

## **Robot paralel pentru brahiterapie cu două lanțuri cinematice de ghidare a platformei de tip CYL-U**

Invenția se referă la un **Robot paralel pentru brahiterapie cu două lanțuri cinematice de ghidare a platformei de tip CYL-U** (CYL – modul în coordonate cilindrice, U – cuplă cardanică) care realizează poziționarea și orientarea efectorului final în aplicațiile de tratament minim invaziv prin brahiterapie al cancerelor inoperabile prin abordare clasică, lucrând în coordonate cilindrice. 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 două lanțuri cinematice de ghidare a platformei mobile pe care este fixat efectorul 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.

Este cunoscut robotul pentru brahiterapie, brevet US 2009/0326365 A1, format dintr-un sistem de poziționare serial cu platformă paralelă și sistem de plasare a semințelor radioactive sau acelor. Sistemul de poziționare este acționat de motoare ultrasonice foarte precise, compatibile cu sistemele imagistice de tip rezonanță magnetică nucleară (RMN).

Dezavantajul acestui robot este limitarea mobilității angulare a ansamblului precum și dimensiunea mare ce nu permite terapia aplicată a unor tumori situate în zone centrale. Acest robot este limitat brahiterapiei prostatice.

De asemenea este cunoscut sistemul robotizat de chirurgie minim invazivă cu force-feedback, brevet PCT/CA2004/001868, ansamblu robotic cu control computerizat cu 2 module de control primar și secundar. Modulul primar este capabil de mișcare în 5 grade de libertate la capătul efectorului final și 5 grade de libertate la capătul sistemului secundar. Cele două module pot fi implementate separat, locul modulului secundar putând fi luat de un robot chirurgical sau a unui sistem computerizat.

Sistemul suferă de limitare geometrică a mișcării în cele 5 grade de mobilitate, iar precizia este limitată datorită structurii seriale.

Un alt sistem brevetat pentru brahiterapie și sistemul robotic pentru brahiterapie, brevet US 2010/0036245 A1 ce descrie un sistem de plasare a semințelor radioactive, un robot cu 2 grade de libertate și o platformă pasivă cu 5 grade de libertate blocabilă. Sistemul folosește senzori de presiune pentru detecția forțelor de insertie și îndoire.

Unul dintre dezavantajele acestuia constă în faptul că sistemul este limitat la 2 grade de libertate active, ceea ce crește complexitatea operării asupra tumorilor centrale, dar scade utilitatea sa în realizarea de operații robotizate. Gabaritul robotului este un impediment în utilizarea sa pentru alte tumori decât cele prostatice.

Problema tehnică rezolvată cu ajutorul prezentei propuneri de invenție constă în realizarea unui robot paralel cu ajutorul căruia să se poată plasa acele de brahiterapie în orice zonă a corpului uman (cu precădere zonele de risc – torace, abdomen). Datorită structurii cinematische simple a robotului, acesta permite o zonă largă de contact a acului de brahiterapie cu pacientul, cât și un unghi de orientare mare a acestuia, oferind din acest punct de vedere avantaje însemnate față de brevetele existente în acest moment în domeniul roboților pentru brahiterapie.

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 propusă în acest brevet prezintă o flexibilitate angulară crescută, având o structură ușor reconfigurabilă și o utilitate crescută față de alte structuri în brahiterapia tumorilor greu accesibile. Prin realizarea structurii robotice din module paralele conectate în paralel se crește precizia substanțial, față de structurile seriale utilizate. Structura paralelă permite de asemenea o poziționare complexă ce ar permite ocolirea țesuturilor vulnerabile ce ar îngreuna vindecarea după procedura brahiterapeutică. Spațiul de lucru al robotului este de asemenea optimizat pentru acest tip de operații.

Acționarea robotului propus se face în două variante constructive: cu ajutorul unor motoare rotative poziționate pe batiul robotului sau a unor 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.

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 BR3 cu motoare rotative în care se poate observa și masa mobilă a sistemului de tomografie computerizată;
- figura 2 – reprezintă modelul 3D al structurii BR3 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 în coordonate cilindrice cu motoare rotative, având două lanțuri de ghidare a platformei, intitulat BR3, având cuplele active  $q_1, q_2, q_3, q_4, q_5$  grupate în două module active lucrând în coordonate cilindrice primul modul având trei grade de mobilitate și trei cuple active, și al doilea trei 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 BR3, referitor la zona de prindere a acului de brahiterapie, cu identificarea elementelor finale ale fiecărui modul și atașarea acestora la cele două cuple cardanice;

Robotul paralel pentru brahiterapie, conform invenției este format alcătuit (conform figurii 3) 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 câte trei 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 lanțuri cinematice de ghidare a platformei de tip CYL-U, numit pe scurt BR3, 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  $F=1$  și trei cuple active și un modul de ghidare cu  $M=3$  grade de mobilitate cu două cuple active de translație. Ambele module sunt poziționate pe verticală pe batiul robotului, și lucrează în coordonate cilindrice.

Primul modul, 7 este un modul (mecanism) paralel cu  $M=3$  grade de mobilitate cu trei cuple active, două de translație și una de rotație. Cuplele active de translație, montate în poziție verticală pe batiu, sunt materializate de șuruburile cu bile 11 și 12 acționate de motoarele rotative 13 și respectiv 14. Cele două șuruburi cu bile sunt fixate pe batiu împreună cu un arbore canelat 15, pe care se află poziționate bucșele canelate 16 și 17. Poziționarea liniară a acestor bucșe pe arborele canelat 15 este asigurată de deplasările piulițelor 18 și 19 șuruburilor cu bile 11 și respectiv 12. Șuruburile cu bile 11 și 12 împreună cu arborele canelat 15 sunt poziționate pe verticală într-o configurație triunghiulară cu arborele canelat 15 înspre interiorul batiului, și cele două șuruburi într-un plan paralel cu latura batiului. De bucșa cilindrică 16 este fixată rigid tija 20. Poziționarea liniară în plan vertical a tijeii 20 este asigurată de mișcarea piuliței 18 a șurubului cu bile 11. Orientarea în plan orizontal a tijeii 20 este realizată prin acționarea motorului 21 care rotește arborele canelat 15. Tija 20 este de formă cilindrică cu diametrul interior egal cu cel exterior al tijeii 22 care execută astfel o mișcare de translație în interiorul tijeii 20, tija 22 reprezentând și elementul final al modului 7. Pentru asigurarea mișcării de translație a tijeii 22 în tija 20, de bucșa cilindrică 17 este fixată printr-o cuplă de rotație 23 o tijă 24, care la celălalt capăt este fixată, prin intermediul cuplei de rotație 25 de capătul tijeii 22. Bucșa 17 se deplasează liniar o dată cu piulița 19 a șurubului cu bile 12. La rotația arborelui canelat 15 sunt rotite împreună cele două bucșe canelate 16 și 17, ceea ce asigură menținerea într-un plan vertical al celor trei tije 20, 24, 22. Prin acționarea motoarelor 13, 14 și 21 se asigură astfel poziționarea în coordonate cilindrice a capătului tijeii 22, și orientarea acestuia în jurul axei verticale a arborelui canelat 15 (motoarele 13 și 14 asigură poziționarea într-un plan vertical și 21 asigură rotația capătului tijeii în jurul axei longitudinale a arborelui canelat 15).

Al doilea modul, 8, este un modul (mecanism) paralel cu  $M=3$  grade de mobilitate cu două cuple active de translație. Cuplele active de translație, montate în poziție verticală pe batiu, sunt materializate de șuruburile cu bile 26 și 27 acționate de motoarele rotative 28 și respectiv 29. Cele două șuruburi cu bile sunt fixate pe batiu împreună cu un arbore cilindric 30, pe care se află poziționate bucșele cilindrice 31 și 32. Poziționarea liniară a acestor bucșe pe arborele cilindric 30 este asigurată de deplasările piulițelor 33 și 34 a șuruburilor cu bile 26 și respectiv 27. Șuruburile cu bile 26 și 27, și arborele cilindric 30 sunt poziționate pe verticală într-o

configurație triunghiulară cu arborele cilindric 30 înspre interiorul batiului, și cele două șuruburi într-un plan paralel cu latura batiului, pe latura opusă celei pe care se amplasează primul modul, 7. De bucușă cilindrică 31 este fixată rigid tija 35. Poziționarea liniară în plan vertical a tijeii 35 este asigurată de mișcarea piuliței șurubului cu bile 26. Orientarea în plan orizontal a tijeii 35 este liberă și se face în jurul axei verticale a arborelui cilindric 30. Tija 35 este de formă cilindrică cu diametrul interior egal cu cel exterior al tijeii 36 să execute o mișcare de translație în interiorul tijeii 35, tija 36 reprezentând și elementul final al modului 8. Pentru asigurarea mișcării de translație a tijeii 36 în tija 35, de bucușă cilindrică 32 este fixată printr-o cuplă de rotație 37 o tijă 38, care la celălalt capăt este fixată, prin intermediul cuplei de rotație 39 de capătul tijeii 36. Prin acționarea motoarelor 28 și 29 se asigură astfel poziționarea în plan vertical a capătului tijeii 22 în timp ce orientarea acesteia în jurul axei verticale a arborelui 30 este liberă.

Elementul final al primului mecanism, 7, 22 este conectat la axa verticală a cuplei cardanice 40, de unde mișcarea este transmisă la axa orizontală a cuplei cardanice 41. De axa verticală a cuplei cardanice 41 este fixat elementul final 36 al celui de-al doilea mecanism cu trei grade de mobilitate 8 și de asemenea și efectorul final 4 a mecanismului, pe care este fixat rigid și acul de brahiterapie, 5. Prin mișcare combinată a celor cinci cuple motoare și a cuplelor pasive care intră în alcătuirea mecanismului se obțin cele cinci grade de mobilitate ale efectorului final 4 (singura mișcare blocată fiind cea de rotație în jurul axei longitudinale a acului, mișcare de care nu este nevoie).

Batiul 2 pe care este fixat robotul este de formă paralelipipedică și asigură poziționarea mecanismului deasupra mesei mobile 6 a aparatului de tomografie computerizată. Cele două module sunt așezate de o parte și alta a mesei de tomografie computerizată. Pentru o deplasare facilă, batiul este echipat cu roți 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 unei a doua variante constructive a unui robot paralel pentru brahiterapie cu două lanțuri cinematice de ghidare a platformei de tip CYL-U în care pentru cuplele de translație active s-au folosit motoare liniare în locul construcție motor rotativ+șurub cu bile.

Primul modul, 9 este un modul (mecanism) paralel cu  $M=3$  grade de mobilitate cu trei cuple active, două de translație și una de rotație. Cuplele active de translație, montate în poziție verticală pe batiu, sunt materializate de motoarele liniare 42 și 43 care se deplasează pe ghidajele fixe 44 și respectiv 45. Ghidajele 44 și 45 ale motoarelor liniare 42 și 43 sunt fixate pe batiu împreună cu un arbore canelat 15, pe care se află poziționate bucușele canelate 16 și 17. Poziționarea liniară a acestor bucușe pe arborele canelat 15 este asigurată de deplasările motoarelor liniare, bucușă 16 fiind fixată rigid de motorul 42 și bucușă 17 de motorul 43. Ghidajele 44 și 45 ale motoarelor liniare împreună cu arborele canelat 15 sunt poziționate pe

verticală într-o configurație triunghiulară cu arborele canelat 15 înspre interiorul batiului, și cele două motoare liniare într-un plan paralel cu latura batiului. De bucușă cilindrică 16 este fixată rigid tija 20. Poziționarea liniară în plan vertical a tijeii 20 este asigurată de mișcarea motorului liniar 42. Orientarea în plan orizontal a tijeii 20 este realizată prin acționarea motorului 21 care rotește arborele canelat 15. Tija 20 este de formă cilindrică cu diametrul interior egal cu cel exterior al tijeii 22 care execută astfel o mișcare de translație în interiorul tijeii 20, tija 22 reprezentând și elementul final al modulului 9. Pentru asigurarea mișcării de translație a tijeii 22 în tija 20, de bucușă cilindrică 17 este fixată printr-o cuplă de rotație 23 o tijă 24, care la celălalt capăt este fixată, prin intermediul cuplei de rotație 25 de capătul tijeii 22. Bucușă cilindrică 17 se deplasează împreună cu motorul liniar 43. La rotația arborelui canelat 15 sunt rotite împreună cele două bucușe canelate 16 și 17, ceea ce asigură menținerea într-un plan vertical al celor trei tije 20, 22 și 24. Prin acționarea motoarelor 42, 43 și 21 se asigură astfel poziționarea în coordonate cilindrice a capătului tijeii 22, și orientarea acestuia în jurul axei verticale a arborelui canelat 15 (motoarele 42 și 43 asigură poziționarea într-un plan vertical și 21 asigură rotația capătului tijeii în jurul axei longitudinale a arborelui canelat 15).

Al doilea modul, 10, este un modul (mecanism) paralel cu  $M=3$  grade de mobilitate cu două cuple active de translație. Cuplele active de translație, montate în poziție verticală pe batiu, sunt materializate de motoarele liniare 46 și 47 care se deplasează pe ghidajele 48 și 49. Cele două ghidaje, 48 și 49, sunt fixate pe batiu împreună cu un arbore cilindric 30, pe care se află poziționate bucușele cilindrice 31 și 32. Poziționarea liniară a acestor bucușe pe arborele cilindric 30 este asigurată de deplasările motoarelor liniare 46 și 47 de care sunt fixate cele două bucușe (bucușă 31 de motorul 46 și bucușă 32 de motorul 47). Ghidajele 48 și 49, împreună cu arborele cilindric 30 sunt poziționate pe verticală într-o configurație triunghiulară cu arborele cilindric 30 înspre interiorul batiului, și cele două ghidaje într-un plan paralel cu latura batiului, pe latura opusă celei pe care se amplasează primul modul, 9. De bucușă cilindrică 31 este fixată rigid tija 35. Poziționarea liniară în plan vertical a tijeii 35 este asigurată de mișcarea motorului liniar 46. Orientarea în plan orizontal a tijeii 35 este liberă și se face în jurul axei verticale a arborelui cilindric 30. Tija 35 este de formă cilindrică cu diametrul interior egal cu cel exterior al tijeii 36 și poate să execute o mișcare de translație în interiorul tijeii 35, tija 36 reprezentând și elementul final al modulului 10. Pentru asigurarea mișcării de translație a tijeii 36 în tija 35, de bucușă cilindrică 32 este fixată printr-o cuplă de rotație 37 o tijă 38, care la celălalt capăt este fixată, prin intermediul cuplei de rotație 39 de capătul tijeii 36. Prin acționarea motoarelor 46 și 47 se asigură astfel poziționarea în plan vertical a capătului tijeii 22 în timp ce orientarea acesteia în jurul axei verticale a arborelui 30 este liberă.

Elementul final al primului mecanism, 9, tija 22 este conectată la axa verticală a cuplei cardanice 40, de unde mișcarea este transmisă la axa orizontală a cuplei cardanice 41. De axa verticală a cuplei cardanice 41 este fixat elementul final 36 al celui de-al doilea mecanism cu

trei grade de mobilitate 10 și de asemenea și efectorul final 4 a mecanismului, pe care este fixat rigid și acul de brahiterapie, 5. Prin mișcare combinată a celor cinci cuple motoare și a cuplelor pasive care intră în alcătuirea mecanismului se obțin cele cinci grade de mobilitate ale efectorului final 4 (singura mișcare blocată fiind cea de rotație în jurul axei longitudinale a acului, mișcare de care nu este nevoie).

Batiul 2 pe care este fixat robotul este de formă paralelipipedică și asigură poziționarea mecanismului deasupra mesei mobile 6 a aparatului de tomografie computerizată. Cele două module sunt așezate de o parte și alta a mesei de tomografie computerizată. Pentru o deplasare facilă, batiul 2 este echipat cu roți 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.

Principalele în avantajele pe care soluția propusă în prezenta invenție intitulată Robot paralel pentru brahiterapie cu două lanțuri cinematice de ghidare ale platformei (acului) de tip CYL-U sunt:

- prin utilizarea acestui sistem se va permite abordarea majorității tumorilor localizate în zona toracică și abdominală, spre deosebire de soluțiile actuale care au fost create pentru un singur tip de organ;
- structura paralelă simplă și modulară oferă avantaje de ordin dinamic, al rigidității cât și a preciziei de poziționare a efectorului final;
- batiul mobil asigură o poziționare optimă a robotului față de pacient și implicit zona de interes.

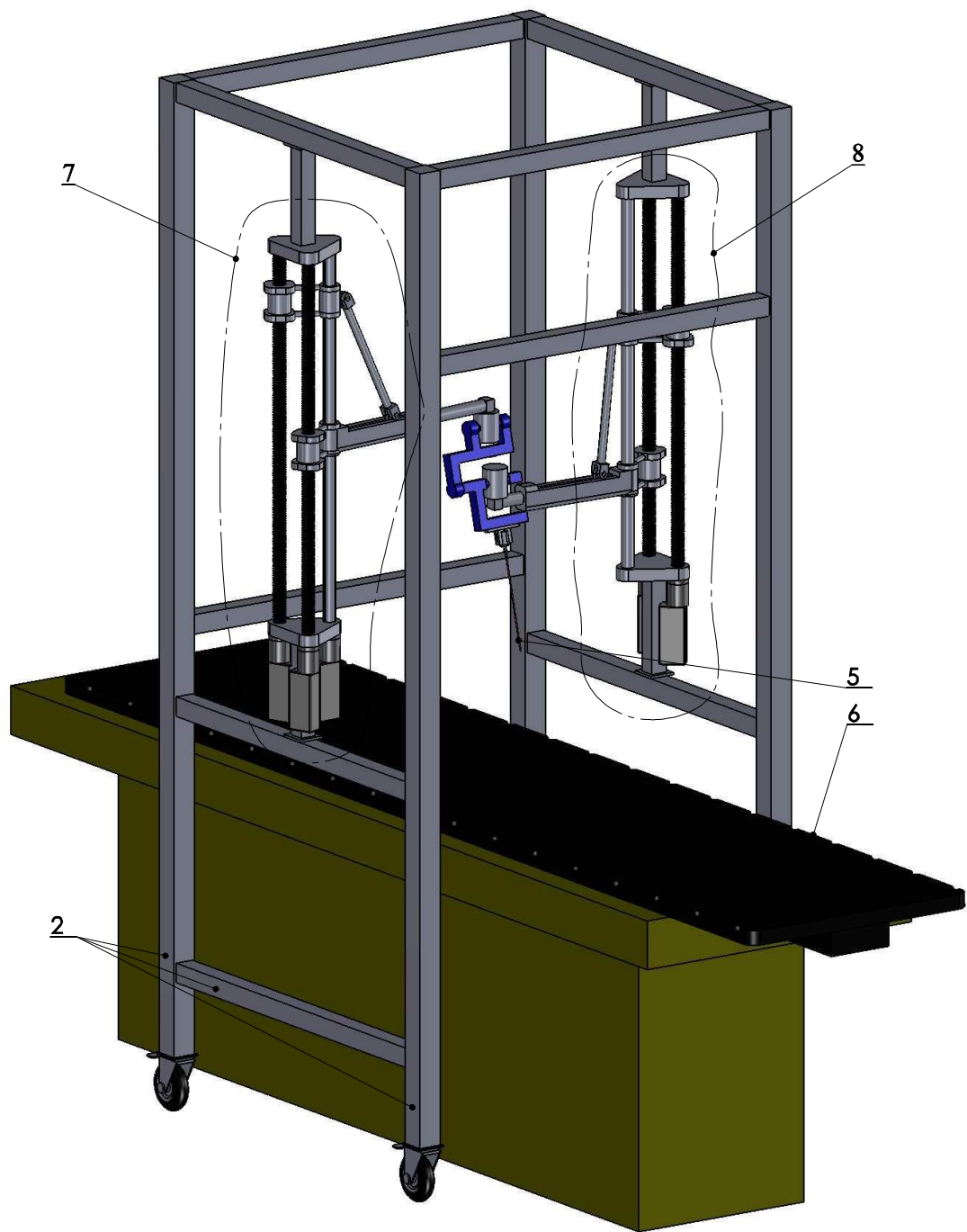


Figura 1



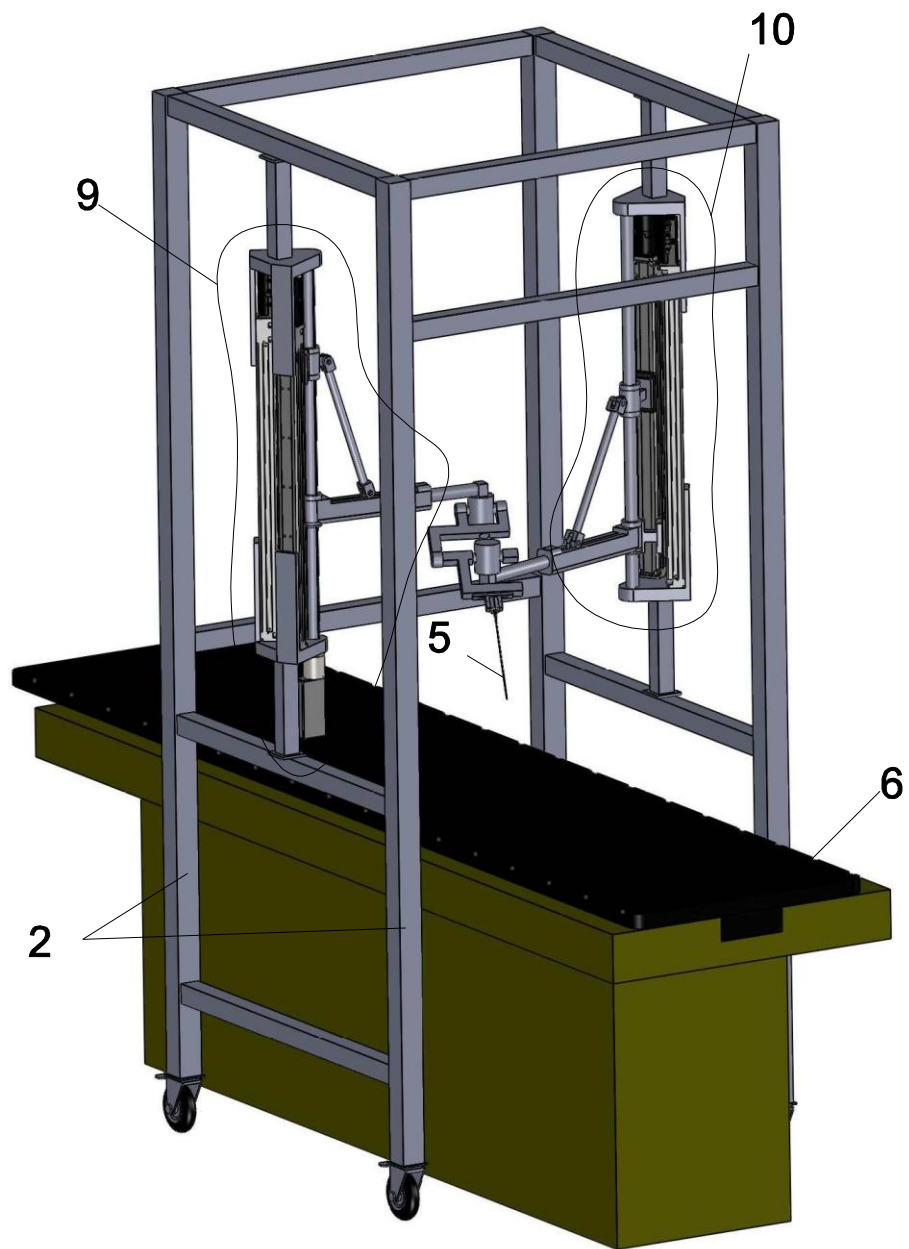


Figura 2

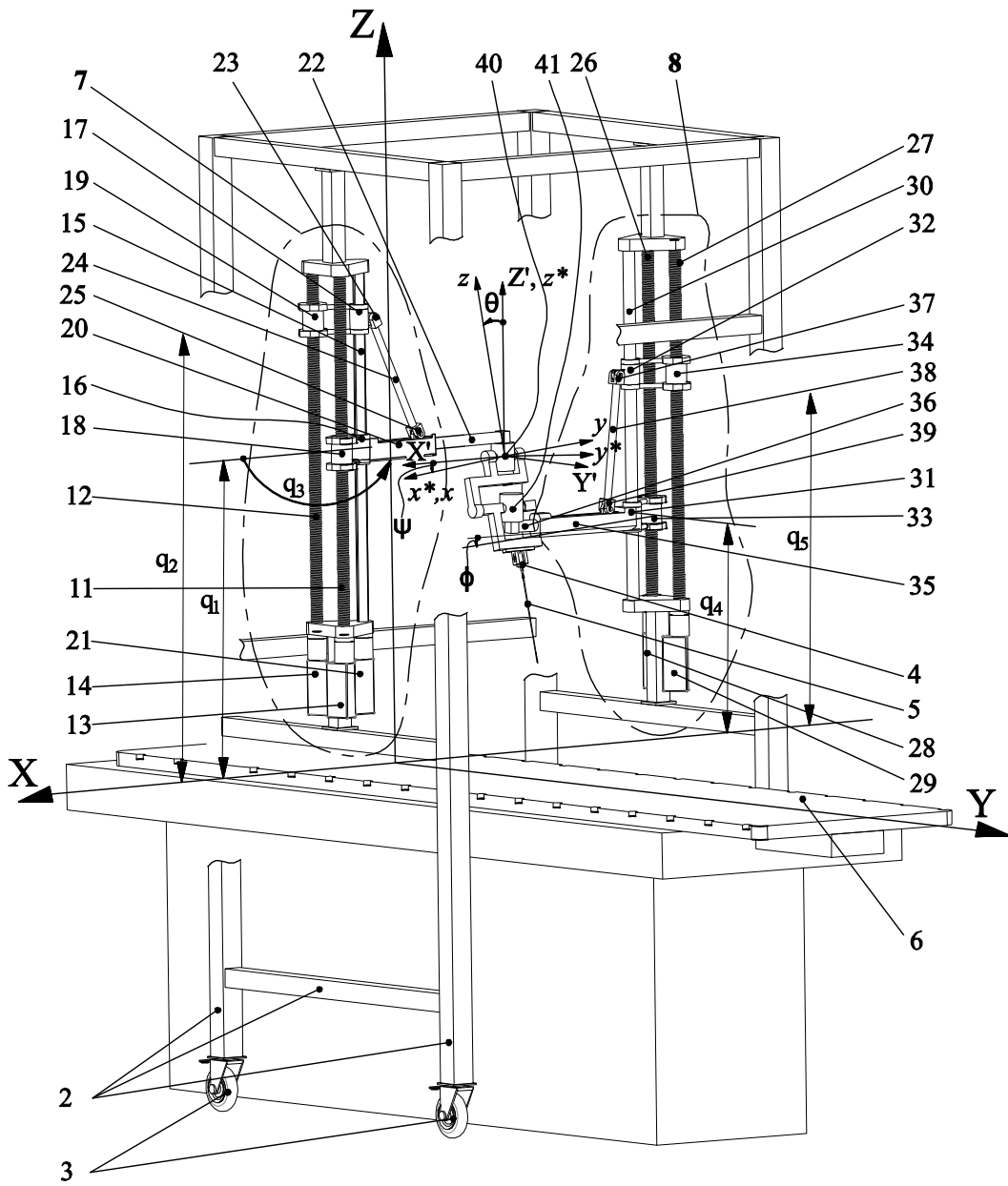


Figura 3

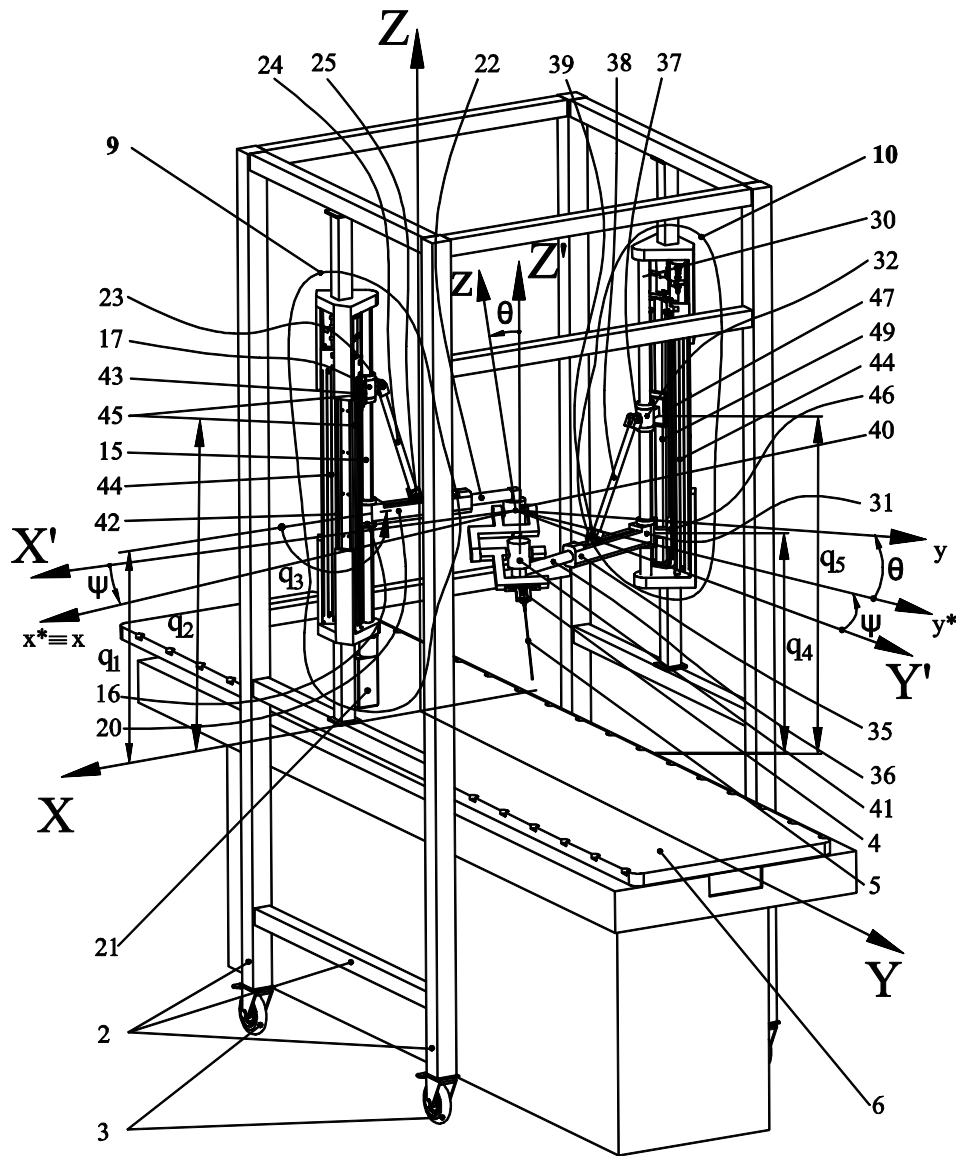


Figura 4

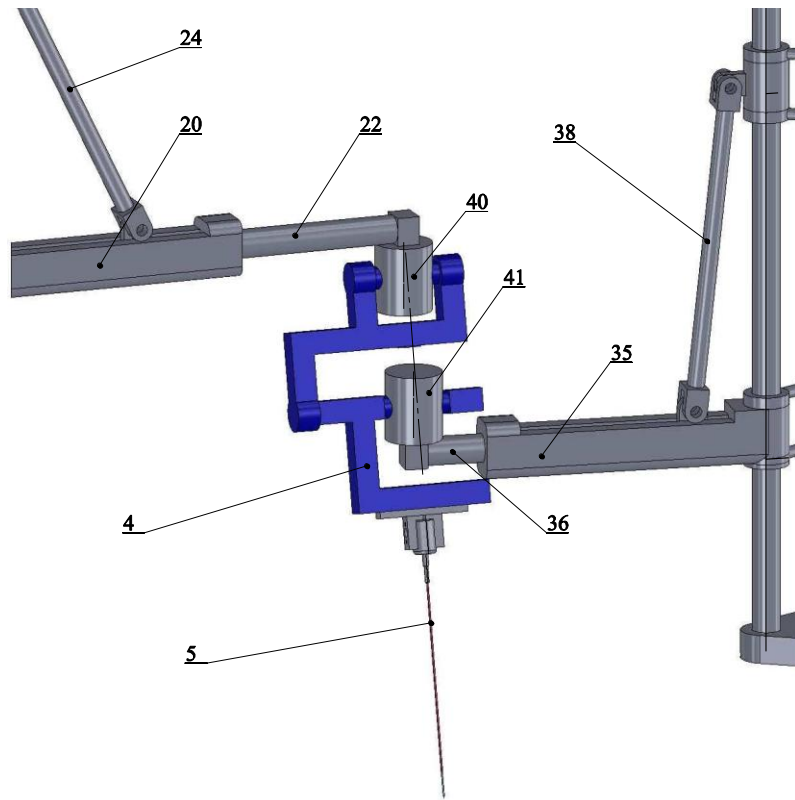


Figura 5