

УДК 004.584/.588

DOI <https://doi.org/10.32782/health-2023.4.4>

## СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ КЛІНІЧНИХ РІШЕНЬ: ІНОЗЕМНИЙ ДОСВІД (ОГЛЯД)

**Лукашук Микола Миколайович,**  
кандидат педагогічних наук, доцент,  
професор кафедри хіміко-фармацевтичних наук  
КЗВО «Рівненська медична академія»  
ORCID: 0000-0001-9177-7808

**Лукашук Ілля Миколайович,**  
кандидат педагогічних наук,  
викладач хімії  
КЗВО «Рівненська медична академія»  
ORCID: 0000-0002-1690-9564

**Лукашук Валентина Іванівна,**  
викладач інформатики та інформаційних технологій  
КЗВО «Рівненська медична академія»  
ORCID: 0000-0001-5763-3691

**Мялюк Оксана Петрівна,**  
кандидат біологічних наук,  
завідувач кафедри фундаментальних дисциплін  
КЗВО «Рівненська медична академія»  
ORCID: 0000-0002-5090-6607

**Марушак Марія Іванівна,**  
доктор медичних наук, професор,  
завідувач кафедри функціональної і лабораторної діагностики  
Тернопільського національного медичного університету імені І.Я. Горбачевського  
ORCID: 0000-0001-6754-0026

*У статті проаналізовано іноземний досвід використання різноманітних систем підтримки прийняття клінічних рішень. Системи підтримки клінічних рішень – це обчислювальні або технологічні системи, призначені для задоволення конкретних вимог у сфері охорони здоров'я. Традиційна система підтримки прийняття клінічних рішень складається з програмного забезпечення, призначеного для прямої допомоги у прийнятті клінічних рішень, у якому характеристики окремого пацієнта зіставляються з комп'ютеризованою базою клінічних знань, а оцінки та рекомендації щодо конкретного пацієнта потім надаються клініцисту для прийняття рішення. Розглянуто їх переваги, що стосуються полегшення роботи медичного працівника, можливостей зменшити робоче навантаження, оптимізувати обсяги часу на діагностику та лікування захворювань, вибрати найбільш оптимальні шляхи вирішення поставлених завдань. Системи підтримки прийняття клінічного рішення у разі правильного використання можуть істотно покращити роботу лікарень і прискорити постановку правильного діагнозу. З'ясовано важливість інформаційно-технологічного прогресу, кібернетичних можливостей для реалізації клінічних процедур. Обговорено «критичні точки» використання штучного інтелекту і машин, здатних до самонавчання, адже такі системи підтримки прийняття клінічних рішень ряснують проблемами, включаючи проблеми з розумінням логіки, яку використовує штучний інтелект для створення рекомендацій (black boxes), а також проблемами з доступністю даних. Важливим, на нашу думку, є помірне і професійне ставлення медичного персоналу до систем підтримки клінічних рішень, а отже, можливостей удосконалювати свої знання і навички «розумного» використання комп'ютерних технологій. Вважаємо, що доцільним є навчання медичних працівників новинкам медичної інформатики шляхом проведення курсів, стажувань для втілення систем підтримки прийняття клінічних рішень у всі заклади охорони здоров'я України. Перспективним напрямом залишається опрацювання та аналіз уже наявних вітчизняних систем підтримки прийняття клінічних рішень для реалізації вищезазначених висновків.*

**Ключові слова:** системи підтримки прийняття клінічних рішень, медичний працівник, комп'ютерні технології.

**Mykola Lukashchuk, Illia Lukashchuk, Valentina Lukashchuk, Oksana Mialiuk, Mariya Marushchak. Clinical decision support systems: foreign experience (literature review)**

*The article analyzes the foreign experience of using various clinical decision support systems. Clinical decision support systems are computing or technology systems designed to meet specific healthcare requirements. A traditional clinical decision support system consists of software designed to directly aid clinical decisions, in which individual patient characteristics are matched against a computerized clinical knowledge base, and patient-specific assessments and recommendations are then provided to the clinician for decision-making. Their advantages related to facilitating the work of a medical worker, opportunities to reduce the workload, optimizing the amount of time for diagnosis and treatment of diseases, and choosing the most optimal ways of solving the tasks are considered. Clinical decision support systems, when used correctly, can significantly improve the work of hospitals and accelerate the establishment of the correct diagnosis. The importance of information and technological progress and cybernetic opportunities for the implementation of clinical procedures is clarified. The “critical points” of using artificial intelligence and machines capable of self-learning are discussed, because data from clinical decision support systems is full of problems, including problems with understanding the logic used by artificial intelligence to create recommendations (black boxes), as well as problems with data availability. In our opinion, the moderate and professional attitude of the medical staff towards clinical decision support systems is important, as well as opportunities to improve their knowledge and skills in the “smart” use of computer technologies. We believe that it is expedient to train medical workers in new medical informatics by conducting courses and internships to implement clinical decision-making support systems in all healthcare institutions of Ukraine. The development and analysis of already existing domestic clinical decision-making support systems for the implementation of the above-mentioned conclusions remains a promising direction.*

**Key words:** clinical decision support systems, medical worker, computer technologies.

**Вступ.** Система підтримки прийняття клінічних рішень (СППКР) призначена для покращення надання медичної допомоги шляхом «посилення» медичних рішень за допомогою цільових клінічних знань, інформації про пацієнта та іншої інформації про стан здоров'я [1]. Традиційна система підтримки прийняття клінічних рішень складається з програмного забезпечення, призначеного для прямої допомоги у прийнятті клінічних рішень, у якому характеристики окремого пацієнта зіставляються з комп'ютеризованою базою клінічних знань, а оцінки та рекомендації щодо конкретного пацієнта потім надаються клініцисту для прийняття рішення [2]. СППКР нині в основному використовуються клініцистами на місці надання медичної допомоги, щоб поєднати свої знання з інформацією чи пропозиціями, наданими системою. Проте все частіше розробляються СППКР із можливістю використання даних і спостережень, які інакше неможливо отримати або інтерпретувати людьми.

Системи підтримки клінічних рішень – це обчислювальні або технологічні системи, призначені для задоволення конкретних вимог у сфері охорони здоров'я [3–5]. Метою СППКР є допомога медичному персоналу у прийнятті більш обґрунтованих клінічних рішень і, зрештою, підвищення безпеки пацієнтів [6]. Важливо відзначити, що впровадження СППКР у середовищі охорони здоров'я вимагає інтеграції системи в уже наявний потік даних, обчислювальну інфраструктуру та клінічні процедури [7].

У дослідженні Ely et al. [8] показано, що медики в амбулаторних умовах не змогли дати

відповіді на 45% питань, що виникли в ході роботи. При цьому в 11% випадків фахівці сумнівалися, що рішення поставленої задачі існує, а в 26% випадків для вирішення питання вимагалася додаткова інформація, доступ до якої не завжди просто отримати. В результаті появи ситуацій, коли знання спеціаліста недостатні для подальшої діагностики, лікарю доводиться звертатися до інших джерел знань. У різних країнах різниться відсоток спеціалістів, що користуються Інтернетом для пошуку рішень. Так, наприклад, у Новій Зеландії близько 48,6% молодих спеціалістів звертаються до даних з Інтернету для допомоги у вирішенні певних клінічних ситуацій. В Італії лише 23,5% лікарів використовують Інтернет для пошуку професійної інформації, необхідної для вирішення клінічних питань [9]. Нині СППКР уже активно впроваджується у сучасну лікувальну практику, але їх використання обмежено низкою недоліків, таких як: відсутність відмінності величини досліджуваної ознаки, величини відхилення ознаки від її номінальних значень, межі близькості до досліджуваного класу та ін. [10].

Системи підтримки прийняття клінічного рішення можуть істотно оптимізувати роботу лікарень і прискорити постановку правильного діагнозу. Описано різноманітні СППКР, що відрізняються за функціональністю та призначенням.

**Мета дослідження** – проаналізувати переваги та недоліки СППКР для оцінки ефективності їх роботи.

**Матеріали та методи.** У ході дослідження було опрацьовано останні наукові джерела щодо

зазначеної тематики з використанням міжнародних наукометричних баз, таких як Web of Science, Scopus, PubMed.

**Результати.** Комп'ютерні СППКР можна простежити до 1970-х років. Тоді вони мали погану системну інтеграцію, займали багато часу та часто обмежувалися академічними заняттями [11]. Також виникали етичні та правові проблеми щодо використання комп'ютерів у медицині, автономії медичного працівника та того, хто буде винен у використанні рекомендацій системи з недосконалою «пояснюваністю» [12]. Зараз СППКР часто використовує вебдодатки або інтеграцію з електронними медичними записами (EHR) і комп'ютеризованими системами виписування рецептів (CPOE). Ними можна керувати за допомогою настільного комп'ютера, планшета, смартфона, а також з інших пристроїв, таких як біометричний моніторинг і переносні медичні технології. Ці пристрої можуть або не можуть створювати вихідні дані безпосередньо на пристрої або бути пов'язані з базами даних EHR [13]. Проте поєднання CPOE та СППКР допомогло лікарям вибирати правильний препарат у правильній дозі та попереджати лікаря під час призначення, якщо, наприклад, у пацієнта алергія. Поєднання CPOE з основними лікарськими засобами СППКР означало величезний стрибок у безпечнішому призначенні ліків [14; 15].

СППКР класифікують на різні категорії та типи, включаючи час втручання, а також те, чи мають вони активну або пасивну дію. Один з варіантів це СППКР, які засновані «на знаннях» або без них. У системах, заснованих «на знаннях», створюються правила (IF-THEN), за допомогою яких система отримує дані для їх оцінки та створює дію або видає результат. Правила можна розробити, використовуючи докази, засновані на літературі, на практиці або скаргах пацієнта. СППКР, які не ґрунтуються на знаннях, усе одно потребують джерел даних, але рішення приймає штучний інтелект (AI), машинне навчання (ML) або статистичне розпізнавання образів, а не програмування для дотримання експертних медичних знань. СППКР, не заснований «на знаннях», хоча швидко «вчиться», проте використання штучного інтелекту в медицині рясніє проблемами, включаючи проблеми з розумінням логіки, яку використовує штучний інтелект для створення рекомендацій (black boxes), а також проблеми з доступністю даних [16].

Обсяг функцій, наданих СППКР, величезний, включаючи діагностику, системи сигналізації,

лікування захворювань, рецепти, контроль ліків і багато іншого [17]. Вони можуть проявлятися у вигляді комп'ютеризованих сповіщень і нагадувань, комп'ютеризованих інструкцій, наборів замовлень, звітів про дані пацієнтів, шаблони документації та інструменти клінічного робочого процесу [18]. Наприклад, СППКР, яка виконує лабораторну діагностику (labCDSS), – це загальна система з мінімальними компонентами, що дозволяє елементарно швидко реагувати на найменші зміни лабораторних показників пацієнта. Конкретну реалізацію такої СППКР відтворено в медичному центрі Лейпцизького університету (ULMC) у Німеччині під назвою AMPEL, що німецькою означає світлофор. AMPEL, по суті, є системою сповіщення [19]. Коли значення лабораторного параметра виходить за попередньо встановлені контрольні межі, швидка медична реакція має першорядне значення (наприклад,  $K^+ \leq 2,0$  ммоль/л, що визначає важку гіпокаліємію). Чим довше затримується така медична відповідь, тим вища небезпека пацієнта через пов'язаний ризик між тяжкою гіпокаліємією та раптовою «серцевою» смертю [20]. Система AMPEL сповіщає медичний персонал, коли параметри пацієнта підвищують імовірність виникнення небезпечних для життя станів.

Основні принципи СППКР можуть бути використані щодо питань догляду за пацієнтами нескінченною кількістю способів – від раннього виявлення інфекції до надання розуміння високopersоніфікованих методів лікування раку. Наприклад, у одній із лікарень в Алабамі знизився рівень смертності від сепсису на 53% після впровадження комп'ютеризованого алгоритму спостереження. Аналітика в режимі реального часу сповіщала медиків про нові діагнози сепсису або погіршення життєво важливих показників, а також надавала нагадування про найкращі методи лікування пацієнтів зі смертельним станом. У клініці «Мауо» нині використовується інструмент СППКР, який допомагає медсестрам проводити повні та точні телефонні перевірки пацієнтів, які шукають консультації або призначення на прийом. Комп'ютеризоване програмне забезпечення для прийняття рішень направляє медсестер пройти серію стандартизованих запитань на основі поточних інструкцій з догляду, гарантуючи, що вони не пропустять важливу інформацію про здоров'я пацієнта. Університет Хардінга та медичний центр «Unity Health-White County» виявили, що поєднання системи СППКР з даними генетичного тестування може зменшити

кількість повторних госпіталізацій на 52% та скоротити відвідування лікарні на 42%. Проведення тестів на взаємодію ліків і генів на пацієнтів із групою високого ризику допомогло заощадити понад 4300 доларів США на душу населення. Програма для підтримки клінічних рішень для пацієнтів із травмами голови, розроблена Єльським університетом і клінікою «Мауо», використовує галузеві рекомендації для надання інформації пацієнтам під час оцінки тяжкості травми. Додаток пояснює пацієнтам лікування, водночас потенційно зменшуючи кількість непотрібних комп'ютерних сканувань, високовартісного тесту, який не завжди є виправданим. На сайті Департаменту у справах ветеранів в Індіані інструменти для підтримки клінічних рішень, спрямовані на зменшення непотрібного використання лабораторії, допомогли зменшити загальний обсяг тестування на 11,18% на рік, забезпечивши економію понад 150 000 доларів США без впливу на якість лікування [21; 22].

Інструменти СППКР усе більше використовують машинне навчання та штучний інтелект для забезпечення складної аналітики. Алгоритми машинного навчання можуть отримувати великі обсяги даних, визначати закономірності та повертати детальні результати користувачам. Інструменти машинного навчання стали особливо цінними для аналізу зображень, візуалізації і точної медицини. В Університеті Пенсильванії машинне навчання стало основою інструменту СППКР, який скорочує час виявлення сепсису на 12 годин, що може стати різницею між життям і смертю для багатьох людей. Алгоритм використовував дані понад 160 000 пацієнтів для навчання та був перевірений на вибірці ще 10 000 осіб. В одному нещодавньому дослідженні Массачусетського технологічного інституту інструмент глибокого навчання використовує приліжкові монітори, клінічні нотатки та інші джерела даних для створення погодинних прогнозів щодо пацієнтів у відділенні інтенсивної терапії, щоб дати медикам перевагу для зміни своїх планів догляду за дуже складними пацієнтами. Інструмент також надає обґрунтування своїх рекомендацій – ключового компо-

нента створення систем машинного навчання, яким постачальники можуть довіряти. У міру того як машинне навчання та штучний інтелект стають невід'ємною частиною середовища даних охорони здоров'я, більше і більше інструментів СППКР, імовірно, буде побудовано на основі цих передових аналітичних методів [23].

Незважаючи на переваги, впровадження СППКР також має недоліки. Перше завдання полягає в тому, що СППКР має інтегруватися з клінічним робочим процесом організації охорони здоров'я, який часто вже є складним. Деякі системи підтримки прийняття клінічних рішень є автономними продуктами, які не сумісні зі звітністю та програмним забезпеченням медичних закладів. Крім того, кількість клінічних досліджень і медичних випробувань, які постійно публікуються, ускладнює своєчасне включення отриманих даних у СППКР. Введення великих обсягів даних у наявні системи створює значне навантаження на обслуговування додатків та інфраструктури. Іншою потенційною проблемою із СППКР є «тривожна втома» клініцистів. Сповіщення, викликані СППКР, можуть переважати медиків, які також отримують підказки від інших технологічних систем. Дослідження ефективності систем підтримки клініцистів, проведене на замовлення Агентства з досліджень і якості охорони здоров'я (AHRQ), дійшло висновку, що неправильне використання СППКР може бути більш шкідливим, ніж відсутність його взагалі [24].

**Висновки.** На нашу думку, важливим є помірне і професійне ставлення медичного персоналу до СППКР, а отже, можливостей удосконалювати свої знання і навички «розумного» використання комп'ютерних технологій. Вважаємо, що доцільним є навчання медичних працівників новинок медичної інформатики шляхом проведення курсів, стажувань для втілення СППКР у всі заклади охорони здоров'я України. Перспективним напрямом залишається опрацювання і аналіз уже наявних вітчизняних систем підтримки прийняття клінічних рішень для реалізації вищезазначених висновків і використання таких систем у навчанні студентів медичних вишів.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Osheroff J.A., Teich J., Levick D., Saldana L., Velasco F., Sittig D., Rogers K., Jenders R. Improving Outcomes with Clinical Decision Support: An Implementer's Guide, 2012. HIMSS Publishing, 2012.
2. Sim I., Gorman P., Greenes R.A., Haynes R.B., Kaplan B., Lehmann H., Tang P.C. Clinical decision support systems for the practice of evidence-based medicine. *Journal of the American Medical Informatics*. 2001. № 8 (6). P. 527–534. <https://doi.org/10.1136/jamia.2001.0080527>.
3. Silveira D.V., Marcolino M.S., Machado E.L., et al. Development and Evaluation of a Mobile Decision Support System for Hypertension Management in the Primary Care Setting in Brazil: Mixed-Methods Field Study on Usability, Feasibility,

and Utility. *JMIR Mhealth Uhealth*. 2019. Vol. 25. № 7 (3). P. e9869. DOI: 10.2196/mhealth.9869. <https://mhealth.jmir.org/2019/3/e9869/>.

4. Wang J., Bao B., Shen P., et al. Using electronic health record data to establish a chronic kidney disease surveillance system in China: protocol for the China Kidney Disease Network (CK-NET)-Yinzhou Study. *BMJ Open*. 2019. Vol. 28. № 9 (8). P. e030102. DOI: 10.1136/bmjopen-2019-030102. <https://bmjopen.bmj.com/lookup/lookup?view=long&pmid=31467053>.

5. Adnan M., Peterkin D., McLaughlin A., Hill N. HL7 Middleware Framework for Laboratory Notifications for Notifiable Diseases. *Stud Health Technol Inform*. 2015. № 214. P. 1–7.

6. Courbis A., Murray R.B., Arnavielhe S., et al. Electronic Clinical Decision Support System for allergic rhinitis management: MASK e-CDSS. *Clin Exp Allergy*. 2018. Vol. 20. № 48 (12). P. 1640–1653. DOI: 10.1111/cea.13230.

7. Schuh C., de Bruin J.S., Seeling W. Clinical decision support systems at the Vienna General Hospital using Arden Syntax: Design, implementation, and integration. *ArtifIntell Med*. 2018. № 92. P. 24–33. DOI: 10.1016/j.artmed.2015.11.002.

8. Ely J.W., Osheroff J.A., Chambliss M.L. et al. Answering Physicians Clinical Questions: Obstacles and Potential Solutions. *Journal of the American Medical Informatics Association*. 2005. Vol. 12 (2). P. 217–224. DOI: 10.1197/jamia.m1608.

9. Beeler P., Bates D., Hug B. Clinical decision support systems. *Swiss Medical Weekly*. 2014. Vol. 144. DOI: 10.4414/smw.2014.14073.

10. Wright A., Sittig D.F., Ash J.S. et al. Development and evaluation of a comprehensive clinical decision support taxonomy: Comparison of front-end tools in commercial and internally developed electronic health record systems. *Journal of the American Medical Informatics Association*. 2011. Vol. 18 (3). P. 232–242. DOI: 10.1136/amiajnl-2011-000113.

11. De Dombal F. Computers, diagnoses and patients with acute abdominal pain. *Arch. Emerg. Med*. 1992. № 9. P. 267–270.

12. Middleton B., Sittig D.F. Wright A. Clinical decision support: a 25 year retrospective and a 25 year vision. *Yearbook of Medical Informatics*. 2016. № 25 (S 01). P. 103–116.

13. Dias D. Wearable health devices – vital sign monitoring, systems and technologies. 2018. P. s18082414. <https://doi.org/10.3390/s18082414>.

14. Nuckols T.K., Smith-Spangler C., Morton S.C., et al. The effectiveness of computerized order entry at reducing preventable adverse drug events and medication errors in hospital settings: a systematic review and meta-analysis. *Syst Rev*. 2014. № 3. P. 56.

15. Wolfstadt J.I., Gurwitz J.H., Field T.S., et al. The effect of computerized physician order entry with clinical decision support on the rates of adverse drug events: a systematic review. *J Gen Intern Med*. 2008. № 23 (4). P. 451–458.

16. Deo R.C. Machine learning in medicine. *Circulation*. 2015. P. 132.

17. Omididan Z., Hadianfar A. The role of clinical decision support systems in healthcare (1980–2010): a systematic review study. *Jentashapir Sci. -Res Q. 2*. 2011. P. 125–134.

18. Kabane S.M. Healthcare and the Effect of Technology: Developments, Challenges and Advancements. *Medical Information Science Reference*. 2010.

19. Eckelt F., Remmler J., Kister T., et al. Improved patient safety through a clinical decision support system in laboratory medicine. *Internist (Berl)*. 2020. Vol. 27. № 61 (5). P. 452–459. DOI: 10.1007/s00108-020-00775-3.

20. Kjeldsen K. Hypokalemia and sudden cardiac death. *Exp Clin Cardiol*. 2010. № 15 (4). P. e96–9. <http://europepmc.org/abstract/MED/21264075>.

21. Isern D., Moreno A.A. Systematic Literature Review of Agents Applied in Healthcare. *J Med Syst*. 2016 Vol. 21. № 40 (2). P. 43. DOI: 10.1007/s10916-015-0376-2.

22. Isern D., Moreno A., Sánchez D., et al. Agent-based execution of personalised home care treatments. *Appl Intell*. 2009. Vol. 24. № 34 (2). P. 155–180. DOI: 10.1007/s10489-009-0187-6.

23. Börner K., Scriver O., Cross L.E., et al. Mapping the co-evolution of artificial intelligence, robotics, and the internet of things over 20 years (1998–2017). *PLoS One*. 2020. № 15 (12). P. e0242984. Published 2020 Dec 2. DOI: 10.1371/journal.pone.0242984.

24. Charles Megan, DelVecchio Alex. Clinical decision support system (CDSS). Content Development Strategist. This was last updated in July 2018. URL: <https://www.techtarget.com/searchhealthit/definition/clinical-decision-support-system-CDSS>.

## REFERENCES

1. Osheroff, J.A., Teich, J., Levick, D., Saldana, L., Velasco, F., Sittig, D., Rogers, K., Jenders, R. (2012). Improving Outcomes with Clinical Decision Support: An Implementer's Guide. HIMSS Publishing, 2012.

2. Sim, I., Gorman, P., Greenes, R.A., Haynes, R.B., Kaplan, B., Lehmann, H., & Tang, P.C. (2001). Clinical decision support systems for the practice of evidence-based medicine. *Journal of the American Medical Informatics Association: JAMIA*, 8(6), 527–534. <https://doi.org/10.1136/jamia.2001.0080527>.

3. Silveira, D.V., Marcolino, M.S., Machado, E.L., Ferreira, C.G., Alkmim, M.B.M., Resende, E.S., Carvalho, B.C., Antunes, A.P., & Ribeiro, A.L.P. (2019). Development and Evaluation of a Mobile Decision Support System for Hypertension Management in the Primary Care Setting in Brazil: Mixed-Methods Field Study on Usability, Feasibility, and Utility. *JMIR mHealth and uHealth*, 7(3), e9869. <https://doi.org/10.2196/mhealth.9869>.

4. Wang, J., Bao, B., Shen, P., Kong, G., Yang, Y., Sun, X., Ding, G., Gao, B., Yang, C., Zhao, M., Lin, H., & Zhang, L. (2019). Using electronic health record data to establish a chronic kidney disease surveillance system in China: protocol

for the China Kidney Disease Network (CK-NET)-Yinzhou Study. *BMJ open*, 9(8), e030102. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2019-030102>.

5. Adnan, M., Peterkin, D., McLaughlin, A., & Hill, N. (2015). HL7 Middleware Framework for Laboratory Notifications for Notifiable Diseases. *Studies in health technology and informatics*, 214, 1–7.

6. Courbis, A.L., Murray, R.B., Arnavielhe, S., Caimmi, D., Bedbrook, A., Van Eerd, M., De Vries, G., Dray, G., Agache, I., Morais-Almeida, M., Bachert, C., Bergmann, K.C., Bosnic-Anticevich, S., Brozek, J., Bucca, C., Camargos, P., Canonica, G.W., Carr, W., Casale, T., Fonseca, J.A., ... Bousquet, J. (2018). Electronic Clinical Decision Support System for allergic rhinitis management: MASK e-CDSS. *Clinical and experimental allergy: Journal of the British Society for Allergy and Clinical Immunology*, 48(12), 1640–1653. <https://doi.org/10.1111/cea.13230>.

7. Schuh, C., de Bruin, J.S., & Seeling, W. (2018). Clinical decision support systems at the Vienna General Hospital using Arden Syntax: Design, implementation, and integration. *Artificial intelligence in medicine*, 92, 24–33. <https://doi.org/10.1016/j.artmed.2015.11.002>.

8. Ely, J.W., Osheroff, J.A., Chambliss, M.L., Ebell, M.H., & Rosenbaum, M. E. (2005). Answering physicians' clinical questions: obstacles and potential solutions. *Journal of the American Medical Informatics Association: JAMIA*, 12(2), 217–224. <https://doi.org/10.1197/jamia.M1608>.

9. Beeler, P.E., Bates, D.W., & Hug, B.L. (2014). Clinical decision support systems. *Swiss medical weekly*, 144, w14073. <https://doi.org/10.4414/smw.2014.14073>.

10. Wright, A., Sittig, D.F., Ash, J.S., Feblowitz, J., Meltzer, S., McMullen, C., Guappone, K., Carpenter, J., Richardson, J., Simonaitis, L., Evans, R.S., Nichol, W.P., & Middleton, B. (2011). Development and evaluation of a comprehensive clinical decision support taxonomy: comparison of front-end tools in commercial and internally developed electronic health record systems. *Journal of the American Medical Informatics Association: JAMIA*, 18(3), 232–242. <https://doi.org/10.1136/amiajnl-2011-000113>

11. de Dombal, F.T. (1992). Computers, diagnoses and patients with acute abdominal pain. *Archives of emergency medicine*, 9(3), 267–270. <https://doi.org/10.1136/emj.9.3.267>.

12. Middleton, B., Sittig, D.F., & Wright, A. (2016). Clinical Decision Support: a 25 Year Retrospective and a 25 Year Vision. *Yearbook of medical informatics*, 25 (Suppl 1), S. 103–S116. <https://doi.org/10.15265/YIS-2016-s034>.

13. Dias, D., & Paulo Silva Cunha, J. (2018). Wearable Health Devices-Vital Sign Monitoring, Systems and Technologies. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 18(8), 2414. <https://doi.org/10.3390/s18082414>.

14. Nuckols, T.K., Smith-Spangler, C., Morton, S.C., Asch, S.M., Patel, V.M., Anderson, L.J., Deichsel, E.L., & Shekelle, P.G. (2014). The effectiveness of computerized order entry at reducing preventable adverse drug events and medication errors in hospital settings: a systematic review and meta-analysis. *Systematic reviews*, 3, 56. <https://doi.org/10.1186/2046-4053-3-56>.

15. Wolfstadt, J.L., Gurwitz, J.H., Field, T.S., Lee, M., Kalkar, S., Wu, W., & Rochon, P.A. (2008). The effect of computerized physician order entry with clinical decision support on the rates of adverse drug events: a systematic review. *Journal of General Internal Medicine*, 23(4), 451–458. <https://doi.org/10.1007/s11606-008-0504-5>.

16. Deo, R.C. (2015). Machine Learning in Medicine. *Circulation*, 132(20), 1920–1930. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.115.001593>.

17. Omididan, Z. & Hadianfar, A. (2011). The role of clinical decision support systems in healthcare (1980–2010): a systematic review study. *Jentashapir Sci. -Res Q.* 2, 125–134.

18. Kabane, S.M. (2010). Healthcare and the Effect of Technology: Developments, Challenges and Advancements. *Medical Information Science Reference*.

19. Eckelt, F., Remmler, J., Kister, T., Wernsdorfer, M., Richter, H., Federbusch, M., Adler, M., Kehrer, A., Voigt, M., Cundius, C., Telle, J., Thiery, J., & Kaiser, T. (2020). Verbesserte Patientensicherheit durch "clinical decision support systems" in der Labormedizin [Improved patient safety through a clinical decision support system in laboratory medicine]. *Der Internist*, 61(5), 452–459. <https://doi.org/10.1007/s00108-020-00775-3>.

20. Kjeldsen, K. (2010). Hypokalemia and sudden cardiac death. *Experimental and clinical cardiology*, 15(4), e96–e99. Retrieved from: <http://europepmc.org/abstract/MED/21264075>.

21. Isern, D., & Moreno, A. (2016). A Systematic Literature Review of Agents Applied in Healthcare. *Journal of medical systems*, 40(2), 43. <https://doi.org/10.1007/s10916-015-0376-2>.

22. Isern, D., Moreno, A., Sánchez, D., Hajnal, A., Pedone, G., Varga, L.Z. (2009). Agent-based execution of personalised home care treatments. *Appl Intell*, 24, 34(2), 155–180. DOI: 10.1007/s10489-009-0187-6.

23. Börner, K., Scriver, O., Cross, L.E., Gallant, M., Ma, S., Martin, A.S., Record, L., Yang, H., & Dilger, J.M. (2020). Mapping the co-evolution of artificial intelligence, robotics, and the internet of things over 20 years (1998–2017). *PLoS one*, 15(12), e0242984. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242984>.

24. Charles, Megan, DelVecchio, Alex. (2018). Clinical decision support system (CDSS). *Content Development Strategist*. This was last updated in July 2018. Retrieved from: <https://www.techtarget.com/searchhealthit/definition/clinical-decision-support-system-CDSS>.