

**В.Є. Юмашев, к.т.н., доц.
О.О. Юмашева, к.мед.н., доц.**

Житомирський державний технологічний університет

ОСНОВНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ МЕДИЧНИХ РОБОТІВ

Дано аналіз стану робототехнічних систем, застосованих у медицині. Виділено два основних напрямки розвитку медичних роботів: це – автоматичні роботи і телероботи, що працюють під безпосереднім керуванням людини.

Постановка проблеми. В останні роки робототехніка зробила крок далеко вперед і вийшла за межі застосування роботів тільки у промисловому виробництві. Зараз роботи широко використовуються в медицині, у підвідних і космічних дослідженнях, для військових потреб, у побуті й інших галузях людської діяльності. Одним з важливих напрямків застосування роботів є використання їх у медицині. Медичні роботи застосовуються в різних розділах медицини, і сфера їхньої діяльності з кожним роком розширюється. Їхньою перевагою є те, що вони більш точні у своїх діях, особливо при виконанні монотонних маніпуляцій, що не вимагають високої кваліфікації. Крім того, вони можуть виконувати ті самі дії з однаковою точністю необмежену кількість разів і не роблять зайвих рухів. Для того, щоб визначити основні аспекти розвитку роботів у медицині, необхідно досліджувати ефективність їхнього застосування у цій галузі на сьогоднішній день і з'ясувати, де найбільш перспективне і доцільне їх використання. Цій проблемі й присвячена дана стаття.

Мета досліджень. Метою роботи є аналіз і систематизація наявних напрямків застосування роботів у медицині. Це дозволить не тільки виявити основні концепції їх розвитку, але й виділити ті напрямки, котрі є найбільш ефективними.

Роботи в медицині. У даний час можна виділити такі напрямки застосування роботів у медицині:

- для сортування і видачі ліків;
- для лабораторних досліджень;
- у фізіотерапії;
- для догляду за важкими хворими;
- для виконання хірургічних операцій.

Так, робот-фармацевт може виконувати цілий ряд задач і при цьому майже не помилятися. Одним з таких роботів є робот-фармацевт корпорації Intel (США), що використовує свої досягнення для рішення соціальних задач. Завдання робота-фармацевта – готування і розподіл ліків сотень найменувань. Він являє собою механічну руку, що переміщається по чотириметровій рейці, розташованій уздовж стелажів з ліками. Робот збирає зі стелажів пакетики з ліками, на яких нанесений спеціальний код. Потім він вкладає їх у герметичні конверти і відправляє пацієнтам. Працює він цілодобово, майже не робить перерв і при цьому зовсім не помиляється. За два з половиною роки служби в лікарняній аптеці не було жодного випадку, коли б пацієнтові відправили не ті ліки. Коефіцієнт точності роботи такого робота — 99,7 відсотків, а це значить, що сортування і дозування прописаних препаратів ніколи не відрізняється від тих, що зазначено в рецептах лікарів. Більш того, робот-фармацевт допоміг вчасно знайти безліч помилок. Він ніколи не відправить хворому ліки з минулим терміном придатності. Заставою його точності є закладені в електронний мозок машини державні стандарти контролю якості. Але готування і розподіл ліків — не єдина проблема, яку можна вирішити за допомогою робота. До його появи було дуже складно стежити за відпусканням наркотичних засобів: співробітники витрачали багато часу, перераховуючи таблетки, щоб жодна з них не залишилася неврахованою. Сьогодні від цієї рутинної роботи їх звільнив робот.

Одним з неприємних обов'язків медичних сестер є догляд за важкими хворими у післяопераційному періоді. Недостача медичного персоналу, неможливість приділяти достатню увагу кожному хворому збільшує страждання хворих і подовжує період їхнього видужування. У цій галузі було розроблено кілька типів роботів, що забезпечують необхідний догляд за важкими хворими. На рис. 1 представлено роботизоване крісло MANUS-arm (Нідерланди) для інвалідів. Можливості хворого, що знаходиться у такому кріслі, значно розширюються. Він може вільно переміщатися у приміщенні, відвідувати необхідні процедури. Крісло обладнане маніпулятором, за допомогою якого можна відкривати двері, керувати ліфтом, підносити їжу або ліки до хворого, перевертати сторінки книги і т.ін. Коли маніпулятор не використовується, він знаходиться у складеному стані, щоб не заважати хворому. Керування кріслом налагоджується індивідуально для кожного хворого, залежно від його можливостей. Керування може

здійснюватись за допомогою звукового сигналу, голосом, ручкою керування або яким-небудь іншим методом, зручним для хворого.



Рис. 1. Роботизоване інвалідне крісло

Напружений ритм сучасного життя, стресові ситуації часто призводять до інсультів, від яких страждають люди різного віку. У реабілітаційному періоді, після перенесеного інсульту, виникає проблема відновлення рухливості кінцівок. Протягом багатьох місяців, і навіть років, хворі знову вчаться ходити, тримати ложку в руках, робити ті повсякденні дії, про які раніш навіть не задумувалися. Тепер їм можуть допомогти не тільки лікарі, але і роботи. Для цих цілей розроблений спеціальний робот для фізіотерапевтичних процедур, що допомагає хворому швидше відновити свою працездатність. Робот працює в інтерактивному режимі. Маніпулятор робота з'єднується з розроблювальною рукою, і хворий переміщає свою руку по заданій траєкторії, відслідковуючи її на екрані монітора. Робот можна настроїти на необхідні зусилля залежно від стану пацієнта. Якщо хворий не в змозі виконати які-небудь дії, то робот сам переміщає його руку в необхідну точку по заданій траєкторії. Керування переміщеннями робота здійснюється від пневмопривода через комп'ютер. Для створення необхідних зусиль при переміщенні руки пацієнта у пневмоциліндри подається повітря під різним тиском, що розраховується комп'ютером. Необхідні траєкторії для пацієнта розробляє лікар і моделює їх на комп'ютері залежно від ступеня ураження руки хворого. Застосування такого робота звільняє лікаря від стомлюючих занять з пацієнтами і дає йому можливість розробляти нові програми тренувань.

Наступна галузь застосування роботів у медицині – це ультразвукові дослідження. За допомогою ультразвуку проводять діагностику різних захворювань внутрішніх органів, у тому числі підтвердження або виключення серцевої недостатності й інших кардіологічних захворювань. Така діагностика вимагає висококваліфікованих фахівців, що досягають визначеного досвіду тільки після декількох років практики.

Проблема вирішується за допомогою робота для ультразвукових досліджень. Такий робот розроблений у Швеції для кардіологічного центра. Робот встановлюється біля лежачого хворого і переміщує ультразвуковий зонд уздовж досліджуваних органів. Лікар розташовується за пультом керування і спостерігає результати досліджень на моніторі комп'ютера. Таке дистанційне керування роботом не тільки полегшує працю лікаря, але і дає можливість проводити дослідження хворих, що знаходяться на великій відстані від лікаря. У цьому випадку лікар спостерігає за переміщенням ультразвукового зонда за допомогою відеокамери, установлені на роботі, направляючи зонд до досліджуваного органа пацієнта. Спостереження ведеться за допомогою двох моніторів, на одному з яких відображається переміщення ультразвукового зонда, а на іншому – результати досліджень. Зв'язок з роботом може здійснюватися як по проводах, так і через Інтернет.

Але найбільш важливим застосуванням роботів у медицині є застосування їх у хірургічних операціях. При виконанні хірургічних операцій людиною доводиться робити великі розрізи, щоб руки хірурга могли добратися до оперованого органа. У деяких випадках, при операціях на серці, доводиться випилювати ребра. Після таких операцій, процес видужування хворого займає багато часу саме через тривале загоєння зроблених розрізів, що забезпечують доступ рук хірурга до оперованого органа. Якість операції залежить від кваліфікації хірурга, його стану, точності руху його рук. Використання роботів у хірургії дозволить уникнути перерахованих недоліків, підвищити точність переміщення хірургічних інструментів, забезпечити багаторазове виконання хірургічних операцій, не викликаючи стомлення хірурга.

Роботи для виконання хірургічних операцій розвиваються, в основному, в двох напрямках:

1. Роботи, що виконують операції при особистій участі лікаря-хірурга; це – так звані телероботи.
2. Роботи, що виконують операції за програмою, що розробляє хірург.

Найбільше поширення одержали телероботи. Це пов'язано з тим, що дуже складно визначити точні координати робота щодо тіла хворого. Крім того, завжди є якісь відмінності в різних людей, і скласти якусь загальну програму дій для хірургічного робота майже неможливо. Схематично принцип роботи робота-телехірурга представлений на рис. 2. У цьому випадку, хірург виконує «віртуальну» операцію на пацієнті. Візуальні й акустичні дані передаються на пульт хірурга з операційної, створюючи «віртуальний робочий простір», у якому працює хірург. Оцінюючи за допомогою телекамер розташування маніпуляторів з хірургічними інструментами, хірург переміщає рукоятки, що зв'язані з маніпуляторами через комп'ютер. Два маніпулятори точно повторюють рухи рук хірурга, й у такий спосіб виконуються необхідні при операції дії.

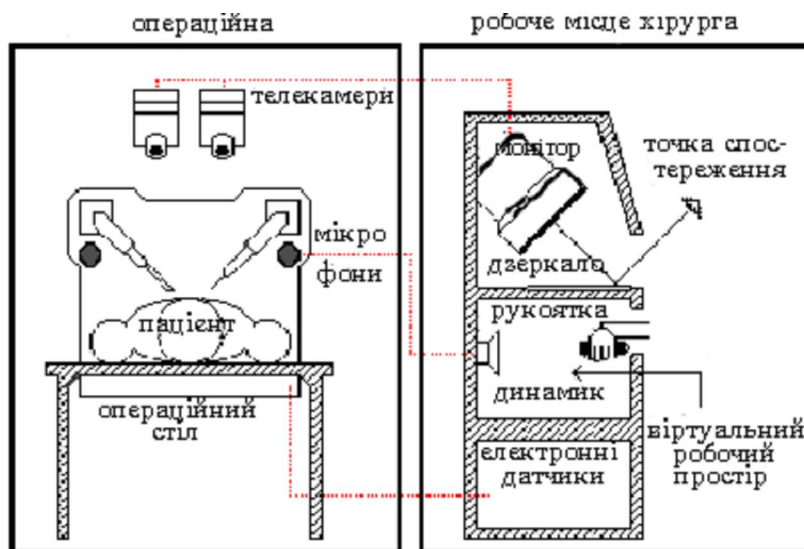


Рис. 2. Схема управління телероботом

Аналогічна схема використовується при виконанні лапароскопічних операцій. Такий метод широко застосовується у хірургії для видалення жовчного міхура, апендикса, у гінекології й інших галузях хірургії. Сутність операцій полягає в тім, що через невеликі розрізи в тіло пацієнта вводяться мініатюрна телекамера і хірургічні інструменти. Операція виконується дистанційно за допомогою комп'ютера. Перевага цього методу – невеликі операційні розрізи, більш швидке видужання пацієнта і більш низькі витрати на операцію. Однак при використанні телехірургії, виникають деякі проблеми, однією з яких є «fulcrum» ефект, коли рух рук хірурга і рух хірургічних інструментів на екрані монітора є протилежним; друга проблема – залежність величини переміщення хірургічного інструмента від величини переміщення руки хірурга з рукояткою керування. Ці проблеми були вирішені за допомогою оснащення хірургічних інструментів мініатюрними відеокамерами, що дозволяють більш детально розрізати зроблені розрізи і виконувати їх більш точно. Хірург бачить на екрані збільшене зображення, і величина рухів його рук скорочується. Це дозволяє виконувати рухи з мікронною точністю, що в звичайній хірургії було неможливим. Більш того, можна виділити за допомогою комп'ютера зони поля операції, куди небажане проникнення хірургічного інструмента і обмежити до них доступ, що підвищить надійність виконання самої операції.

На цьому принципі розроблені й успішно експлуатуються кілька моделей роботів. Найбільш розповсюдженою є хірургічна система da Vinci (США). Система складається з чотирьох основних компонентів: керуючої консолі, хірургічного столу, обладнаного трьома або чотирма механічними руками, змінних інструментів-насадок і модуля візуалізації, що передає медикам тривимірне зображення потрібної ділянки тканини.

За допомогою цієї хірургічної системи можна виконувати різноманітні хірургічні операції в кардіології, урології, гінекології, офтальмології і загальній хірургії.

При проведенні за допомогою da Vinci операцій у тілі хворого робиться три отвори діаметром близько 2,5 см, у які вводяться гнучкі маніпулятори з хірургічними інструментами і відеокамерою. Хірургічна система da Vinci оснащена відеосистемою "InSite", що забезпечує тривимірне зображення операційного поля і складається з двох тривимірних відеокамер. Шарнірні хірургічні маніпулятори можуть оснащуватися різними інструментами. Хірург, зручно розмістившись за пультом керування, розміщеному на відстані від операційного столу, через біноклярні окуляри, що дозволяють бачити все операційне поле або окремі сфокусовані ділянки поля, керує двома хірургічними інструментами за допомогою подачі команд, що передаються відповідно до обраної швидкості, а шарнірні кріплення

забезпечують будь-який ступінь свободи маніпуляцій хірурга. Більш того, шарнірні кріплення дозволяють орієнтувати кисті маніпуляторів у восьми різних площинах і здатні забезпечувати обертання на 360°. Як показала практика застосування da Vinci, пацієнти, прооперовані за допомогою робота, як правило, втрачають менше крові й швидше відновлюються.

Другий напрямок застосування роботів у хірургії має на увазі цілком автоматичне виконання роботом самої операції. Такий напрямок є перспективним, тому що робот буде виконувати всі рухи відповідно до керуючої програми, і всі траєкторії і швидкості переміщення можна точно розрахувати і вивірити. Безсумнівно, хірург буде брати безпосередню участь у плануванні й програмуванні операції, і від нього буде залежати кінцевий результат. Для того, щоб виконана роботом операція пройшла вдало, необхідно її ретельно підготувати.

У першу чергу виконується хірургічне планування, що складається з трьох частин. Перший етап – це правильне відображення зони оперативного втручання пацієнта. Основний метод для такого відображення – це комп'ютерна томографія з використанням рентгена або магнітного резонансу. На другому етапі створюється тривимірна (3D) модель зони хірургічного втручання за допомогою CAD-системи, що дозволяє обертати модель, розкривати і розглядати її внутрішню область.

Третя частина планування – фактична побудова плану операції. Тут визначаються траєкторії руху хірургічних інструментів, призначаються необхідні зусилля при виконанні тих або інших дій і відповідні швидкості переміщень. Для цих цілей і призначена тривимірна модель, і від її точності буде залежати якість операції.

Наступним етапом підготовки робота до операції є координація положення робота щодо пацієнта. Є дві важливі стадії у процедурі координації – фіксація пацієнта та робота і внутрішньохірургічне позиціонування робота. Фіксація – це основний компонент успішної роботизованої операції. Як правило фіксація пацієнта на операційному столі досягається шляхом закріплення оперованих частин тіла пацієнта спеціальними пристроями, що запобігають непередбачені рухи. Такі пристрої застосовуються й у традиційній хірургії, наприклад для фіксації ноги при операції на коліні, або голови – при нейрохірургічних операціях. Фіксація робота відбувається звичайними методами, застосовуваними в робототехніці.

Найбільш складним є внутрішньохірургічне позиціонування робота відносно оперованих органів. Тут застосовуються два основні методи. Перший метод полягає в тому, що у визначених місцях хірургічного поля операції у тілі пацієнта прикріплюють спеціальні координатні мітки, щодо яких відбувається прив'язка траєкторій переміщень робота. На жаль цей метод вимагає додаткової хірургічної операції для встановлення таких міток і викликає додаткову травму пацієнта.

Другий метод заснований на прив'язці траєкторій до основної поверхні, пов'язаної з тілом хворого в оперованій області, що може бути описана математично на етапі створення 3D-моделі зони хірургічного втручання. Тут велику роль відіграє точність 3D-моделі, тому що будь-які неточності можуть призвести до помилкових розрізів при виконанні операції. Крім того, при розробці такої поверхні необхідно враховувати і різну щільність тканин, через які будуть проходити хірургічні інструменти.

Тільки після такої попередньої підготовки робот може виконати хірургічну операцію в автоматичному режимі.

На рис. 3 представлена схема застосування хірургічного робота в нейрохірургічній операції. Операція відбувається під контролем хірурга, що спостерігає за нею на екрані монітора. Як робот можна використовувати промислові роботи, наприклад такі, як PUMA. Це пов'язано з тим, що розробка спеціальних хірургічних роботів вимагає великих витрат і у даний час не проводиться. Велика відповідальність перед здоров'ям і життям пацієнта поки що обмежує застосування хірургічних роботів. Але в деяких випадках їхнє застосування є більш успішним, ніж виконання операції людиною. Прикладом можуть служити операції з відновлення працездатності при поломці шийки стегна. Операція полягає в тому, щоб щонайбільше точно підігнати протез до рознімання кістки стегна. Точність контакту протеза і рознімання при виконанні операції роботом досягала 83 %, а при виконанні її людиною – не перевищувала 30 %.

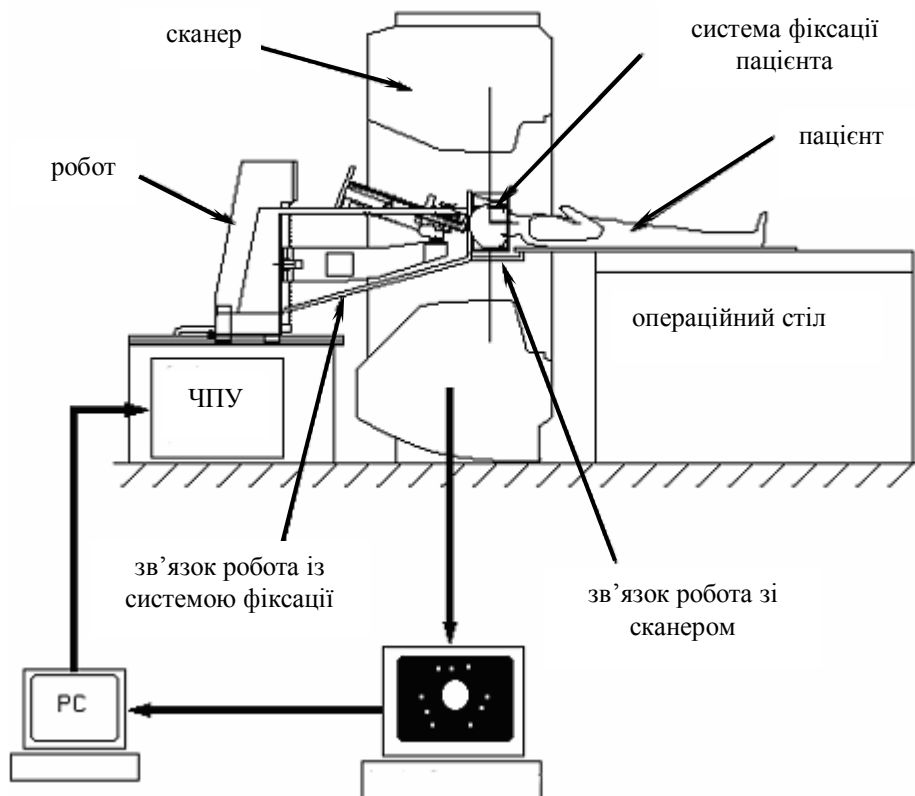


Рис. 3. Схема застосування хірургічного робота

Розвиток робототехніки призвів до створення мікророботів, яких також передбачається використовувати в медицині. Британські дослідники розробили нову концепцію в роботобудівництві – робот Fractal Surgeon, що буде застосовуватися для безкровних хірургічних операцій. Складається робот з модулів розміром близько 1 мм^3 (рис. 4).

Fractal Surgeon буде проникати у тіло людини через двоміліметровий отвір і в потрібному місці збиратися в необхідний для даного моменту операції хірургічний інструмент. Одне з переваг «фрактальної хірургії» — можливість одночасної роботи декількох роботів у тілі одного пацієнта. Наприклад поранення шрапнеллю є одним з найважчих, і для того, щоб витягти кожен осколок, хірургові-людині потрібно багато часу. Роботи ж можуть самостійно виявляти сторонні вкраплення і працювати над їх видаленням, а також установлювати на місце уламки кісток і фіксувати їх протягом декількох днів. Такі роботи в стані подбати і про самих себе: система самовідновлення дозволить їм не перетворитися в ще одне стороннє тіло в організмі. Можливо цей напрямок буде перспективним, але на розробку таких роботів будуть потрібні великі витрати, що можуть себе не виправдати.

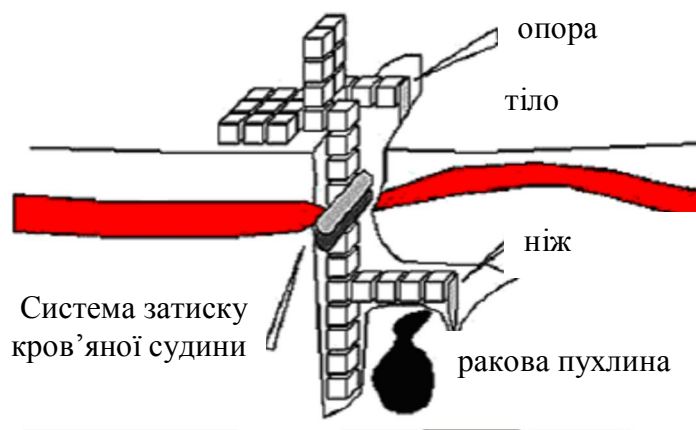


Рис. 4. Принцип роботи робота Fractal Surgeon

Висновки. Застосування роботів у медицині є перспективним і дає незаперечні переваги. Зараз можна виділити два основних напрямки розвитку роботів у медицині: це – а) телероботи, що працюють під безпосереднім керуванням людини і б) автономні роботи, що працюють за програмою. Надалі будуть розвиватися обидва напрямки, тому що не можна цілком виключити людини з циклу лікування хворого з розуміння безпеки.

ЛІТРАТУРА:

1. Юмашев В.Е. Классификация робототехнических систем по областям применения. Международная научно-техническая конференция MECHANICS 2004. – Rzeszow, June. – 2004. – 149 с.
2. www.seagullmag.com
3. www.doc.ic.ac.uk/~nd/surprise_96/journal/vol4/ao2/report.html
4. www.cs.man.ac.uk/robotics/medical/pneumatic.html
5. www.doc.ic.ac.uk/~nd/surprise_96/journal/vol2/cbp/article2.html
6. www.intusurg.com/surgical_team/index.html
7. www.usli.net/robotic.shtml
8. www.ci.ru/inform13_03/p_20.htm
9. www.ifr.org

ЮМАШЕВ Володимир Євгенович – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології машинобудування і конструювання технічних систем Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:
– робототехніка.

ЮМАШЕВА Олександра Олександрівна – кандидат медичних наук, доцент кафедри технології машинобудування і конструювання технічних систем Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:
– охорона здоров'я, охорона праці й навколишнього середовища.

Подано 17.03.2005

Юмашев В.Є., Юмашева О.О. Основні напрямки розвитку медичних роботів.

Юмашев В.Е., Юмашева А.А. Основные направления развития медицинских роботов.

Yumashev V.E., Yumasheva O.O. Main directions of the medical robots development.

УДК 621.865.8:615.47

Основні напрямки розвитку медичних роботів / В.Є. Юмашев, О.О. Юмашев

Дано аналіз стану робототехнічних систем, застосованих у медицині. Виділено два основних напрямки розвитку медичних роботів: це – автоматичні роботи і телероботи, що працюють під безпосереднім керуванням людини.

УДК 621.865.8:615.47

Основные направления развития медицинских роботов / В.Е. Юмашев, А.А. Юмашева

Дан анализ состояния робототехнических систем, применяемых в медицине. Выделено два основных направления развития медицинских роботов: это – автоматические роботы и телероботы, которые работают под непосредственным управлением человека.

УДК 621.865.8:615.47

Main directions of the medical robots development / V.E. Yumashev, O.O. Yumasheva

The subject to analyzing is the state of the robotic-technical system used in medicine. Two main trends of the medical robots development are marked out: those are automatic robots and telerobots, which work under the direct man's control.