

MICROROBOTICA ȘI NANOROBOTICA – PROVOCĂRI ȘI OPORTUNITĂȚI MAJORE ALE INGINERIEI ÎN SEC. XXI

Prof. dr. habil. ing. Eur Ing Ionel STAREȚU^{1,2}

¹Universitatea „Transilvania” din Brașov, Brașov, România,

²Academia de Științe Tehnice din România, București, România

REZUMAT. Microrobotica și nanorobotica sunt două direcții de dezvoltare a societății foarte importante pentru prezent și viitor. Aplicațiile acestora vor fi generalizate la majoritatea produselor care se vor fabrica în perioadele următoare care vor acoperi domeniile atât ale ingineriei robotice aplicate cât și roboticilor medicale aplicate la care evident se va aplica pe scară largă Inteligența artificială. Microrobotica s-a dezvoltat pe baza perfecționării tehnologiei microsystemelor, structuri de dimensiuni micronice. Un microsystem complet este format din: micromotor, microsenzori și unitatea de procesare a informației. Nanorobotica se referă la nanosisteme, de dimensiuni submicronice, și este reprezentată de o categorie aparte de structuri și anume *nanorobotii*, care nu mai sunt supuși legilor mecanice clasice ci legilor interacțiunii multimoleculare sau moleculare. Nanorobotii-ca roboți inteligenți sunt evident chiar mai mici decât grosimea unui fir de păr. Unii oameni se tratează deja cu ajutorul nanorobotilor.

Cuvinte cheie: microrobotica, nanorobotica, microsysteme, nanosisteme, senzori.

ABSTRACT. Microrobotics and nanorobotics are two directions of development of society very important for the present and the future. Their applications will be generalized to most of the products that will be manufactured in the coming periods that will cover the fields of both applied robotic engineering and applied medical robotics to which artificial intelligence will obviously be widely applied. Microrobotics developed on the basis of perfecting the technology of microsystems, micron-sized structures. A complete microsystem consists of: micromotor, microsensors and the information processing unit. Nanorobotics refers to nanosystems, submicron in size, and is represented by a special category of structures, namely nanorobots, which are no longer subject to classical mechanical laws but to the laws of multimolecular or molecular interaction. Nanorobots-like intelligent robots are obviously even smaller than the thickness of a hair. Some people are already treating themselves with nanobots.

Keywords: Microrobotics, Nanorobotics, Microsystems, Nanosystems, Sensors.

1. INTRODUCERE

Microrobotica s-a dezvoltat pe baza perfecționării tehnologiei microsystemelor[1,2]. Un microsystem complet este format din: micromotor, microsenzori și unitatea de procesare a informației, bazată pe inteligența artificială[3,4].

Microrobotii sunt microsysteme complexe care folosesc diferite tipuri de micromotoare și microsenzori, fiind dotați cu algoritmi pentru procesarea semnalelor inteligente și a informației.

Criteriile de proiectare și etapele construirii microrobotilor și macrorobotilor sunt asemănătoare având în vedere particularitățile impuse de spațiul micro și de diferența de mărime.

Ca și la un macromecanism, la un microrobot mai întâi trebuie produse componentele funcționale cu dimensiunile și structurile interne dorite și apoi acestea urmează să fie montate și reglate precis.

Pentru a fi folositori, microrobotii trebuie să poată manevra piese de dimensiuni foarte mici și să se poată deplasa pe

distanțe mari cu viteze adecvate, să fie rezistenți și capabili să opereze într-un mediu riscant perioade lungi de timp fără întreținere.

2. APLICAȚII PRINCIPALE

Principalele aplicații ale microroboticii, în parte materializate, se prefigurează în: metrologie, ingineria fabricației, obiecte casnice, microasamblare, ingineria automatizării, tehnologia mediului inconjurător, medicină și bioinginerie.

Astfel, în industrie, respectiv, producție și metrologie, prezintă un interes deosebit sistemele de testare foarte sensibile cu microdimensiuni (pentru testarea microcipurilor). Totodată, câștigă teren roboții inteligenți, pentru întreținere și control, care trebuie să ajungă în zone inaccesibile (sisteme de conducte, schimbătoare de căldură, motoarele turboreactoare ale avioanelor. etc.) sau în medii de lucru periculoase (pentru detectarea

eventualelor scurgeri de fluide, a părților defecte și pentru a efectua reparații). Microasamblarea prezintă interes din perspectiva producției în masă a micro-sistemelor.

Diferitele componente (făcute din materiale diferite și prin diferite microtehnici) trebuie exact asamblate într-un pas sau mai mulți pași pentru a se obține microsystemul respectiv. Dacă este necesară o combinație a componentelor convenționale cu microcomponente este nevoie de o reglare foarte precisă și o flexibilitate mare a sistemului de asamblare. Asamblarea microsystemelor, care implică transportarea non-distructivă, manipularea precisă și poziționarea exactă a microcomponentelor, este una din cele mai importante aplicații ale microroboților.

Biotehnologia presupune microstructuri care să permită micromanipulări (sortarea și combinarea celulelor), măsurarea profilelor în țesuturi sau injectarea de substanțe străine într-o celulă cu ajutorul unui microscop. Un exemplu interesant este găsierea anumitor celule într-un țesut și transportul lor la locul de testare. O altă aplicație poate consta în plasarea într-o zonă restrânsă a unui țesut a unei microsonde echipată cu senzori biologici. În cercetarea genetică și tehnologia mediului înconjurător este necesară manipularea non-distructivă a unor celule, pentru a indica prezența unor substanțe periculoase. O clasificare a sarcinilor principale ale microroboților medicali poate fi observată în Fig. 1[5].

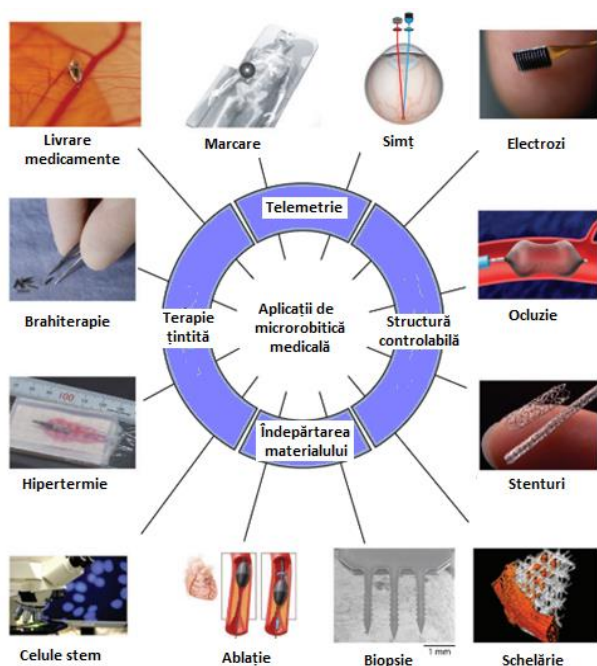


Fig. 1. Principalele aplicații ale microroboților medicali.

3. CLASIFICAREA MICROROBOȚILOR

Microroboții se clasifică: după *mărime*, după *structură*, după *funcționalitate* și după *sarcina specifică*[2].

După **mărime** există miniroboți, microroboți și nanoroboți.

Miniroboții au dimensiuni de câțiva centimetri cubi și sunt realizați din componente convenționale miniaturizate, pot genera forțe comparabile cu cele exercitate de operatorul uman în timpul manipulărilor fine, pot fi controlați de la distanță, au un anumit grad de inteligență (pentru a fi capabili să lucreze singuri), au o sursă proprie de energie.

Microroboții au dimensiuni de câțiva micrometri cubi, sunt structurați pe un cip și sunt formați dintr-un micromotor, un microsenzor și o unitate de procesare a informației. Un astfel de robot se poate realiza pe baza unor microtehnologii (cum este microprelucrarea de suprafață și în volum), trebuie să fie programabil și capabil să reacționeze la evenimente neprevăzute (poate fi controlat de la distanță). O dificultate majoră la acești roboți este proiectarea “cleștilor” săi.

Nanoroboții nu pot fi realizați pe principiile mecanicii clasice. Pentru aceștia servesc ca modele unele organisme biologice, inclusiv pentru realizarea nanosistemelor de acționare electrochimică.

După **structură** există mai multe variante de microroboți în funcție de combinațiile posibile între componentele principale (CU - unitatea de control, PS - sursa de putere, AP - micromotoarele de poziționare, AO - micromotoarele de operare – execuție) .

Se face observația că separarea sursei de putere și a controlului de unitatea de manipulare simplifică construcția microsystemului. Microroboții controlați prin cablu sau prin telecomandă au micromotoare integrate, fiind conectați la elementele de control și sursa de energie prin mijloace electrice, hidraulice sau pneumatice.

După **funcționalitate** microroboții se diferențiază în funcție de: mobilitate (da/nu), autonomie (sursă de energie încorporată / neîncorporată) și tipul de control (cu cablu / fără cablu). Microroboții pot avea mijloace proprii de deplasare sau se pot deplasa prin mijloace externe (de exemplu deplasarea de către curentul de sânge dintr-un vas sanguin), caz în care sunt mult mai greu de controlat. Funcționalitatea este puternic afectată de sursele de energie performante încorporate, care până în prezent nu sunt disponibile la nivelul cerințelor. Informația pentru controlul microrobotului se poate transmite, în absența cablului, prin interfețe acustice, optice, electromagnetice sau termice.

După **sarcina specifică** clasificarea se face în funcție de raportul C, dintre dimensiunile fizice și domeniul de operare al microrobotului. La $C \gg 1$ corespund microroboții care au mărimea de ordinul decimetrilor și pot îndeplini sarcini foarte precise (de ordinul micrometrilor sau nanometrilor), la $C=1$, corespund microroboții industriali miniaturizați, iar la $C \ll 1$ corespund microroboții de mărime microscopică (utilizați pentru transport, control sau asamblare). Un microrobot universal flexibil, ar trebui să corespundă caracteristicilor claselor extreme pentru a putea manipula foarte precis obiecte microscopice cu elementele efectoare și, totodată, pentru a se putea deplasa pe distanțe relativ mari.

4. SOLUȚII DE ACȚIONARE

Poate cea mai importantă și totodată cea mai dificilă problemă a microroboților este găsirea celei mai bune soluții de acționare. Importanța acționării cât și existența mai multor soluții de acționare rezultă din conceptul microrobotului multi-agent propus pentru controlul și întreținerea interiorului obiectelor inaccesibile sau periculoase. Microrobotul este format din patru subsisteme: o microcapsulă, o navetă bază, un modul de operare și un modul de inspecție fără cablu. Naveta bază răspunde de transportul modulelor, le furnizează energie și transferă datele între module și unitatea exterioară de control. Microcapsula, având sursa proprie de energie, are misiunea de a cerceta zonele inaccesibile, vulnerabile sau probabil deteriorate, după care raportează defectele (către unitatea de control exterioară). Modulul de control va analiza de asemenea zonele cu defecte și va transmite datele la aceeași unitate de control. În cazul constatării unor defecte, modulul de operare, conectat de naveta bază printr-un cablu de comunicare și putere, va efectua reparațiile necesare. Acest model a fost descris și pentru că poate fi folosit ca atare sau în forme derivate în aplicațiile medicale pentru diagnoza sau/și terapie. Pentru acționarea microroboților s-au propus mai multe soluții, cum ar fi: acționare cu micromotor cibernetic liniar silențios, acționare cu micromașină târătoare, acționare pe bază de peri, acționarea cu magneți distribuiți[6], acționarea piezoelectrică în mediu fluid, etc.

5. PRINCIPIILE MICROMANIPULĂRII

Micromanipularea este importantă atât pentru microasamblare (pentru producerea de micro sisteme) cât și pentru efectuarea anumitor microoperații cu caracter medical[1,7].

Se precizează că în prezent se au în vedere trei metode de micromanipulare: *total manuală* (folosind ciocănele și pensete foarte fine sub microscop), *telecomandată* (parțial automatizată) care prezintă greutatea în realizarea interfeței cu operatorul uman și *folosirea stațiilor computerizate automatizate, multifuncționale*, dotate cu microroboți flexibili. În general la o micromanipulare se întâlnesc următoarele secvențe: apucare și asamblare, prindere și transport, poziționare, decuplare, ajustare, fixare la locul potrivit, zgâriere și măsurarea forței și pași de procesare ca: tăiere, decapare, săpare, strângere, absorbție sau pulverizare, lipire, îndepărtarea impurităților, etc.

Efectuarea acestor operații necesită microunelt ca: microcuțite, microace (pentru fixarea microobiectelor, diuze de microdozare pentru lipire, dispozitive microlaser pentru lipire, sudură și tăiere, clești, micropensete, etc. Trebuie precizat că relativ la forțele de interacțiune între microobiecte și microunelt greutatea este neglijabilă, pe când forțele electrostatice și forțele Van-der-Waals sunt importante. De asemenea se menționează că o problemă importantă și totodată dificilă este transmiterea informației din spațiul micro în spațiul macro (tehnologia din prezent permite cu greu și numai în anumite situații obținerea informației din spațiul micro). De obicei se folosește un microscop optic cu lumina stereo, utilizare limitată de distanța dintre obiectiv și masa sondei (10-20 mm) și

lungimea de undă a luminii vizibile (până la 400 nm). O soluție poate fi ca stația de micromanipulare să fie amplasată în camera vidată a unui microscop electronic cu baleiere. În contextul celor de mai sus se mai precizează: productivitatea unui sistem de micromanipulare este redusă în cazul operării manuale; creșterea productivității se poate obține prin teleoperare și, în etapa următoare, prin automatizare; operația trebuie să fie perceptibilă pentru operator și acesta trebuie să primească corect informația de procesare; pe lângă informația vizuală este necesară informația acustică și sesizarea forței pentru a evita distrugerea microobiectelor (pentru aceasta microunelt, respectiv cleștii trebuie dotați cu senzori adecvați). Cele mai multe dintre principiile micromanipulării prezentate în acest paragraf cu adaptările necesare sunt valabile și pentru aplicațiile medicale.

6. EXEMPLE DE MICROROBOȚI

În această categorie intră atât sistemele de micromanipulare cât și microroboții propriu-ziși (mini, micro și nanoroboți). Componentele principale ale unui sistem de micromanipulare sunt: operatorul uman, modulul de operare (pârghia 3D), monitorul, difuzoarele stereo, rețeaua de calculatoare și unitatea de comunicare, unitatea de control și acționare, convertorul de semnal forță-sunet, elementele de poziționare grosieră, elementele de poziționare precisă, masa probei, microscopul optic stereo, camera video CCD, senzorii de forță multiaxiali și efectorul final. Informațiile de la camera video CCD și implicit de la microscop sunt afișate pe monitor.

Semnalele senzorilor de forță sunt transformate în semnale acustice corespunzătoare. Operarea se face cu ajutorul unui joystick. O astfel de structură, poate avea în zona de poziționare fină, o rezoluție de 600 μm pe axele „x” și „y” și de 800 μm pe axa „z”. Sistemul se poate folosi inclusiv pentru microchirurgie, caz în care efectorul final este un instrument chirurgical. Această structură sau structuri derivate au fost realizate în mai multe forme constructive și sunt în continuă perfecționare.

Din categoria miniroboților propriu-ziși se dă exemplul din Fig. 2, realizat la M.I.T. (SUA), care are senzori de lumină și poate identifica umbre unde să se ascundă. Energia este furnizată prin cablu[8]. La dimensiuni și mai mici astfel de roboți ar putea fi trimiși pentru inspecții în corpul uman.

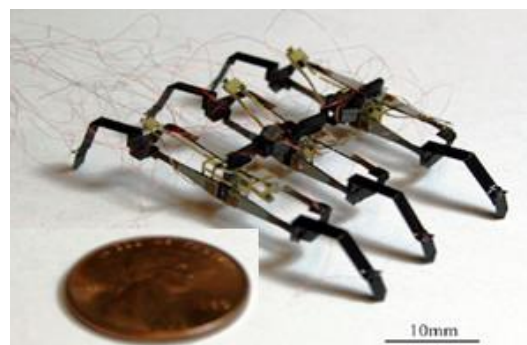


Fig. 2. Minirobot M.I.T.

O altă variantă de minirobot (realizată de „Sandia National Laboratories”[9]), este dotată cu șenile, un microprocesor de 8k, senzori de temperatură și două micromotoare electrice, urmând a fi dotat cu o microcameră video și un senzor chimic. Energia este asigurată de două microbaterii de ceas(Fig.3).



Fig. 3. Minirobotul Sandia National Laboratories.

Microroboții se pot obține din miniroboți prin micșorarea dimensiunilor dar și adaptări specifice. O categorie aparte sunt *nanoroboții*, care nu mai sunt supuși legilor mecanice clasice ci legilor interacțiunii multimoleculare sau moleculare. Nanoroboții-ca roboți inteligenți sunt evident chiar mai mici decât grosimea unui fir de păr. Unii oameni se tratează deja cu ajutorul nanoroboților. Aceste mașinării minuscule intră în organism și vindecă țesuturile. În ciuda faptului că sunt așa mici, nanoroboții sunt capabili să fie monitorizați și să trimită informații către un centru de comandă. Ideea de a construi nanoroboți datează încă din 1959, când marele fizician Richard Feynman o propune într-un discurs. Termenul de *nanotehnologie* apare în 1974, mulțumită lui Norio Taniguchi, profesor la Universitatea din Tokyo. Domeniul a prins curaj, însă, abia în anii 1980, iar în prezent se află în plină ascensiune. Un nanorobot generic este format din componentele evidențiate în Fig. 4: 1-dispozitiv de lucru, 2- braț manipulator telescopic, 3-nanomanipulator, 4-manipulator specializat, 5-nanosenzor biomolecular, 6-senzor acustic, 7-senzor de proximitate, 8-antena, 9-conector, 10-element de conectare, 11- zonă de conectare, 12-senzori[10].

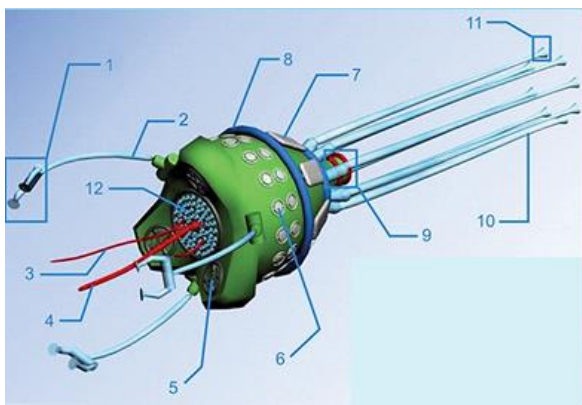


Fig. 4. Componentele unui nanorobot.

În același context se mai adaugă că cercetătorii de la *Universitatea din Cornell* au construit un motor bio-molecular, folosind o proteină luată de la bacteria *Escherichia coli*. Nanoroboții, mai mici de 5 ori decât o globulă roșie(Fig. 5), vor fi introduși în organism, vindecând bolile încă din fazele incipiente. Carbonul ar putea fi elementul principal din care se vor construi nanoroboții, iar pentru diversele componente se vor folosi hidrogenul, oxigenul, azotul și siliciul. În interiorul lui, nanorobotul va avea un mini-computer care va putea realiza peste 1000 de operații matematice pe secundă. Comunicarea cu acești roboți minusculi din interior spre exterior și invers se face cu ajutorul semnalelor acustice.

Nanotehnologia se poate aplica în mai multe domenii, cum ar fi:

Farmacologia - în care nanorobotul are rolul de a transporta substanțele medicamentoase în diferite zone ale corpului.

Stomatologia – în care nanoroboții prezenți de exemplu în cavitatea bucală distrug bacteriile și tartrul.

Dermatologia – în care nanoroboții îndepărtează celulele moarte, reface țesutul cutanat și curăță pielea.

Imunologia-în care nanoroboții identifică și distrug virușii și bacteriile.

Oncologia – în care nanoroboții oferă date exacte despre tumoră și o distrug încă din faze incipiente.

Referitor la *nanotehnologie* se mai menționează că oamenii de știință din *Institutul de Tehnologie din California*, au observat că după ce nanoparticulele antitumorale identifică celulele canceroase, pătrund în interiorul acestora. Apoi se dezintegrează și eliberează cantități de ARN. În prima fază a studiului din cadrul *Institutului de Tehnologie din California*, doctorii și cercetătorii au administrat pacienților cu diverse tipuri de tumori, cantități mici de nanoparticule antitumorale.

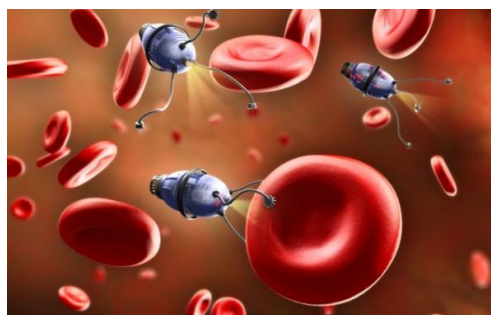


Fig. 5. Manipularea globulelor roșii cu nanoroboți[10].

Pacienții au urmat tratamentul de 4 ori pe zi prin cale intravenoasă, timp de 21 de zile. O ședință de administrare a nanoparticulelor durează 30 de minute. După un timp de la tratament, doctorii au observat ca mostrele prelevate de la pacienți au un rezultat încurajator. Nanoparticulele au reușit să identifice tumorile canceroase și au reușit cu succes să se infiltreze în ele(Fig.6). Cercetătorii au trecut apoi la următoarea fază a proiectului, mai precis la cea care presupune vindecarea totală a pacientului.

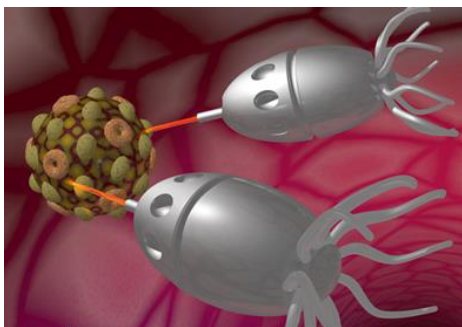


Fig. 6. Nanoparticole-nanoroboți interacționând cu structuri canceroase [10].

6.1.. Microroboți medicali de investigare, transport și de intervenție

Acești microroboți medicali sunt poate cele mai complexe microstructuri robotice cu care însă, se speră obținerea unor rezultate, chiar, spectaculoase într-un viitor nu foarte îndepărtat. Structura unui microrobot medical este formată dintr-un modul energetic, dintr-un modul de deplasare, dintr-un modul de lucru, respectiv, de intervenție și dintr-un modul electronic de control și comandă.

Modulul energetic asigură energia necesară funcționării (de regulă energie electrică furnizată de microbaterii).

Modulul de deplasare asigură deplasarea microrobotului care poate fi pasivă sau activă.

Deplasarea pasivă se realizează prin antrenarea microrobotului de diverse substanțe gazoase, lichide sau semisolide care circulă în organism. *Deplasarea activă* poate fi indirectă, când este realizată de la distanță (prin cablu sau un câmp de forțe - câmp magnetic), sau directă, când se obține printr-un mijloc de propulsie propriu.

Modulul de lucru poate fi de investigare (când este dotat cu o cameră video), de transport (când este un rezervor ce conține o anumită doză de substanță medicamentoasă), sau poate fi de intervenție (când este dotat cu microinstrumente, inclusiv microprehensoare cu care se poate interveni asupra țesuturilor). Acest modul poate fi simplu (poate îndeplini o singură activitate) sau complex (poate îndeplini mai multe activități).

Modulul de control și comandă asigură: controlul funcționării microrobotului folosind microsenzori specifici, legătura cu unitatea centrală exterioară și comanda funcționării în urma procesării informației sau semnalelor primite de la unitatea centrală exterioară.

Particularitățile constructive ale acestor module sunt similare cu ale modulelor corespunzătoare din componența microsystemelor.

Funcțional, microroboții medicali pot îndeplini activități de investigare, de transport sau de intervenție asupra țesuturilor. Există microroboți care pot realiza un singur tip de acțiune și microroboți care pot îndeplini mai multe activități (în varianta cea mai complexă: investigare, transport și intervenție).

Microroboții se pot deplasa în organism pe căile magistrale (ale aparatului respirator, ale aparatului digestiv, ale aparatului circulator-prin aortă sau venele cave), sau în

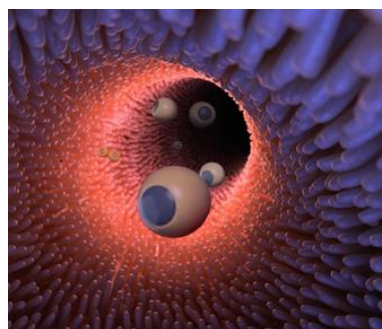
spațiile mai mici (din zona aparatului auditiv, unele zone ale aparatului vizual), iar în viitor, la un grad mai mare de miniaturizare, ar putea să pătrundă în structurile organelor interne și structurile țesuturilor (de exemplu țesuturile musculare).

Ca urmare, acești microroboți pot furniza imagini din zone inaccesibile, prin alte metode (ca cele endoscopice), ale intestinului subțire, anumite părți ale sistemului circulator etc., pot transporta doze de medicamente în zonele țintă sau pot executa intervenții cu ajutorul microinstrumentelor de care dispun (de exemplu distrugerea unei tumori maligne în stare incipientă).

În funcție de sarcinile indeplinite există: microroboți de investigare, microroboți de investigare și transport și microroboți de investigare, transport și intervenție. Dintre aceștia primii sunt deja operaționali, iar ceilalți sunt în diferite faze de concepție, fabricare sau testare.

Evident că în funcție de sarcinile pe care le au de îndeplinit structura este adaptată corespunzător.

a. Microroboți de investigare. Investigarea cu acești roboți pe lângă accesul în zone de unde nu se *pot culege informații cu alte metode* (endoscoape, substanțe optice active etc.) are avantajul să furnizeze imagini din imediata vecinătate a structurilor vizate (Fig. 7a), aspect foarte important pentru aprecierea corectă a situației și punerea diagnosticului [11]



a



b

Fig. 7. Microrobot de investigare în mediul investigat (a) și Microrobot de investigare tip capsulă (b) [12].

În Fig. 7b este prezentat un microrobot de investigare. Microrobotul de endoscopie, capsulă OMOM, este format din patru părți principale: o capsulă inteligentă, un recorder de înregistrare a imaginilor, un monitor portabil în timp real și o stație de lucru pentru computer. Capsula OMOM are un diametru exterior de 13 mm și o lungime de 27,9 mm și cântărește 6 g. Imaginile sunt, în general, realizate la o rată de 2 cadre / s, deși rata poate fi modificată în timpul

investigației, o caracteristică unică a acestui sistem de endoscop cu capsule. Există 14 elemente de receptori plasate aproape de suprafața abdomenului și taliei în jacheta de înregistrare. Durata funcționării bateriei capsulei OMOM este de aproximativ 8 ore, similar cu capsula destinată investigației intestinului subțire de tip PillCam.

În general o astfel de capsulă-microrobot de investigație este înghițită și se deplasează odată cu desfășurarea procesului de digestie. După ce a ajuns în zona de investigație cum ar fi intestinul subțire camera video este activată și pot fi luate mii de imagini color ale conținutului pereților din jurul ei. Imaginile sunt transmise cu ajutorul emițătorului propriu la unul exterior atașat la un dispozitiv de stocare purtat la o centură pe toată durata testului. În orice moment după încetarea transmiterii, aproximativ zece ore, capsula fiind deja în intestinul gros (colon) imaginile din dispozitivul de stocare pot fi descărcate într-un calculator special unde ele sunt analizate de către doctor. În timpul testului pacientul își desfășoară activitatea normală. Microcapsula după un timp este eliminată natural dar este nereutilizabilă.

Microrobotul poate fi folosit la diagnosticarea colicilor, înțelegerii durerilor abdominale, depistării tumorilor intestinale, anemiilor cauzate de deficitul de fier și hemoragiilor interne. Se pot depista astfel multiple afecțiuni apărute în intestin până la extinderea lor la colon, unde pot fi mai ușor de diagnosticat dar poate prea târziu.

Perspectivile acestor microroboți sunt foarte încurajatoare.

b. Microroboți de transport. Acești microroboți pot transporta o anumită cantitate dintr-un medicament la o anumită zonă țintă unde o livrează integral sau în doze succesive.

Un exemplu de astfel de microrobot este așa denumită *pilula torpila* descrisă în literatura de specialitate și care este destinată tratării infecțiilor intestinale.

Microrobotul are 2 cm lungime și în jur de 1 cm în diametru și este alcătuit din următoarele componente principale: un container pentru medicament, un dispozitiv de eliberare a medicamentului, o antenă și un eventual emițător. Învelișul exterior este rezistent la acțiunea acidului gastric. Deplasarea este pasivă, prin alimente. Microrobotul pilulă este urmărit în timp ce se deplasează pe un monitor care primește informații de la un dispozitiv de detectare cu ultrasunet sau raze X. Un alt exemplu de microrobot de transport este arătat în Fig. 8, caz în care deplasarea este asigurată de o elice elicoidală.

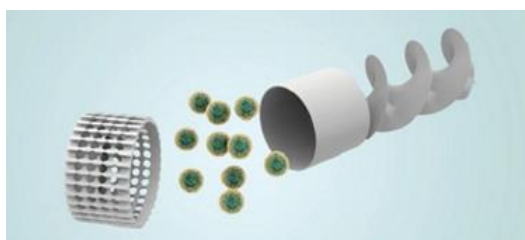


Fig. 8. Microrobot de transport[10].

c. Microroboți de intervenție. Acestea sunt cele mai complexe microstructuri robotice și pe lângă funcția de

intervenție pot avea funcție de investigație și/sau funcție de transport.

Microroboții medicali de acest fel au, de obicei, surse proprii de propulsie sau sunt dirijați indirect din exterior. Un exemplu de astfel de microrobot este format din: o sursă de energie (microbaterii), o unitate de amplificare, depozitele de medicamente, microvalve, unitatea senzorială, microaparatură de extracție probe și tuburile de evacuare a medicamentelor. Microrobotul are forma unei microtorpile cu 10 mm lungime și 5 mm în diametru.

Microrobotul are de îndeplinit două funcții: transportul unor medicamente și recoltarea unor eșantioane de țesut pentru a fi supuse unei analize detaliate. Deplasarea este controlată din exterior.

Când ajunge în zona de destinație este comandată eliberarea unui anumit medicament (pot fi mai multe containere care conțin câte un medicament diferit sau doze din același medicament). Eliberarea medicamentului se obține prin deschiderea microvalvelor. De asemenea din zona prestabilită se poate extrage o mostră de țesut cu ajutorul dispozitivului dispus în partea frontală a microsistemului. Semnalele de comandă de la unitatea centrală exterioară ca și informațiile privind situația locală sunt receptate și transmise mai departe de unitatea senzorială.

Variante ale unor astfel de roboți pot fi folosite chiar pentru operații microchirurgicale. Ajungerea la organele bolnave se va face prin utilizarea vaselor de sânge (arterelor și venelor) pentru deplasare, tehnică denumită *engioplastie* (Fig. 9) [13].

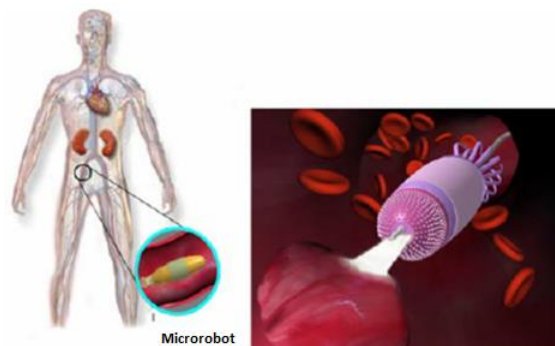


Fig. 9. Microrobot de intervenție.

6.2. Microroboți medicali intraoculari

Microroboții intraoculari sunt de o factură specială și cumva multifuncționali și de aceea sunt prezentați separat. Ei sunt chiar un nou instrument wireless pentru viitoarele operații oculare și câștigă rapid interes ca dispozitive de diagnostic, terapeutice în vivo. Pentru a utiliza acești microroboți în aplicații oftalmice viitoare, cum ar fi ERM, administrarea localizată de medicamente sau perforarea venelor retiniene, aceștia trebuie să prezinte biocompatibilitate, stabilitate mecanică, proprietăți hipoalergenice, noncarcinogene și chimic inerte. Mai mult, tehnologia trebuie să permită chirurgului să controleze cu precizie rotația și translația microrobotului în interiorul vitrei. În

acest sens se investighează mobilitatea microroboților intraoculari ca instrumente potențiale pentru microchirurgie. Scopul este de a înțelege mobilitatea robotului în segmentul ochiului posterior cu umor vitros, precum și după înlocuirea vitrei cu diferite medii.

Fig. 10a prezintă un microrobot, care este injectat, în secțiunea posterioară a ochiului prin regiunea pars plană a sclerei. Microrobotul este controlat fără fir și poate fi îndepărtat cu un instrument magnetic.

Microrobotul moale, magnetic are forma unui cilindru gol cu diametrul exterior de 285 μm și diametrul interior de 125 μm ; lungimea sa este de 1800 μm . Diametrul exterior este ales astfel încât microrobotul să se potrivească cu un ac de 23 G, așa cum se arată în Fig. 11b. Microrobotul este netoxic folosind polipirol sau acoperiri metalice inerte, care au fost testate pentru viabilitatea celulelor de către *Sivaraman și colab.*, iar metodele de fabricație personalizate permit o flexibilitate ridicată în diametru, lungime și spectru magnetic[14].

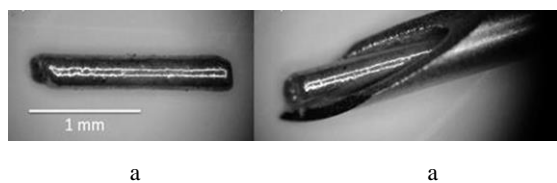


Fig.10. Microrobot intraocular.

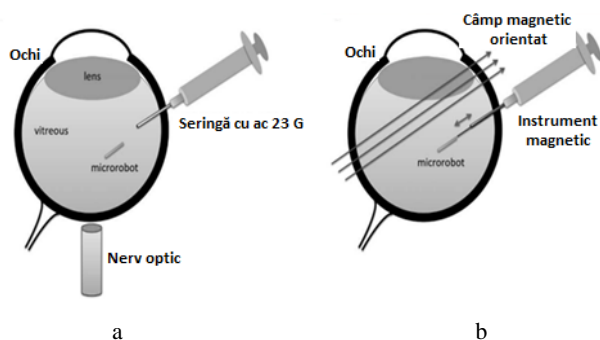


Fig. 11. Schema unui ochi cu iluminare transsclerală și microrobotul injectat(a) și îndepărtarea microrobotului intravitreal folosind un instrument magnetic(b).

7. CONCLUZII

Aspectele prezentate în legătură cu *microrobotica* și *nanorobotica* dau prilejul la câteva considerații privind tendința de miniaturizare a structurilor atât naturală cât și artificială, ca și privind tendințele de dezvoltare și multiplicare ale interfețelor între diferite sisteme interdependente din spațiul înconjurător[2].

O analiză succintă a evoluției structurilor biologice ne arată că din cele două direcții posibile(gigantism și miniaturism), după o scurtă experimetare a celei dintâi, culminând cu structurile biologice uriașe de tipul dinozaurilor, pe uscat aceasta a fost abandonată, iar în mediu marin a rămas periferică. Parcurgerea celei de a doua direcții a permis apariția materiei superior organizate a creierului și

echiparea sa cu subsistemele necesare unei activități complexe de supraviețuire și lucrative în mediul natural. Este rezonabil să se estimeze că această situație se va menține și în viitor pe baza presupunerii că s-a ajuns la un echilibru optim între caracteristicile structurii umane (antropometrie, capacități de deplasare, capacități de procesare a substanțelor și informației, posibilități de intervenție asupra elementelor înconjurătoare inclusiv crearea de structuri artificiale complexe, etc.) și caracteristicile naturale (acelerație gravitațională, alternanța zi-noapte, caracteristicile câmpului magnetic terestru, clima și factorii climatici, procesele naturale de generare și procesare a substanțelor, echilibrul general între substanțele gazoase, lichide și solide, adaptarea la spațiul limitat al planetei pe măsura creșterii numărului de indivizi ai diferitelor populații naturale(vezi tehnica *bonsai*), numărul indivizilor umani a depășit de curând 8 miliarde, pe când numărul indivizilor din celelalte specii de viețuitoare a rămas relativ constant cu ușoare scăderi la unele specii(cele care au dispărut în timp au fost înlocuite cel puțin parțial de altele noi s-au prin creșteri a unora deja existente), factorii interplanetari și cei derivați din particularitățile poziției și mișcării planetei în relație cu Soarele etc. Dacă tendința de miniaturizare se va menține nu este lipsită de interes estimarea limitelor acesteia. Miniaturizarea naturală probabil va continua prin evoluția speciilor în acest sens, paralel cu dezvoltarea materiei cerebrale sub aspectul măririi, dar și prin creșterea complexității proceselor posibile.

Dacă aglomerarea materiei cerebrale se poate presupune că va fi lentă, posibilitatea creșterii complexității proceselor cerebrale poate fi accelerată sau stimulată. Aceasta se poate face prin extinderea capacităților senzoriale prin soluții artificiale și prin utilizarea rezervelor latente (în așteptare) ale creierului, prin tehnici de accesare și punere în valoare de tipul *realității virtuale*. Pentru ambele direcții cercetărilor de anatomie, fiziologie, psihologie etc., pe de o parte, ca și cele de mecatronică, electronică, robotică, microrobotică și nanorobotică etc., pe de altă parte, sunt esențiale. Se ajunge astfel la întrebarea dacă nu este posibil ca specia umană să se continue cu *specia* roboților umanoizi artificiali.

În concluzie, miniaturizarea naturală este aproape stabilizată și pe punctul de a face joncțiune cu miniaturizarea artificială, prin tehnicile de manipulare și sinteză a structurilor celulare și de la acestea a celor multicelulare similare cu cele naturale. Relativ la a doua tendință majoră se constată creșterea distanței între sistemele interdependente, în principal prin crearea și dezvoltarea unor interfețe artificiale, din ce în ce mai complexe. Dintre sisteme, cele mai importante sunt cel social și cel natural, care formează tandemul societate-natură, între care interfețele concomitant se multiplică și cresc în complexitate.

Evident că realizarea și optimizarea acestor interfețe va solicita tot mai mult capacitățile creierului de procesare a informațiilor. În această situație, interfața preferată ar putea fi pe de o parte extinderea capacităților senzoriale umane pe cale artificială, iar pe de altă parte de creare a unei structuri artificiale care să constituie o prelungire a ființei umane, cum pot fi roboții de serviciu antropomorfi și ulterior roboții umanoizi artificiali, evident bazați pe inteligența artificială (AI).

Se constată că cele două tendințe, considerate majore converg spre o soluție comună: robotul artificial umanoid. Constatarea nu poate decât să susțină toate demersurile în această direcție, pentru asigurarea unei perspective evoluției și continuității civilizației.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Nicolas Chaillet, Stephane Regnier, *Microrobotics for Micromanipulation*, Wiley Online Library, 21 February 2013.
- [2] Ionel Starețu, *Elemente de robotică medicală și protezare*, Ed. Lux Libris, Brașov, România, 2004.
- [3] Ahmad Awde, Mokrane Boudaoud, Mélanie Macioce, Stéphane Regnier, Cédric Cleve, *A Microrobotic Approach for the Intuitive Assembly of Industrial Electrooptical Sensors Based on Closed-Loop Light Feeling*, IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 2022, pp.1 - 10.
- [4] Esteban-Fernandez de Avila B, Gao W, Karshalev E, Zhang L and Wang J, *Cell-like micromotors*, Acc. Chem. Res. 51, 2018, pp. 1901–10
- [5] Informație pe: <https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/exhibit99.htm> (sec.gov).
- [6] Xie H, Sun M, Fan X, Lin Z, Chen W, Wang L, Dong L and He Q 2019 *Reconfigurable magnetic microrobot swarm: multimode transformation, locomotion, and manipulation*, Sci. Robot. 2019.
- [7] Hakan Ceylan, Joshua Giltinan, Kristen Kozielskia, Metin Sitti, *Mobile microrobots for bioengineering applications*, Lab Chip, 2017, Vol. 17, pp. 1705-1724.
- [8] Informație pe: [Photograph | Hannibal - Microrobot | Science Source Images](#).
- [9] Informație pe: [News Release - Mini-robot research \(sandia.gov\)](#).
- [10] Sarath Kumar, S. Beena, P. Nasim, Elesy Abraham, *Nanorobots a Future Device for Diagnosis and Treatment*, Journal of Pharmacy and Pharmaceutics, 2018.
- [11] Informație pe: [Microrobots Activated by Laser Pulses Show Promise For Treating Tumors | www.caltech.edu](#).
- [12] S. S. Mapara, V. B. Patravale, *Medical capsule robots: a renaissance for diagnostics, drug delivery and surgical treatment*, J. Control. Release 261, 2017, pp. 337–51.
- [13] S. Park, K. Cha, J. Park, *Development of Biomedical Microrobot for Intravascular Therapy*, 2010, International Journal of Advanced Robotic Systems, Vol. VII.
- [14] Franziska Ullrich, Christos Bergeles, Juho Pokki, Olgac Ergeneman, Sandro Erni, George Chatzipirpiridis, Salvador Pané, Carsten Framme, Bradley J. Nelson, *Mobility Experiments With Microrobots for Minimally Invasive Intraocular Surgery*, Investigative Ophthalmology & Visual Science, April 2013, Vol.54, pp. 2853-2863.

Despre autor

Prof. univ. dr. habil. ing. Eur Ing Ionel STAREȚU
Universitatea „Transilvania” din Brașov, Brașov, România,
Academia de Științe Tehnice din România

Este absolvent al Facultății TCM a Universității „Transilvania” din Brașov (1983). A obținut titlul de Doctor Inginer în specializarea Roboți Industriali în 1995. Specializări în Tribologie (Universitatea „Transilvania” din Brașov-1990), Robotique et Productique (INSTN din Saclay, Franța-1992/1993), Managementul Organizației (IAI și Universitatea „Transilvania” din Brașov-1999/2000), Managementul Calității (2003) și Auditul Calității (2004) la Universitatea „Transilvania” din Brașov, Abilitat în *Mecatronică și Robotică-Universitatea din Craiova* (2022). Din 2003 este *Expert tehnic extrajudiciar și Consultant* certificat de CERTEXPERT București și A.E.X.E.A. Paris. Activează din 1985 la catedra de *Design de Prods și Robotica*, în prezent *Departamentul de Design de Prods, Mectronică și Mediu*, de la Universitatea „Transilvania” din Brașov. A publicat ca singur autor sau coautor: 7 cărți (una *Gripping systems* în SUA, singur autor), 5 lucrări didactice și peste 220 articole științifice în țară și în străinătate. Este autor sau coautor la 11 brevete de invenție. A contribuit la rezolvarea a peste 24 granturi de cercetare științifice naționale și internaționale (la 4 ca director de grant). Este președintele Filialei Brașov a Societății Române de Robotică, președinte al Sucursalei AGIR Brașov, membru ARO-TMM și expert în Robotică al Societății Academice din România, membru CRIFȘT - Academia Română. Este conducător de doctorat în domeniul *Ingineriei Industriale*. Din anul 2017 este membru correspondent al Academiei de Științe Tehnice din România-ASTR. E-mail: staretu@unitbv.ro.