝通，取代傳統手勢暗號，從而有效遏制偷暗號行為。總結而言，這兩起事件暴露了科技在棒球運動中的雙刃劍特性，推動聯盟強化規則與技術防範措施，以維護比賽公平性，同時提醒所有運動領域必須在科技應用與倫理規範之間尋求平衡。

三、棒球 2021 年度爭議-美國職棒大聯盟未觸壘誤判

棒球賽事在 2021 年美國職棒大聯盟一場由 Phillies 與 Braves 兩個球隊的比賽。比賽進行到第九局上半，Phillies 球隊的進攻，場上為一出局三壘有人，Phillies 球員 Didi Gregorius 擊出的一記飛球被接殺。此時，三壘上的 Phillies 球員 Alec Bohm 立即起跑衝向本壘，而 Braves 的球員也迅速將球回傳至捕手，試圖在本壘前觸殺 Alec Bohm。最後裁判判決 Alec Bohm 安全上壘，Braves 隨即提出挑戰，然而經過複審，裁判組維持原判，比賽最終 Phillies 球隊靠這個跑壘以 7 比 6 贏得比賽。(Zolecki, 2021)



圖 3-8 轉播畫面顯示球員未觸及壘包。資料來源：MLB 官網

然而，透過電視轉播的重播畫面顯示，Alec Bohm 的腳似乎完全沒有觸及本壘板，僅僅從旁掠過，顯示該判決可能存在明顯錯誤。這一事件隨即引發外界的強烈質疑，許

多球迷與評論員認為，即便有重播系統協助，若最終的審查仍由人工裁決定，其結論仍可能受到畫面選擇、角度限制或裁判自身解讀標準的影響。更重要的是，裁判組並未對外清楚說明最終維持原判的依據，使得球迷難以理解判決背後的邏輯。

這一案例凸顯出，即時重播系統雖旨在透過多角度高清畫面提升判罰精準度，但若缺乏透明的程序與一致的標準，最終仍可能導致判決爭議。球迷無法得知裁判在審查時究竟依據哪些角度與畫面、又是如何進行判斷，這使得「科技保障公平」的信念動搖。當科技輔助僅僅是由人員進行再次解讀，而缺乏公開透明的決策過程，其所帶來的信任危機反而可能比單純的誤判更嚴重。

四、網球 2025 年度爭議-電子線審系統被關閉

網球賽事在 2025 年溫布頓網球錦標賽的女子單打，俄羅斯選手 Anastasia Pavlyuchenkova 與英國選手 Sonay Kartal 的比賽。這場比賽中發生了一起關鍵時刻的電子線審系統失靈事件，事件引起廣泛討論。第一盤比賽中，比分進行到 4 比 4 時，Anastasia Pavlyuchenkova 拿到發球局與局點。而 Sonay Kartal 的一記回球，球明顯飛出邊線，透過電視轉播的重播畫面也顯示該球明顯出界。按理來說，電子線審系統應該自動發出判定聲音標示該球為出界，但當時系統未有任何回應。裁判隨後用對講機與操作人員確認系統狀態，最終決定該點應重賽。賽後，主辦單位經內部查證發現，電子線審系統在該局點開始之前，就已被誤操作關閉，造成三個球未被系統判定。其中包括上述那一記明顯出界的回合。主辦方稱這是因「人為錯誤」所致，是系統操作人員無意中將系統的球追蹤功能關閉，而相關工作人員包括系統操作員未能及時察覺並通知主裁判。隨後溫布頓組織發佈聲明，表示已刪除操作員手動停用球追蹤功能的權限，以避免未來類似狀況再次發生。主辦單位亦對選手公開致歉，並強調對系統功能的信心未被撼動，但也承認操作流程與監控必須更嚴密。(Fendrich, 2025)

這起事件也引發了幾點爭議。首先，在技術層面，問題並非源於系統設計本身的缺陷，而是因為操作人員誤將系統關閉，導致其在比賽最關鍵的時刻無法發揮應有的功能，

凸顯了人為因素在高科技系統中仍具決定性影響。其次，在程序層面，判決過程的透明度與回應機制備受質疑。雖然主辦單位事後承認錯誤並公開道歉，但在比賽進行當下，觀眾與選手並不清楚系統是否正常運作，也不確定裁判是否已被即時告知系統失效，這種資訊不對等使得比賽決策過程顯得不夠公開透明。最後，在公平性與信任層面，儘管主辦單位強調這只是單純的操作疏失，並無偏頗意圖，但事件本身已對觀眾與選手的信心造成損害。對球員而言，一旦比賽結果受到質疑，無論實際責任如何，都會對其心理狀態及比賽專注度產生影響；對觀眾而言，這樣的錯誤也可能削弱他們對比賽公正性與科技判決可靠性的信任，進一步引發外界對輔助判決技術合理性與必要性的反思。

綜合上述案例可以發現，雖然科技的導入初衷在於減少誤判並提升比賽的公正性，但實際運作中，人為因素依然是爭議的核心來源之一。即時重播系統與其他輔助判決技術雖然能夠提供高解析度的畫面、多角度的回放以及客觀數據，卻無法完全排除操作、溝通與判讀過程中的人為誤差。例如，審查員在挑選回放角度或解讀畫面時，可能因判斷不一致而產生不同結論，導致比賽結果仍具爭議性。此外，由於判決流程與依據往往不對外公開，觀眾、球員與教練無法清楚理解裁判最終判決的依據，進而加深了外界對公平性的懷疑。更進一步來看，這些案例暴露了當科技被過度依賴或使用不透明時，反而可能削弱比賽公信力。雖然先進技術能快速提供數據輔助，但若缺乏一套透明化的決策公開機制與嚴謹的監督框架，觀眾與球員對比賽結果的信任將持續受到挑戰。這也意味著，科技再怎麼進步，都無法單靠技術層面徹底解決公平與倫理問題，必須與制度設計、規則完善及人員專業素養相互配合，才能在真正意義上提升比賽的公正性。換言之，輔助判決系統並不是萬靈丹，它只是協助裁判做出更精確判斷的工具，而不是消弭所有爭議的終極解方。唯有在科技應用之外，同時推動判決透明化、制定清晰一致的審查標準，並建立公開的溝通回應機制，才能讓科技在維護比賽公平性時發揮最大效益，避免因人為疏失或濫用而反過來成為爭議的根源。

第三節 比賽連續性中斷

輔助判決介入時，裁判往往必須暫停比賽、等待影像的處理或者人員的判讀，這使得原本連貫的比賽節奏被迫中斷。特別是在高強度攻防或比賽的關鍵時刻，這類中斷不僅可能改變比賽的動態走向，也會影響場上球員的情緒與臨場表現。若審查次數過於頻繁或耗時過長，還可能導致球員心率下降、專注力減弱，甚至增加在重新啟動比賽時發生受傷的風險。另一方面，觀眾在場邊或透過轉播等待的過程中，也會因過長的停頓而削弱觀賽的投入感與緊張氛圍，使比賽的娛樂性與吸引力受到影響。

一、足球 2025 年度爭議-英格蘭足總盃 VAR 超長判決

足球賽事在 2025 年 3 月 1 日英格蘭足總盃，Bournemouth 與 Wolverhampton Wanderers 兩個球隊的比賽。比賽進行到上半場第 35 分鐘時，Bournemouth 的一位球員射門進球，按照標準程序，VAR 裁判會使用半自動越位技術 (SAOT) 快速分析球員位置，以判斷進球前是否存在越位違規。然而，這次審查過程竟耗時超過 8 分鐘，最終才確認進球前有越位發生，並判定進球無效，這也創下了 VAR 審查最長時間的記錄。賽後 VAR 裁判解釋，審查延長的原因在於禁區內球員過於密集，多名球員遮擋了 SAOT 攝影機的視線，導致系統無法精確捕捉所有關鍵位置數據。為避免錯判，VAR 裁判不得不回歸傳統的人工劃線方式，手動分析多角度畫面來判斷越位，導致了審查時間的增加。(Kinsella, 2025)

這一事件凸顯了 VAR 系統在實際應用中的挑戰，儘管 VAR 已經是現代足球不可或缺的一部分，在判決準確性方面取得了顯著進步，但仍面臨著持續的挑戰。其中最顯著的問題是審查時間過長與過多的審查。原本 SAOT 的引入旨在縮短傳統 VAR 審查的平均耗時，將 70 秒縮短至約 25 秒，然而一旦系統畫面受遮擋、數據捕捉不完整或演算法無法處理的情況，反而會迫使裁判回到人工操作，不僅失去效率優勢，還會帶來更多不確定性。

另一方面，長時間的中斷不僅影響比賽節奏，也對球員與觀眾造成實質衝擊。對球

員而言，8分鐘的停頓足以讓身體冷卻，肌肉張力下降，不僅影響隨後的比賽專注度，還可能增加重新投入比賽時的受傷風險。此外，焦急等待一個可能改變比賽結果的判決，這所帶來的心理壓力，也可能顯著影響球員後續的表現。對觀眾而言，冗長的等待削弱了比賽的緊湊感與張力，令比賽的娛樂性與觀賞體驗大打折扣。

二、籃球 2021 年度爭議-NBA 即時重播延誤比賽

籃球賽事在 2021 年 6 月 22 日 NBA 一場由洛杉磯快艇與鳳凰城太陽兩個球隊的比賽。比賽進入第四節剩餘 90 秒時，短短的 90 秒比賽時間竟耗費超過 30 分鐘才結束。原因是裁判總共進行了 5 次的重播回顧和 4 次暫停，審查的內容包括判定最後觸球出界球員的判定和計時是否正確等。特別是在比賽最後僅剩 8.4 秒時，光是完成相關回顧與判定就耗時 7 分鐘才結束比賽。(FOX SPORTS, 2021)

這一事件凸顯了對於重播系統過度使用所帶來的問題。慢動作回放的確能捕捉到肉眼難以察覺的細節，但過於依賴這些技術，卻導致裁判在尺度掌握上過度精細化，反而失去原本應有的比賽流暢性。如此高頻率的審查與長時間中斷，打亂了比賽的緊張氛圍，使球員在等待過程中專注力與身體張力下降，也讓觀眾的沉浸感與觀賽體驗大幅削弱。對於運動本身而言，過度回放所造成的割裂感，甚至比誤判本身帶來的影響更為負面。

然而，這並非籃球獨有的問題，類似的問題也出現在足球、棒球等運動中。例如，2023 年英足的一項調查中也顯示有 63.3% 的球迷反對 VAR，甚至有 79.1% 的球迷將 VAR 的體驗評為糟糕或非常糟糕(BBC Sport, 2023)。其不滿的原因主要來自於兩點：其一，審查時間過長破壞了比賽的節奏；其二，判決過程不透明，讓觀眾難以理解裁判依據何種標準作出最終裁決。

研究者也針對比賽連續性中斷的問題，訪問多位裁判與選手關於當比賽因輔助判決而暫停時，對於場上的影響；以及當比賽因輔助判決而暫停時，認為多少的停頓時間是可以接受的。

因為籃球排球它是比較快節奏性的比賽，所以一般來講我們也是不希望因為輔助判決然後中斷太久，我們除了比賽之外還有考量到選手，他也會希望趕快出賽，如果大家一直等的話，其實會有更多的疑問出來。像排球籃球一個暫停大概一分鐘，所以如果一分鐘之內，輔助判決可以有一些結果出來，事實上是對比賽的連續性跟中斷比較不會造成太大影響。(A, 8-16)

比賽連續性中斷的這個問題會從幾個方面來看，一般會需要使用的狀況都是比較有爭議性或是重要的議題，所以對球員來說他們會希望知道結果，不會因為比賽中斷而失去了對比賽的專注力。第二個就是因為有 IRS 的存在，裁判必須要利用這個系統去看回放，那教練都會利用這個時間來指導他的選手，所以其實有時候教練會把他當作是一個戰術來使用。(D, 8-17)

大部分的受訪者認為，只要輔助判決的時間不要太長，大概 1 分鐘至 1 分半鐘的時間，最多不要超過三分鐘，對球員場上專注度的影響相對較小，甚至能為教練提供短暫的戰術佈置機會。這一點顯示，合理的時間限制不僅能維持比賽的流暢性，還可能為比賽策略增添額外的空間。然而，當審視時間過長，特別是超過 3 分鐘，球員的比賽節奏和心理狀態可能受到顯著干擾，觀眾的觀賽熱情也會隨之下降。因此，制定明確的時間規範顯得尤為重要，例如設定硬性時間上限，並要求技術團隊在限定時間內完成分析，以確保比賽的連續性。

在籃球比賽裡面，使用到 IRS 的情況蠻複雜的，比賽的各個時間可以看的東西不一樣，剛開始大家不熟悉的時候就會花比較多的時間。而 FIBA 有很多的訓練讓裁判知道要看哪些項目，如果沒有決定性的證據是不能推翻原本的判決。(D, 19-28)

從受訪者的內容可以了解到，像籃球、足球、棒球等對抗性的運動與網球、排球、羽球等隔網的運動在輔助判決上的需求存在差異。隔網運動的判決相對簡單，大多只需判斷球是否界內或界外，輔助判決的應用範圍較窄，技術要求也相對簡單，因此對比賽連續性的影響較小。然而，籃球、足球和棒球等對抗性運動的判決情境則複雜得多，涉及越位、犯規、出界、得分有效性等多種情況，輔助判決的使用頻率和複雜度都更高。為避免過度中斷比賽，裁判必須精準拿捏何時需要使用輔助判決，何時依賴自身的直觀判斷，以在維持比賽連續性的同時兼顧公平性。這不僅考驗裁判的專業性，也凸顯了技術與人性化判斷相結合的重要性。若裁判過於依賴技術，可能導致比賽流暢性下降；而若完全忽視技術，又可能犧牲公平性。因此，裁判的培訓應注重提升其在高壓環境下的快速決策能力，確保在維持比賽連續性的同時兼顧公正性。

受訪者進一步提到，賽事等級的差異可能導致攝影機數量不足，特別是在關鍵時刻無法提供足夠的拍攝角度，進而延長輔助判決的時間。這一問題暴露了技術資源分配的不均，尤其在低級別賽事或資源有限的地區更為突出。

以球員的立場，在羽球這個項目，如果是在比分很膠著的時候，我會去使用輔助判決，讓我自己的得到充分的休息，給我 30 秒甚至 1 分鐘就夠了，所以比分越膠著的時候，我去使用輔助判決是可以產生一個很大的影響。而有些球員明明比分差很多，他還是會使用輔助判決，因為他就是想要得到休息或是干擾對手。(E, 71-84)

受訪者從羽球選手的立場來看，輔助判決不僅是確保公平的工具，還可作為一種戰術手段。選手能利用短暫的暫停獲得休息，或在對手狀態正佳時進行干擾，從而改變比賽節奏。然而，羽球比賽對輔助判決的使用設有嚴格限制，每位選手僅有兩次挑戰機會，且只有挑戰成功才能保留次數，這有效防止了濫用行為。這種機制確保了輔助判決在提供公平性的同時，不會過度影響比賽的流暢性。前面也提到像網球、排球和羽球等隔網

運動的輔助判決主要聚焦於界內外判定，技術要求相對簡單，審視時間通常較短，對比賽連續性的影響較小。然而，受訪者 E 以教練身份分享過去的經驗，賽事等級的差異可能導致技術設施不足。受訪者 E 舉例曾經帶隊參加某場國際性的比賽，其中有一場等待鷹眼的判決耗時將近兩分鐘，推測可能是因為硬體設備不完善或場館天花板沒有適合角度架設攝影機。這類延遲不僅影響選手的比賽節奏和心理狀態，也可能削弱觀眾的觀賽體驗。

綜上案例可以發現，即使科技進步，提供了更高的精確度以及公平性，但它並未完全消除比賽中的爭議。原因在於，最終的判決仍需仰賴人為的監督與裁量，而這一環節不可避免地帶來新的變數。例如，技術審查過程若耗時過長，會破壞比賽流暢性；若判決過程不透明，則會削弱觀眾對公正性的信任；若過度依賴科技，甚至可能掩蓋了運動本身的戲劇性與張力。因此，唯有在技術應用與規則設計上持續優化，並建立公開透明的決策流程，才能確保輔助判決真正實現提升公正性的初衷，而非淪為新的爭議來源。未來，各類球類運動應在技術創新與人為把關之間尋求最佳平衡，既要充分發揮科技的客觀性與效率，又要保留裁判對比賽情境的判斷力，才能在公平性、流暢性與觀賞性之間達到和諧統一。唯有如此，科技才能成為賽事真正的助力，而不是比賽進行的負擔。

第肆章 輔助判決技術的想像

當今運動賽事中，輔助判決技術的應用已成為比賽中不可或缺的一部分，從足球、棒球、排球、網球和羽球，透過即時重播、鷹眼系統、感測器設備等先進技術手段，顯著改善了過去因人為因素導致的誤判問題，為比賽的公平性提供了強有力的保障。然而，這些技術在實際應用中仍面臨諸多挑戰，包括技術限制、操作流程的不透明性，以及對比賽節奏和觀眾體驗的影響。展望未來，隨著人工智慧、量子計算、感測技術和數據分析的突破，輔助判決技術有望實現更高的精準度、更快的處理速度以及更人性化的應用方式，從而徹底改變運動賽事的公平性與觀賞性。本章將深入探討當前輔助判決技術的現狀與挑戰，並對其未來發展進行全面的想像。

第一節 科技與賽事的平衡

隨著科技的快速發展，未來輔助判決技術在硬體與演算法層面必然會朝向更高準確度、更低延遲以及更具整合性的方向進化。目前，許多運動項目中的科技判決仍以「輔助」為定位，如棒球、排球與羽球的判決仍以裁判肉眼為主，科技主要在爭議時提供補強，當人工誤判時方能透過輔助判決系統加以推翻。然而現行制度中，一旦科技本身出現偏差或運作異常，往往缺乏明確與有效的申訴機制，使得球員或教練無法獲得公平的保障。以網球為例，電子線審系統已全面取代人工線審，但在溫布頓等重大比賽中仍出現過多起爭議案例，例如擊球明顯出界但系統沒有鳴叫、系統未能追蹤到球必須重打，甚至因場地光線不足而影響判讀結果等，顯示全面依賴科技的轉型仍處於「陣痛期」。

「誤判也是比賽的一部分」這句話幾乎是傳統運動文化中的共識。在沒有科技輔助的年代，判決一旦落定便毫無申訴餘地，球員只能默默的接受，對於觀眾來說增加了比賽的戲劇性。然而，若未來比賽完全由科技掌控，實現百分之百的公平判決，雖然看似完美，卻可能剝奪了比賽中原本存在的張力與趣味。

我永遠都抱持一個觀念，運動比賽英文叫做 GAME，它一個遊戲的延伸，如果今天導入科技來取代裁判做判決，就算變成 100%的完全公平，但是他失去了那個遊戲的不確定性。(B, 194-197)

因為一個誤判，教練會吵會鬧，球員會吵會鬧，甚至有一些爭議發生，我覺得這個都是球賽精彩的一個地方。如果說今天球賽沒有裁判的誤判，沒有教練的情緒。就像你看一場電影，這場電影是很無趣的電影，沒有任何的張力、沒有任何的變化、沒有任何的驚喜，這個球賽我覺得是不好看的。(C, 251-255)

受訪者表示，運動比賽的本質不僅是競技，更是一種「遊戲」與「表演」。觀眾之所以迷戀現場球賽，很大一部分來自不可預期的不確定性與人性化的元素。誤判、爭議、教練與球員的情緒反應，這些看似不完美的因素，實際上都是比賽最引人入勝的一部分。這些人性化的反應為比賽增添了戲劇性、變化與驚喜，讓觀眾感受到緊張與刺激。受訪者指出若比賽因科技介入而變得過於精確與平淡，就像一部缺乏張力與變化的無趣電影，喪失了吸引觀眾的魅力。

未來科技全面接管比賽可能是不可避免的，但這也可能犧牲比賽作為的娛樂性與情感共鳴。這種變化促使我們思考未來如何在技術進步與保留運動本質之間找到平衡，提醒我們在追求公平的同時，也不應忽視運動比賽作為娛樂形式的核心價值，保留公平性的同時允許一定的人為因素存在，讓比賽得以持續展現不可預測性與人味，維繫觀眾的熱情與投入。

此外，由於輔助判決系統依賴昂貴的設備與技術支持，例如高解析度攝影機以及專業的操作團隊，這些成本對於基層或小型賽事而言往往難以負擔。因此，輔助判決系統多使用於職業聯賽或國際大型賽事，而基層比賽因缺乏資源，難以使用這些技術，導致公平性問題更加突出。裁判在基層比賽中仍是主要判決者，但其經驗與專業度可能參差不齊，誤判風險較高，這對年輕運動員或非職業選手的比賽體驗與公平性構成挑戰。

你說如何提升小型賽事的公平，其實我們還是回到最原始的，就是如何我們把裁判的素質提高。因為我覺得裁判的培養這件事情，我們比較沒有系統性，所以就有可能比較多的狀況出現。(B, 214-217)

我們一直在討論這個輔助判決，我覺得這些東西都是能夠增加裁判的能力，裁判也是會有壓力，以前反正誤判沒人知道，沒人給我壓力，現在誤判好多人會給我壓力，我必須要去提升我自己的能力。所以我相信這個輔助判決，這件事情對於裁判能力的提升，絕對是有正面的影響，那對於這種小型的賽事，自然的你裁判能力提升的話，小型賽事的公平性自然就提升了。(C, 256-262)

像假日聯盟這種聯盟的比賽，你如果一直看一直看根本看不完，所以我覺得依照現在的設備，最簡單的方式就是，中間一個不管是用手機或者是用攝影機，或是籃框兩邊各放一個 GoPro，這樣可以看的東西其實就已經非常多了。依照比賽的時間，聯盟的要求跟水準，去限定說哪些東西可以看，哪些東西不能看，用比較彈性的方式來做。(D, 322-336)

受訪者提到，針對提升小型賽事公平性提出了幾個解決方法，首先強調提升裁判專業能力的重要性，認為缺乏系統性的裁判培訓是導致誤判頻發的主要原因，通過建立更完善的裁判培養體系，可以有效提高裁判的判罰能力，從而提升小型賽事的公平性。此外，受訪者針對小型賽事的資源限制，提出利用低成本設備來輔助判決，例如使用智能手機或 GoPro 攝影機進行簡易的錄像回放，這些設備成本較低且易於部署，有時候就能提供足夠的畫面資料來審查關鍵判罰。同時建議根據聯盟的比賽水準與要求，靈活設定可審查的項目範圍，以兼顧公平性與比賽流暢性。總結來說，受訪者的解決方案包括系統化提升裁判培訓、利用輔助判決技術間接促進裁判能力進步，以及採用低成本錄像設

備並靈活設定審查規則，以在資源有限的小型賽事中實現公平性與娛樂性的平衡。

第二節 裁判的定位

輔助判決技術雖然在提升比賽公平性與透明度上獲得廣泛肯定，卻也從根本改變了裁判的角色定位與專業倫理。在現代運動講求科學化運動的環境下，運動賽事的強度也是不斷提升，不管是球速或是對抗強度都逐漸增加，裁判需對場上瞬息萬變的狀況保持高度警覺。輔助判決技術的引入，一方面減輕了裁判的壓力，另一方面卻可能成為檢驗裁判專業能力的新壓力來源。

大部分受訪者認為，現在的裁判對於輔助判決的依賴程度有明顯的上升，尤其是現在輔助判決使用的範圍逐漸變廣，各個運動聯盟也隨著比賽的進步逐步調整著規則，既要確保公平，也要減少爭議。當場上爆發衝突時，需判定最後觸球者或決定是否驅逐球員等關鍵情境時，裁判往往借助即時重播確認細節，以提高判罰精準度，並使球員與觀眾對結果更能心服口服。

以排球來講，裁判會覺得我就判然後讓你來挑戰，因為有時候速度太快，裁判真的來不及的時候，他們也能接受也認同讓你來挑戰。但是以裁判的訓練來講，會盡量減少使用輔助判決的機會，如果常常看回放，對裁判的執法能力是會被質疑。

(A, 141-147)

輔助判決廣泛應用的現在，對於裁判角色的定位逐漸改變，逐漸從正從執法者悄然轉向技術協調者。然而科技輔助判決應該被當作一個安全網而非依賴的拐杖，否則裁判的即時判讀能力與比賽流暢度都會被悄然侵蝕。若任由此趨勢擴大，裁判在關鍵時刻可能會越來越傾向「先判再讓科技背書」，長遠將弱化裁判的專業判斷力。最後大家勢必會問「既然科技判的更準，何不改用科技判決即可」。

如果我今天的判決跟回家後看電視重播是一模一樣的時候，自己的判決能力會越來越好，對自己的信心度會提升，對自己的執法來講其實是有幫助的。輔助判決如果你會運用它的話，它其實是一個助力，是一個可以幫助你的東西，它就是一個比賽的一部分，但是我們不應該去濫用它。(B, 166-178)

輔助判決不僅是糾正裁判錯誤的工具，更是提升裁判判罰技能的重要工具。若裁判能以「自我檢核」的心態善用這項工具，透過每一次與科技的對照，精進判讀的敏銳度與決策的精準性，從而成為主動駕馭科技，而非被動依賴科技的專業執法者。

籃球運動中身體接觸是在所難免，在籃球裁判的執法教材裡面，需要使用一致性去做判決，而身體的碰撞沒有辦法直接用科技來判斷是否一定犯規。籃球的比賽是不斷在進化的，要讓他保持在一個平衡上面，就必須要容忍一定的對抗，這個比賽才會好看才會精彩。(D, 290-302)

大部分受訪者認為，即便科技日益精進，也很難在籃球或足球這類高對抗性的運動中完全取代裁判，反而重要的應該是把科技當成裁判能力養成的工具。賽場上在視線遮蔽或衝突瞬間，提供客觀參考，協助裁判迅速確認關鍵細節，而賽後可利用高解析影像與數據回顧，培養裁判的場景意識並強化判罰的一致性的素材。賽場上的最終決策仍須仰賴經驗豐富的裁判，才能在公平、安全與張力之間取得動態平衡，讓運動保持「以人為本」的魅力。

我覺得人工裁判跟系統讓他們彼此去互相監督，反而對比賽來說會是最公平。而對於未來裁判的角色的定位，當然除了最基本的公平性判定之外，我覺得整個協會或總會，需要有一個裁判的獎罰制度。(E, 345-353)

科技不是一定百分之百準確的，即使未來賽事日益仰賴輔助判決系統，沒有人能保證系統的每次判罰都完全是正確的，因此仍需要人工層層把關互相監督。受訪者 E 舉例，2022 年周天成在德國海洛羽球公開賽，主審誤判周天成在球落地後再擊球，構成違規，直接丟失 1 分。然而，根據轉播慢動作回放清楚顯示這是一次誤判，但因鷹眼系統並不適用於此類違規改判，所以沒有任何申訴的機會，周天成無法申訴，最終因這一爭議判決丟失關鍵分，激戰三局後惜敗。此案例凸顯，科技輔助並非萬能，人工監督仍是不可或缺的環節。

受訪者認為科技都需要人工來監督，裁判也需要有一套裁判績效評鑑機制，透過科技提供客觀數據，協會或總會再透過獎罰制度將這些數據轉化為晉升、再訓練或汰換的依據，讓裁判持續進步、技術持續優化，如此才能做到透明化監督，真正形成相互監督的正向循環，減少如周天成的爭議事件再次出現。

隨著環境改變，「運動應回歸到球員本身」的呼聲高漲，大家開始相信，只要把判決交給機器，就能消除誤判並實現絕對公平。然而這股趨勢同時稀釋了裁判的權威並讓其面臨兩難，若依賴機器，他們的專業判斷被視為多餘；若遵循直覺吹判，又隨時可能被高解析慢動作打臉。裁判角色因此站在傳統執法與科技判決的夾縫，必須重新尋找兼顧專業與公信的平衡點。

第三節 未來的技術

現階段，輔助判決技術的應用已相當廣泛，然而，技術的應用並非完美無缺，當前的輔助判決系統在實際操作中仍存在諸多限制。首先，判斷延遲是影響比賽體驗的一大問題。以足球 VAR 為例，平均每次審查耗時約 70 秒，且有案例曾長達 8 分多鐘的審查時間，這不僅打亂比賽節奏，還容易引發球員和觀眾的情緒波動，進而影響現場氛圍。這種延遲主要源於多個環節，影像傳輸與處理需要時間，通訊系統的緩衝可能導致訊號延遲，以及人工介入的決策過程（例如系統無法準確判定越位，需要由人工劃線審查）

更進一步拉長了審查時間。其次，精度的不足同樣是當前技術的瓶頸，雖然鷹眼系統中的對於重建軌跡的誤差已降低至約 2.6 毫米範圍，但在球速極快或環境複雜（如羽球遭室內空調氣流影響或者攝影機被遮擋了視線）時，仍可能出現數毫米的測量偏差。類似地，足球 VAR 系統在越位判定中需要精確計算球員與球的相對位置，但當球員肢體角度複雜或攝影機視角受限時，演算法可能因數據不足而產生誤判。這些問題表明，當前輔助判決技術在高動態、複雜環境下的穩定性和精準度仍有待提升。

另一方面，頻繁的審查和不透明的判決過程也引發不滿。以網球、排球和羽球來說，主要使用輔助判決都是聚焦於界內外判定，且都有限制輔助判決系統的挑戰次數，對於比賽的流暢度影響較小。然而，如籃球或足球，需要使用即時重播輔助判決的範圍極廣，涉及越位、犯規、出界、得分有效性等多種情況。隨著使用次數增多，發現「雖減少了錯誤，卻未完全消除爭議」，反而因頻繁中斷和判決不明確而產生更多的抱怨。原本足球一場 90 分鐘的比賽，在還沒使用 VAR 之前，補時時間通常在 3-5 分鐘，但自 2018 年開始引入 VAR 後，補時時間出現過長達 9 分鐘甚至更長，而越長的比賽時間表示運動負擔的增加，反而增加了球員受傷的風險。

現行輔助判決系統通常需在比賽場館內部署六至十餘台的高速攝影機，設備成本高昂，導致僅有頂級賽事才能負擔此類系統的使用費用。相較之下，小型賽事因場地租金、裁判薪酬及人力成本已十分有限，若再額外承擔高額的技術費用，往往令主辦方望而卻步，選擇放棄使用輔助判決系統。因此，規模越小、資源越匱乏的賽事，越難享有與高級賽事同等的判決保障，誤判與爭議頻發，不僅損害比賽的公平性，也削弱賽事的觀賞吸引力與公信力。這進一步導致小型賽事陷入公平性不足、吸引力下降、推廣困難的惡性循環，長期不利於基層運動的發展與普及。

展望未來，隨著科技的進步，輔助判決系統有望實現更廣泛的普及並顯著降低成本，從而廣泛應用於中小型賽事。例如，5G、6G 以及未來更先進的通訊技術將提供更低延遲的數據傳輸，確保即時且穩定的數據流，這對於需要快速分析的比賽場景尤為關鍵。同時，奈米級感測器的應用將徹底改變數據收集方式，結合藍牙與 UWB 超寬頻通訊技

術，提供更精準、靈敏的數據捕捉能力，為運動賽事的判決與分析注入新的可能性。另外，將感測器嵌入比賽用球內，實時記錄球的加速度、旋轉角度和精確位置等數據，這些數據與高解析度攝影機畫面結合後，可生成極其精準的運動軌跡模型，大幅提升判罰的客觀性與可靠性。此外，人工智慧（AI）和機器學習技術的進步將進一步優化輔助判決系統的效率與精確度。通過大規模比賽數據的訓練，AI 模型能夠快速識別比賽中的關鍵事件，例如進球、越位或犯規，並在毫秒內完成判決，無需人工介入即可完成高效且準確的判斷。例如，未來的 VAR 系統透過 AI，自動檢測並識別足球比賽中的越位或犯規事件，並即時提供視覺化的判決依據，減少爭議並提升比賽流暢性。在籃球比賽中，AI 可通過分析球員的動作數據（如手臂移動速度、接觸角度和力度），提供更精確的犯規或違例的判斷建議，甚至能識別細微的動作差異，如區分合法防守與推人犯規等。

未來，AI 的應用將更加深廣，除了全面取代裁判外，包括 AI 輔助訓練、機器人競技、人造運動員崛起等等。陶以哲（2025）就舉例，2024 年巴黎奧運，美國田徑與游泳隊利用 AI 分析選手姿勢、肌肉反應與呼吸頻率，提供精準的個人化訓練建議，超越傳統教練的經驗判斷。日本職棒橫濱球隊則開發 AI 投球模擬系統，讓投手透過虛擬對戰預測打者行為。機器人領域，美國 Boston Dynamics 的 Atlas 機器人與波士頓機器狗能完成後空翻與複雜移動。東京大學的 Kengoro 機器人能執行伏地挺身、籃球投籃等動作。韓國的 RoboCup 機器人足球隊則展現 AI 策略與速度的競技實力。這些進展表明，AI 正在重塑運動的生態，溫布頓網球全面使用電子線審只是個開端，FIFA 正計畫於 2030 年全面採用 AI 裁判，以減少誤判。

隨著 AI 技術的突破，我們可以想像未來的輔助判決將不再只是「輔助」，而是可能逐漸發展為 AI 主導判決系統。AI 不僅能即時蒐集並分析數據，更能在演算法驅動下進行模式辨識、自我學習與判斷，甚至在毫秒間完成裁判無法做到的瞬間判決。換言之，AI 裁判可能不僅僅是科技輔助裁判，而是全新的判決執行者。這樣的轉變將對運動賽事的公平性、觀賞性、裁判專業角色與運動倫理帶來深遠影響。可以想像的到 AI 技術的發展則可能帶來以下的突破：

- (一) 全自動判決：AI 透過電腦視覺與多角度攝影機，即時辨識比賽中的所有關鍵事件，例如籃球的身體接觸、足球的越位線判定、棒球的投球落點等，並自動輸出判決。
- (二) 即時數據學習：AI 不僅依據預設規則進行判斷，還能透過持續比對比賽資料庫與實際狀況，修正演算法，提升一致性與準確性。
- (三) 跨運動整合：現有輔助判決大多專為單一運動設計，而 AI 裁判系統可能成為跨運動平台，透過模組化設計，能同時應用於足球、籃球、棒球等多種不同的運動領域。
- (四) 邊緣運算與高速回饋：透過更快更強的 AI 晶片問世，AI 的運算能力將持續提升，使其能在極短時間內即時處理龐大的比賽數據，實現毫秒級的判決。這不僅有效減少比賽中斷的情況，維持賽事的流暢度，同時也能在高速運算與精準演算法的支持下，確保判罰的公平性與可信度。

為進一步闡明現有輔助判決與未來 AI 判決的差異，將以表格的形式呈現，透過不同面向說明其在發展過程中可能面臨的挑戰與機會：

表 4-1

輔助判決與 AI 判決比較表

比較面向	現有輔助判決	AI 判決
判決角色	以「輔助」為主，最終決定仍由人工裁判確認	AI 可直接輸出判決，人工角色轉向監督與例外處理
應用範圍	多集中於落點判斷以及多專門為單一運動設計	可涵蓋動態情境判斷，如身體接觸、戰術犯規，並適用不同運動
判決速度	部分運動需透過回放與人工確認，平均耗時數十秒至數分鐘	毫秒級即時判決，顯著減少比賽中斷

(續下頁)

表 4-1

輔助判決與 AI 判決比較表 (續)

比較面向	現有輔助判決	AI 判決
準確度	透過回放與人工確認仍可能存在主觀差異	透過 AI 演算法，精準度更高且持續優化
成本	設備昂貴，不同運動不能統一使用	隨著晶片與演算法普及，成本將可下降，並適用不同運動
透明度與信任	可透過回放公開，具一定透明度	演算法可能成黑箱，需建立可回溯的機制與第三方監督
對裁判的影響	減輕誤判壓力，但也讓裁判誤判被放大檢視	減少技術判罰壓力，使裁判專注於比賽氛圍管理
觀眾體驗	公正性提高，但頻繁中斷影響流暢度與張力	即時判決能維持比賽節奏，但過度精準可能削弱比賽戲劇性
未來挑戰	範圍有限、效率不足、成本過高	平衡公平性與人文價值，避免比賽過度公式化

資料來源：本研究自行編製

AI 技術所帶來的不僅體現在比賽的公平性與效率提升上，對裁判本身也會產生深刻的改變。傳統裁判往往承受龐大壓力，一旦出現誤判，不僅可能直接影響比賽結果，還會遭受媒體、球員與球迷的強烈批評，甚至影響其專業聲譽與心理健康。若能由 AI 裁判承擔主要判決責任，將有效減輕裁判的焦慮，讓其更專注於比賽管理與氛圍掌控，而非單純的技術判罰。另一方面，隨著設備成本下降與 AI 演算法的普及化，未來基層與業餘賽事也可能導入簡易版 AI 裁判，例如利用手機與低成本攝影裝置，即可完成落點判斷或越位判定。這樣的應用不僅能有效解決基層賽事中裁判人力不足的長期問題，還能提升比賽的公平性與專業性，進一步促進全民運動的推廣與基層運動環境的優化。

然而，儘管 AI 技術日新月異，其始終無法取代運動中深層的人性連結。AI 雖能精

準分析數據，卻無法體會賽後淚水蘊含的情感，或運動員在挫敗後奮起再戰的堅韌意志。運動的真正價值，蘊藏於人類親身投入的汗水與挑戰。

總體而言，輔助判決技術的未來充滿無限可能。它不僅是對現有裁判制度的革新，更是一場關於公平、效率與人性價值的深刻對話。從透明化的判決流程到全球化的技術普及，科技判決正引領運動賽事邁向一個更公正、更高效、更具吸引力的新時代。AI 雖可提升競技表現與判決精準度，卻無法取代人類親身體驗的感動與共鳴。科技雖不斷進步，但運動的圓滿仍仰賴人類真實的身體實踐，這正是人類獨特魅力的核心。雖然挑戰猶存，但隨著技術的迭代與社會的適應，科技必將成為未來賽事不可或缺的基石，為競技運動開啟全新的篇章。



第五章 結論與建議

本研究聚焦足球、網球、羽球、籃球、棒球與板球等球類運動，探討運動輔助判決技術的發展歷程，並從不同運動的實際案例出發，分析其對比賽公平性、裁判專業角色、球員心態以及觀眾體驗所帶來的影響。隨著科技進入運動場域，輔助判決系統逐漸成為維護比賽公正的重要工具，但其在推廣過程中仍伴隨著爭議與挑戰，顯示出科技與運動人文之間的平衡尚未完全確立。以下分別提出本研究的主要結論及研究建議。

第一節 結論

本研究首先針對各項運動輔助判決技術進行系統性的整理，從最早的電視即時重播，到光學感測技術、聲音偵測技術、壓力感測技術、電磁感應技術、雷達技術，再到現今應用最廣的影像技術等。本研究的整理結果顯示，這些系統的發展歷程並非單線式演進，而是依據運動特性產生出多元化的技術方案。例如，網球最早使用光學感測技術解決發球落點的判斷，到現在使用鷹眼即時電子線審全面取代了線審。板球則結合多種技術形成 DRS 決策回放系統，用不同的系統不同的角度作為判斷的依據。而足球則聚焦於越位與進球判斷。這些差異呈現出不同運動在公平性、流暢性與觀賞性之間的取捨策略，也反映了各運動文化與技術導入模式的獨特性。在技術層面，

本研究發現各輔助判決系統的發展歷程呈現「由簡入繁、由局部到全面」的趨勢。早期的光學感測技術功能單一，僅能偵測發球或邊線是否出界，且容易受環境干擾，逐漸被淘汰；聲音偵測技術與紅外線熱點技術雖提升了判決精細度，但僅限於板球適合使用，並且仍因成本或易受外界雜訊影響而存在爭議；壓力感測技術則因為需要在球場鋪設大量感測裝置，導致成本高昂、安裝複雜且耗時，並可能因場地材質或結構限制而影響部署效果，沒有被廣泛使用；電磁感應技術雖然可以精準判斷，但仍需對場地或球進行改造，不適合體積較小的網球或羽球等。進入 21 世紀後，以鷹眼系統為首的影像技術，利用多角度高速攝影與三維軌跡重建，大幅提升了判決的科學性與透明度，尤其是

對場地不需太大改動，以及快速且精準的判斷，成為跨運動普及的代表性技術。這些發展過程說明了輔助判決技術不僅是科技進步的產物，更是各運動項目在追求公平與效率過程中不斷嘗試與修正的結果。

本研究發現輔助判決在對比賽公平性上，確實有效降低了因誤判而導致的爭議，增強了比賽的透明度與可信度。如網球、排球與棒球的實務經驗中，輔助判決系統修正了相當比例的誤判，顯示其對於判決品質具有顯著的提升。雖然輔助判決顯著降低了誤判率，但在實際應用中仍充滿爭議。本研究整理多個案例，例如：板球 2020 年 Vodafone 系列賽中，Snickometer 與 Hot Spot 結果矛盾，最終引發爭議；2017 年加拿大網球公開賽，鷹眼系統在挑戰過程中出現異常，無法提供清晰回放，導致判決缺乏透明度；2024 年邁阿密網球公開賽，電子線審系統與轉播畫面矛盾，引發球員質疑；羽球 2021 年印尼大師賽，鷹眼模擬畫面與轉播落點差異過大，立刻引發對系統精準度的質疑等。顯示目前輔助判決系統仍需要人工的監督，而聯盟也需要建立即時替代方案來降低系統發生錯誤時的爭議。另一方面，輔助判決的發展同時也帶來比賽流暢性下降、過度中斷比賽及補時過長等副作用，不僅加重了球員的體能與心理負擔，提升受傷風險，也在觀賞層面削弱了比賽的節奏感與戲劇張力，反映出科技與賽事之間仍存在難以完全調和的問題。

在裁判的角色定位上，輔助判決重新塑造了其專業角色的定位。傳統運動文化將裁判視為比賽的最高仲裁者，其判決幾乎不可挑戰；隨著輔助判決的普及，裁判不得不承認自己可能存在誤判的可能；另一方面，裁判也必須學習如何使用輔助判決精進判讀的敏銳度與決策的精準性，從而成為主動駕馭科技，而非被動依賴科技的專業執法者。

總結來說，輔助判決技術在推動比賽公正性上有著無可取代的貢獻，但其發展必須同時兼顧比賽流暢度、運動文化價值以及人文互動。未來輔助判決系統有可能在 AI 的驅動下逐步取代裁判部分功能，但短期內仍無法完全消弭裁判的角色，特別是在身體碰撞、戰術犯規等需要情境判斷的狀況下。如何在科技介入與裁判專業間取得平衡，將是未來運動賽事持續面臨的重要課題。

透過這次的研究，我深入了解到了不同種類的輔助判決系統與裁判現狀，並從中獲

得諸多啟發。我發現許多輔助判決技術的原理具有跨運動應用的潛力，例如，雷達的探測原理、電磁感應技術等等，或許都有機會能運用到排球、羽球等運動之中。這些技術的跨界應用或許能提升判決品質，還能降低開發成本，為基層賽事導入科技提供可行性。

儘管如此，單純依賴科技並不足以根治裁判荒的問題。要從根本上改善台灣賽事的裁判困境，必須從人才、制度與科技三方面同步推進。首先，建立系統化的裁判養成制度是關鍵。此外，鼓勵運動相關科系的學生參與裁判工作是一項可行的策略。政府或運動協會可提供補助、獎學金或志工機會，吸引年輕人擔任見習裁判或線審，深入基層賽事累積實務經驗。這些見習裁判不僅能緩解裁判人力短缺的問題，還能透過實際操作提升對規則的理解與場景意識，為未來成為專業裁判奠定基礎。

在科技層面，基層或小型賽事可以視情況或預算，使用手機或 GoPro 等方式錄影，即可實現簡易的即時回放功能。這些設備價格親民，操作簡單，適合基層賽事使用。在比賽中，裁判可利用錄影回放檢視爭議性判決，選手與教練也能在賽後分析動作與策略，進而提升比賽品質與訓練效果。如此不僅能循序漸進推廣科技，又能讓裁判強化自我修正、提升判罰一致性。真正讓台灣推廣全民運動，讓運動蓬勃發展，也提供年輕選手另一條未來的生涯路徑。

第二節 研究建議

本研究聚焦足球、網球、羽球、籃球、棒球與板球等球類運動，可能忽略其他球類（如排球、桌球、美式足球等）及非球類運動（如田徑、拳擊類運動等）的比較；訪談樣本限於籃球資深裁判與運動員，未來可擴及其他運動裁判、觀眾或教練視角。

未來的研究可從多個層面展開，首先，在技術發展的脈絡下，可深入探討各項運動是否可能逐步邁向「全面科技判決」的階段，例如網球已全面採用電子線審系統，值得比較其對比賽公平性、觀賞性與運動倫理的影響，並檢視若其他運動（如足球的 VAR 或棒球的電子好球帶）全面取代裁判後，是否會產生相似或截然不同的效應。其次，跨文

化比較也是未來重要的方向，不同國家、地區對裁判與科技的認知與接受度可能存在差異，例如歐美地區的觀眾或選手更強調公平與數據的精準，而亞洲可能更強調比賽氛圍與傳統權威；這些差異若能透過質性訪談或量化調查呈現，將能更完整地反映輔助判決技術對於社會的影響。此外，針對不同利害關係人（裁判、選手、觀眾、聯盟、協會）的觀點進行接受度調查，藉由統計分析或大數據方法呈現他們對輔助判決技術的期待、信任度與疑慮，也能為運動政策制定者提供實務依據。最後，值得持續追問的核心問題是：輔助判決技術的最終目標是否應該追求「零誤判」？還是應該在公平與人文之間尋找平衡，保留一定的人為裁量與比賽不確定性，讓運動仍然保有張力與戲劇性？這不僅是技術發展的課題，更是運動倫理的重要議題，未來研究可從倫理學、社會學與運動管理的多重角度切入，進一步探討科技與人文在競技場上的共存與互補。



引用文獻

一、中文

- 王子仁 (2020)。運動裁判壓力源、參與意圖與參與行為關係之研究。〔碩士論文。國立嘉義大學〕臺灣博碩士論文知識加值系統。<https://hdl.handle.net/11296/g63qrw>
- 王振碩 (2016)。羽球電子線審系統。〔碩士論文。國立臺灣海洋大學〕臺灣博碩士論文知識加值系統。<https://hdl.handle.net/11296/t9bt2c>
- 湯易鑫 (2024)。透過機器學習方法建立美國職棒大聯盟球員薪資預測模型。〔碩士論文。中原大學〕臺灣博碩士論文知識加值系統。<https://hdl.handle.net/11296/a695mc>
- 詹益城 (2015)。籃球裁判壓力來源—以 SBL 超級籃球聯賽裁判為例。〔碩士論文。臺北市立大學〕臺灣博碩士論文知識加值系統。<https://hdl.handle.net/11296/vd64ff>
- 周婉瑩、周振華、藏艷芳 (2012)。羽毛球比賽場地紅外線邊線。中華人民共和國國家知識產權局。<https://patents.google.com/patent/CN202554882U/zh>
- 林青輝、邱共鈺、柳立偉、張珈瑛 (2012)。即時重播系統應用之簡介—以 NFL，MLB 及 LLB 為例。大專體育，(119)，55-61。
<https://doi.org/10.6162/SRR.2012.119.09>
- 邱榮貞、高修信、邱保斯 (2020)。鷹眼系統對排球賽事之影響與探討—以 2019 亞洲男子排球俱樂部為例。屏東大學體育，(6)，153-160。
<https://www.airtilibrary.com/Article/Detail?DocID=P20161017005-202006-202011090009-202011090009-153-160>
- 胡凱揚、王俊明 (2016)。籃球裁判執法工作壓力與工作熱情之研究。休閒觀光與運動健康學報，6(2)，65-80。
<https://www.airtilibrary.com/Article/Detail?DocID=P20110615001-201603-201606040012-201606040012-65-80>
- 徐茂洲、謝漢唐 (2008)。電子線審應用在網球比賽現況之初探：以鷹眼系統為例。大專體育，(95)，48-54。<https://doi.org/10.6162/SRR.2008.95.08>

高三福、龐雲漢、謝承甫、陳忠強 (2014)。籃球裁判吹判失誤、補救方式與顧客滿意度之關係。《體育學報》，47(1)，103-114。

<https://doi.org/10.6222/pej.4701.201403.1209>

梁建偉 (2018)。探討足球影像助理裁判對比賽判決之影響。《成大體育學刊》，50(1)，37-48。 [https://doi.org/10.6406/JNCKUPER.201804_50\(1\).0003](https://doi.org/10.6406/JNCKUPER.201804_50(1).0003)

陳信全、蔡秀華、楊裕隆 (2018)。2018 年世界盃足球賽影像助理裁判之應用與影響。《中華體育季刊》，32(4)，241-249。 <https://doi.org/10.3966/102473002018123204002>

陳進發 (2002)。運動裁判執法表現受激發水準影響之初探。《國立臺灣體育學院學報》，11 2002.06[民 91.06]，93-105。

<https://tpl.ncl.edu.tw/NclService/JournalContentDetail?SysId=A02026354>

楊紀瑜、許志祥 (2006)。籃球裁判壓力來源分析。《運動教練科學》，(6)，165-176。

<https://doi.org/10.6194/SCS.2006.06.16>

楊瑞珠、周財勝 (2014)。羽球比賽應用鷹眼系統之分析。《運動健康休閒學報》，(5)，185-191。 <https://www.airtilibrary.com/Article/Detail?DocID=22180710-201406-201408150006-201408150006-185-191>

廖文靖 (2016)。職業棒球比賽重播輔助判決之探討。《運動健康休閒學報》，(7)，163-171。 <https://www.airtilibrary.com/Article/Detail?DocID=22180710-201604-201708170004-201708170004-163-171>

潘建州、林俊宏、劉堂安、林啟川 (2013)。運動產業研發—以輔助足球裁判判定足球比賽進球器材為例。《運動健康休閒學報》，(4)，44-53。

<https://www.airtilibrary.com/Article/Detail?DocID=22180710-201306-201307020022-201307020022-44-53>

自由時報 (2022)。史上最長！單場傷停補時逾 27 分鐘 前 4 戰合計多踢近 65 分鐘。擷取於 2025 年 6 月 6 日。 <https://sports.ltn.com.tw/news/breakingnews/4131768>

馬特洪峰 (2020)。教練該不該挑戰判決？新制度實行討論。擷取於 2025 年 6 月 6 日。 <https://www.sportsv.net/articles/72942>

陶以哲 (2025)。AI 進軍運動界！從電子裁判到生化運動員，未來的體育競技還會有

什麼新花樣？。擷取於 2025 年 6 月 6 日。

<https://opinion.cw.com.tw/blog/profile/507/article/16341>

愛范兒 (2018)。世界盃歷史性一刻！裁判利用 VAR 影像輔助裁判罰 12 碼球。擷取於 2025 年 6 月 6 日。 <https://technews.tw/2018/06/17/var-in-world-cup-2018/>

教育部體育署 (2022)。111 年運動現況調查成果發表 疫情常態新生活 規律運動促健康。擷取於 2025 年 6 月 6 日。

https://www.edu.tw/News_Content.aspx?n=9E7AC85F1954DDA8&s=E3AF3E052F496581

二、英文

Akash Peshin (2017). How Does Goal-Line Technology Work?. Retrieved June 6, 2025, from <https://www.scienceabc.com/innovation/how-does-the-goal-line-technology-work.html>

Alexandre Sokolowski (2025). March 22, 2006: The day of the first Hawk-eye challenge. Retrieved June 6, 2025, from <https://www.tennismajors.com/wta-tour-news/march-22-2006-the-day-of-the-first-challenge-with-hawk-eye-328669.html>

Amy Hoak (2024). AI Has Entered the Court. Is This Changing Umpires' Calls?. Retrieved June 6, 2025, from <https://www.tennismajors.com/wta-tour-news/march-22-2006-the-day-of-the-first-challenge-with-hawk-eye-328669.html>

Anthony Castrovince (2025). MLB testing automated ball-strike challenge system during spring games. Retrieved June 6, 2025, from <https://www.mlb.com/news/automated-ball-strike-calls-mlb-spring-games>

Associated Press (2023). Average MLB game time dropped to 2:40 with pitch clock. Retrieved June 6, 2025, from https://www.espn.com/mlb/story/_/id/38551264/mlb-game-dropped-240-pitch-clock

BBC Sport (2012). Fifa uses goal-line technology for first time at Club World Cup. Retrieved June 6, 2025, from <https://www.bbc.com/sport/football/20632327>

BBC Sport (2013). GoalControl to provide goal-line system at World Cup in Brazil. Retrieved June 6, 2025, from <https://www.bbc.com/sport/football/22002733>

BBC Sport (2020). Hawk-Eye apologises after goalline technology error denies Sheffield United. Retrieved June 6, 2025, from <https://www.bbc.com/sport/football/53086360>

BBC Sport (2023). VAR: Almost two-thirds of supporters oppose system's use in English football, says new survey. Retrieved June 6, 2025, from <https://www.bbc.com/sport/football/65971724>

BBC Sport Academy (n.d.). Cyclops and speed guns. Retrieved June 6, 2025, from http://news.bbc.co.uk/sportacademy/hi/sa/tennis/features/newsid_3001000/3001768.stm

BWF (2021). BWF, Infront Pan-Asia and Hawk-Eye Statement. Retrieved June 6, 2025, from <https://bwfworldtour.bwfbadminton.com/news-single/2021/11/21/bwf-infront-pan-asia-and-hawk-eye-statement>

Chris Maume (1999). Cricket: Channel 4 reveals the sensational Snickometer. Retrieved June 6, 2025, from <https://www.independent.co.uk/sport/cricket-channel-4-reveals-the-sensational-snickometer-1102323.html>

Corentin Dautreppe (2018). French glitches put technology under review. Retrieved June 6, 2025, from <https://phys.org/news/2018-01-french-glitches-technology.html>

Dale Johnson (2023). PGMOL admits VAR offside error to disallow Diaz goal. Retrieved June 6, 2025, from https://www.espn.com/soccer/story/_/id/38529208/pgmol-admits-var-offside-error-disallow-diaz-goal

ESPNcricinfo (2009). ICC expands referral trials to include Hot Spot. Retrieved June 6, 2025, from <https://www.espncricinfo.com/story/icc-expands-referral-trials-to-include-hot-spot-393605>

FIFA (2023). Semi-automated offside technology. Retrieved June 6, 2025, from <https://inside.fifa.com/innovation/world-cup-2022/semi-automated-offside-technology>

FOX SPORTS (2021). A flood of replays in Game 2 of Clippers-Suns cause some to question replay's value. Retrieved June 6, 2025, from <https://www.foxsports.com/stories/nba/la-clippers-phoenix-suns-game-2-semifinals-replay-delays>

Fraser Watson (2024). Tennis star falls victim to Hawkeye error as Miami Open apology

demanded. Retrieved June 6, 2025, from <https://www.the-express.com/sport/tennis/132435/miami-open-tennis-hawkeye-error>

Hawling, A (2017). *Electronic tennis officiating: low cost, accurate and reliable solutions* (Doctoral dissertation, Toronto Metropolitan University).

Howard Fendrich (2025). Wimbledon blames human error for a mistake by the tech that replaced officials. Here's what happened. Retrieved July 8, 2025, from <https://apnews.com/article/wimbledon-line-judges-electronic-line-call-pavlyuchenkovakartal-ca4f268f16949a4a1f2337243a0ab93e>

Luigi Gatto (2018). Hawk-Eye fail fools Rafael Nadal, Coric and umpire: Rogers Cup 2017. Retrieved June 6, 2025, from https://www.tennisworldusa.org/tennis/videos/Rafael_Nadal/58458/hawkeye-fail-fools-rafael-nadal-coric-and-umpire-rogers-cup-2017/

Jeff Passan (2020). Astros' Jeff Luhnow, AJ Hinch fired for sign stealing. Retrieved June 6, 2025, from https://www.espn.com/mlb/story/_/id/28476780/astros-jeff-luhnow-aj-hinch-fired-sign-stealing

Jeppe Wojcik (2012). The ball tells you when it's in. Retrieved June 6, 2025, from <https://www.sciencenordic.com/denmark-football-sports/the-ball-tells-you-when-its-in/1379682>

John Wisden (1994). 1st Test South Africa v India 1992-93. Retrieved June 6, 2025, from <http://www.cricinfo.com/wisdenalmanack/content/story/153619.html>

Kukuma (2024). 電子好球帶的問世，能對棒球帶來正向改變嗎？. Retrieved June 6, 2025, from <https://blog.rebas.tw/articles/2472>

Madison Williams (2024). Taylor Fritz Baffled by Umpire Stopping Play Mid-Point Due to Electronic Line Mistake. Retrieved June 6, 2025, from <https://www.si.com/tennis/taylor-fritz-baffled-by-umpire-stopping-play-mid-point>

Mark Hodgkinson (2007). Hawk-Eye set to oust Cyclops at Wimbledon. Retrieved June 6, 2025, from <https://www.smh.com.au/sport/hawk-eye-set-to-oust-cyclops-at-wimbledon-20070426-gdpzvd.html>

- Mason, J. F. (1976). An electronic linesman decides where the tennis ball bounces. *ELECTRONIC DESIGN* 9.
- Matt Harris (2022). What is Snicko in Cricket and How Does it Work?. Retrieved June 6, 2025, from <https://www.itonlycricket.com/snicko-in-cricket>
- Max Laughton (2019). AFL 2019: New goal line technology, similar to cricket's Snicko, to help goal review system. Retrieved June 6, 2025, from <https://www.foxsports.com.au/afl/afl-2019-new-goal-line-technology-similar-to-cricket-snicko-to-help-goal-review-system/news-story/c7adff30e8539d46a42a610a332e6002>
- Nizaar Kinsella (2025). Why did Bournemouth VAR check take eight minutes?. Retrieved June 6, 2025, from <https://www.bbc.com/sport/football/articles/c7vznl7l4do>
- Noel McKeegan (2007). The adidas intelligent football. Retrieved June 6, 2025, from <https://newatlas.com/adidas-intelligent-football/8512/>
- Robert Wood (2008). Hawk-Eye Ball Tracking System for Cricket. Retrieved June 6, 2025, from <https://www.topendsports.com/sport/cricket/equipment-hawkeye.htm>
- Scott Lauber (2017). Red Sox, Yankees fined separately as part of MLB investigation into sign-stealing. Retrieved June 6, 2025, from https://www.espn.com/mlb/story/_/id/20716110/boston-red-sox-new-york-yankees-fined-separately-part-mlb-investigation-sign-stealing
- Sharda Ugra (2011). Agreement on DRS after Hot Spot is made mandatory. Retrieved June 6, 2025, from <https://www.espncricinfo.com/story/agreement-on-drs-after-hot-spot-is-made-mandatory-520913>
- Subhayan Chakraborty (2020). WATCH: Out or not-out? Tim Paine caught out by fresh DRS controversy. Retrieved June 6, 2025, from <https://www.wionews.com/sports/watch-out-or-not-out-tim-paine-caught-out-by-fresh-drs-controversy-352911>
- SVG (2006). Aussies bring infrared tech to cricket coverage. Retrieved June 6, 2025, from <https://www.sportsvideo.org/2006/11/23/aussies-bring-infrared-tech-to-cricket-coverage/>
- Sydney Boyo (2023). How Sony's Hawk-Eye electronic line-calling system transformed the U.S. Open. Retrieved June 6, 2025, from <https://www.cNBC.com/2023/09/09/how-sonys->

hawk-eye-works-at-the-us-open.html

Todd Zolecki (2021). Phils win by 'skin of big toe' on disputed call. Retrieved June 6, 2025, from <https://www.mlb.com/news/phillies-beat-braves-on-disputed-call-at-plate>

Vincent Liew (2013). Chong Wei first to use instant review system. Retrieved June 6, 2025, from <https://www.badmintonplanet.com/badminton-news/2568-chong-wei-first-to-use-instant-review-system-pic.html>

