Utilizare inovatoare a senzorilor de orientare cu posibilă aplicație în proceduri urologice laparoscopice sau percutanate care implică terapia focală

B. Petruț, M. Hogea, D. Feflea, V. Schițcu
Institutul Oncologic „Prof. I. Chiricuță" Cluj-Napoca

Abstract

Introduction: Attitude tracking is a method for orientation estimation using sensors. Recent technical developments, coupled with increased sensitivity and lower costs, make for an attractive solution for problems current in medical situations. This paper serves as a proof of concept that attitude tracking can aid in the guidance of specific diagnostic or treatment procedures, as well as proposing a sensing device. An experimental model was designed for assessment and comparison with a control.
Materials and method: The sensing device allows the selection of 2 given angles of inclination and indicates the bisectrix. Coupled with an ultrasound probe, it helps determine the exact angled plane at which a centered puncture should be realized. The experimental model consisted of several symmetric objects suspended in gelatin. The device, coupled with the ultrasound probe and a needle guide, were handled by an experienced surgeon. The needle was aimed at the center of the objects, with and without attitude aid. The distance from needle tip to geometric centre was recorded, as was procedure duration. A paired student t-test was performed.
Results: 40 punctures were performed. In orientation-aided cases, mean distance from centre was 1.0mm, standard deviation 0.743mm, puncture time 7.2s. In the control, the mean distance from centre was 3.20mm, standard deviation 2.38mm, average puncture time 5.3s. P-value was <0.001.
Conclusions: Attitude tracking is a promising direction for improving ultrasound guided diagnostic or therapeutic procedures' precision. Our device successfully improved the results of an experienced surgeon, at the small cost of increased procedure time.

Key words: attitude tracking, ultrasound guided diagnosis

Corespondență: Petruț Bogdan
Institutul Oncologic „Prof. I. Chiricuță" Cluj-Napoca
Str. Republicii Nr. 34-36, 400015 Cluj-Napoca, Județul Cluj, Romania
Tel: 0264-59.83.61 Fax: 0264-59.83.65.

1.Introducere

1.1. Introducere

Urologia a fost întotdeauna printre specialităţile chirurgicale cele mai tehnologizate, beneficiind probabil mai mult decât alte ramuri medicale de pe urma progresului imagisticii şi al ingineriei. Astfel, de a lungul anilor, evoluţia ce a dus la miniaturizarea camerelor video a făcut posibilă întâi endoscopia, laparoscopia şi ulterior robotica deschizând un univers vast pe care nu multe alte specialităţi îl posedă. [1,2, 3]

Urologia a profitat din plin şi de pe urma progresului imagisticii. În prezent, capacitatea de investigare şi documentare a tractului urinar include un arsenal complet, de la radiografii banale, la floroscopie, tomografie computerizata la imagistica nucleară. Aceste incestigaţii sunt cruciale în stabilirea unui diagnostic, a unui plan terapetic sau chiar intraoperator. Principalele zone de interes pentru intervenţiile realizate sub ghidaj imagistic sunt patologiile prostatei şi a rinichiului.

Diagnosticul precoce in cancerul de prostată datorită urmăririi active a PSA, sau in cancerul renal odată cu creşterea disponibilităţii ecografiei abdominale a condus la detecţia tumorilor de dimensiuni în stadii intracapsulare care afectează nesemnificativ funcţia si cantitatea de parenchim sănătos restant. Acest lucru a stimulat dezvoltarea tehnicilor de excizie sau distrugere a ţseutului tumoral cu prezervarea organului afectat: terapia focală. [4]

În acest context imagistica trebuie considerată un aliat puternic în sporirea preciziei de aplicare a unui anumit tratament şi minimalizarea morbidităţii colaterale. Importanţa preciziei este evidentă, şi uşor de ilustrat: un simplu calcul ne arată că o eroare de 2mm în poziţionarea vârfului acului de ablaţie prin radiofrecvenţa în cazul tratamentului focal al unei tumori renale de 35 mm diametru duce la 1,4 cmc ţesut tumoral restant (sau, altfel spus, 1,4 cmc ţesut sănătos ablat colateral).

Navigaţia chirurgicală constă în urmărirea instrumentelor chirurgicale şi prezentarea informaţiei operatorului în situaţii în care viziunea directă nu este posibilă (cum ar fi neurochirurgia) sau în situaţiile de planificare preoperatorie a intervenţiei. In general, instrumentele sunt urmărite (prin metode optice, magnetice, mecanice) iar informaţia imagistică este sincronizată pentru a permite transferul planului dinainte conceput intra-operator. Momentan există puţine aplicaţii în urologie, existând totuşi tentative de navigaţie [5] şi realitate augmentată în laparoscopia urologică [6].

1.2. Introducere în detecţia orientării

Realizarea unei puncţii renale ecoghidate se confruntă cu problema folosirii imaginilor bidimensionale în dirijarea unui ac într-un spaţiu tridimensional. Acest proces este puternic dependent de operator, întrucât acestuia îi revine sarcina de a integra informaţia ultrasonografica, dependentă, printre altele, şi de mişcările mâinii sale, în planificarea traiectoriei. Un plus de dificultate îl reprezintă şi mişcările fiziologice ale organelor în timpul intervenţiilor[6].

Detecţia orientării implică folosirea de senzori pentru a determina poziţia unui obiect pe axele sale de rotaţie. Aceasta poate fi realizată prin mai multe mijloace: optic, magnetic, mecanic.

Sistemele optice necesită camere video, analiză imagistică şi este dependentă de mediul de lucru. Sistemele magnetice prezintă dezavantajul interferenţelor numeroase ce pot apărea datorită unor câmpuri magnetice incidentale (adesea inevitabile în sala de operaţie), iar sistemele mecanice sunt cel mai adesea imobile şi ne-ergonomice.

Sistemele de senzori de tip MEMS (microelectromecanic) permit integrarea informaţiei primite de la accelerometre, giroscoape si senzori magnetici pentru a reda cu o precizie relativ mare orientarea în spaţiu. In plus, ele sunt gata disponibile pe piata, iar costurile lor sunt relativ mici, fiind prezente într-o varietate de electronice (de exemplu, smartphone, sisteme de navigaţie GPS) unde orientarea este importantă.

2. Obiectiv

Aceasta lucrare işi propune să evalueze in vitro dacă detecţia orientării poate fi un instrument fezabil în a îmbunătăţi precizia unor puncţii ghidate imagistic.

3.1. Dispozitivul de detecţie a orientării

Pentru atingerea obiectivului propus, a fost ales un dispozitiv prefabricat, capabil să detecteze orientarea şi deja disponibil pe piaţă. Datorită caracterului experimental al lucrării, în prima etapă nu s-a impus necesitatea utilizării unui sistem dedicat pentru uz medical.

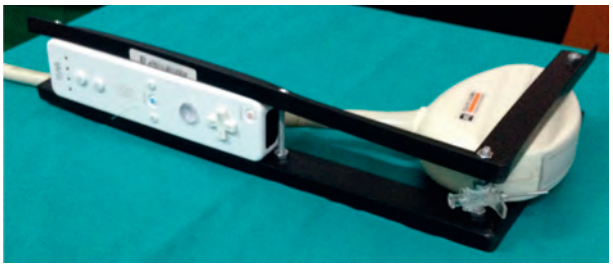
Dispozitivul este utilizat normalmente ca parte a unui sistem electronic de jocuri (Nintendo Wii) este conectat la un computer prin tehnologia BlueTooth şi este capabil să măsoare acceleraţia pe cele trei axe carteziene datorită accelerometrelor de tip MEMS (tip ADXL 330, capabil a măsura +/- 3 ori acceleraţia gravitaţională, cu peste 10% sensibilitate). Informaţia este

ulterior transmisă unui calculator, care va analiza în continuare mişcările în timp real ale acestui dispozitiv.

Ideea de bază constă în cuplarea rigidă a dispozitivului cu un transductor ultrasonografic, înregistrarea şi transmiterea fără fir a informaţiei referitoare la înclinaţia transductorului sistemului informatic, calcularea planului de înclinaţie dorit şi alinerea la acesta folosind indicii vizuale, în timp real, oferite operatorului, scopul final fiind asistarea acestuia în dirijarea unui ac de puncţie.

În deservirea intenţionată pentru acest experiment, dispozitivul a fost programat să răspundă la apăsările unor butoane în timp ce este manipulat spre vizualizarea secvenţiala a planurilor marginilor obiectului, să calculeze bisectoarea unghiului format de acestea în planul de rotatie a transductorului ecografic, şi, vizual, prin intermediul unui „nivel" format dintr-un şir de LED-uri, să reprezinte dacă dispozitivul este sau nu îndreptat corect spre acest „mijloc virtual" calculat, indicând la nevoie direcţia în care ar trebui sa fie rotit dispozitivul pentru o mai bună aliniere. In acest fel s-a dorit eliberarea operatorului de sarcina de a integra simultan mişcarile imprecise de manipulare a unui transductor într-un plan de rotaţie în timpul observării unor imagini bidimensionale, şi calcularea direcţiei corecte de puncţie, lăsând în acelaşi timp libertate de mişcare acului în planul perpendicular celui de rotaţie, anume cel vizualizat ecografic.

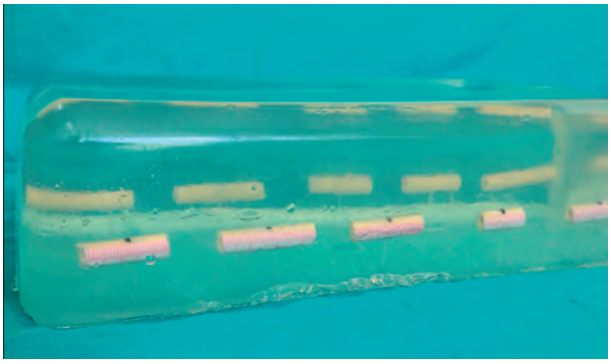
O imagine a dispozitivului utilizat, asamblat în cadrul rigid împreună cu transductorul ecografic şi ghidajul acului poate fi văzut în Imaginea 1.



Imaginea 1. Dispozitivul asamblat. In extrema stângă, „nivelul" din LED-uri folosit în indicarea planului de puncţie. In extrema dreaptă, transductorul ecografic şi ghidajul acului.

3.2. Modelul experimental

Modelul experimental ales a intenţionat realizarea unei aproximări a unei situaţii întalnite în practica urologică, anume necesitatea practicării percutanate sub ghidaj ecografic a unei puncţii. În acest sens s-a practicat suspendarea în gelatină – cu proprietăţi fizice apropiate ţesutului ţintă – a unor obiecte simetrice, cilindrice, de diferite dimensiuni, la aproximativ 10 cm adâncime. Gelatina permite imobilizarea obiectelor, în acelaşi timp făcând posibile investigaţiile ultrasonografice. Obiectele prezentau un marcaj vizibil doar optic, utilizat ulterior la calcularea erorilor de puncţie. Dimensiunile stratului de gelatină precum şi al obiectelor au fost alese în aşa fel încât sa aproximeze valori de interes în procedurile urologice – grosimea peretelui abdominal, diametrul unor posibile tumori renale ţintă ş.a [7]. O imagine a modelului din gelatină poate fi văzută în imaginea 2.

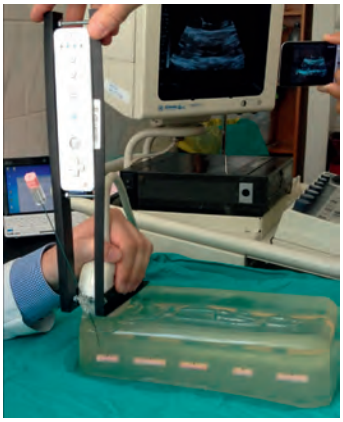


Imaginea 2. Model din gelatină

Dispozitivul a fost cuplat la transductorul ultrasonografic cu ajutorul unui cadru fix, rigid. Sistemul de ghidaj al acului permitea mişcarea acestuia doar în planul transductorului, cu o deviaţie minimă (<5 mm la o distanţă faţă de axul de rotaţie de 10 cm).

Un urolog, cu experienţă în proceduri percutanate sub ghidaj ecografic, a fost îndrumat să ţintească dispozitivul spre centrul fiecarui obiect şi ulterior să avanseze acul ghidat prin gelatină, realizând astfel puncţia. Dispozitivul a fost întotdeauna amplasat direct deasupra obiectului ţintă, pentru a permite bisectoarei să corespundă cu mediana segmentului.

O serie de 20 de puncţii au fost realizate în aceste condiţii pentru familiarizarea chirurgului cu sistemul astfel asamblat. Pentru experiment, urologul a realizat jumătate din puncţii cu ajutorul informaţiei oferite doar de ecograf şi simţurile proprii, iar cealaltă jumătate utilizând în plus informaţia oferită de dispozitiv asupra înclinaţiei dezirabile. Imaginea 3 exemplifică o puncţie asistată.



Imaginea 3. Exemplu de puncţie asistată, aratând modul de folosire al dispozitivului.

S-au măsurat distanţa de la vârful inserat al acului până la centrul ţintit al obiectului, precum şi durata fiecărei puncţii.

3.3. Analiza statistică

Analiza statistică a rezultatelor a fost realizată aplicând testul t (Student) pentru compararea mediilor a două eşantioane dependente. Valoarea lui p pentru semnificaţie statistică a fost stabilită la p<0,05.

Rezultate

S-au realizat un total de 40 de puncţii ecoghidate.

În cazurile realizate cu asistenţa dispozitivului propus, distanţa medie a vârfului acului de puncţie faţă de centrul geometric al obiectelor ţintă a fost de 1,0 mm, cu o deviaţie standard calculată 0,743 mm. Timpul mediu de puncţie a fost de 7,2s.

În cazurile de control, realizate fără utilizarea dispozitivului, distanţa medie a vârfului acului de puncţie faţă de centrul geometric al ţintei a fost în medie 3,20 mm, cu o deviaţie standard 2,38 mm. Timpul mediu de puncţie a fost de 5,3s.

Valoarea p a fost semnificativă statistic <0,001 pentru valorile astfel calculate.

Rezultatele pot fi regăsite în reprezentarea box-plot din Figura 1.

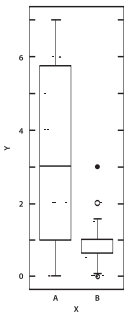


Fig. 1. Reprezentare Box-plot a valorilor obţinute în urma puncţiilor. Ordonata indică (în mm) distanţa faţă de centrul geometric. Grupul A reprezintă puncţiile de control, neasistate, iar grupul B – puncţiile asistate de dispozitivul propus

Concluzii

Detecţia orientării este o direcţie promiţătoare de îmbunătăţire a preciziei ghidajului ultrasonografic în cazul procedurilor percutanate diagnostice sau terapeutice. Dispozitivul propus a reuşit cu succes să îmbunătăţească rezultatele unui urolog cu experienţă, cu preţul creşterii uşoare a timpului necesar realizării puncţiei.

Bibliografie

1. Guru KA, Hussain A, Chandrasekhar R, et al. *Current status of robot-assisted surgery in urology: a multinational survey of 297 urologic surgeons.* Can J Urol. 2009; 16:4736–41.
2. Thiel DD, Winfield HN. *Robotics in urology: past, present, and future.* J Endourol. 2008;22:825–30.
3. Tewari A, Sooriakumaran P, Bloch DA, et al. *Positive Surgical Margin and Perioperative Complication Rates of Primary Surgical Treatments for Prostate Cancer: A Systematic Review and Meta-Analysis Comparing Retropubic, Laparoscopic, and Robotic Prostatectomy.* Eur Urol 2012;62:1-15.
4. Margreiter M, Marberger M. *Focal Therapy and Imaging in Prostate and Kidney Cancer: High-Intensity Focused Ultrasound Ablation of Small Renal Tumors.* J Endourol. 2010; 24(5): 745-748.
5. Long J-A, Hungr N, Baumann M, et al. *Development of a novel robot for transperineal needle based interventions: Focal therapy, brachytherapy and prostate biopsies.* J Urol, 2012; 188(4):1369-1374.
6. Nakamoto M, Ukimura O, Faber K, Gill IS. *Current progress on augmented reality visualization in endoscopic surgery.* Curr Opin Urol. 2012 Mar;22(2):121-6.
7. Rock BG, Leonard AP, Freeman SJ. *A training simulator for ultrasound-guided percutaneous nephrostomy insertion.* Br J Radiol. 2010 Jul;83(991):612-4.

Rezumat

Introducere: Terapia focală câştigă în ultimul timp tot mai mult teren prin perspectiva tentantă a minim invazivităţii precum şi a eficienţei oncologice tot mai mult demonstrată. Totuşi rezultatele nu depind numai de principiul fizic pentru distrugerea ţesutului tumoral ci mai degrabă de precizia cu care se montează acul care transferă energia înspre sau dinspre ţesut. Dezvoltarea tehnologică recentă în direcţia de miniaturizare şi rafinare a preciziei, precum şi scăderea preţului de producţie, face ca senzorii de orientare să poată fi luaţi în considerare în soluţionarea anumitor probleme tehnice ce pot apărea în domeniul terapiei focale. Această lucrare îşi propune să demonstreze că asistarea computerizată a mişcărilor în cadrul procedurilor de abord prin puncţie (fie laparoscopic, robotic sau percutanat) duce la creşterea considerabilă a preciziei acestei manopere, putând reprezenta un prim pas în transferabilitatea acestor tehnici acualmente atât de dependentă de chirurg.

Material şi metodă: Dispozitivul computerizat propus este realizat in cooperare multidisciplinară si permite selectarea a două planuri de înclinaţie şi indică optic bisectoarea unghiului format de acestea. Cuplat la un transductor ultrasonografic, ajută la determinarea angulaţiei acestuia pentru a situa cu precizie sporită planul de puncţie centrată pe obiectul ţintă. Modelul experimental constă din obiecte de forme simetrice şi dimensiuni diferite, suspendate în gelatină. Dispozitivul, cuplat la transductorul ecografic şi un sistem de ghidaj al acului, este mânuit de un urolog cu experienţă în procedurile ecoghidate. Experimentul a constat în puncţia ghidată ecografic a obiectelor suspendate, cu şi fără ajutorul dispozitivului. S-au măsurat distanţele de la vârful acului şi centrul real al obiectului, precum şi durata fiecărei puncţii. Analiza statistică s-a realizat folosind testul t (Student).

Rezultate: S-au realizat un total de 40 de puncţii. In cazurile realizate cu asistenţa dispozitivului, distanţa medie faţă de centrul real a fost de 1,0 mm, deviaţie standard 0,743 mm, timp de puncţie mediu 7,2s. In cazurile de control, distanţa faţă de centru a fost în medie 3,20mm, deviaţie standard 2,38 mm, timp mediu de puncţie 5,3s. Valoarea p a fost semnificativă statistic <0,001.

Concluzii: Detecţia orientării constituie o direcţie promiţătoare de îmbunătăţire a preciziei ghidajului ultrasonografic în cazul procedurilor percutanate diagnostice sau terapeutice. Dispozitivul propus a reuşit cu succes să îmbunătăţească precizia în puncţia ecoghidată, cu preţul creşterii uşoare a timpului necesar realizării puncţiei.

Cuvinte cheie: senzori de orientare, proceduri urologice laparoscopice, terapie focală