

Robot paralel pentru brahiterapie cu două module paralele, unul de poziționare și unul de orientare

Invenția se referă la un robot paralel cu cinci grade de mobilitate, în construcție modulară, format din două module paralele, unul de poziționare și unul de orientare, care realizează poziționarea și orientarea efectorului final în aplicațiile de tratament minim invaziv prin brahiterapie al cancerelor inoperabile prin abordare clasică.

Este cunoscut un sistem robotizat, brevet US005626829A, conceput pentru a trata cancerul de prostată. Robotul are la bază o structură serială, cu un singur lanț cinematic deschis, prin care se realizează poziționarea și orientarea efectorului final a robotului folosit pentru manipularea unui dispozitiv de captare a imaginilor bidimensionale al prostatei și manipularea dispozitivului de ghidare a acelor de brahiterapie. Dezavantajul acestui robot este că domeniul de utilizare se rezumă la tratamentul cancerului de prostată, neputând fi folosit pentru plasarea acelor în orice zonă a corpului uman.

Un alt robot pentru brahiterapie, brevet US 2010/0041938A1, este format dintr-un sistem robotic de poziționare și unul de plasare a semințelor radioactive. Se folosește un sistem de acționare pneumatică pentru compatibilitatea cu sistemele imagistice de tip rezonanță magnetică nucleară (RMN) permițând ghidarea sub control imagistic în timp real a procedurii de introducere a acelor de brahiterapie în tumora țintă. Dezavantajul acestui sistem robotizat este că prin construcția sa utilizarea lui se rezumă doar la tratamentul cancerului de prostată prin brahiterapie.

În brevetul US2011/0112549A1, se prezintă un sistem robotic de ghidare a acelor flexibile de brahiterapie sub control ecografic. Sistemul are la bază un robot paralel, care prin orientarea platformei determină curbarea acului, iar astfel se introduce acul pe o traiectorie care ocolește zonele de risc. Dezavantajul structurii este că se poate utiliza doar sub control imagistic ecografic, care oferă o calitate și claritate a imaginii mai mică și în plus deformabilitatea acului reduce precizia de poziționare a acestuia ridicând probleme la trecerea prin țesuturi cu densități diferite.

Problema tehnică rezolvată cu ajutorul invenției propuse este de a realiza un robot paralel, care permite plasarea acelor de brahiterapie în orice zonă de risc a corpului uman, mai ales în zona toracică și cea abdominală. Robotul având o structură suplă și robustă în zona de contact cu pacientul și un unghi mare de orientare a acului de brahiterapie oferă o soluție avantajoasă pentru aplicațiile din domeniul brahiterapiei.

Robotul paralel cu cinci grade de mobilitate permite poziționarea în spațiu a efectorului final – acul de brahiterapie, și orientarea acestuia în jurul a două axe, fiind suprimată doar mișcarea de rotație proprie care nu este necesară în aceste aplicații. Prin utilizarea unei structuri paralele cu un prim modul cu două lanțuri cinematice de ghidare a platformei mobile care asigură poziționarea în spațiu a platformei mobile, pe care este fixat un al doilea modul cu două grade de mobilitate care asigură orientarea efectorului final (acul de brahiterapie) se asigură un comportament mai bun față de structurile seriale din punct de vedere al: vitezelor, accelerațiilor, rigidității, maselor în mișcare și preciziei de poziționare. În același timp, utilizarea a doar două lanțuri cinematice de ghidare a platformei se asigură un număr minim de elemente mobile ale structurii robotizate.

Aționarea acestui robot se face în două variante constructive cu ajutorul unor motoare rotative sau a unor motoare liniare, poziționate pe batiul robotului și motoare liniare care se deplasează pe căi de rulare fixe, care pot fi considerate ca părți componente ale batiului, astfel reducându-se la minimum numărul și greutatea elementelor aflate în mișcare.

Aplicația specifică acestui robot, și anume tratamentul minim invaziv al cancerului prin brahiterapie permite definirea sarcinii efective a robotului, și anume plasarea vârfului acului de brahiterapie în țesutul tumoral, în interiorul corpului, prin introducerea acestuia din afara corpului, pe o traiectorie liniară definită în prealabil de personalul medical de specialitate. Etapa preliminară, de pregătire a bolnavului și definire a punctelor țintă se face prin intermediul unui set de investigații imagistice de tip tomografie computerizată (CT), aceeași modalitate non-invazivă urmând a fi folosită și pentru verificarea poziționării corecte a acului în corpul pacientului. Deoarece activitatea de plasare a acelor și verificarea poziției acestora în corpul pacientului este una interactivă robotul din prezenta invenție este adaptat utilizării în sala de tomografie computerizată. Batiul este astfel construit încât să permită încadrarea mesei sistemului CT (pe care se află poziționat pacientul) structura robotică manipulând din poziție superioară acele de brahiterapie.

Structura robotică paralelă (în ambele variante constructive, cu motoare rotative și respectiv liniare) are cinci grade de mobilitate și este de familia $F=1$ conținând în structura ei un număr de cinci cuple active (motoare) și un număr de cuple pasive, prin intermediul cărora se asigură poziționarea și orientarea acului de brahiterapie.

Se prezintă în continuare mai multe figuri care exemplifică modul de realizare al invenției:

- figura 1 – reprezintă modelul 3D al structurii BR4 cu motoare rotative în care se poate observa și masa mobilă a sistemului de tomografie computerizată;
- figura 2 – reprezintă modelul 3D al structurii BR4 cu motoare liniare în care se poate observa și masa mobilă a sistemului de tomografie computerizată;

- figura 3 – reprezintă schema cinematică a robotului paralel cu cinci grade de mobilitate cu un modul de poziționare și unul de orientare, având două lanțuri de ghidare a platformei, intitulat BR4, având cuplele active q_1, q_2, q_3, q_4, q_5 grupate în două module active primul modul având trei grade de mobilitate și trei cuple active, și al doilea două grade de mobilitate și două cuple active, toate cuplele active fiind acționate de motoare rotative;
- figura 4 – reprezintă schema cinematică a robotului paralel cu cinci grade de mobilitate în care pentru mișcările active de translație s-au folosit motoare liniare;
- figura 5 – reprezintă un detaliu al structurii BR4, referitor la construcția modulului de orientare.

Robotul paralel pentru brahiterapie, conform invenției este format alcătuit (conform figurii 1) din robotul paralel propriu-zis 1, montat pe un suport (batiu) 2 care este prevăzut cu roțile 3, robotul având un efector final 4 care susține acul pentru brahiterapie 5. Montarea robotului paralel 1 pe batiul 2 care este echipat cu roțile 3 se face astfel încât robotul să poată fi poziționat deasupra mesei 6 a sistemului CT-Sim.

Robotul paralel propriu-zis 1, este alcătuit din două module 7 și 8, module cu trei respectiv două grade de mobilitate care realizează mișcările de translație prin sistem șurub – piuliță, care prin mișcarea lor combinată asigură cele cinci grade de mobilitate necesare poziționării și orientării acului de brahiterapie 5.

În figura 2 se prezintă o a doua variantă a robotului paralel 1 pentru brahiterapie, în care se folosesc modulele 9 și 10, module cu câte trei grade de mobilitate care realizează mișcările de translație axe liniare, care prin mișcarea lor combinată asigură poziționarea și orientarea acului de brahiterapie 5.

Schema cinematică a invenției Robot paralel pentru brahiterapie cu două module paralele, unul de poziționare și unul de orientare, notat pe scurt cu BR4, este prezentată în figura 3. Ea reprezintă un robot paralel cu cinci grade de mobilitate și două lanțuri cinematice de ghidare a platformei formată dintr-un modul (mecanism) paralel cu $M=3$ grade de mobilitate de familia $F=1, 7$, și trei cuple active care realizează poziționarea în spațiu cu orientare constantă a platformei mobile 11, pe care se află poziționat un mecanism paralel de orientare 8 cu două grade de mobilitate, care asigură orientarea acului de brahiterapie 5. Modulul 7 cu trei grade de mobilitate cu motoarele pe batiu, asigură poziționarea cu orientare constantă a platformei mobile 11, în timp ce modulul de orientare 8, poziționat pe platforma mobilă pe verticală, asigură orientarea acului de brahiterapie 5 în jurul a două axe, Z, X^* . Principala motivație pentru realizarea acestei structuri o reprezintă decuplarea mișcărilor și anume, modulul de orientare 8 realizează poziționarea unghiulară a acului, care se verifică, după care, motoarele acestui modul, 12 și 13 se blochează, urmând ca inserția acului să se facă cu ajutorul

modulului de poziționare 7 care printr-o mișcare combinată a celor trei motoare ale sale, 14, 15 și 16 va introduce acul pe traiectoria definită de medici.

Primul modul, 7 are în componență două cuple de translație active materializate prin două șuruburi cu bile (17 și 18) fixate pe batiul 2 în poziție orizontală, la un unghi de 90 de grade unul față de celălalt, plasate pe două laturi alăturate ale batiului 2 și acționate de motoarele 14 și 16. Piulița 19 a șurubului cu bile 17 deplasează pe arborele canelat 20 o bucușă canelată 21. Aceasta se deplasează liniar pe arborele canelat 20 la acționarea șurubului cu bile 17 și se rotește (o dată cu arborele) la acționarea motorului 15. Al doilea modul de translație deplasează, pe șurubul cu bile 18 piulița 22 o dată cu care se deplasează și bucușa cilindrică 23, montată de această dată pe un arbore cilindric 24. Acest modul cu trei grade de mobilitate, notat în figura 3 cu 7 mai are în componența sa un număr de 4 cuple de rotație 25, 26, 27 și 28. Aceste cuple conectează elementele pasive ale mecanismului, după cum urmează: cupla 25 între tijele 29 și 30, cupla 27 între tija 30 și platforma mobilă 11, cupla 26 între tijele 31 și 32, cupla 28 între tija 32 și platforma mobilă 11. Mișcarea combinată a cuplelor active și pasive ale mecanismului cu trei grade de mobilitate asigură poziționarea în spațiu cu orientare constantă a platformei mobile 11 a mecanismului. Cele două cuple de rotație ce conectează lanțurile cinematice ale primului modul de platforma mobilă, cuplele 26 și 28 au axele respectiv paralele cu cele ale arborilor 20 și respectiv 24, și anume la 90 de grade una față de cealaltă.

Pe platforma mobilă este fixat un modul de orientare paralel 8 care are în componența sa două mecanisme care realizează orientarea cuplei cardanice 33 în jurul a două axe, Z, X*. Primul mecanism este format dintr-un șurub cu bile 34 care deplasează piulița 35 a șurubului la acționarea motorului 12. De piulița șurubului cu bile 34 este prinsă rigid bucușa cilindrică 36 care se deplasează, o dată cu piulița șurubului 34 de-a lungul arborelui cilindric 37. În poziția diametral opusă punctului de fixare dintre piulița 35 a șurubului 34 și a bucușei 36 este fixată, printr-o cuplă de rotație 38 tija 39. Aceasta este fixată la celălalt capăt de tija 40 prin cupla de rotație 41 această tijă fiind fixată la celălalt capăt de tija 42 care este apoi fixată la celălalt capăt de axa de rotație orizontală (de-a lungul axei X*) a cuplei cardanice 33, prin cupla de rotație 43. Al doilea mecanism al modulului de orientare 8 este format dintr-un angrenaj de roți dințate 44 (angrenaj care se definește în raport cu caracteristicile dinamice ale motorului 13) care realizează rotația arborelui cilindric 37 în jurul axei longitudinale. De subliniat este faptul că la rotația arborelui cilindric 37 bucușa 36 nu își modifică poziția. De capătul arborelui cilindric 37 este fixată cupla cardanică 33 de-a lungul axei Z. Astfel, prin acționarea motorului 13 se obține rotația cuplei cardanice 33 în jurul axei Z. În cupla cardanică este fixat și acul de brahiterapie 5.

Mișcarea acului poate fi imaginată ca o rotație în jurul axei X care definește proiecția pe planul OZY a orientării impuse acului de brahiterapie 5, după care rotația în jurul axei Z va determina o mișcare pe suprafața unui con cu centrul în punctul de intersecție a axelor cuplei

cardanice 33 și raza egală cu lungimea acului de brahiterapie 5. Întrucât modulul de rotație în jurul axei Z permite realizarea de rotații complete se poate atinge orice poziție pe suprafața conului, fiind aleasă cea care corespunde orientării finale a acului de brahiterapie 5. După obținerea orientării dorite a acului de brahiterapie, se acționează motoarele modulului 7 care realizează apoi mișcarea de avans a acului pe traiectoria liniară impusă, până la atingerea punctului definit de medici. Batiul 2 pe care este fixat robotul este de formă paralelipipedică și asigură poziționarea mecanismului deasupra mesei mobile 6 a aparatului de tomografie computerizată. Pentru o deplasare facilă, batiul 2 este echipat cu roțile blocabile 3 care asigură atât mobilitatea robotului, pentru o poziționare cât mai eficientă în raport cu localizarea pacientului și a tumorii, precum și fixarea rigidă a batiului 2 (prin mecanismul de blocare a roților) în timpul procedurii de brahiterapie.

În figura 4 se prezintă schema cinematică a invenției Robot paralel pentru brahiterapie cu două module paralele, unul de poziționare și unul de orientare, BR4, realizată cu motoare liniare pentru mișcările active de translație. Ea reprezintă un robot paralel cu cinci grade de mobilitate și două lanțuri cinematice de ghidare a platformei formată dintr-un modul (mecanism) paralel cu $M=3$ grade de mobilitate de familia $F=1, 9$, și trei cuple active care realizează poziționarea în spațiu cu orientare constantă a platformei mobile 11, pe care se află poziționat un mecanism paralel de orientare 10 cu două grade de mobilitate, care asigură orientarea acului de brahiterapie 5. Modulul 9 cu trei grade de mobilitate cu motoarele pe batiu, asigură poziționarea cu orientare constantă a platformei mobile 11, în timp ce modulul de orientare 10, poziționat pe platforma mobilă pe verticală, asigură orientarea acului de brahiterapie 5 în jurul a două axe, Z, X^* . Principala motivație pentru realizarea acestei structuri o reprezintă decuplarea mișcărilor și anume, modulul de orientare 10 realizează poziționarea unghiulară a acului, care se verifică, după care, motoarele acestui modul, 45 și 13 se blochează, urmând ca inserția acului să se facă cu ajutorul modulului de poziționare 9 care printr-o mișcare combinată a celor trei motoare ale sale, 46, 47 și 15 va introduce acul pe traiectoria definită de medici.

Primul modul, 9 are în componență două cuple de translație active materializate prin două motoare liniare 46 și 47 cu ghidajele 48 și respectiv 49 fixate pe batiul 2 în poziție orizontală, la un unghi de 90 de grade unul față de celălalt, plasate pe două laturi alăturate ale batiului și acționate de motoarele 46 și 47. Motorul liniar 46 deplasează pe arborele canelat 20 o bușcă canelată 21. Aceasta se deplasează liniar pe arborele canelat 20 la acționarea motorului liniar 46 și se rotește (o dată cu arborele) la acționarea motorului 15. Al doilea modul de translație materializat de motorul liniar 47 realizează deplasarea acestuia de-a lungul ghidajului liniar 49, de motorul 47 fiind fixată și bușca cilindrică 23, care se deplasează de această dată pe un arbore cilindric 24. Acest modul cu trei grade de mobilitate, notat în figura 4 cu 9 mai are în componența sa un număr de 4 cuple de rotație 25, 26, 27 și 28. Aceste cuple conectează elementele pasive ale mecanismului, după cum urmează: cupla 25 între tije 29 și 30, cupla 27 între tija 30 și platforma mobilă 11, cupla 26 între tije 31 și 32, cupla 28 între tija 32 și

platforma mobilă 11. Mișcarea combinată a cuplelor active și pasive ale mecanismului cu trei grade de mobilitate asigură poziționarea în spațiu cu orientare constantă a platformei mobile 11 a mecanismului. Cele două cuple de rotație ce conectează lanțurile cinematice ale primului modul de platforma mobilă, cuplele 26 și 28 au axele respectiv paralele cu cele ale arborilor 20 și respectiv 24, și anume la 90 de grade una față de cealaltă.

Pe platforma mobilă este fixat un modul de orientare paralel 10 care are în componența sa două mecanisme care realizează orientarea cuplei cardanice 33 în jurul a două axe, Z, X^* . Primul mecanism este format dintr-un motor liniar 45 care se deplasează pe ghidajul liniar 50. De motorul liniar 45 este prinsă rigid bucușă cilindrică 36 care se deplasează, o dată cu motorul liniar 45 de-a lungul arborelui cilindric 37. În poziția diametral opusă punctului de fixare dintre piulița 35 a șurubului 34 și a bucușei 36 este fixată, printr-o cuplă de rotație 38 tija 39. Aceasta este fixată la celălalt capăt de tija 40 prin cupla de rotație 41 această tijă fiind fixată la celălalt capăt de tija 42 care este apoi fixată la celălalt capăt de axa de rotație orizontală (de-a lungul axei X^*) a cuplei cardanice 33. Al doilea mecanism al modulului de orientare 10 este format dintr-un angrenaj de roți dințate 44 (angrenaj care se definește în raport cu caracteristicile dinamice ale motorului 13) care realizează rotația arborelui cilindric 37 în jurul axei longitudinale. De subliniat este faptul că la rotația arborelui cilindric 37 bucușă 36 nu își modifică poziția. De capătul arborelui cilindric 37 este fixată cupla cardanică 33 de-a lungul axei Z . Astfel, prin acționarea motorului 13 se obține rotația cuplei cardanice 33 în jurul axei Z . În cupla cardanică este fixat și acul de brahiterapie 5.

Batiul 2 pe care este fixat robotul este de formă paralelipipedică și asigură poziționarea mecanismului deasupra mesei mobile 6 a aparatului de tomografie computerizată. Pentru o deplasare facilă, batiul este echipat cu roțile blocabile 3 care asigură atât mobilitatea robotului, pentru o poziționare cât mai eficientă în raport cu localizarea pacientului și a tumorii, precum și fixarea rigidă a batiului 2 (prin mecanismul de blocare a roților) în timpul procedurii de brahiterapie.

În figura 5 se prezintă un detaliu al modulului de orientare 8 împreună cu mecanismul final al robotului paralel pentru brahiterapie cu două module paralele, unul de poziționare și unul de orientare a acului 5, unde sunt evidențiate platforma mobilă a modulului 7 (și respectiv 9 în cazul celei de-a doua variante), cuplele cilindrice 27 și 28, arborele cilindric 24 a modulului 8 (și respectiv 10 în cazul celei de-a doua variante) precum și restul componentelor modulului de orientare 8 respectiv acul de brahiterapie 5.

Cele mai importante avantaje pe care soluția propusă prin invenția Robot paralel pentru brahiterapie cu două module paralele, unul de poziționare și unul de orientare sunt:

- spre deosebire de soluțiile actuale care se folosesc pentru un singur tip de organ, invenția prezentată va permite abordul minim invaziv al majorității tumorilor localizate

în zona toracică și abdominală (și în general zone cu risc crescut) ce pot fi abordate de la exterior pe o traiectorie liniară;

- cu o structură paralelă, simplă și modulară, sistemul robotic prezentat aici asigură un comportament optim din punct de vedere al: vitezelor, accelerațiilor, rigidității, maselor în mișcare și preciziei de poziționare;
- batiul mobil asigură o poziționare optimă a robotului față de pacient și implicit zona de interes.

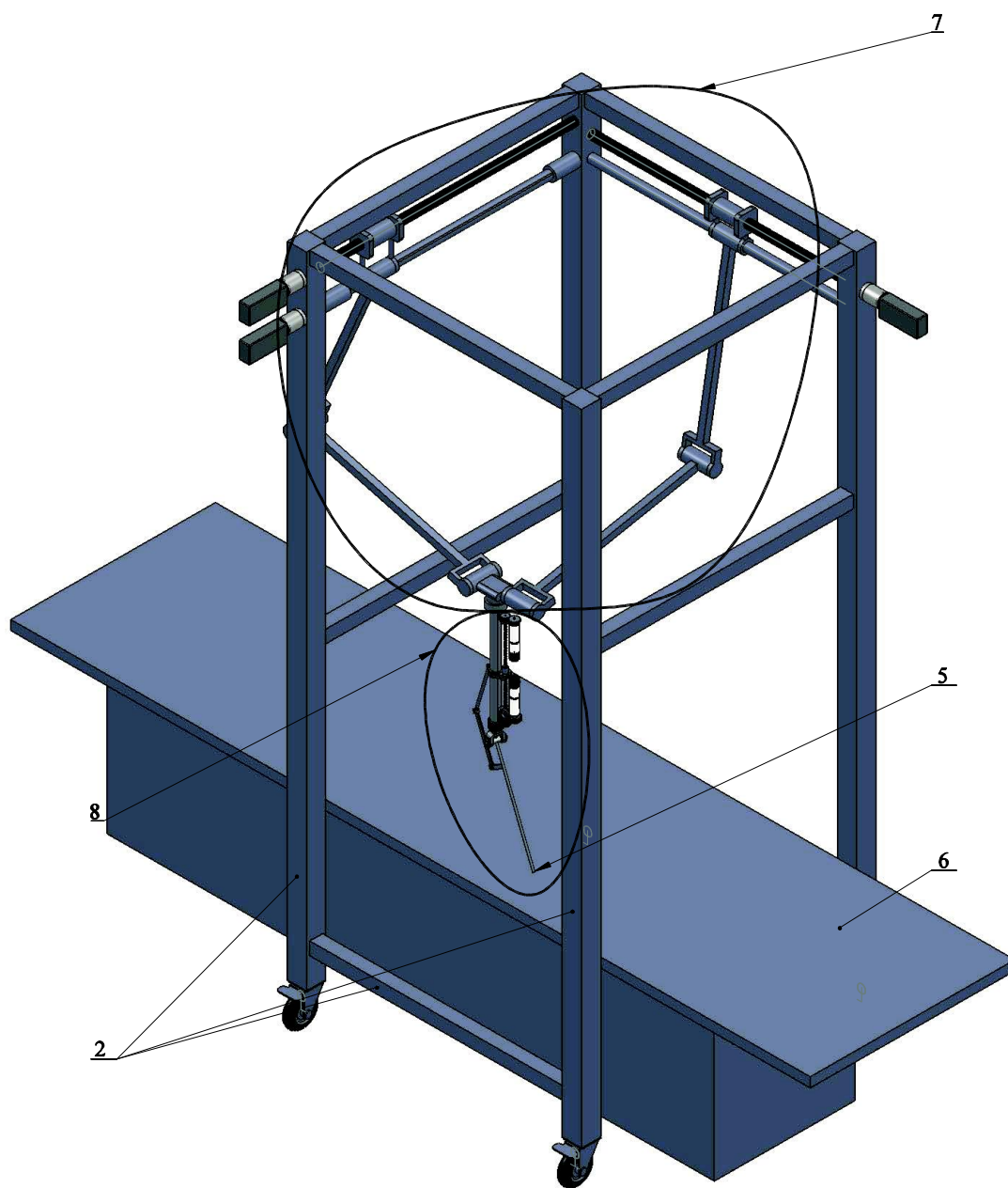


Figura 1

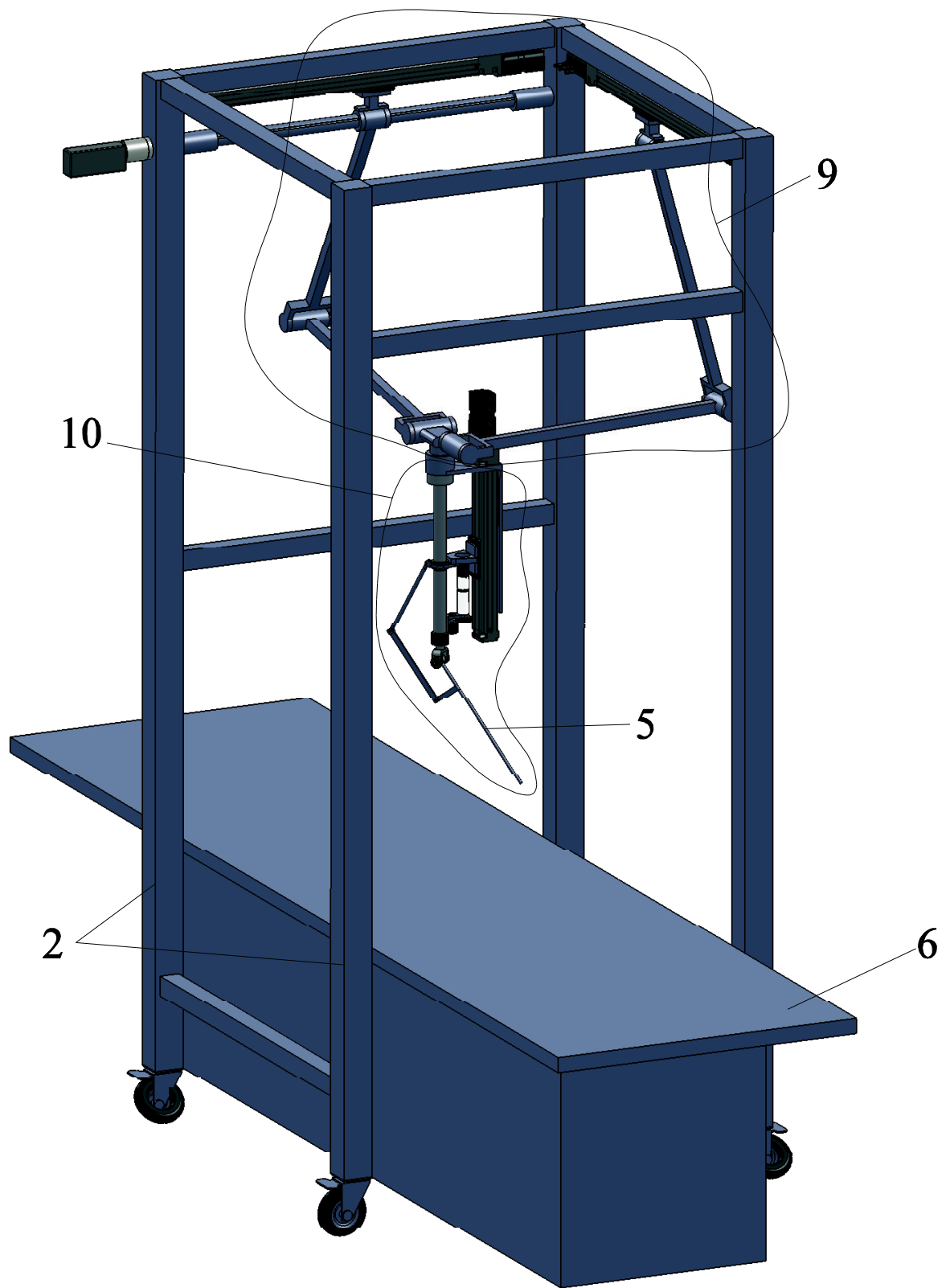


Figura 2

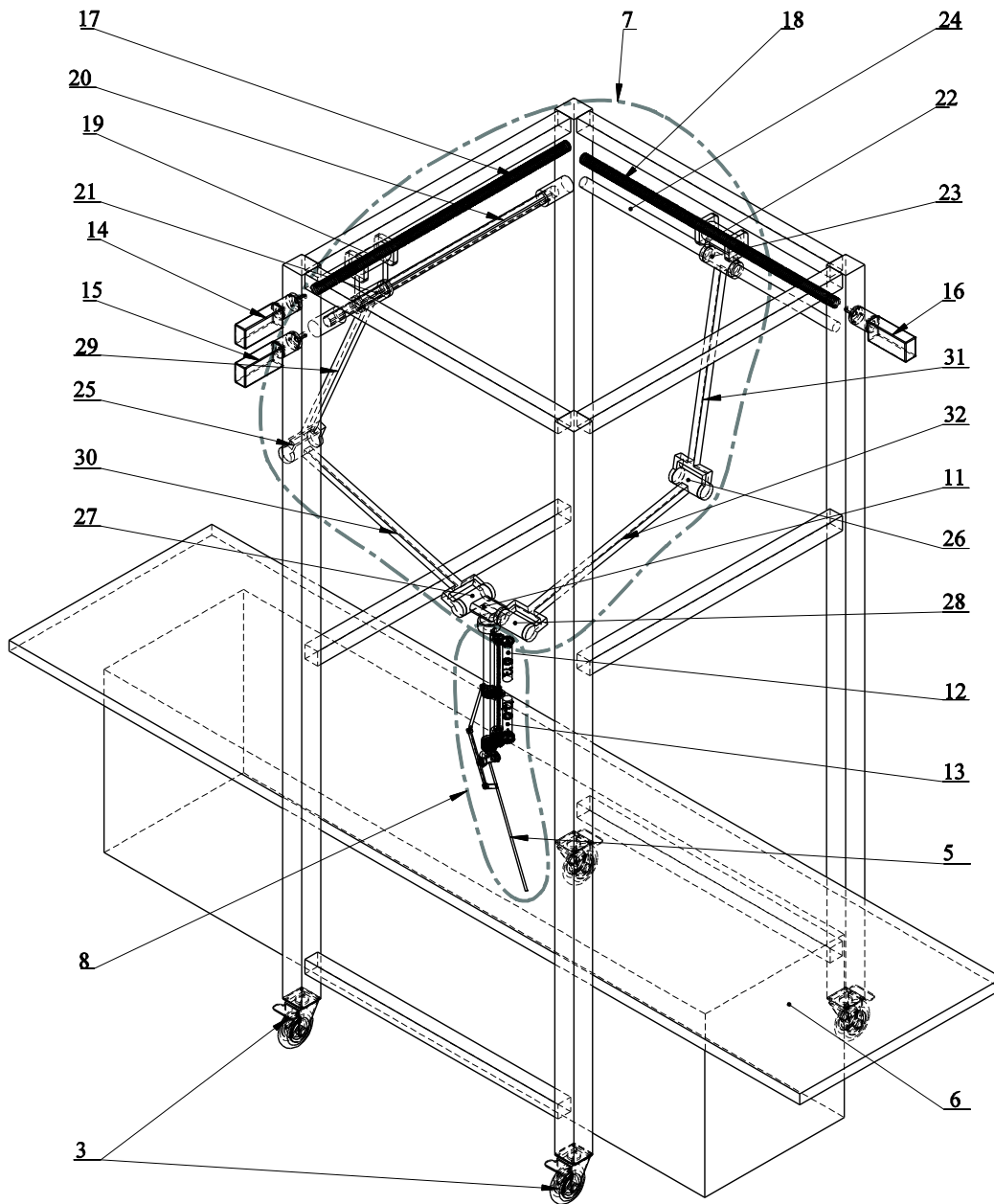


Figura 3

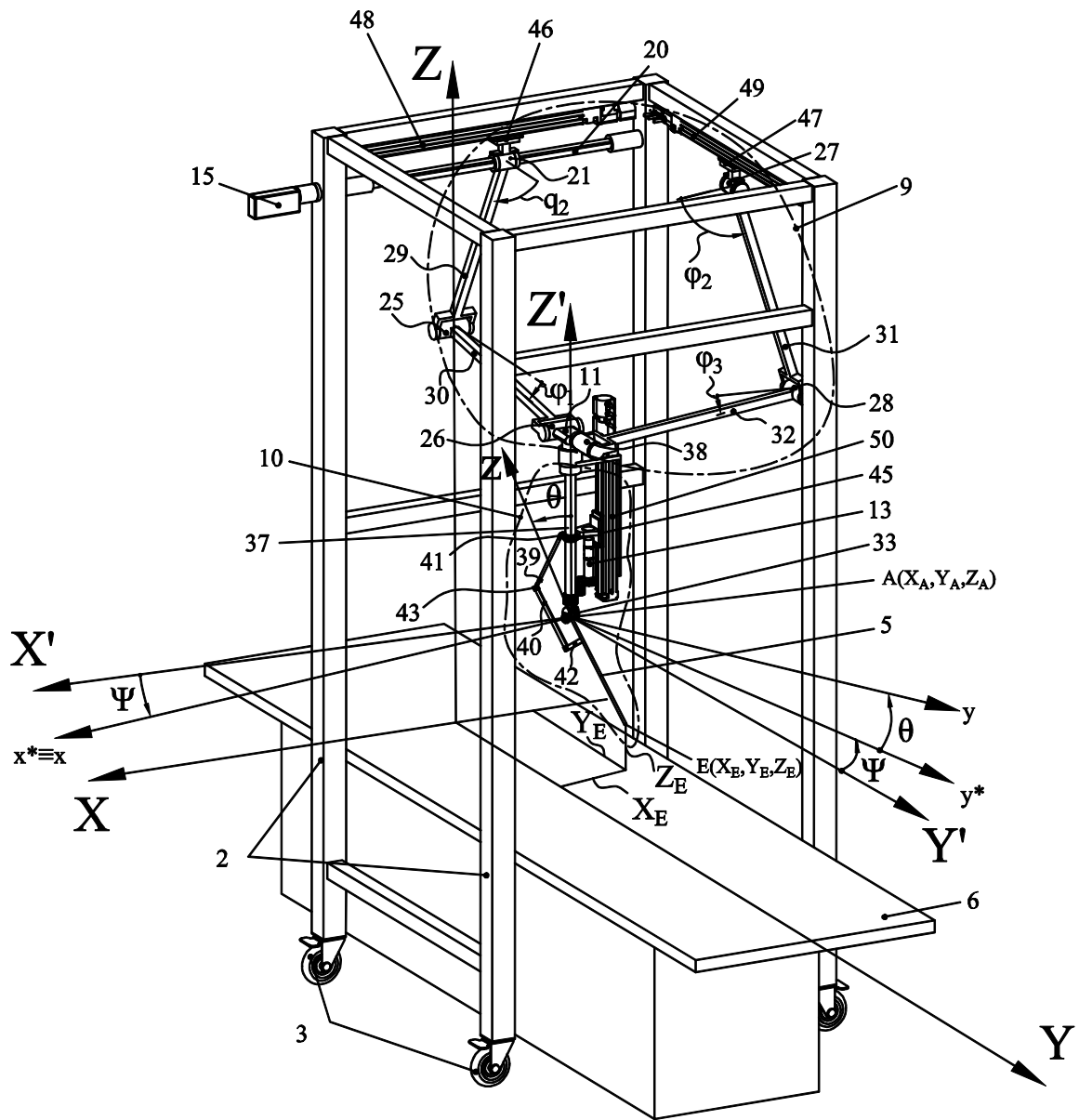


Figura 4

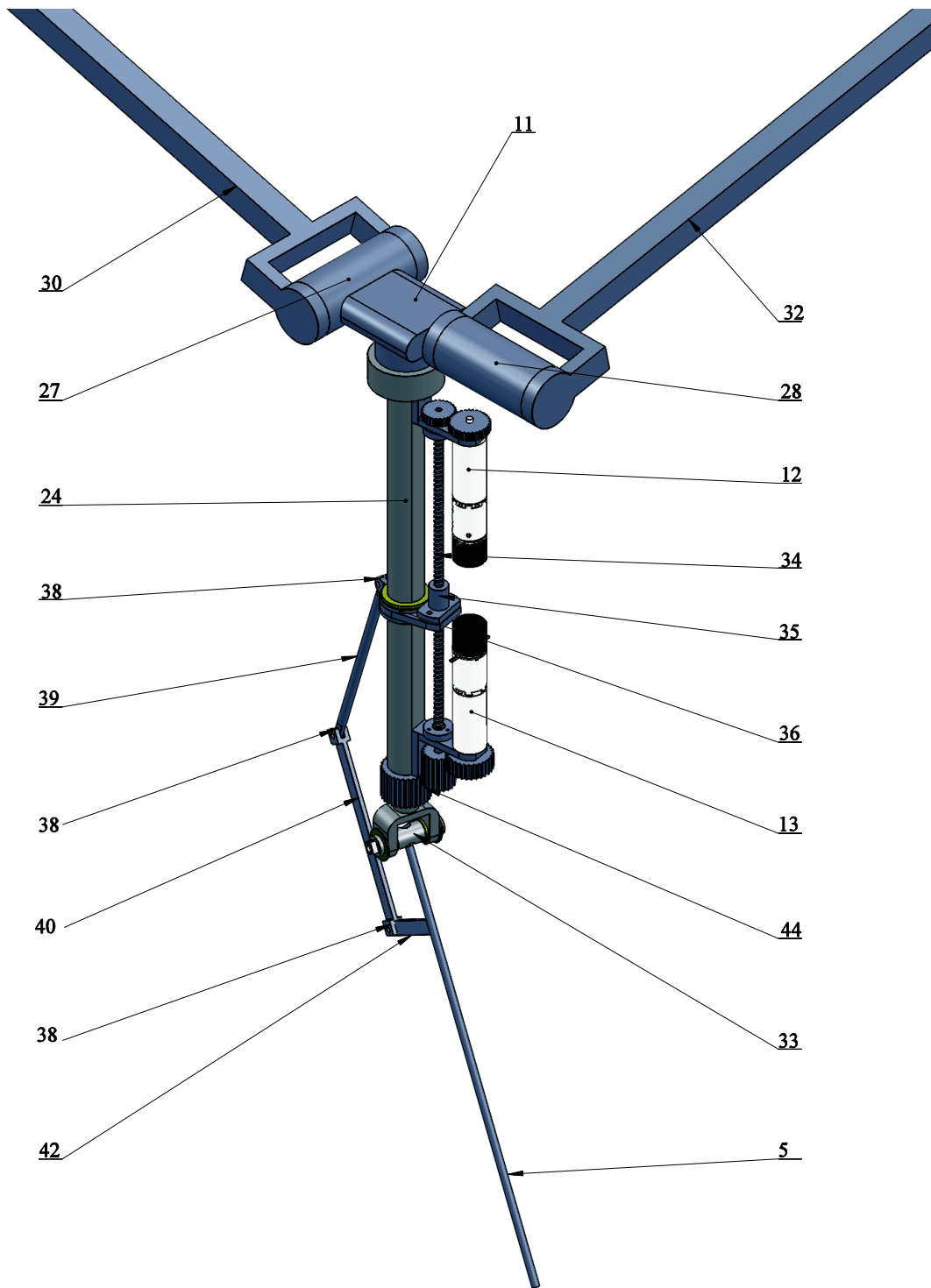


Figura 5