



遠距醫療在促進健康永續創新與循環經濟中的角色

Dimitrios Kalogeropoulos^{1,2,3,*} ; Paul Barach^(4,5) 

¹UCL 全球健康商學院，倫敦，英國；²Edison™ 加速器，倫敦，英國；³IEEE 標準協會，醫療與生命科學實務，紐約市，紐約，美國；

⁴Thomas Jefferson 人口健康學院，費城，賓夕法尼亞州，美國；⁵Sigmund Freud 大學，維也納，奧地利。

*Correspondence: Dimitrios Kalogeropoulos, 電子郵件: d.kalogeropoulos@ieee.org

關鍵字: 人工智慧 (AI)、循環經濟、資料不對稱、數位健康、健康創新生態系統遠距醫療、評估、以價值為基礎的照護

摘要

數位健康干預技術，包括使用人工智慧 (AI) 輔助的遠距醫療，可支援日益廣泛的預防與治療改善目標。目標健康照護創新的許多數位效益無法充分發揮其潛力，其中的限制包括缺乏強大的可用性和以使用者為中心的設計、靈活的法規政策，以及缺乏足夠的高品質證據和方法來評估效能的普及性和臨床穩健性。我們利用不同的價值體系與解決方案來探索健康創新，以克服資料價值體系所產生的基本限制。我們提出新的遠距醫療範例，並納入介入設計，結合臨床創新與資料資源開發創新。機器學習與人工智慧有可能促成數位與健康創新的循環經濟，其中可持續的解決方案可在資料啟用的協作與共享數位生態系統中提供。統一產業標準、調整監管政策，以及接受以遠距醫療為基礎的創新新治理模式，對於這種健康創新擴展、臨床採用和社會創新的新方法而言，都是不可或缺的。

收到: 收稿日期: 2023 年 1 月 11 日; 接受日期: 2023 年 2 月 14 日; 發表日期: 2023 年 2 月 14 日; 發表: 2023 年 2 月 28 日

T 2020 年，當全球面臨大流行病危機時，醫療照護界不得不迅速適應。許多國家採用遠距醫療和轉變為利用電話和視訊會診或遠端病患管理和分流來提供廣泛的醫療照護。這些都很重要，因為親自探訪病人的機會變得有限，醫療辦公室被迫關閉或保持社會距離。

遠距醫療超越了醫師與病患之間的關係，定義為提供和促進健康及健康相關服務。³透過遠距健康提供的醫療照護包括電話支援、訊息傳輸、智慧型手機應用程式、網路方法和遠端監控。⁴遠距健康和遠距醫療 (Telemedicine, TM) 之間有所區分，遠距醫療被視為遠距健康的子集，嚴格來說是使用電信和數位通訊技術提供臨床醫療照護服務。

被視為遠端醫療的子集，嚴格來說是指使用數位通訊技術提供臨床醫療照護服務。在遠端 TM 護理過程中，資料擷取的層面非常有限。對於數位健康干預技術 (DHIs) 的採用、擴展、臨床穩定性和永續性而言，過渡至遠端醫療是關鍵。這種轉變需要產生證據，以支持安全使用、將數位醫療干預和工具整合至臨床實務，以及支持病患照護和改善結果。

數位健康干預支援廣泛的一階改善結果，包括使用人工智慧 (AI) 發現疾病和治療的新知識、健康技術評估和臨床試驗的真實世界證據 (RWE)、更明智的臨床和政策決策、病患參與和照護的連貫性、擴大照護的可及性，以及醫療照護的轉型^{5,6}。

7-15。

多篇評論都檢視了遠距醫療的有效性、成本效益、病患觀感以及對死亡率影響的正面證據。¹⁶⁻¹⁸在研究遠距醫療在數位創新中的角色時，一個經常被忽略的面向是 DHI 所創造的社會價值，它可以被利用來提供社會創新。社會創新可理解為透過擴大規模和採用而產生的長期變化。¹⁹由 DHI 發起的社會創新可以影響社會價值，例如創造一個值得信賴和信任的醫療體系⁽²⁰⁾。

⁽²⁰⁾DHI 的整合減輕了遠距醫療專案成果往往較小的問題，因為這些成果在時間或地區上有限，而且往往無法轉化為醫療系統組織和功能上的永續改變。

數位健康干預技術的社會價值 透過以社會價值和社會創新為終點來設計、開發和擴展的數位健康干預技術，可以實現人口健康的轉型。除了臨床和經濟價值之外，從社會價值的角度切入健康創新，可幫助產業和監管機構瞭解實現四重目標所涉及的真正複雜性。四個相互依存的目標包括：(1) 提升病患體驗與安全；(2) 改善人口健康；(3) 降低成本並防止收入損失；(4) 改善醫療保健人員的健康與滿意度。⁽²²⁾透過 DHI 的擴展與強大的臨床實務整合，恢復資料生態系統的平衡，有助於防止資料不對稱，²³並啟動以病患為中心的合作模式，充分利用 DHI 間的合作與連續性，實現健康產業的循環經濟。

循環經濟以三大原則為基礎，並以設計為驅動力：消除廢棄物與污染、保持產品與材料的使用性，以及再生自然系統。循環經濟旨在推動永續性、公平性與數位包容，²⁷進一步轉換循環與復原能力。我們需要加速使用人工智能來發現前沿知識²⁸⁻³⁵，以鼓勵和促進合作，並實施行業標準，將知識發現轉化為隨時可用的優質服務干預。

必須重新評估醫療照護的標準與實務，以啟用智慧型轉型週期。透過應用有證據支持的知識來推動這些轉型週期，³⁶必須解決資料價值的挑戰^(37,38)。

^(39,40)持續與擴大價值的挑戰表現在支援遠距醫療的 AI 投資與臨床試驗、臨床實踐整合與臨床穩健性所產生的多變與不佳績效之間的差距⁽⁴¹⁻⁴³⁾。

⁴⁴若無法為病患、社區、供應者或創新者的利益提供包容性的數位發展，就會破壞人工智慧發現的應用與永續性⁽⁴⁵⁾。

通常很難分辨哪個價值體系更能滿足病患的需求，因此擴大規模變得更加複雜。舉例來說，針對充血性心臟衰竭患者的 AI 支援轉診裝置或應用程式，除了為照護連續性與病患路徑選擇提供支援外，也能擷取可靠且有價值的照護連續性資料。要將臨床推理轉換為臨床一致性和精準醫療，並支援有意義、可擴展和可持續的 DHI，就需要這些資料。

醫療器材開發的挑戰

從醫療設備開發的角度來看，價值展示和規模擴大的關鍵在於證明其在真實世界條件下改善患者療效的強大性能。⁴⁹由於缺乏適當的專業知識和投資，評估遠距醫療臨床穩健性往往低於可接受的改進證據臨界值。^{40,50}從臨床經濟評估的角度切入創新，⁽³⁹⁾可在數位轉換的萌芽階段證明效率的提升，從而促進新設備在臨床實踐中的引入。^(40,50)如果新的創新在影響臨床實踐價值之前就能證明其社會、經濟和商業價值，那麼這種方法就能簡化事情。

健康創新的資料價值困境

資料價值是 DHI 與社會創新之間的循環依賴關係，其目的在於提供包容性資料。解決健康創新的資料價值困境，可在創新生態系統中提供彈性，協助縮小設計與實施之間的差距。遠距醫療驅動的創新可提供更好的資料生態系統。然而，目前的監管政策側重於將 DHI 視為獨立的醫療裝置，這無助於採用建議的資料耦合方法來擴大醫療服務的可及性，並加強醫療服務的連續性和可及性。

以患者為中心的模式。在我們更好地瞭解這些技術的真正影響，並讓醫療系統做好準備以支持創新想法之前，對人工智能進行規範的努力既受到讚揚，也受到抨擊，⁵¹被視為減速進展。雖然獨立的醫療設備法規旨在更平均地分配利害關係人的責任，從而增加法規對醫療成果的影響，^{52,53}但它往往會將注意力從責任過程的核心問題上轉移開來，例如針對遠距醫療設備設計來分流病患、與門診診所的接觸、住院以及出院後的數位照護。目前的模式無法促進信任以及 DHIs 的安全開發與整合。

以裝置為中心的監管政策既無法提高醫療照護的效率，也無法扭轉醫療差距擴大的趨勢。^{57,58,59}以現行政策提供的數位健康干預措施，當它們加劇現有的不公平現象時，可能會導致政策制定者進行更多的監管控制，以及數位健康經濟和健康創新的螺旋式減速。

真實世界的證據^{33,39}被塑造成一個工程化的「基礎真實」，經過人工增強和合成^{60,61}以模擬時間背景和經緯度⁶²。根據預期的患者結果來衡量績效的必要條件。⁶³基於 RWE 的試驗設計具有提高擴展效率和降低創新成本的潛力⁽⁶⁴⁾。⁽⁶⁵⁾透過資料共享在創新供應鏈上獲取和轉移價值是提供信任和績效的關鍵。

監管沙盒的重要性

監管沙箱（一種已公佈的監管方法，允許在監管機構的監督下測試創新）可加速了解特定創新所帶來的機會和風險，並發展正確的監管環境。監管沙箱可測試不符合現有法律和監管框架的創新技術、產品、服務或方法⁶⁵。沙盒需要提供法律靈活性的工具，例如，以實驗條款（即允許進行實驗的臨時規則）的形式。然而，由於資料生態系統的設計不佳，以及缺乏對創新所涉及的複雜元素的瞭解，監管沙箱可能無法解決擴大創新所遇到的障礙。在資訊分享成為醫療照護的標準之前，擴大人工智慧的規模仍將面臨挑戰。

創新者的困境

如果不解決資料價值困境，醫療照護系統的安全性和品質可能幾乎無法改善。透過有效解決資料價值困境，可創造並公平分享新的價值邊際 - 包括臨床和政策決策所用資料樣本的公平性和包容性，以及促進連線創新。

支援未來的勞動力

醫院和醫療系統持續面對醫療照護人力和員工短缺的問題，在 2019 年到 2022 年間，專科護理人員的職位空缺將增加高達 30%。培訓資源不足、工作與生活平衡不佳、使用效率低，以及醫療照護提供者的執業範圍限制，都是造成短缺和提供者倦怠的原因⁶⁶。

技術可以對工作流程產生深遠的影響 - 例如，減輕與冗餘文書工作或低臨床價值任務相關的負擔。這取決於整合和簡化大量的規章制度，以及減輕日益明顯的角色模糊性，部分原因在於各自為政的 DHI。大量證據顯示，醫生們浪費了三分之二以上的時間在文書工作上，造成病人和員工的沮喪、浪費和無附加價值^(67,68)。

管理醫療照護的法規之多，讓業內人士應接不暇。幾乎這個領域的每個方面都受到一個或另一個監管機構的監督，有時甚至受到數個監管機構的監督。^{69,70}在 COVID-19 大流行期間，醫療照護團隊中不同成員所做的任務轉移越來越多，執照和認證的放寬也造成了許多混亂和錯位，使得角色不夠明確。角色明確性是跨專業合作的一個關鍵層面，對於有效、安全、可靠的跨專業團隊運作和卓越服務來說至關重要^(71,72)。

⁷³技術有可能提高產能並減低成本。^{74,75}技術/任務的一致性（在個人能力範圍內工作）可能會有所改善。^{74,75}所有這些對勞動套利的關注都建立在一個假設之上，那就是在不犧牲品質的前提下，任務可以很容易地按照執照或培訓進行分類。這導致了一種隱晦的等價觀念，醫療照護專業人員被視為彼此的潛在替代品。訓練長度和強度上的顯著差異被輕易抹去。由大流行病引發的變革大大降低了這些限制，賦予了更大的靈活性，讓受過較少訓練的人

的工作。時間會證明這種創新是否會以病人照護品質、工業行動和倦怠率為代價。

精心設計的遠距醫療平台可以讓團隊更緊密地結合在一起，並透過資料驅動的意識和相互問責性來完成團隊的任務 - 為病患提供更好的服務。即時資料分析與透明度可協助改善臨床工作流程，重建團隊信任，並鼓勵醫療團隊成員說真話。

遠距醫療監管政策範例的限制

目前針對遠距健康的監管政策方法面臨多項挑戰，這些方法廣泛忽略了人因科學、實施科學、改進科學、安全與風險管理科學等多種科學的核心與交叉。遠距醫療的監管政策範例並未提供行動建議。例如，監管機構擔心遠距醫療的成長會導致醫療保健提供者只提供遠距醫療服務，從而減少特定地理位置內提供者的可用供應；州外的遠距醫療提供者會「進駐」，從當地提供者手中搶走低危及性和私人付費的病患/病患費用，這可能會導致他們關閉、遷移或照護的病患佔病患總數的百分比降低。此外，州外的遠距醫療提供者會在當地監管政策範例之外運作，因此會削弱州和當地監管的影響力和監督。這對於行為健康和藥房照護尤其如此，但一般也會導致遠距健康政策範例出現問題，例如，要求遠距健康服務提供者擁有實體辦公室地點（或在 x 時間內親自見患者 x 次）。儘管這些因素會影響監管政策範例，進而影響遠距醫療和 DHIs 所處的政治經濟市場，但這些因素都沒有得到充分處理。

討論

DHI 市場的驅動力來自目前以裝置為中心的監管模式，而非運作良好的資料驅動創新生態系統。儘管大流行病加速了數位創新的需求，但卻沒有足夠的方法與政策來擴大 DHIs 的規模，以展示其社會價值，而目前創新生態系統的价值轉移與永續性仍有待改善。這提出了關於价值的合理問題。

這需要廣泛的改革、靈活的規範和持續的創新來解決創新者和數據价值的困境。數位創新加速上層結構可連結整個醫療照護連續體的 DHIs，包括標準、對齊與使能。

以遠端醫療為基礎的治理與監管政策，可 (1) 促成資料資源創新，(2) 解決妨礙 DHIs 擴展至社區健康與公共衛生領域的迫切治理與透明度問題，(3) 為可信賴的證據提供真實世界資料的結構，(4) 提供徹底不同的提供模式結構的新途徑，(5) 減少醫療保健人員的工作量，(6) 改善外展、參與及大規模預防，同時 (7) 收集結構化資料。

⁷⁸例如，患者報告的健康相關生活品質、症狀嚴重性、照護滿意度、資源利用率、住院率、再入院率及存活率。資源利用率是衡量一個人目前使用多少可用資源的指標。⁷⁹有效率的組織可提升服務、品質，以及病患與醫療照護系統互動的流程。⁽⁷⁸⁾有許多很好的研究調查了親自護理，例如心肺衰竭疾病，如心肌缺血、哮喘等。

數位健康干預若能直接與終端使用者 (即病患和第一線臨床醫師) 合作開發，就有可能獲得成功。參與式、連結式與互動式創新的遠端醫療模式應能滿足這些需求。當配合使用智慧型行動裝置、遠端醫療或移動醫療應用程式時，遠端醫療可提供必要的資料驗證，同時可將數位裝置整合至數位照護連續體中，在此可透過 RWE 評估其臨床穩健性⁸¹。

⁸⁰鑑於過去數十年的科技發展趨勢，醫療照護對遠距醫療的依賴可能會持續增加。這些發現可以用來指導政策制定者和服務評估。

幾個關鍵的研究問題仍未解決。這些問題包括需要評估不同遠距健康病患照護介入的風險、利用長期和適應性的研究設計，以及以異質、多樣化和大樣本數量來追蹤參與者。有越來越多的證據顯示，將親自護理與遠距健康進行比較會有良好的結果，並使用親自護理作為比較對象或遠距健康前護理作為黃金標準對遠距健康的結果進行評估。

縱向研究設計可讓研究人員和醫療從業人員確保治療方案不會產生無法預見的長期問題。最後，為了使研究結果更具普遍性，我們鼓勵進行參與人數更多的研究。在親自照顧的縱向研究中，已知會影響結果的多因素元素會受到各種偏差的影響。

結論

目前 DHI 的證據產生系統需要全面改革。接受新的價值體系對於改革目前的法規缺失和促進連結創新加速非常重要。進一步發展規範、法律和監管框架是必要的，以推進系統醫學和轉譯前判斷醫學，⁽⁸²⁾促進廣泛採用跨醫療模式（無論是數位或親身）的共同標準，並維持系統變革以促進健康創新。

解決這些問題需要專注於三個關鍵領域：

1. 改善來自傳統臨床試驗、電子健康記錄、個人設備和可穿戴感應器的高品質資料的整合與存取；
2. 重整臨床研究運作，以支援並鼓勵病患和第一線臨床醫師的參與
3. 闡明允許負責任的資料分享的倫理結構，以支援改進的實施 (78)

在資料生態系統以及將 RWE 整合至現有的臨床實務和黃金護理標準方面，仍有許多工作要做。這與在霧化層級上管理單一裝置的做法截然不同。儘管有許多臨床觀察分類的標準，卻沒有足夠的標準來評估新的遠距醫療模式。適當的標準必須以支援將 DHI 整合為以病患為中心的連續體為目標，提供 DHI 間的連線與互動，並使活動能從一種遠距醫療服務無縫轉換至另一種遠距醫療服務。建立整合與資料分享的獎勵機制，對於更及時、更公平地改善醫療成果至關重要。

經費聲明

起草本文件時未獲得任何資助。

財務及非財務關係與活動

作者確認沒有相關利益衝突。

貢獻

兩位作者都參與了本文的研究和撰寫。

鳴謝

無

參考文獻

1. Wherton J, Shaw S, Papoutsis C, Seuren L, Greenhalgh T. COVID-19 期間視訊會診的引進與使用指南：定性研究的重要經驗。BMJ Leader 2020; 4(3): 120-3. doi: 10.1136/leader-2020-000262
2. Tabacof L, Wood J, Mohammadi N, Link KE, Tosto-Mancuso, Dewil S, et al. Remote patient monitoring identifies the need for triage in patients with acute COVID-19 infection. Telemed J E Health 2022; 28(4): 495-500. DOI: 10.1089/tmj.2021.0101.
3. Catalyst N. What is telehealth? NEJM Catalyst 2018; 4(1).
4. Salisbury C, O'Cathain A, Edwards L, Thomas C, Gaunt D, Hollinghurst S 等人。針對抑鬱症患者的整合式遠距健康服務成效：複雜干預的實用隨機對照試驗。Lancet Psychiatry 2016; 3(6): 515-25.
5. Davidson L, Boland MR. 邁向深度妊娠表型：改善妊娠結果的人工智慧與機器學習方法系統性回顧。Bioinform. DOI: 10.1093/bib/bbaa369.
6. Verma A, Towfighi A, Brown A, Abhat A, Casillas A. 針對中風照護的數位健康創新邁向公平。Doi: 10.1161/STROKEAHA.121.035307.
7. Martinez-Martin N, Insel TR, Dagum P, Greely HT, Cho MK. 健康數據挖掘：數位表型的道德領域。2018; 1: 68. DOI: 10.1038/S41746-018-0075-8
8. Milne R, Costa A, & Brenman N. Digital phenotyping and the (data) shadow of Alzheimer's disease. 大數據與社會。2022; 9(1). doi: 10.1177/20539517211070748
9. Bilal AM, Fransson E, Bränn E, Eriksson A, Zhong M, Gidén K, et al. Predicting perinatal health outcomes using smart-phone-based digital phenotyping and machine learning in a pro-spective Swedish cohort (Mom2B): study protocol. BMJ Open. Doi: 10.1136/bmjopen-2021-059033.
10. Engelmann L. Digital epidemiology, deep phenotyping and the enduring fantasy of pathological omniscience. Big Data & Society. 2022; 9(1). doi: 10.1177/20539517211066451
11. Tomičić A, Malešević A, Čartolovni A. 數位表型作為解決現今挑戰的未來方案的倫理、法律與社會問題：A scoping review. Sci Eng Ethics. 2021; 28(1):1. DOI: 10.1007/s11948-021-00354-1
12. Huckvale K, Venkatesh S, Christensen H. Toward clinical digital phenotyping: a timely opportunity to consider purpose, quality, and safety. NPJ Digit Med. DOI: 10.1038/S41746-019-0166-1
13. Torous J, Kiang MV, Lorme J, Onnela JP. 精神病学新研究的新工具：賦予資料驅動智慧型手機研究能力的可擴充與客製化平台。JMIR Ment Health. 2016; 3(2): e16. DOI: 10.2196/mental.5165
14. Jayakumar P, Lin E, Galea V, Mathew AJ, Panda N, Vetter I, et al. Digital phenotyping and patient-generated health data for outcome measurement in surgical care: a scoping review. J Pers Med. 2020; 10(4):282. DOI: 10.3390/JPM10040282

15. Nguyen B, Ivanov M, Bhat V, Krishnan S. COVID-19 期間焦慮嚴重程度分類的數位表型。前沿數位健康。DOI: 10.3389/fdgh.2022.877762.
16. Snoswell CL, Chelberg G, De Guzman KR, Haydon HH, Thomas EE, Caffery LJ 等人：遠距醫療的臨床有效性：2010 年至 2019 年元分析的系統回顧。J Telemed Telecare.2021: 1357633X211022907. DOI: 10.1177/1357633x211022907
17. Snoswell CL, Taylor ML, Comans TA, Smith AC, Gray LC, Caffery LJ. 確定遠距醫療是否能降低醫療系統成本：範圍評論。J Med Internet Res. 2020; 22(10): e17298. Doi: 10.2196/17298
18. Snoswell CL, Stringer H, Taylor ML, Caffery LJ, Smith AC.遠距醫療對死亡率的影響總覽：薈萃分析系統回顧。J Telemed Telecare.2021: 1357633X211023700. DOI: 10.1177/1357633x211023700
19. Van Niekerk L, Manderson L. & Balabanova D. The application of social innovation in healthcare: a scoping review.Infect Dis Poverty.2021; 10: 26. doi: 10.1186/s40249-021-00794-8
20. Whyte E, Olivier J. Social values and health systems in health policy and systems research: a mixed-method systematic review and evidence map. 健康政策計劃.2020; 35(6):735-51. DOI: 10.1093/heapol/czaa038
21. Haring M, Freigang F, Amelung V, Gersch M. 醫療保健系統能從創新過程的緊張關係中學到什麼？系統性文獻回顧.BMC Health Serv Res. 2022; 22: 1299.
22. Wang A, Ahmed R, Ray J, Hughes P, Eric McCoy E, Marc A, et al. Supporting the quadruple aim using simulation and human factors during COVID-19 care.Am J Med Qual.2021; 36(2):73-83. DOI: 10.1097/01.JMQ.0000735432.16289.D2
23. Verhulst S, Young A. Identifying and addressing data asymmetries so as to enable (better) science. 前沿大數據。DOI: 10.3389/fdata.2022.888384.
24. 氣候與健康轉型行動聯盟 (ATACH) 最終職權範圍, 世界衛生組織技術文件, 2022 年 8 月 31 日。Available from: <https://www.who.int/publications/m/item/atach-terms-of-reference> [cited 1 February 2023].
25. 歐洲委員會致歐洲議會和理事會的信函, 2022 年戰略展望報告 - 在新的地緣政治背景下將綠色和數位轉換結合起來。COM/2022/289 final.Available from: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52022D-C0289&qid=1658824364827> [cited 1 February 2023].
26. 數位環境永續聯盟 (CODES). 數位時代的永續地球行動計畫 (2022)。Available from: <https://doi.org/10.5281/zenodo.6573509> [於 2023 年 2 月 1 日引用]。
27. 世界衛生組織, 2022 年 12 月 21 日。世界衛生組織, 2022 年 12 月 21 日, WHO/EURO:2022-6810-46576-67595. Available from: <https://www.who.int/europe/publications/i/item/WHO-EURO-2022-6810-46576-67595> [於 2023 年 2 月 1 日引用]。
28. Apweiler R, Beissbarth T, Berthold MR, Blüthgen N, Burmeis-ter Y, Dammann O, et al. Whither systems medicine?Exp Mol Med.2018; 50(3): e453. doi: 10.1038/emm.2017.290.
29. Schleidgen S, Fernau S, Fleischer H, Schickhardt C, Oßa AK, Winkler EC. 將系統生物學應用於生物醫學研究與健康照護：系統醫學的簡明定義。BMC Health Serv Res. 2017; 17(1): 761. DOI: 10.1186/s12913-017-2688-Z
30. Soenksen LR, Ma Y, Zeng C, Boussieux L, Carballo KV, Na L, et al. npj Digit Med.DOI: 10.1038/s41746-022-00689-4
31. Tian Q, Price ND, Hood L. 系統癌症醫學：邁向實現預測、預防、個人化和參與 (P4) 醫學。J Intern Med.2012; 271(2):111-21. Doi: 10.1111/j.1365-2796.2011.02498.x
32. Stahlberg EA, Abdel-Rahman M, Aguilar B, Asadpoure A, Beckman RA, Borkon LL, et al. Exploring approaches for pre-dictive cancer patient digital twins: opportunities for collaboration and innovation. 前沿數位健康。DOI: 10.3389/fdgh.2022.1007784.
33. Seyhan AA, Carini C.精準醫療的創新與新技術是否為以病患為中心的照護開創了新時代？J Transl Med.2019; 17(1):114. DOI: 10.1186/s12967-019-1864-9
34. Davidson L, Boland MR.邁向深度妊娠表型：改善妊娠結果的人工智慧與機器學習方法系統性回顧。Bioinform.DOI: 10.1093/bib/bbaa369.
35. Weng C, Shah NH, Hripcsak G. Deep phenotyping: embracing complexity and temporality-towards scalability, portability, and interoperability.J Biomed Inform.DOI: 10.1016/j.jbi.2020.103433.
36. Subbiah, V. 下一代循證醫學。Nat Med.2023; 29: 49-58. Doi: 10.1038/s41591-022-02160-z
37. Acosta JN, Falcone GJ, Rajpurkar P, Topol EJ.多模式生物醫學 AI。Nat Med.2022; 28(9):1773-84. DOI: 10.1038/S41591-022-01981-2
38. Webster, K. A circular economy is about the economy.Circ Econ Sust.2021; 1: 115-26. Doi: 10.1007/s43615-021-00034-z
39. Guo C, Ashrafian H, Ghafur S, Fontana G, Gardner C, Prime M.npj Digit Med.DOI: 10.1038/s41746-020-00314-2
40. Gomes M, Murray E, Raftery J. 數位健康介入的經濟評估：方法論問題與實務建議。藥物經濟學。2022; 40(4):DOI: 10.1007/s40273-022-01130-0
41. 人工智慧指數報告。斯坦福大學以人類為中心的人工智能研究所。2022.Available from https://aiindex.stanford.edu/wp-content/uploads/2022/03/2022-AI-In-dex-Report_Master.pdf [於 2023 年 2 月 1 日引用]。
42. Brent Mittelstadt.人工智慧對醫患關係的影響。歐洲理事會生物醫學與健康領域人權指導委員會 (CDBIO) 委託英國牛津大學牛津網際網路研究所進行的研究。2021.Available from <https://rm.coe.int/inf-2022-5-report-impact-of-ai-on-doctor-patient-relations-e/1680a68859> [cited 1 February 2023].
43. Day S, Shah V, Kaganoff S, Powelson S, Mathews SC.評估數位健康新創公司的臨床穩健性：跨領域觀察分析。J Med Internet Res. 2022; 24(6): e37677. doi: 10.2196/37677
44. 為世界帶來基因組測序的好處。Public policy projects, Global Insights.2021.Available from: <https://publicpolicyprojects.com/policy/> [於 2023 年 2 月 1 日引用]。
45. Koutsouleris N, Hauser TU, Skvortsova V, De Choudhury M. From promise to practice: towards the realisation of AI-in-formed mental health care.Lancet Digit Health.2022; 4(11):DOI: 10.1016/s2589-7500(22)00153-4
46. Lemmen C, Wopen C, Stock S. Systems medicine 2030: A Delphi study on implementation in the German healthcare system.健康政策。2021; 125(1):104-14. Doi: 10.1016/j.healthpol.2020.11.010

47. Abdelhalim H, Berber A, Lodi M, Jain R, Nair A, Pappu A, et al. 精準醫療中的人工智慧、醫療保健、臨床基因組學和藥物基因組學方法。Front Genet.2022; 13: 929736. DOI: 10.3389/fgene.2022.929736
48. Tape, TG. 醫學中的一致性和對應性。Judgm Decis Mak.2009; 4(2):134-40. DOI: 10.1017/S1930297500002564
49. Eliza Strickland. 白宮人工智能權利法案的 6 大反應 這些不具約束力的原則受到讚揚和抨擊。IEEE spectrum 2022 年 10 月 14 日。網址: <https://spectrum.ieee.org/white-house-ai> [於 2023 年 2 月 1 日引用]。
50. Afolabi O, Parsekar K, Sibson L, Patel A, Fordham R. East of England stroke telemedi-cine service cost effectiveness analysis.J Stroke Cerebrovasc Dis.2023; 32(4):106939 。 DOI : 10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2022.106939
51. Wang SV, Sreedhara SK, Schneeweiss S. 使用臨床實踐數據的再世界證據研究的可重複性，為監管和覆蓋決策提供資訊。Nat Commun.2022; 13(1):5126. DOI: 10.1038/s41467-022-32310-3
52. Essén A, Stern AD, Hase CB, Car J, Greaves F, Paparova D, et al. Health App Policy: International comparison of nine coun-tries' approaches.2022; 5(1):31. DOI: 10.1038/ S41746-022-00573-1
53. Diao JA, Venkatesh KP, Raza MM, Kvedar JC. 健康應用程式政策的多國格局：邁向數位健康的法規共識。2022; 5(1):61. DOI: 10.1038/S41746-022-00604-X
54. Neal D, Engelsma T, Tan J, Craven MP, Marcilly R, Peute L, et al. 新 ISO 健康與福祉應用程式標準的限制。Lancet Digit Health.2022; 4(2): e80-2. doi: 10.1016/ s2589-7500(21)00273-9
55. Maliha G, Gerke S, Cohen IG, Parikh RB.人工智慧與醫療責任：平衡安全與創新。Mil-bank Q. 2021; 99(3): 629-47. DOI: 10.1111/1468-0009.12504
56. Sharkey CM. & Fodouop KM.人工智慧與 FDA 的監管模式轉移.72 Duke Law J. 2022; 86-112.Available from: https://scholarship.law.duke.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1100&context=dj_online [於 2023 年 2 月 1 日引用]。
57. Richardson S, Lawrence K, Schoenthaler AM, Mann D. A framework for digital health equity.2022; 5(1): 119. DOI: 10.1038/s41746-022-00663-0
58. Kaihlanen AM, Virtanen L, Buchert U, Safarov N, Valkonen P, Hietapakka L, et al. Towards digital health equity - A qualitative study of the challenges experienced by vulnerable groups in using digital health services in the COVID-19 era.BMC Health Serv Res. 2022; 22: 188. doi: 10.1186/s12913-022-07584-4
59. Gonzales A, Guruswamy G, Smith SR. 醫療照護中的合成資料：敘事評論。PLOS Digit Health.2023 Jan 6; 2(1): e0000082. DOI: 10.1371/journal.pdig.0000082.PMID: 36812604; PMCID: PMC9931305.
60. Reiner Benaim A, Almog R, Gorelik Y, Hochberg I, Nassar L, Mashiach T, et al. Analyzing medical research results based on synthetic data and their relation to real data results: systematic comparison from five observational studies.JMIR Med Inform.DOI: 10.2196/16492.
61. Kokosi T, Harron K. 醫學研究中的合成數據。BMJ Medicine.2022; 1: e000167. Doi: 10.1136/bmjmed-2022-000167
62. Ishii-Rousseau JE, Seino S, Ebner DK, Vareth M, Po MJ, Celi LA. 推進臨床人工智慧 (cAI) 的「生態系統即服務 (EaaS)」方法。PLOS Digit Health.DOI: 10.1371/journal.pdig.0000011.
63. Wang SV, Sreedhara SK, Schneeweiss S. REPEAT initiative.使用臨床實踐數據的真實世界證據研究的可重複性
- 實踐數據，為監管和覆蓋決策提供資訊。Nat Commun.2022; 13(1):5126. DOI: 10.1038/s41467-022-32310-3
64. Rudrapatna VA, Butte AJ.將真實世界資料用於健康照護的機遇與挑戰。J Clin Invest.2020; 130(2):565-74. DOI: 10.1172/JCI129197
65. 歐洲議會與歐洲理事會制定人工智慧協調規則 (人工智慧法案) 並修正某些聯盟立法法案的法規。歐洲委員會，布魯塞爾，2021 年 4 月 21 日，COM(2021) 206 final 2021/0106 (COD)。Available from: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52021PC0206> [引用日期 1 2023年2月]
66. 為什麼各地的醫療服務都陷入混亂？《經濟霧都》，2023 年 1 月 15 日。Available from: <https://www.economist.com/finance-and-economics/2023/01/15/why-health-care-services-are-in-chaos-everywhere> [2023年2月1日引用]
67. Siegler JE, Patel NN, Dine CJ.文書工作優先於病患照護：為什麼我們不能兩者兼顧？J Grad Med Educ. 2015; 7(1) : 16-8. doi: 10.4300/JGME-D-14-00494.1
68. 醫生有超過三分之二的時間浪費在文書工作上。福布斯，醫療照護創新。2016.Available from: <https://www.forbes.com/sites/brucelee/2016/09/07/doctors-wasting-over-two-thirds-of-their-time-doing-paperwork/> [cited 1 Febru-ary 2023].
69. Field RI.為什麼健康照護的法規如此複雜？2008; 33(10): 607-8.
70. Braithwaite J. Changing how we think about healthcare improvement.BMJ.2018; 361: K2014. DOI: 10.1136/BMJ.K2014
71. Hudson CC, Gauvin S, Tabanfar R, Poffenroth AM, Lee JS, O'Riordan AL. 促進健康照護團隊挑戰中的角色釐清。J Interprof Care.2017;31(3):401-3. DOI: 10.1080/13561820.2016.1258393
72. Ly O, Sibbald SL, Verma JY,Rocker GM.探索組織間擴散和擴大計劃中的角色明確性：「IN-SPIRED」COPD 協作。BMC Health Serv Res. 2018; 18: 680. Doi: 10.1186/s12913-018-3474-2
73. Patel RS, Bachu R, Adikey A, Malik M, Shah M. 《與醫生倦怠及其後果相關的因素：回顧》。Behav Sci (Basel).2018; 8: 98. Doi: 10.3390/bs8110098.30366419
74. Gardner RL, Cooper E, Haskell J. Physician stress and burnout: the impact of health information technology.J Am Med Inform Assoc. 2019; 26: 106-114. Doi: 10.1093/jamia/ocy145.30517663
75. Berbis MA, McClintock DS, Bychkov A, Van der Laak J, Pantanowitz L, Lennerz JK 等人。2030 年的計算病理學：預測未來十年人工智能在病理學中角色的 Delphi 研究。EBioMedicine.2023; 88: 104427. DOI: 10.1016/j. ebiom.2022.104427
76. 以最高執照執業」與「偉大」的美國醫療保健勞動力套利。福布斯，醫療照護創新。2022.Available from: <https://www.forbes.com/sites/sachin-jain/2022/04/04/the-great-american-healthcare-labor-arbitrage/> [於 2023 年 2 月 1 日引用]。
77. Subbe C, Barach P. 電子健康記錄對入院病人預定安全結果的影響。BMJ Open.BMJ Open.2011; 11: e047446.
78. Califf RM.現在是修復證據生成系統的時候了。臨床試驗。DOI: 10.1177/17407745221147689.
79. Dlima S, Shevade S, Menezes S, Ganju A. Digital phenotyping in health using machine learning approaches: scoping review.JMIR Biinform Biotech.DOI: 10.2196/39618.
80. 金澤N、飯島H、伏見K.

經皮冠狀動脈介入治療後急性心肌梗塞患者的院內心臟復健與臨床結果：一項追溯性的群組研究。BMJ Open.2020; 10(9): e039096. DOI: 10.1136/bmjopen-2020-039096

81. Bruce CR、Harrison P、Nisar T、Giammattei C、Tan NM、Bliven C 等人. 評估面向患者的行動醫療技術對患者療效的影響：回顧性觀察群組研究。JMIR Mhealth Uhealth.2020; 8(6): e19333. DOI: 10.2196/19333
82. Parretti C, Tartaglia R, La Regina M, Venneri F, Sbrana G, Mandò M, et al. Improved FMEA methods for proactive health care risk assessment of the effectiveness and efficiency of COVID-19 remote patient telemonitoring. Am J Med Qual.2022; 37(6):535-44. DOI: 10.1097/JMQ.000000000000089

83. Hartl D, De Luca V, Kostikova A, Laramie J, Kennedy S, Ferrero E, et al. Translational precision medicine: an industry perspective. J Transl Med.2021; 19: 245. DOI: 10.1186/S12967-021-02910-6

版權所有：這是一篇依據創用 CC BY-NC 4.0 授權條款發佈的開放存取文章，該授權條款允許他人發佈、改編、非商業性地增強本作品，以及以不同的條款授權其衍生作品，但前提是必須適當引用原作且為非商業性使用。請參閱：<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>。