



原始研究

區塊鏈在醫藥行業的應用

Mark Gaynor, PhD¹, Kathleen Gillespie, PhD⁽¹⁾, Allison Roe¹ , Erica Crannage, PhD²  and J.E. Tuttle-Newhall, MD⁽³⁾

¹聖路易大學社會正義與公共衛生學院，聖路易，密蘇里州，美國；²聖路易健康科學與藥劑大學藥劑實務副教授，聖路易，密蘇里州，美國；³東卡羅萊納大學外科系主任，格林維爾，北卡羅萊納州，美國。

通訊作者：Mark Gaynor，電子郵件：mark.gaynor@slu.edu DOI:

<https://doi.org/10.30953/bhty.v7.298>

關鍵字：4D 架構、區塊鏈應用、區塊鏈技術、臨床試驗、健康記錄、庫存系統、製藥業、處方誤用與濫用

摘要

方法：我們利用 4D 架構，使用實作難易度、新穎度、必要性和整體產業的契合度來檢視區塊鏈技術在醫藥產業的應用。根據 Iansiti 與 Lakhani 所提出的 2D 架構，即難易度與新穎性為商業世界基礎技術發展的驅動因素，每個應用程式都經過排序與評分，以找出最佳的潛在實作。本文提出的潛在應用程式可分為兩大類。第一類為管理，包括最佳使用案例，例如健康記錄、臨床試驗和發明系統。第二類為監控，強調的案例包括藥品、防偽、最佳化供應鏈，以及處理處方誤用與濫用。

結果：每個應用程式都依據架構中的四個指標進行排序，並將必要性和實施難易度放在最重要的位置。使用先前強調的方法，最佳實作的應用程式包括預防處方藥物誤用與濫用、預防偽造、臨床試驗成果以及智慧型契約。

結論：區塊鏈技術針對製藥業的需求，提供了斬新且具前景的解決方案。為了促進最適當的使用，區塊鏈技術的每項應用都必須符合必要性、易於實施性、利益相關者之間的熟悉程度以及整體產業的契合度等框架。透過使用 Iansiti 和 Lakhani 提出的擴充框架，我們展示了區塊鏈如何在所有這些領域中，顯示出改善製藥業績效的前景。

收到：收稿日期：2023 年 12 月 12 日；接受日期：2024 年 3 月 12 日；發表日期：2024 年 4 月 30 日；收稿日期：2023 年 12 月 12 日；接受日期：2024 年 3 月 12 日；發表日期：2024 年 4 月 30 日

近年來，區塊鏈技術在各行各業都取得了長足的進步，但在醫藥行業卻落後於人。醫藥產業相當複雜，區塊鏈技術所提倡的分散式資料庫及對資訊隱私的重視，將使醫藥產業獲益良多。基於 Iansiti 和 Lakhani 所提出的 2D 架構，即難易度和新穎性是商業世界中基礎技術發展的驅動因素，¹本文透過識別當前趨勢、探索區塊鏈技術在美國製藥行業中的潛在最佳應用，並探討區塊鏈技術在美國製藥行業中的應用。

區塊鏈技術的可能性，以及有改善機會的產業疑慮。

隨著社會對於區塊鏈技術在交易處理、記錄管理、監控和資料管理方面的革命越來越熟悉，區塊鏈將可能以更高的速度實現到包括醫療保健在內的各個行業中。本文將評估並討論區塊鏈技術在醫藥業的實作方式，並改造多層面的問題。

自從網路貨幣 Bitcoin 發明以來，區塊鏈技術已在各行各業實現。

區塊鏈技術可應用於許多行業，以解決大量問題。區塊鏈技術將儲存交易的區塊在分散式總帳中互相連結。由於其獨特的安全特性，在區塊鏈中使用分散式總帳至關重要。分佈式分類帳是「一種在網絡成員之間共享、複製和同步的資料庫。」²在區塊內的私人帳簿中，存取權限僅限於授權的成員，而在公共帳簿中，資料經過獨立驗證，交易參與者可以保持匿名。³公共帳簿不需要會員資格，而私人區塊鏈則要求帳簿的貢獻必須經過組織批准，以確認交易允許。在任何特定的網路中，參與者互動來檢視、儲存和交換資訊。任何區塊鏈的總帳都會被永久記錄為一組不可破壞的資料³。

圖 1 展示了一個簡單的區塊鏈。⁴虛線代表每個區塊哈希值涵蓋的區域。每個區塊（根區塊除外）都與前一區塊及後續區塊在安全鏈中相連。如果資料發生任何變更，則變更區塊的切細值和其後鏈上的每個切細值也會被變更⁵。

³每個區塊鏈網路中的個人都會互動來儲存、交換和檢視資訊。⁽⁴⁾此外，區塊鏈網路會進行自動自我檢查，以降低腐敗性，並將區塊鏈中利益相關者之間的整體透明度最大化⁽⁶⁾。

這兩個概念共同維護區塊鏈的整體完整性。

區塊鏈技術並不依賴於權威機構。相反地，區塊鏈上的所有成員都可以存取每筆記錄，而且可以輕易驗證。然而，基於醫療照護的安全需求，這些區塊可以半公開的方式運作 - 在資料永久加入區塊鏈之前，使用許可權來驗證資料。同時，每筆交易都會有稽核記錄來驗證和認證。²如果一組資料有私密金鑰，它就會像密碼一樣，允許特定的個人存取包含在交易中的資料。⁷在公鑰系統中，用戶可以通過他們在區塊鏈上的地址來追蹤，以證明原始所有權。區塊鏈同時使用公鑰和私鑰模型，以確保儲存的資料不僅不可篡改，而且在保持匿名性的同時還能追溯到來源⁴。

²加密哈希 (hash) 作為數位簽章，用於驗證區塊鏈中的每個數據區塊。²哈希驗證交易中的資訊未被更改，從而補充了私密鑰匙和公開鑰匙的使用。⁷這些區塊鏈功能共同支持在建立信任時消除集中式中介。⁽⁷⁾消除集中式中介可促進信任，並提高資料和資訊傳輸的效率⁶。

製藥業問題概述

2023 年，美國佔全球製藥業市場份額的 43%。⁸2024 年至 2028 年間，預測年成長率為 5.96%，預計未來仍會持續增加。⁹因此，美國將持續面對與高價值藥品管理相關的複雜問題。在美國，藥品在醫療保健經濟中所佔的比例越來越大。零售處方藥

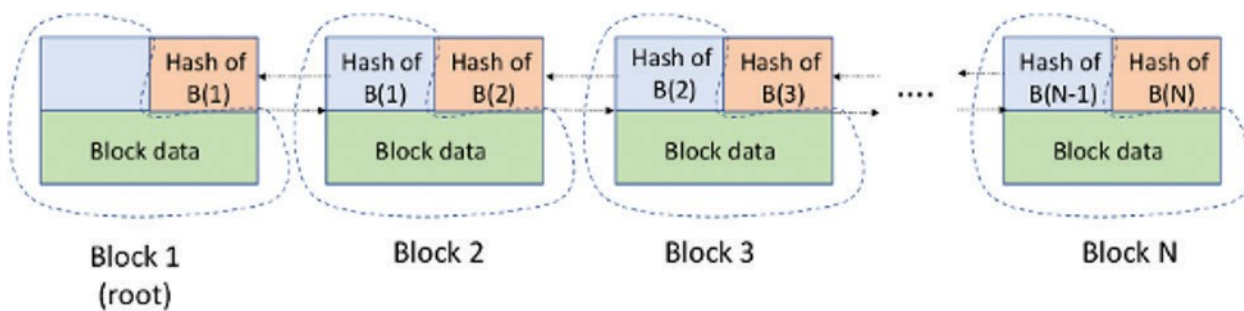


圖 1. 簡單區塊鏈的視覺表示。由一個根區塊、前一區塊的切細值和區塊中資料的切細值組成。轉載自作者 Gaynor 等人⁵ B(1) 等：「區塊」的縮寫。

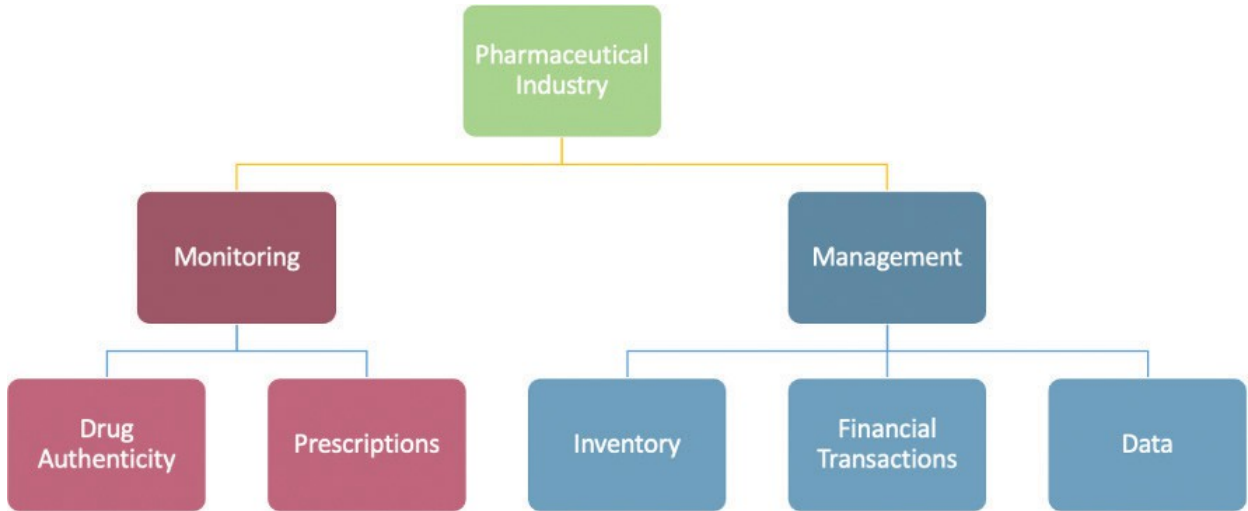


圖 2. 區塊鏈在整個製藥業的運作分為兩類：(1) 監控和 (2) 管理。這些類別反映了使用不同元件和功能的實施策略。然而，當結合起來時，它們共同支持製藥業的最佳實踐和區塊鏈技術的潛在框架。

在醫療保健的 2.3 兆美元支出中，支出佔了超過 3,000 億美元。

在 2021 年，2.3 萬億美元的醫療保健支出中，超過 3000 億美元的支出佔零售市場總額的 9%¹⁰。

製藥業包含幾個主要的內部利害關係人，包括製藥廠、藥品批發商、醫療系統、藥房和有處方藥需求的個人病患（詳細資訊請參閱附錄）。大多數處方藥都由製造商銷售給批發商。然後，批發商會將藥物賣給藥物福利管理公司、醫療系統、團體購買安排和零售藥房公司。此市場中的價格經常變動，而且從最初銷售給整售商到藥物配發之後，可能會發生複雜的回扣、折扣和扣款行為。因此，多個機構需要安全地存取長時間的財務交易。不同的組織有不同的能力來要求更改這些交易，然後批准或拒絕這些交易。

製藥業也有幾個外部利害關係人，包括一般大眾、負責監督和規範產業的政府單位，以及認證和貿易組織，這些都增加了製藥業的規範和驗證壓力。目前的挑戰包括監控整個供應鏈中的藥品、防詐騙、遵循簡化研發流程（包括臨床試驗）的能力，以及缺乏對誤用和濫用廣告物質的預防。透過使用區塊鏈技術，製藥業可以改善人口

健康結果，並在利益相關者之間提供更好的透明度。

區塊鏈技術在製藥業中的應用 區塊鏈技術可以在製藥業中創造更高效、安全和透明的系統方法。將符合這些需求的應用排出優先順序，就更容易創造可能的應用領域。這些應用可分為兩大類：監控與管理。

許多公司和組織正在利用區塊鏈技術來徹底改變製藥業。許多目前的應用程式都使用區塊鏈技術來提供製藥業的即時追蹤和資料透明度，以增加病患的安全、瞭解和整體健康成果。這些應用程式將在以下概述的層次結構中擴展。

監控

製藥業監控商品和產品的能力至關重要。許多利害關係人都會參與將特定產品提供給個別消費者的過程。然而，鑑於該行業的多面性，在鑑定產品真偽和防止處方濫用方面存在不足。區塊鏈技術固有的缺乏中央治理的特性可以增強可視性、認證和資訊流，最終改善藥物需求背景下的患者護理。

當區塊鏈技術與製藥業現有的技術系統無縫整合時，就能成功導入區塊鏈技術。

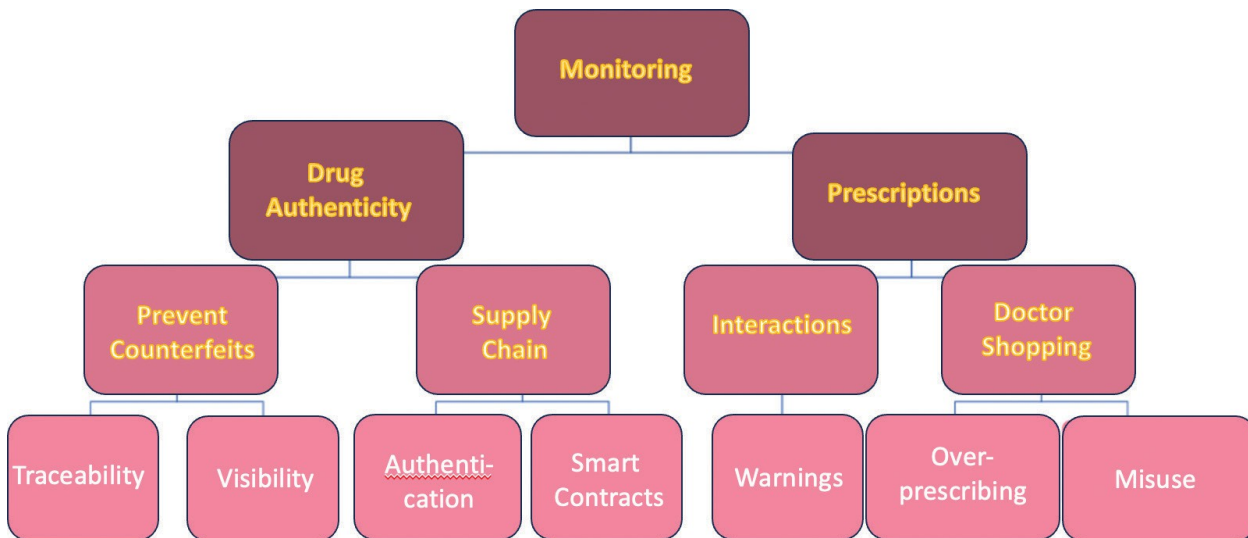


圖 3. 區塊鏈技術監控在製藥業的潛在機會，特別是與防止假藥、供應鏈功能、處方濫用和警告有關的機會。流程圖經作者 Gaynor 許可⁴

進一步分析監控藥品的潛在應用包括

1. 為了避免假冒產品，追蹤藥品的能力至關重要。MediLedger 使用區塊鏈作為整個製藥業的驗證系統。¹¹ 在退貨後轉售之前，驗證藥物的真偽可能需要長達 48 小時。然而，MediLedger 使用區塊鏈網路和條碼掃描器大大縮短了這個過程。¹² 這個過程使用序列號來進行驗證。該網路於 2019 年首次推出，致力於減少產品銷售和轉讓過程中的複雜性。如今，MediLedger 已與包括拜耳、麥克森、輝瑞等製藥業巨頭建立合作夥伴關係。
2. 鑑於某些產品的高價值和所需的特定儲存條件，製藥供應鏈面臨獨特的挑戰。使用 *智慧契約* 是區塊鏈技術可以用來促進適當供應鏈監控的一種方式。智慧契約可自動追蹤整個供應鏈中的產品。產品上附有感應器，以記錄關鍵資訊，例如環境因素（濕度或溫度）和運輸錯誤（掉落或丟失）。每筆交易的相關方可設定必須符合的運送條件準則。這樣一來，他們就能透過減少錯誤和降低受操控條件的風險來建立信任。

- ¹³智慧契約會自動追蹤、產生更新通知，並在符合所有條件時自動付款。此流程不僅可減輕確保正確出貨條件的負擔，還可建立更好的交易方間關係。
3. 許多處方在不適當的結合下，會產生強烈或不良的影響，也就是所謂的禁忌症。像 PharmaLedger 這樣的公私合作夥伴利用區塊鏈技術來解決這個問題，為消費者提供更多資訊，並消除對印刷警告、資訊和說明的需求。PharmaLedger 與其利益相關者合作，創建了一個安全的電子產品資訊 (ePI) 解決方案，讓任何擁有智慧型手機的人都能立即掃描醫療包裝，並接收有關使用產品的資訊¹⁴。 (14實時而言，ePI 系統能持續更新製造商的資訊，防止 ePI 中的過時資訊不斷傳播¹⁵)。
4. 誤用和濫用處方藥，尤其是高價值或會上癮的處方藥，會造成嚴重的問題。一直以來，要追蹤和監控不同醫療服務提供者、醫療系統和州的這些案例都很困難。透過在區塊鏈上運作，所有醫療服務提供者都能存取重要的醫療資訊，包括先前開立的藥物。使用許可權，區塊鏈將即時追蹤誰在存取和檢視個人的所有記錄，同時執行定期審核，以確保在未經授權存取的情況下，患者資料的安全性。區塊鏈技術提供了一種新的方式，讓醫療保健提供者獲得必要的資訊，以

防止過度處方和濫用藥物。HealthChain等公司可以利用區塊鏈技術，為醫療保健專業人員提供更高效、可互操作的個人處方資料，從而幫助遏制這個問題。HealthChain 致力於透過更安全的處方實務提供更好的病患治療效果。

管理層

包括製藥商在內的醫療保健產業會產生大量的資料。個人健康資訊包括各式各樣的資料來源，例如電子健康記錄、可穿戴裝置、健康應用程式等。由於這些資料大多包含高價值的個人健康資訊，因此保護這些資料至關重要。

區塊鏈的分散式總帳和加密散列功能可提供更好的資料管理。區塊鏈技術在醫藥行業管理中的未來實施包括以下應用：

1. 在美國，處方藥的回收率仍然很高。根據美國食品藥物管理局 (FDA) 的資料，僅在 2023 年，就有超過 1,500 種醫療器材、生物製劑和藥物產品被召回。¹⁷目前用來向患者發佈召回訊息的系統非常繁瑣，無法確保訊息的接收率。區塊鏈技術的實施可以有效追蹤藥物的分發情況，並通過無可爭議的記錄系統確定受召回影響的患者，從而只向收到召回產品的個人發出有針對性的警示。此應用也可用於防止分發或使用過期藥物。
2. 在整個供應鏈中有效地管理所有藥品的配送是非常複雜的。不僅是產品在運送中的位置很重要，在供應短缺的情況下定位產品也很重要。區塊鏈的去中心化促進了多方參與者形成一個顯示藥房藥物供應狀態的網路的能力。這種協作可以有效改善患者的治療效果。2019 年，WakeMed Health 和 Indiana University Health 與 Good Shepard Pharmacy 合作試行了一項計劃，稱為 RemediChain。RemediChain 專注於產品追蹤，以解決高價商品庫存短缺的問題。⁽¹⁸⁾此外，他們還建議在短缺、緊急情況和談判時跨網使用此技術。

目前，他們接受捐贈的藥物，並將藥物匹配給急需的病人。他們能即時驗證產品並進行緊急銷售，希望能減少藥品浪費。自實施以來，RemediChain 估計已避免了價值 1,700 萬美元的藥品浪費。

3. 每張發給個人的處方箋都附有個人健康資訊的記錄和交易痕跡。有效保護個人健康資訊是當務之急，然而目前的隱私權保護作法造成資訊孤島。區塊鏈技術可讓個人健康資訊儲存於網路中，讓醫療保健提供者更廣泛地存取病患的基本健康資訊，同時透過加密簽章安全地儲存資訊。Patientory 是一款運用區塊鏈技術的行動應用程式，旨在賦予病患移植和分享其醫療資訊的權利，以改善溝通、儲存資料，甚至改善付款系統。
4. 臨床試驗公司 Triall 正致力於透過分散臨床試驗資訊和資料，來解決他們最關心的一些問題。¹⁹在臨床試驗中使用區塊鏈技術，可以提高參與者監控、資料管理和文件管理的效率。¹⁹這對臨床試驗研究尤為重要，因為大量患者資訊和資料湧入。²⁰此外，區塊鏈允許利益相關者有更多機會評估結果和需求。
5. 基因組測序中的區塊鏈技術提供了一種獨特的新方式，讓個人能夠掌握自己的健康資訊的自主權和數據管理權。Nebula 和 EncrypGen 等公司使用區塊鏈技術和網路貨幣，讓個人能夠自主管理自己的基因資訊。²¹與以往不同的是，這項應用消除了控制整個基因組序列和銷售個人個人健康資訊的中介方。

區塊鏈技術提供了一種新的加密安全方式來儲存、分享和管理整個製藥行業的資料。同樣地，區塊鏈技術也提供了一種獨特的能力來管理醫院和醫療保健系統的庫存和供應品，其方法是

分散管理和提高可及性。圖 4 描述了區塊鏈技術可能在製藥業資料和庫存管理中的應用層次。

技術選擇演算法

我們對醫藥行業技術的選擇演算法是基於 Ian-siti 和 Lakhani 提出的框架⁽¹⁾他們的框架提出了易於實施和行業熟悉度這兩個重要組成部分。⁽²⁾這一擴展框架使我們能夠根據基本指標對區塊鏈技術在醫藥行業的應用進行排序，並選擇最有可能採用這一新興技術的應用。

圖 5 展示了區塊鏈技術在醫藥行業的九個潛在應用，並根據其總分進行了排序。得分最高的應用

得分最高的應用程式最有可能成功導入。九個應用程式分別在容易度、熟悉度、適合度和必要性方面進行排名。排序之後，總和他們的分數，並給予正式的排名。

選擇演算法應用程式

九個應用程式中的每一個都在四個指標中以 1 到 5 分排名：易用性、熟悉度、適合度和必要性，從而選出最適合在製藥業實施的應用程式。圖 6 顯示此模型。在任何給定類別中，表現差的得 1 分 (最左邊)，表現好的得 5 分 (最右邊)。任何 3 分或以下的分數都可以立即從可能的最佳應用程式考慮中剔除。

易用性、熟悉度、適合度和必要性這四個指標在決定應用程式如何在製藥業發揮功能時，各自扮演著不同的重要角色。

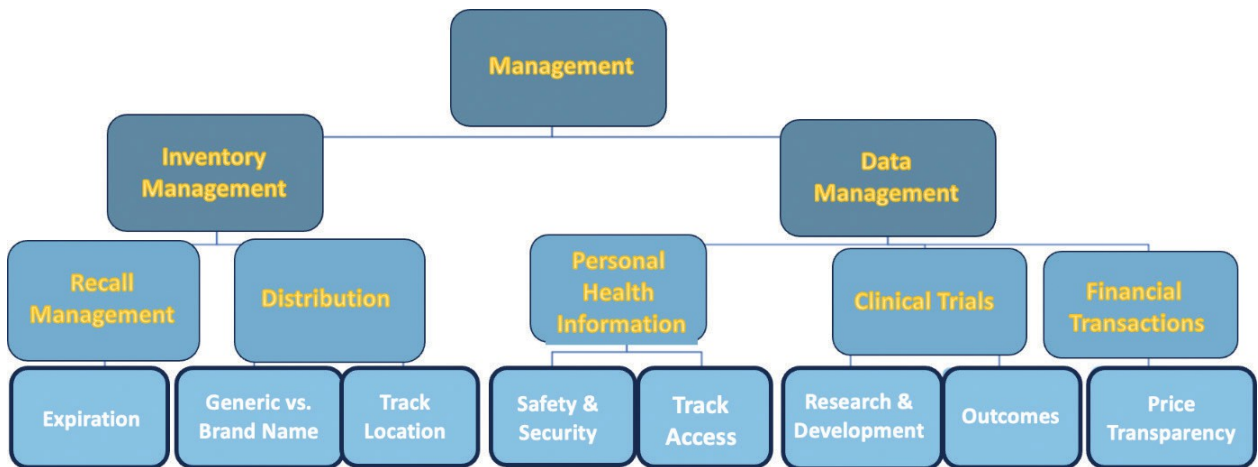


圖 4. 區塊鏈技術管理功能的系統分析。管理功能可定義為發明管理或資料管理。經作者許可轉載，Gaynor 等人⁴

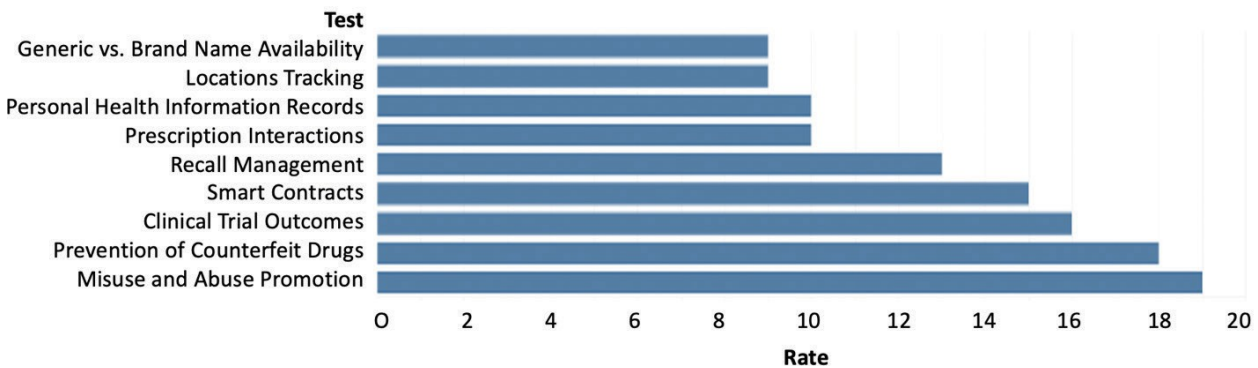


圖 5. 在製藥業應用區塊鏈 Trichology 的演算法選擇。圖中描述了基於易用性 (Ease)、熟悉性 (Familiarity)、適合性 (Fit) 和必要性 (Necessity) 決策矩陣的九個應用中各應用的總分。

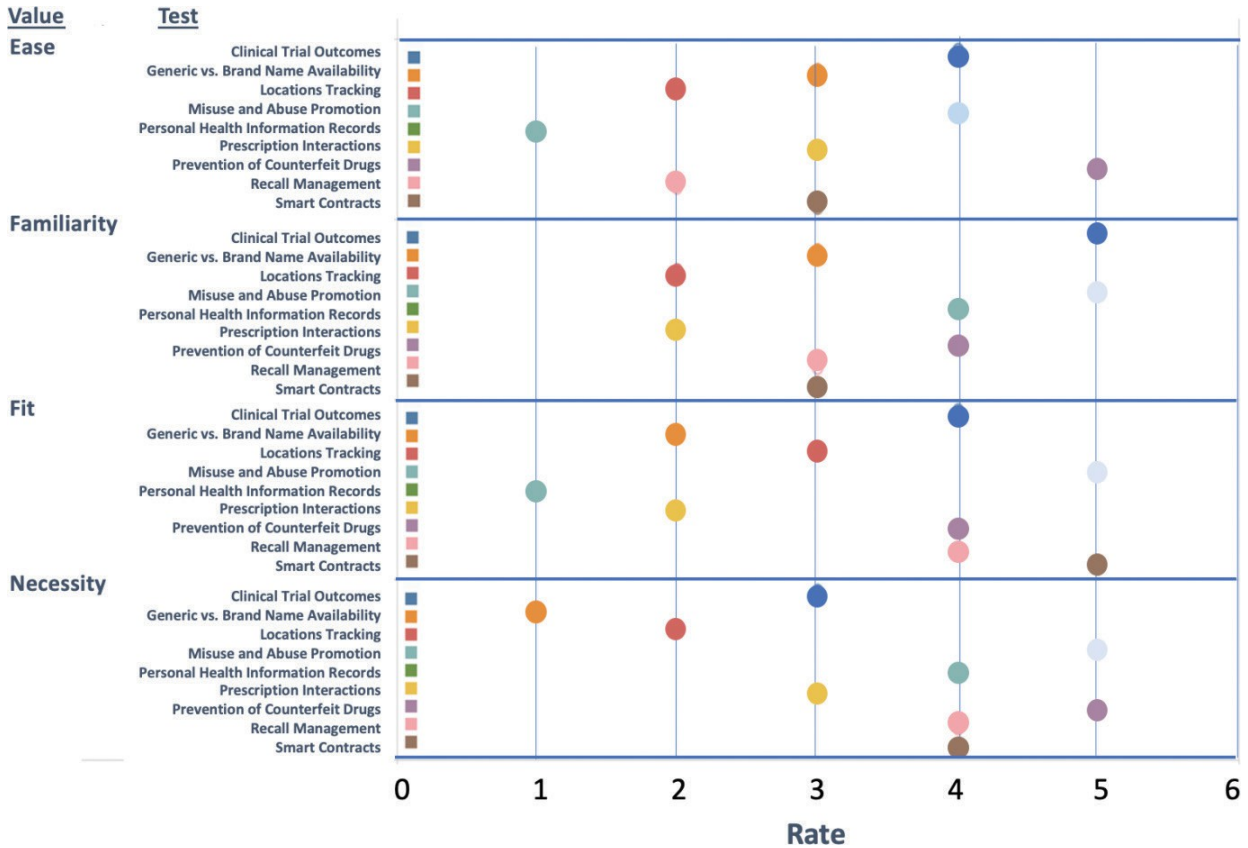


圖 6. 根據 Ease、Familiarity、Fit、Necessity 決策矩陣的個別化分數，顯示區塊鏈技術的最佳應用。

- 易於執行與執行應用程式或任務的簡單性及便利性有關。這通常與什麼需要最少的努力或資源有關。這是考慮採用最佳應用程式的第二個最重要的指標。在這項指標中排名最高的應用程式是防止假冒產品，而排名最低的則是個人健康資訊，因為健康資料的互通性相當複雜。
- 儘管熟悉度很重要，但其重要性卻不如容易度與必要性。熟悉度與採用新產品的期望和準備程度有關。熟悉度排名較高的應用程式包括臨床試驗結果，因為其在醫藥產業中具有重要性和相關性，而排名最低的應用程式則包括處方交互。
- 契合度很重要，因為這關係到與製藥業策略目標和需求的整體一致性。智慧型契約在整體契合度上名列前茅，因為智慧型契約可以讓製藥業的多方在整個運輸過程中，為高價值的藥物商品建立互信關係。契合度最低的是個人健康

資訊，因為這對利害關係人而言並非最重要。

- 必要性與應用程式的重要性有關。必要性度量是考慮潛在應用程式時最重要的屬性。如果沒有真正的需求，實施的成功率很可能微乎其微。必要性中表現較好的是處方濫用和誤用，而表現較差的是普通藥與品牌藥的可用性。藥劑師、保險業者和其他利益相關者都致力於防止病患濫用處方，但對於非專利與品牌產品的可用性或使用卻不太關心。

最佳實施的四個類別為：(1) 防止處方藥誤用與濫用、(2) 防止假藥、(3) 臨床實驗結果，以及 (4) 智慧契約。在針對當前製藥業需求創造創新解決方案方面，這四個類別的整體排名最高。

- 正如近年來所見，鴉片類等上癮處方藥的誤用和濫用預防已變得越來越普遍，令人擔憂。亟需一個新的系統來追蹤和預防這些藥物的濫用。

濫用這些藥物的迫切需要為新技術的成功創造了機會。區塊鏈技術可以為任何個人的處方歷史建立無可爭議的記錄和交易歷史，創造更安全的處方做法。防止處方藥誤用與濫用在「熟悉度」與「必要性」兩項指標中排名特別靠前。

2. 預防偽藥在易於執行方面排名最高。這可歸功於一些應用程式，例如 Mediledger，這些應用程式已經存在，並有主要的製藥利益相關者參與。這類應用程式可以減輕製藥公司和會員在整個銷售和轉讓過程中的驗證負擔，因此非常有益。
3. 臨床試驗結果對於醫藥產業的運作至關重要。由於臨床試驗資訊的高度未知性和健康資料的大量湧入，資料追蹤和報告變得繁重且缺乏透明度。由於美國臨床試驗的數量不斷增加，因此臨床試驗結果的熟悉度排名最高。
4. 智慧型契約可以監控高價值商品，並進行鏈上管理。在製藥業中，這在確保運輸條件（如溫度和方向）符合以提供優質產品方面尤其有用。一旦產品符合這些條件，就會自動付款。智能合約已在其他高價值產業中證實是有益的。基於這些理由，智慧型契約在此產業的必要性與整體契合度排名特別高。

限制

此分析的潛在限制包括無法完美預測技術的實施與結果。數十年來，技術一直是無法預測的。然而，這些潛在的限制可透過強調必要應用的重要性來解決。如果沒有真正的需求，取得有利結果的可能性就會降低。

儘管這項分析可以找出區塊鏈技術可能最適合的醫藥行業領域，但採用區塊鏈並不確定。區塊鏈的應用美國會限制某些應用程式的採用。大多數相關組織都是營利性企業；所有組織都有興趣在適當的情況下提高效率並降低成本。上述許多應用程式會為製藥業以外的人士帶來好處。這些效益有幾種說法。它們可以被稱為外部效益或溢出效應，也可以被稱為產品的公益性。其中一個例子就是網路

中性，它定義了一個自由開放的架構原則，在這個原則下，資料在網路中得到平等的對待。⁽²³⁻⁾⁽²⁶⁾如果產業必須承擔建立和維護網路的所有成本，但卻無法獲得所有利益（例如，透過收取使用者費用），那麼網路中性和區塊鏈的使用就不太可能被自願採用。

防止處方藥誤用和濫用是溢出效應非常重要的另一個例子。減少或預防處方藥物誤用和濫用的主要好處是，預防過量使用處方藥物可延長生命年限，並減少治療濫用處方藥物的醫療支出。這些好處會累積到許多人和組織身上，主要是製藥業以外的人和組織。以營利為目的的製藥公司，除了面臨訴訟的威脅之外，幾乎沒有生態經濟的誘因去開發和使用減少誤用和濫用的方案，因為他們無法收回成本。為了促進這些計畫的採用，製藥公司需要一個誘因。誘因可以是財務上的（例如補助、補助金和稅務優惠）或法律上的（例如立法和法規）⁽²⁷⁾。

總結

區塊鏈技術為醫藥行業的需求提供了一個全新且前景光明的解決方案。分散式資料庫在驗證和認證過程中優先保護隱私。區塊鏈技術的實施必須符合支持必要性、易於實施性、利益相關者之間的熟悉程度以及適合整體產業的框架。基於這四項指標，本文所概述的層次結構顯示，最適合這些指標的應用程式包括預防處方藥物誤用與濫用、預防偽造、臨床試驗結果以及智慧契約。區塊鏈技術的未來研究包括進一步探索生態經濟的影響與採用、資料所有權與隱私權的道德與法律考量，以及從區塊鏈進行潛在資料分析的 AI 整合。

研究經費

本研究未獲任何組織或政府資助。

財務及非財務關係與活動

作者無利益衝突或財務關係需揭露。

貢獻者

所有作者均對本文有所貢獻。Mark Gaynor 博士提供了格式編排、區塊鏈技術和技術選擇演算法的上下文以及校對。Kathleen Gillespie 博士提供了關於經濟

評估和校對。Allison Roe 構建了文本的上下文以及圖表。Erica Crannage 博士提供有關製藥業的文字和校對。J.E. Tuttle-Newhall 博士提供論文與醫療照護產業背景的校對。

應用 AI 產生的文字或相關技術

完成稿件後，作者使用 ChatGPT3.5 作為修正建議與校對工具。其中一些建議已併入文章中。

鳴謝

本文由 CHATGPT 進行部分校對與編輯。

參考文獻

- Iansiti M, Lakhani, KR. 區塊鏈的真相 [網際網路]。哈佛商業評論。2017.[cited 2023 Dec 10]. 可從以下網址取得：<https://hbr.org/2017/01/the-truth-about-blockchain>
- 區塊鏈：信任鏈及其改變醫療保健的潛力 - 我們的觀點 [網際網路]。國家健康資訊協調辦公室；2016 [於 2023 年 12 月 10 日引用]。Available from: https://www.healthit.gov/sites/default/files/8-31-blockchain-ibm_ideation-challenge_aug8.pdf?source=post_page
- Krawiec R, Housman D, White M, Filipova M, Quarre F, Barr D, et al. Blockchain: opportunities for health care [Internet]. 德勤；2016 [2023 年 12 月 12 日引用]。Available from: <https://www2.deloitte.com/us/en/pages/public-sector/articles/blockchain-opportunities-for-health-care.html>
- Gaynor M, BeLue R, Tuttle-Newhall JE, Martin M, Patejdl F, Vogt C. Blockchain and population health. J Public Health. 2022;44(4):e530-e6. <https://doi.org/10.1093/pubmed/fdac028>
- Gaynor M, Tuttle-Newhall J, Parker J, Patel A, Tang C. 區塊鏈在醫療保健領域的應用。J Med Internet Res. 2020;22(9):e17423. <https://doi.org/10.2196/17423>
- Abadi J, Brunnemeier M. Blockchain economics [Internet]. 普林斯頓大學；2018 [2023 年 12 月 12 日引用]。網址：<https://markus.scholar.princeton.edu/publications/blockchain-economics>
- Dimitrov DV. 醫療照護資料管理的區塊鏈應用。Health Inform Res. 2019;25(1):51-6. <https://doi.org/10.4258/hir.2019.25.1.51>
- Joshi K. US Pharmaceutical Industry statistics - by total rev-enue, region, value, job posting, total numbers 2023 [Internet]. [cited 2023 Dec 10] Available from: <https://www.enterprise-appstoday.com/stats-us-pharmaceutical-industry-statistics.html>
- Pharmaceuticals - United States Statistica [Internet]. Statista [2023 Dec 10]. Available from: <https://www.statista.com/outlook/hmo/pharmaceuticals/united-states>
- 2021 年全國醫療支出摘要 [網際網路]。聯邦醫療保險與醫療補助服務中心；2021 [於 2023 年 12 月 12 日引用]。可從以下網址取得：<https://www.cms.gov/files/document/highlights.pdf>
- 區塊鏈在藥業中的應用 LimeChain2023 [Internet] [2023 年 12 月 10 日引用] Available from: <https://limechain.tech/blockchain-use-cases/pharma/?cn-reloaded=1>.
- McCauley A. 為什麼大藥廠押注於區塊鏈 [網際網路]。哈佛商業評論。2020.[cited 2023 Dec 10] Available from: <https://hbr.org/2020/05/why-big-pharma-is-betting-on-blockchain>
- CFO Insights. Getting smart about smart contracts Deloitte [Internet]. 2016. [cited 2023 Dec 10]. Available from: <https://www2.deloitte.com/us/en/pages/finance/articles/cfo-insights-getting-smart-contracts.html>
- Jennings K. Pharma's blockchain trials: Novartis, Merck test the tech popularized by bitcoin [Internet]. 福布斯。2021 [於 2023 年 12 月引用 12]。Available from: <https://www.forbes.com/sites/katie-jennings/2021/02/02/pharmas-blockchain-trials-novartis-merck-test-the-tech-popularized-by-bitcoin/?sh=51ca767c7e86>
- PharmaLedger 團隊。PharmaLedger ePI 簡介：不僅是手機上的 PDF [網際網路]。2023 [於 2024 年 1 月 17 日引用]。網址：<https://pharmaledger.org/2023/04/introduction-to-epi-by-pharmaledger-more-than-just-a-pdf-on-your-phone/>
- Chentharas S, Wang H, Ahmed K, Whittaker F, Ji K, A block-chain based model for curbing doctors shopping and ensuring provenance management. 2020 網路與網路應用國際會議 (NaNA)，中國海口市，2020 年 12 月 10-13 日；第 186-192 頁。
- 美國食品藥物管理局。召回 [網際網路]。FDA；2024 [2024 年 1 月 17 日引用]。Available from: <https://datadashboard.fda.gov/ora/cd/recalls.htm>
- Pennic F. FDA OKays healthcare blockchain pilot to track specialty drugs. HIT Infrastructure；2019. <https://doi.org/10.1109/NaNA51271.2020.00040>
- Fox A. 梅奧診所將在高血壓臨床試驗中使用區塊鏈 [Internet]。Healthcare IT News. 2022 [於 2023 年 12 月 12 日引用]。網址：<https://www.healthcareitnews.com/news/mayo-clinic-use-blockchain-hypertension-clinical-trial>
- Gupta SK. 無紙化臨床試驗：神話還是現實？Indian J Pharmacol. 2015;47(4):349-53. <https://doi.org/10.4103/0253-7613.161247>
- Molteni M. 這些 DNA 創業公司想把你們都放在區塊鏈上 [網際網路]。WIRED. 2018 [於 2023 年 12 月 12 日引用]。網址：<https://www.wired.com/story/these-dna-start-ups-want-to-put-all-of-you-on-the-blockchain/>
- Dhillon V, Bass J, Hooper M, Metcalf D, Cahana A. Blockchain in healthcare: innovations that empower patients, connect professionals and improve care. 生產力出版社；2021 年。
- Gaynor M, Lenert L, Wilson KD, Bradner S. 《為什麼共同載體和網路中立原則適用於全國健康資訊網路 (NWHIN)》。J Am Med Inform Assoc. 2014;21(1):2-7. <https://doi.org/10.1136/amiainl-2013-001719>
- Gaynor M, Lenert L, Wilson K, Bradner S. It's hard to be neutral about network neutrality for health. 健康事務。2014. <https://doi.org/10.1377/forefront.20140818.040833>
- Gaynor M, Lenert L, Wilson K, Bradner S. Telecommunication policies may have unintended health care consequences. Health Affairs Blog. 2017. <https://doi.org/10.1377/forefront.20170531.060342>
- Mendoza-Jiménez MJ, van Exel J, Brouwer W. On spillovers in economic evaluations: definition, mapping review and research agenda. Eur J Health Econ. 2024. <https://doi.org/10.1007/s10198-023-01658-8>
- Patton T, Revill P, Sculpher M, Borquez A. Using economic evaluation to inform responses to the opioid epidemic in the United States: challenges and suggestions for future research. Subst Use Misuse. 2022;57(5):815-21. <https://doi.org/10.1080/10826084.2022.2026969>

版權所有：這是一篇以 Creative Commons Attribution Non-Com (CC BY-NC 4.0) 授權釋出的開放存取文章。此許可證允許他人非商業性地散佈、改編和增進本作品，並以不同條款授權其作品，但必須適當引用原作，且為非商業性使用。請參閱 <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>。

附錄

在美國的醫藥產業中，有幾家公司正在闖入區塊鏈解決方案的領域。這個市場是一個新興且不斷發展的市場，具有相對較高的波動性。以下清單並非區塊鏈和醫藥領域內所有公司的綜合，而是代表了當今市場上存在的創新技術。

1. Embleema 是一個臨床研究平台，利用區塊鏈技術加快監管審查流程。他們的技術有幾個關鍵因素，包括參與者招募、安全可靠的資料分享、研究資料的稽核追蹤、證據，以及美國食品藥物管理局(FDA)參與審批。如今，Embleema 與各類利益相關者合作，包括學術醫療中心、政府機構、生物醫學技術公司、研究機構、醫院和大學。
2. Healthchain 以建立醫療服務提供者、付費者和病患之間的連結為基礎。他們擁有七種不同的應用程式，可針對特定需求量身打造。透過建立整合且可互操作的系統，Healthchain 可應用於製藥產業，提供病人處方歷史的即時追蹤。
3. LedgerDomain 專注於藥物品質與安全法案 (DSCSA) 的合規性。通過他們的portal系統，藥房可以快速追蹤和驗證產品。LedgerDomain 透過建立授權交易夥伴 (ATP) 來推動供應鏈向前發展。這創造了互操作性、資料驅動和增強安全性。
4. MediLedger 使用區塊鏈作為整個製藥行業的驗證系統。MediLedger 使用區塊鏈作為整個製藥行業的驗證系統。

製造商、團購組織和批發商之間的交易。MediLedger 已與 Pfizer、McKesson、Cardinal Health 等製藥公司合作。

5. Nebula Genomics 直接向患者提供全基因組測序。Nebula Genomics 正努力利用區塊鏈網路來消除成本、法規事宜和隱私等關鍵問題。最終，這將為用戶提供對其健康資訊和 Nebula Genomics 提供的基因組序列的完全控制權。
6. PharmaLedger 的區塊鏈技術有三個主要產品線：產品信任、分散式試驗和供應鏈。每個解決方案都提供不同的價值。例如，在產品信任領域，PharmaLedger 與利益相關者合作，創建了一個安全的電子產品資訊 (ePI) 解決方案，可在通過智能手機掃描產品包裝後即時獲取產品資訊。
7. Remedichain 利用區塊鏈技術，將未使用和未開封的處方藥重新出售給那些可能無法負擔處方藥的人。它創建了一個區塊鏈資料庫，可以驗證和重新分配高價值商品。
8. SoluLab 使用區塊鏈技術創建了一個藥品生命週期的分層追蹤系統。這包括原料採購、製造過程、分銷，以及最終到達終端消費者手中。透過利用區塊鏈，SoluLab 可協助製藥公司確保其產品的真實性、防止假冒，並簡化法規遵循。
9. Trial1 是一個臨床試驗平台，致力於簡化從研究設計、執行到研究後評估的整個臨床試驗生命週期。迄今為止，他們已在 8,000 多項臨床試驗中被用作數據管理的主要來源。