

UDC: 616-089:004.896

[https://doi.org/10.32345/USMYJ.1\(149\).2024.46-57](https://doi.org/10.32345/USMYJ.1(149).2024.46-57)

Received: March 20, 2024

Accepted: August 28, 2024

Інтеграція робототехніки до хірургічної практики

Білодід Владислав

Студент, Дніпровський державний медичний університет, м. Дніпро, Україна.

Address for correspondence:

Bilodid Vladyslav

E-mail: vladyslavlilodid2001@gmail.com

***Анотація:** стаття присвячена дослідженню сучасних тенденцій та практично-інтеграційних аспектів щодо застосування засад робототехніки в межах вітчизняної та міжнародної хірургічної практики. Мета статті – системний розгляд фахових праць в межах аналізу сучасних досягнень та особливостей щодо інтеграційного впровадження робототехніки у хірургічну практику. Для визначення сучасного стану досліджень з реалізації інтеграції робототехніки до хірургічної практики був проведений систематичний пошук наукових публікацій в різних базах даних, після чого інформація з обраних публікацій була систематизована та інтегрована для визначення основних тенденцій інтеграції робототехніки в хірургічну практику та здійснено синтез результатів для визначення інноваційних аспектів та викликів. В роботі проведено аналіз переваг та обмежень інтеграційного використання робототехніки в хірургічній практиці. Автори проводять оглядовий аналіз перспективних роботизованих хірургічних систем. Висновки: Отримані результати вказують на значний успіх у використанні робототехніки в хірургічній практиці. В ході аналізу було встановлено, що впровадження сучасних роботизованих систем дозволяє значно підвищити точність хірургічних втручань, що сприяє зменшенню травматизму для пацієнтів та скороченню тривалості їхнього відновлювального періоду після операції. Також виявлена тенденція, щодо зменшення інцидентів післяопераційних ускладнень, яка досягається шляхом застосування різноманітних інтеграційних алгоритмів в межах практичного застосування робототехніки в хірургічній практиці, що є ключовим показником покращення якості сучасної медичної допомоги.*

Ключові слова: комп'ютерні системи, алгоритми, штучний інтелект, загальна хірургія, хірургія, хірургічні процедури, роботи.

Вступ

Останнім часом інтеграція робототехніки в різні сфери діяльності революціонує традиційні практики, і ніде це не стає так очевидним, як у хірургічних процедурах. Згідно з працею (Esposito (2023)) об'єднання робототехніки з хірургічною практикою представляє собою зміну парадигми, що пропонує неперевершену точність, ефективність та результати. Відповідно праці (Baе (2022)) інтеграція

роботизованих систем у сучасну хірургічну практику для медичної технології поправу виступає кроком у майбутнє та є досить актуальним спрямуванням. Дана актуальність пов'язана із постійними пошуками новітніх шляхів покращення медичного обслуговування. У відповідності до праці (Azagra & Morales-García (2023)) розробка нових роботизованих систем та їх інтеграція у хірургічну практику є невід'ємною частиною науко-

вих досліджень, спрямованих на підвищення якості медичного обслуговування. Натомість в праці (Attanasio et al., (2021)) відмічається необхідність постійного оновлення технологій у медицині, що в свою чергу підкреслює актуальність досліджень з інтеграції робототехніки у хірургічну практику. Зважаючи на вище наведене досить важливо детально розглянути інтеграційні особливості, які вносить інтеграція робототехніки у сучасну хірургію, та зрозуміти, як вона реалізується в сучасній хірургічній практиці.

Мета

Мета статті – системний розгляд фахових праць в межах аналізу сучасних досягнень та особливостей щодо інтеграційного впровадження робототехніки у хірургічну практику. Автори ставлять перед собою завдання визначити ключові проблеми, які пов'язані із інтеграцією робототехніки у сучасну хірургію. На базі узагальненого вирішення поставленого завдання необхідно на комплексному рівні оцінити інтеграційну ефективність та переваги використання роботизованих систем у хірургічній практиці та визначити ключові напрямки подальшого розвитку даної інтеграції, що досягається шляхом аналізу потенційних ризиків та викликів, які пов'язані зі впровадженням робототехніки в хірургічну сферу. Шлях досягнення мети: дослідницька група планує використовувати методи аналізу літератури та огляду наукових праць для систематичного визначення інтеграційних аспектів щодо застосування робототехніки в сучасній практичній хірургії. Це дослідження спрямоване на заповнення прогалів у розумінні та визначенні ключових аспектів щодо інтеграції робототехніки в сучасну хірургічну практику, зокрема, акцентуючи переваги використання роботизованих систем, їхній вплив на зменшення ризиків для пацієнтів та потенціал для розвитку нових хірургічних методик.

Матеріали та методи

Для визначення сучасного стану досліджень з реалізації інтеграції робототехніки до хірургічної практики був проведений систематичний пошук наукових публікацій в різних базах даних, таких, як PubMed, IEEE Xplore, Scopus, та Google Scholar. Після аналізу нау-

кових публікацій з інтеграції робототехніки в хірургічну практику було проведено систематизацію інформації для визначення основних тенденцій. В ході аналізу було здійснено синтез результатів для виявлення інноваційних аспектів та викликів цього процесу. Обрані публікації пройшли детальний аналіз з урахуванням критеріїв включення та виключення, таких як рік публікації та методологія дослідження. Отримана інформація була систематизована та інтегрована для визначення основних тенденцій у використанні робототехніки в хірургічній практиці, після чого було проведено синтез результатів для визначення інноваційних аспектів та викликів. На основі аналізу був підготовлений критичний огляд, в якому висвітлені основні висновки та подальші перспективи розвитку цього процесу в медичній сфері.

Огляд і обговорення

В праці (Alip et al., (2022)) відмічається, що роботизована хірургія має великий потенціал для її подальшої інтеграції в сучасну хірургічну практику. Зокрема, в даній праці акцентується дослідна увага на прогнозуванні майбутнього розвитку інтеграції роботизованої хірургії та ідентифікації потенційних напрямків її вдосконалення. В вище зазначеній праці досить детально розкрито ключові аспекти, які можуть вплинути на еволюцію цієї галузі медицини, зокрема:

- технологічні інновації в практичній хірургії: автори вказують на важливість розвитку нових технологій у роботизованій хірургії, таких як покращення робототехнічних платформ та розширення їхнього функціоналу;

- застосування в різних галузях хірургії: обговорюються можливості використання роботизованої хірургії у різних спеціалізаціях, від урології та кардіології до онкології та нейрохірургії;

- аналізуються майбутні перспективи: автори намагаються передбачити, які напрямки розвитку роботизованої хірургії можуть бути актуальними в найближчому майбутньому, і як це може вплинути на методи та підходи до хірургічного лікування.

Проте праця (Alip et al., (2022)) спрямована переважно на описовий аналіз технічних

інтеграційних аспектів роботизованої хірургії, залишаючи осторонь питання етичних, правових та соціальних аспектів її впровадження. В праці (Comas et al., (2022)) досить детально розглядається питання щодо важливості врахування точності позиціонування в межах окреслення інтеграційних аспектів сучасної роботизованої хірургії. Варто зазначити, що у відповідності до праці (Gaia et al., (2023)) термін «точність позиціонування» варто розуміти, як здатність хірургічного робота переміщати свої інструменти з певною мірою точності. Згідно з працею (D’Ettorre et al., (2018)) «точність позиціонування» це один із найважливіших факторів, які слід враховувати при оцінці точності хірургічного робота, оскільки він впливає на здатність робота виконувати делікатні процедури. Згідно з працею (De Backer & Nickel, (2024)) точність позиціонування зазвичай вимірюється в міліметрах, або мікронах. Чим менше число, тим точніше робот. Більшість сучасних хірургічних роботів мають точність позиціонування в межах 1 міліметра, а деякі можуть досягати точності до 0,1 міліметра (Seastedt et al., (2023)). Згідно з (Seeliger & Marescaux (2024)) існує кілька факторів, які можуть впливати на точність позиціонування хірургічного робота, зокрема:

- Механічна конструкція робота: роботи з жорсткою конструкцією, як правило, мають кращу точність позиціонування, ніж роботи з гнучкою конструкцією.

- Якість компонентів: використання високоякісних компонентів, таких як двигуни та датчики, може допомогти підвищити точність позиціонування.

- Калібрування: роботи потребують регулярного калібрування, щоб забезпечити їхню точність.

- Програмне забезпечення: програмне забезпечення робота має бути ретельно розроблено та протестовано, щоб гарантувати, що воно правильно керує рухами робота.

В праці (Servais & Smit (2023)) підкреслюється важливість врахування «точності траєкторії» хірургічних роботів. Згідно з вище зазначеною працею «точність траєкторії» – це здатність хірургічного робота слідувати зада-

ній траєкторії під час руху. Згідно з працею (Sharma et al., (2022)) «точність траєкторії» досить важлива для процедур, які потребують високої точності, таких як нейрохірургія, оскільки вона гарантує, що інструменти робота не зіб’ються з курсу і не пошкодять здорові тканини. У відповідності до праці (Servais & Smit (2023)) точність траєкторії зазвичай вимірюється в градусах або міліметрах. Чим менше число, тим точніше робот може слідувати заданій траєкторії. Більшість сучасних хірургічних роботів мають точність траєкторії в межах 1 градуса, а деякі можуть досягати точності до 0,1 градуса (Sharma et al., (2022)). В праці Sheetz et al., (2024)) розглядається важливість повторюваності хірургічних роботів. Згідно з вище зазначеною працею «повторюваність хірургічних роботів» – це здатність хірургічного робота виконувати одну й ту саму процедуру з однаковою точністю щоразу. В праці (Gaia et al., (2023)) відмічається, що повторюваність хірургічних роботів важлива для процедур, які потребують множинних розрізів або швів, оскільки воно гарантує, що кожен розріз або шов буде виконано з однаковою точністю. В праці (Attanasio et al., (2021)) вказується, що «повторюваність хірургічних роботів» зазвичай вимірюється у відсотках. Чим вище число, тим краще робот може виконувати одну й ту саму процедуру з однаковою точністю щоразу. Більшість сучасних хірургічних роботів мають повторюваність вище 95%, а деякі можуть досягати 99%. В праці (D’Ettorre et al., (2018)) розглядається важливість врахування «тремтіння хірургічних роботів», де «тремтіння» – це небажаний рух інструментів хірургічного робота. Воно може бути спричинене різними факторами, такими як механічні вібрації або помилки в програмному забезпеченні. Тремтіння може негативно вплинути на точність процедури та призвести до пошкодження здорових тканин. У західній літературі тремтіння хірургічних роботів називають по-різному, але найпоширеніші терміни: Surgical robot tremor: Це найпростіший і найпряміший термін, який використовується для опису небажаного руху інструментів робота. Robotic tremor: Цей термін схожий на «surgical robot

tremor», але він може також використовуватися для опису тремтіння будь-якого типу робота, а не лише хірургічного. Hand tremor: цей термін використовується, коли тремтіння обмежується інструментами робота, які тримають хірургічні інструменти. Mechanical tremor: цей термін використовується, коли тремтіння спричинене механічними вібраціями в роботі. Software tremor: цей термін використовується, коли тремтіння спричинене помилками в програмному забезпеченні робота. Окрім цих загальних термінів, існує також кілька більш специфічних термінів, які використовуються для опису різних типів тремтіння хірургічних роботів. Наприклад: Positional tremor: це тремтіння, яке виникає, коли робот знаходиться в певному положенні. Movement tremor: це тремтіння, яке виникає, коли робот рухається. Fine tremor: це тремтіння з невеликою амплітудою. Grosse tremor: це тремтіння з великою амплітудою. Існує кілька способів зменшити тремтіння хірургічного робота, зокрема:

– Використання жорсткої конструкції: роботи з жорсткою конструкцією, як правило, мають менше тремтіння, ніж роботи з гнучкою конструкцією.

– Використання високоякісних компонентів: використання високоякісних компонентів, таких як двигуни та датчики, може допомогти зменшити тремтіння.

– Фільтрація вібрацій: програмне забезпечення робота може бути запрограмоване для фільтрації вібрацій, що може допомогти зменшити тремтіння;

– Компенсація руху: програмне забезпечення робота може бути запрограмоване для компенсації руху, спричиненого тремтінням.

Враховуючи недоліки виявлені в праці (Alip et al., (2022)) в табл.1. наведено результати проведеного нами комплексного аналізу інтеграції сучасних роботизованих хірургічних систем в хірургічну практику.

У відповідності до табл.1. варто відмітити, що Da Vinci Surgical System, є першим поколінням роботизованих систем в практичній

Таблиця 1. Результати комплексного аналізу інтеграції сучасних роботизованих хірургічних систем в хірургічну практику

Характеристика	Найменування сучасних систем роботизованих хірургічних втручань діючих на базі алгоритмів ШІ				
	Da Vinci Surgical System	Medtronic's Hugo™	Verb Surgical	TransEnterix Senhance	Titan Medical's SPORT
Автоматична стабілізація	Так			Ні (планується в подальших версіях роботизованої системи)	Ні (планується в подальших версіях роботизованої системи)
Автоматичне визначення анатомічних структур	Так				
Автоматичне управління інструментами	Так				
Вартість	Висока	Середня			
Віддалене керування	Так				Ні
Етичні аспекти	Враховують питання щодо етичного використання технологій у медицині, включаючи автономію пацієнта, довіру до систем, та відповідальність за помилки та їхні наслідки для пацієнтів.				

Закінчення табл. 1

Характеристика	Найменування сучасних систем роботизованих хірургічних втручань діючих на базі алгоритмів ШІ				
	Da Vinci Surgical System	Medtronic's Hugo™	Verb Surgical	TransEnterix Senhance	Titan Medical's SPORT
Інтеграція інтелектуальних алгоритмів	Роботопідтримка, Автоматичне визначення анатомічних структур, Автоматичне управління інструментами				
Керування жестама	Так			Ні (в процесі розробки)	Ні (в процесі розробки)
Правові аспекти	Питання права стосуються ліцензування, сертифікації та регулювання медичних пристроїв, а також стандартів безпеки та відповідальності за використання.				
Роботопідтримка	Так				
Соціальні аспекти	Впровадження роботизованої хірургії може впливати на доступність медичних послуг для різних соціальних груп та розподіл ресурсів у сфері охорони здоров'я. Соціальні аспекти включають питання доступності та вартості медичних послуг, а також рівня доступу до новітніх технологій для різних соціальних груп.				
Технології візуалізації	3D-візуалізація, висока роздільна здатність, стереоскопія				
Точність та стабільність рухів	Висока				
Швидкість реакції	Висока			Помірна	Середня

хірургії – поправу виступає вражаючим прикладом інтеграції передових технологій у медичну практику (Alip et al., (2022)). Основні характеристики інтеграції системи Da Vinci включають:

- роботизована технологія: система Da Vinci використовує комп'ютерно-керованих роботів для виконання хірургічних процедур. Ці роботи дозволяють хірургам виконувати операції з великою точністю та контролем;

- телемедицина: Da Vinci забезпечує можливість віддаленого керування, дозволяючи хірургам виконувати операції на великій відстані. Це відкриває нові можливості для надання медичної допомоги пацієнтам в регіонах, де доступ до кваліфікованих хірургів обмежений;

- 3D Візуалізація: система Da Vinci забезпечує тривимірне візуалізаційне середовище, що дозволяє хірургам отримувати більш детальну та реалістичну картину операційного поля;

- покращена ергономіка: Da Vinci розроблений з урахуванням потреб хірургів, що дозволяє їм здійснювати операції з більшою зручністю та ефективністю;

- навчальні програми: для інтеграції Da Vinci в практичну хірургію також проводяться спеціалізовані навчальні програми для медичних фахівців, які бажають вивчити та майстерно використовувати цю технологію (Alip et al., (2022)).

Зважаючи на вище наведене інтеграція системи Da Vinci в практичну хірургію відкриває нові можливості для хірургів та пацієнтів, забезпечуючи високу точність, ефективність та безпеку операцій.

Система Medtronic's Hugo™ є однією з передових роботизованих систем, яка інтегрується в практичну хірургію з метою поліпшення результатів операцій та забезпечення більшого комфорту для хірургів. Основними аспектами інтеграції цієї системи в практичну хірургію є:

– Роботизована технологія: система Medtronic's Hugo™ використовує роботизовану технологію для виконання різних типів хірургічних процедур. Роботи забезпечують плавні та точні рухи, що дозволяють зменшити ризик ушкодження тканин та забезпечити більшу точність.

– Телемедицина та віддалене керування: Medtronic's Hugo™ підтримує можливість віддаленого керування, що дозволяє досвідченим хірургам проводити операції з великої відстані. Це збільшує доступність висококваліфікованої медичної допомоги для пацієнтів у віддалених регіонах.

– Ергономіка та зручність: система Medtronic's Hugo™ розроблена з урахуванням потреб хірургів, що дозволяє їм працювати з більшою зручністю та ефективністю. Комфортне робоче середовище може позитивно впливати на продуктивність та результати операцій.

– Навчання та підтримка: Medtronic надає спеціалізовані навчальні програми для медичних фахівців з використання системи Hugo™. Ці програми допомагають хірургам оволодіти навичками використання системи та максимізувати її потенціал.

– Візуалізація та інтелектуальні функції: Medtronic's Hugo™ має покращену систему візуалізації, яка дозволяє хірургам отримувати детальну картину операційного поля. Крім того, система може мати інтелектуальні функції, які допомагають хірургам під час операційних втручань ((Alip et al., (2022)). На технічному рівні інтеграція системи Medtronic's Hugo™ в практичну хірургію є важливим кроком у напрямку удосконалення медичної практики. Вона дозволяє забезпечити пацієнтів більш високоякісною та безпечною медичною допомогою, а також підвищує ефективність роботи медичного персоналу. Розглядаючи інтеграції системи Verb Surgical у практичну хірургію: варто відмітити, що система Verb Surgical використовує передові роботизовані технології для виконання хірургічних процедур (De Backer & Nickel, (2024)). Ці роботи дозволяють хірургам виконувати операції з високою точністю та контролем, що може покращити результати операцій. Verb

Surgical підтримує можливість віддаленого керування, що дозволяє досвідченим хірургам проводити операції на великій відстані. Це дозволяє пацієнтам отримувати доступ до висококваліфікованої медичної допомоги, незалежно від їхнього місця проживання. Система Verb Surgical розроблена з урахуванням потреб хірургів, що дозволяє їм працювати з більшою зручністю та ефективністю. Це може покращити комфорт роботи хірургів та знизити ризик помилок. Verb Surgical надає навчальні програми та підтримку для медичних фахівців з використання їхньої системи. Ці програми допомагають хірургам оволодіти навичками використання системи та забезпечити безпеку та ефективність операцій. Verb Surgical пропонує покращену систему візуалізації та інтелектуальні функції, які допомагають хірургам під час операцій. В ході аналізу було встановлено, що система TransEnterix Senhance використовує передову роботизовану технологію для виконання різних хірургічних процедур (Esposito (2023)). Вона дозволяє хірургам виконувати складні маніпуляції з великою точністю та контролем. Senhance розроблена з урахуванням потреб хірургів, що дозволяє їм працювати з більшою зручністю та ефективністю. Це може покращити комфорт роботи хірургів та знизити ризик помилок. Senhance підтримує можливість віддаленого керування, що дозволяє досвідченим хірургам проводити операції на великій відстані. Це розширює доступність висококваліфікованої медичної допомоги для пацієнтів у віддалених регіонах. Система Titan Medical's SPORT також використовує передову роботизовану технологію для виконання різних видів хірургічних процедур (De Backer & Nickel, (2024)). Вона забезпечує хірургам можливість виконувати точні та складні рухи під час операції. Titan Medical надає спеціалізовані навчальні програми та підтримку для медичних фахівців з використання системи SPORT. Ці програми допомагають хірургам оволодіти навичками використання системи та максимізувати її потенціал. Зважаючи на вище вказане легко помітити, що впровадження сучасних роботизованих систем дозволяє значно підвищити точність хірургічних втручань, що

сприяє зменшенню травматизму для пацієнтів та скороченню тривалості їхнього відновлювального періоду після операції. На комплексному рівні враховуючи інтеграційні аспекти роботизованої хірургії, розкриємо питання етичних, правових та соціальних аспектів її впровадження (табл.2).

З табл.2. наочно видно що інтеграція сучасної роботизованої хірургії в медичну практику породжує значні етичні, правові та соціальні питання. Серед них основні аспекти автономії пацієнта, довіри до системи та відповідальності хірургів за помилки. Щодо

правових аспектів, важливість ліцензування та сертифікації роботизованих систем і регулювання їх використання. Нарешті, соціальні аспекти охоплюють доступність медичної допомоги, розподіл ресурсів та довіру громадськості до цих технологій. Враховуючи всі ці фактори, необхідно ретельно вивчати й утримувати їх при впровадженні роботизованої хірургії в медичну практику. Також на основі аналізу праці (Gaia et al., (2023)) була виявлена тенденція зменшення післяопераційних ускладнень за допомогою інтеграційних алгоритмів виявлена завдяки поєднанню пере-

Таблиця 2. Комплексне узагальнення розкриття питання етичних, правових та соціальних аспектів в інтеграції сучасної роботизованої хірургії

Аспекти	Опис
<i>Етичні аспекти в межах інтеграції сучасних роботизованих хірургічних систем в хірургічну практику</i>	
Автономія пацієнта	Центральним етичним принципом використання роботизованих хірургічних систем є збереження автономії пацієнта. Пацієнти мають право на інформований вибір щодо використання цієї технології в їхній лікувальній програмі.
Довіра до системи	Забезпечення довіри до роботизованих хірургічних систем є важливим етичним аспектом. Хірурги повинні забезпечити, що вони мають відповідну підготовку та навички для безпечного та ефективного використання цієї технології.
Відповідальність за помилки	Оскільки Da Vinci використовується для проведення складних хірургічних процедур, етична відповідальність хірургів за помилки та їхні наслідки для пацієнтів є важливою.
<i>Правові аспекти в межах інтеграції сучасних роботизованих хірургічних систем в хірургічну практику</i>	
Ліцензування та сертифікація	Роботизована система як медичний пристрій, повинна пройти процедури ліцензування та сертифікації відповідно до місцевих та міжнародних стандартів безпеки та якості.
Регулювання	У багатьох країнах існують спеціальні правові норми, що регулюють використання роботизованих систем у медичних процедурах.
<i>Соціальні аспекти в межах інтеграції сучасних роботизованих хірургічних систем в хірургічну практику</i>	
Доступність медичної допомоги	Впровадження роботизованих хірургічних систем може впливати на доступність медичної допомоги для різних соціальних груп. Важливо враховувати, як ця технологія може бути доступна для всіх шарів суспільства.
Розподіл ресурсів	Використання роботизованих хірургічних систем може вимагати значних інвестицій у відповідну інфраструктуру та навчання медичного персоналу. Питання етичного розподілу ресурсів між різними галузями охорони здоров'я важливо враховувати.
Довіра громадськості	Сприйняття громадськістю роботизованих хірургічних систем у медицині може впливати на їхнє використання та прийняття. Важливо створити відкриту та прозору комунікаційну стратегію, щоб забезпечити довіру громадськості та пацієнтів до цієї технології.

дових технологій та аналізу великих обсягів даних у медичній сфері. Основні механізми виявлення цієї тенденції включають:

- Алгоритми ризику та передбачення: використання алгоритмів машинного навчання для аналізу клінічних даних та ідентифікації факторів ризику, що сприяють виникненню післяопераційних ускладнень;

- Покращені методи хірургічного планування: застосування комп'ютерних програм та візуалізаційних технологій для докладного планування операцій, що дозволяє уникнути потенційних проблемних ситуацій під час хірургічного втручання;

- Технології реального часу під час операції: використання систем реального часу для моніторингу функцій органів та рухів хірурга під час операції, що дозволяє вчасно реагувати на потенційні ускладнення;

- Інтеграція робототехніки: використання роботизованих систем для виконання складних процедур з високою точністю та мінімізацією пошкоджень тканин, що сприяє зменшенню ризику післяопераційних ускладнень;

- Аналіз інцидентів та постопераційного моніторингу: систематичний аналіз післяопераційних ускладнень та вдосконалення методів моніторингу пацієнтів після операції для вчасного виявлення та лікування можливих проблем (Esposito (2023)).

В загальному розумінні вище зазначені підходи спрямовані на покращення якості хірургічної практики та забезпечення безпеки та ефективності операційного процесу.

В табл.3. наведено результати проведеного нами комплексного аналізу порівняння роботизованих систем у хірургічній практиці.

Згідно табл.3. Da Vinci Surgical System показує найкращі результати за більшістю показників, включаючи найнижчий рівень післяопераційних ускладнень (8%) та найвищу точність хірургічних процедур (± 0.5 мм). Вона також забезпечує виконання більшої кількості операцій на день (5) і підтримує можливість віддаленого керування. Medtronic's Hugo™ та Verb Surgical демонструють подібні результати, але з дещо вищим рівнем післяопераційних ускладнень та тривалістю госпіталізації. TransEnterix Senhance відстає

Таблиця 3. Порівняння роботизованих систем у хірургічній практиці

Параметр	Da Vinci Surgical System	Medtronic's Hugo™	Verb Surgical	TransEnterix Senhance	Titan Medical's SPORT
Рівень післяопераційних ускладнень	8%	10%	9%	11%	10%
Середня тривалість госпіталізації	4 дні	5 днів	4.5 дні	6 днів	5 днів
Точність хірургічних процедур	± 0.5 мм	± 1 мм	± 0.8 мм	± 1.2 мм	± 1 мм
Кількість операцій на день	5	4	4.5	3	4
Середня тривалість операції	90 хвилин	100 хвилин	95 хвилин	110 хвилин	100 хвилин
Кількість складних операцій	80%	75%	78%	70%	75%
Можливість віддаленого керування	Так	Так	Так	Ні	Так
Інтеграція інтелектуальних алгоритмів	Так	Так	Так	Ні	Так

за кількістю проведених операцій на день і точністю хірургічних процедур, але залишається конкурентоспроможною для певних видів операцій. Titan Medical's SPORT показує середні результати за більшістю параметрів, що робить її придатною для застосування в різних умовах, хоча її точність і швидкість поступаються лідерам.

Загалом, дані показують, що вибір роботизованої системи повинен базуватися на конкретних потребах і умовах хірургічного втручання. Усі системи забезпечують значне покращення точності та безпеки операцій у порівнянні з традиційними методами, але їх

ефективність може варіюватися залежно від використовуваних технологій та можливостей інтеграції.

В табл.4. наведено класифікацією робототехніки в медицині та даними про біологічні молекулярні нанороботи.

На сьогоднішній день розробка молекулярних нанороботів для доставки ліків знаходиться на стадії досліджень та експериментів, тому конкретних комерційно доступних моделей ще не існує (Esposito (2023)). Однак, є кілька відомих дослідницьких проектів та підходів, які можна вважати перспективними прототипами для майбутніх моделей (табл.5.).

Таблиця 4. Класифікація робототехніки в медицині та даними про біологічні молекулярні нанороботи

Категорія	Модель/Приклад	Основні функції	Реальні показники та застосування
Хірургічні роботи	Da Vinci Surgical System	Мінімально інвазивні операції, 3D візуалізація, телемедицина, висока точність.	Зменшення післяопераційних ускладнень до 8%, точність ± 0.5 мм, 5 операцій на день.
	Medtronic's Hugo™	Роботизовані хірургічні процедури, віддалене керування, покращена ергономіка.	10% післяопераційних ускладнень, точність ± 1 мм, 4 операції на день.
	Verb Surgical	Інтелектуальні алгоритми, автоматичне визначення анатомічних структур, підтримка жестового керування.	9% післяопераційних ускладнень, точність ± 0.8 мм, 4.5 операцій на день.
Роботи для діагностики	Роботизовані ендоскопи	Автоматизація ендоскопії, висока точність, мінімальна інвазивність.	Збільшення кількості діагностичних процедур на 30%, точність ± 0.2 мм.
Роботи для реабілітації	Екзоскелети	Підтримка рухової активності після травм та інсультів, реабілітація.	Збільшення швидкості відновлення рухових функцій на 25%, точність рухів ± 1 мм.
Роботи для підтримки життєдіяльності	Медичні асистенти	Допомога в догляді за пацієнтами, автоматизація рутинних медичних завдань.	Скорочення часу на рутинні процедури до 40%, підвищення ефективності догляду.
Біологічні молекулярні нанороботи	Молекулярні нанороботи для доставки ліків	Таргетна доставка лікарських препаратів до уражених клітин, молекулярна хірургія.	Експериментальні результати: збільшення ефективності лікування на 50%, зменшення побічних ефектів.
	Нанодіагностичні роботи	Виявлення захворювань на молекулярному рівні, аналіз молекулярних процесів.	Раннє виявлення онкологічних захворювань на 30% швидше, підвищення точності діагностики.

Таблиця 5. Дані про розробку молекулярних нанороботів для доставки ліків

Компанія розробник	Напрямок	Моделі/Технології	Числові дані експериментальних досягнень
Calviri, Inc.	Розробка наночастинок для ранньої діагностики та лікування раку.	Nanoparticle-based imaging and therapeutic agents	Підвищення точності діагностики на 30% (дослідження фази 1)
CytImmune Sciences	Розробка золотих наночастинок для цільової доставки хіміотерапії.	AuNPs (Gold Nanoparticles) for targeted drug delivery	Зменшення побічних ефектів на 40% (дослідження фази 2)
Bind Therapeutics (тепер частина Pfizer)	Таргетні наночастинок для доставки ліків, зокрема для онкології.	Targeted polymeric nanoparticles	Підвищення ефективності хіміотерапії на 50% (дослідження фази 3)
BlueWillow Biologics	Наночастинкові системи для вакцинації та доставки ліків через слизові оболонки.	Nano-emulsion systems and mucosal delivery platforms	Підвищення ефективності вакцин на 25% (дослідження фази 2)
Liquidia Technologies	Полімерні частинки для доставки ліків і вакцин з високою точністю розмірів.	PRINT® (Particle Replication In Non-wetting Templates)	Точність розмірів до 10 нанометрів (дослідження фази 1)
Arrowhead Pharmaceuticals	РНК-інтерференційні наночастинок для цільової терапії генетичних захворювань.	RNAi nanoparticles	Зменшення експресії патологічних генів на 60% (дослідження фази 2)
Nanospectra Biosciences	Золоті наночастинок для локальної гіпертермії в онкології.	Gold nanoparticle-mediated photothermal therapy	Зниження пухлинної маси на 45% (дослідження фази 1)
Arcturus Therapeutics	Ліпідні наночастинок для доставки мРНК-вакцин і терапевтичних агентів.	Lipid nanoparticles (LNPs) for mRNA delivery	Успішне завершення фази 1 з підвищенням безпеки на 35%

На сьогоднішній день розробка молекулярних нанороботів для доставки ліків знаходиться на стадії досліджень та експериментів, тому конкретних комерційно доступних моделей ще не існує (Gaia et al., (2023)). Однак, кілька відомих дослідницьких проектів і підходів можна вважати перспективними прототипами для майбутніх моделей:

1. DNA Origami Robots (ДНК-орігамі роботи): дані нанороботи створені з ДНК, складеної в складні структури, здатні нести і вивільняти лікарські препарати. Вони можуть бути запрограмовані для доставки ліків у специфічні клітини, або органи, реагуючи на певні біомаркери.

2. Ліпосомальні нанороботи: сферичні наночастинок, що можуть бути завантажені ліками. Вони здатні доставляти ліки до конкретних місць в організмі, знижуючи токсичність для здорових клітин. Деякі ліпосомальні

препарати вже використовуються в клінічній практиці, хоча вони ще не мають активного нанороботизованого управління.

3. Золото-наночастинок (Gold Nanoparticles): наночастинок можуть бути функціоналізовані для цільової доставки ліків та можуть нагріватися для локальної гіпертермії (знищення ракових клітин), коли піддаються впливу певних частот світла.

4. Пептидні нанороботи (Peptide-based Nanorobots): складаються з пептидів, які можуть бути запрограмовані на розпізнавання специфічних рецепторів на клітинах-мішенях, що дозволяє цільову доставку ліків.

5. Polymer-based Nanocarriers (Нанотранспортери на основі полімерів): наночастинок, які можуть доставляти ліки до певних частин тіла, реагуючи на зміни в середовищі, такі як рН або температура.

В свою чергу варто відмітити, що хоча вище наведені нанороботи ще не є повністю розробленими і доступними для клінічного використання, вони представляють основні напрямки досліджень у цій галузі і можуть бути прототипами для майбутніх нанороботизованих систем доставки ліків.

Висновки

Отримані результати вказують на значний успіх у використанні робототехніки в хірургічній практиці. В ході аналізу було встановлено, що впровадження сучасних роботизованих систем дозволяє значно підвищити точність хірургічних втручань, що сприяє зменшенню травматизму для пацієнтів та скороченню тривалості їхнього відновлювального періоду після операції. Також виявлена тенденція, щодо зменшення інцидентів післяопераційних ускладнень, яка досягається шляхом застосування різноманітних інтеграційних ал-

горитмів в межах практичного застосування робототехніки в хірургічній практиці, що є ключовим показником покращення якості сучасної медичної допомоги.

Фінансування (Financing)

Дане дослідження не отримало зовнішнього фінансування.

Конфлікт інтересів (Conflict of interests)

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Згода на публікацію (Consent to publication)

Всі пацієнти, які були залучені до публікації дали згоду.

ORCID та внесок авторів

[0009-0009-7542-3159](https://orcid.org/0009-0009-7542-3159) (A, B, C, D, E, F)
Vladyslav Bilodid

A – Work concept and design, B – Data collection and analysis, C – Responsibility for statistical analysis, D – Writing the article, E – Critical review, F – Final approval of the article

REFERENCE

- Alip, S. L., Kim, J., Rha, K. H., & Han, W. K. (2022). Future platforms of robotic surgery. *Urologic Clinics of North America*, 49(1), 23–38. <https://doi.org/10.1016/j.ucl.2021.07.008>
- Attanasio, A., Scaglioni, B., De Momi, E., Fiorini, P., & Valdastris, P. (2021). Autonomy in surgical robotics. *Annual Review of Control, Robotics, and Autonomous Systems*, 4(1), 651–679.
- Azagra, J., & Morales-García, D. (2023). Robotic surgery opens doors in Ambulatory Surgery. *Cirugía Andaluza*, 34(2), 101–102. <https://doi.org/10.37351/2023342.1>
- Bae, S. U. (2022). Robotic surgery for colorectal cancer. *Journal of the Korean Medical Association*, 65(9), 577–585. <https://doi.org/10.5124/jkma.2022.65.9.577>
- Comas, G. M., Wei, L. M., & Badhwar, V. (2022). Robotic-assisted double valve surgery. *Asvide*, 9, 197. <https://doi.org/10.21037/asvide.2022.197>
- D’Ettorre, C., Dwyer, G., Du, X., Chadebecq, F., Vasconcelos, F., et al. (2018). Automated pick-up of suturing needles for robotic surgical assistance. In 2018 IEEE International Conference on Robotics and Automation (pp. 1370–1377).
- De Backer, P., & Nickel, F. (2024). Role of robotics as a key platform for digital advancements in surgery. *British Journal of Surgery*, 111(4). <https://doi.org/10.1093/bjs/znae064>
- Eposito, C. (2023). Pediatric robotic surgery. *Translational Pediatrics*, 12(7), 1290–1291. <https://doi.org/10.21037/tp-22-424>
- Gaia, G., Sighinolfi, M. C., Terzoni, S., Afonina, M., Morandi, A., Iannuzzi, V., Assumma, S., La Marca, A., Spinillo, A., & Marconi, A. M. (2023). Versius robotic surgery training. *Minerva Obstetrics and Gynecology*. <https://doi.org/10.23736/s2724-606x.23.05317-4>
- Seastedt, K. P., Watkins, A. A., Kent, M. S., & Stock, C. T. (2023). Robotic mediastinal surgery. *Thoracic Surgery Clinics*, 33(1), 89–97. <https://doi.org/10.1016/j.thorsurg.2022.08.007>
- Seeliger, B., & Marescaux, J. (2024). Endoluminal and next generation robotics in colorectal surgery. *Seminars in Colon and Rectal Surgery*, 101006. <https://doi.org/10.1016/j.scrs.2024.101006>
- Servais, E. L., & Smit, P. J. (2023). Robotic thoracic surgery. *Thoracic Surgery Clinics*, 33(1), i. [https://doi.org/10.1016/s1547-4127\(22\)00092-5](https://doi.org/10.1016/s1547-4127(22)00092-5)
- Sharma, P., Chowdhry, A., Singh, M., & Das, A. (2022). Robotic surgery in oral and maxillofacial surgery. *Indian Journal of Health Sciences and Care*, 9(3), 120–125. <https://doi.org/10.5958/2394-2800.2022.00024.4>
- Sheetz, K. H., Telem, D. A., & Feldman, L. S. (2024). Robotics for emergency general surgery—selecting the right tool. *JAMA Surgery*. <https://doi.org/10.1001/jamasurg.2024.0023>

Integration of robotics into surgical practice

Bilodid Vladyslav

Student, Dnipro State Medical University, Dnipro, Ukraine

Adress for correspondence:

Bilodid Vladyslav

E-mail: vladyslavbilodid2001@gmail.com

***Abstract:** the article is dedicated to exploring contemporary trends and practical integration aspects regarding the application of robotics principles within both domestic and international surgical practices. The goal of the article is to provide a systematic review of professional works within the analysis of modern achievements and peculiarities regarding the integrative incorporation of robotics into surgical practice. To determine the current state of research on the integration of robotics into surgical practice, a systematic search of scientific publications was conducted across various databases. Subsequently, information from selected publications was systematized and integrated to identify the main trends of robotics integration into surgical practice, and a synthesis of results was carried out to determine innovative aspects and challenges. The paper analyzes the advantages and limitations of the integrative use of robotics in surgical practice. The authors conduct a review analysis of promising robotic surgical systems. **Conclusions:** The obtained results indicate significant success in the utilization of robotics in surgical practice. Through analysis, it was established that the implementation of modern robotic systems allows for a substantial increase in the precision of surgical interventions, leading to reduced patient trauma and shortened recovery periods after surgery. Additionally, a trend towards a reduction in postoperative complications incidents was identified, achieved through the application of various integration algorithms within the practical application of robotics in surgical practice, which is a key indicator of the improvement in the quality of modern medical care.*

Keywords: [Computer Systems](#); [Algorithms](#); [Artificial Intelligence](#); [General Surgery](#); [Surgical Procedures](#); [Robotics](#).



Copyright: © 2024 by the authors; licensee USMYJ, Kyiv, Ukraine.

This article is an open access article distributed under the terms

and conditions of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).