

# Utilizarea feedback-ului haptic în simularea actului medical

Dorin M. Popovici<sup>1</sup>, Felix G. Hamza-Lup<sup>2</sup>, Crenguta M. Bogdan<sup>1</sup>

Elena Bautu<sup>1</sup>, Cristian A. Corleanca<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universitatea Ovidius din Constanța

B-dul Mamaia 124, 900527, Constanta, Romania

{dmpopovici,cbogdan,ebautu}@univ-ovidius.ro

<sup>2</sup>Armstrong State University

11935 Abercorn Street, Savannah, GA, USA

Felix.Hamza-Lup@armstrong.edu

## REZUMAT

O modalitate de interacțiune cu calculatorul care începe să fie din ce în ce mai mult folosită atât în cercetare cât și la nivel industrial este returnul de forțe sau pe scurt haptic. Sistemele de interacțiune haptice permit utilizatorilor folosirea simțului tactil în prezența obiectelor virtuale. Acest articol prezintă etapele dezvoltării unui sistem de simulare dual visual-haptic pentru perfecționarea anumitor task-uri din actul medical.

## Cuvinte cheie

Haptic, 3D, Chirurgie

## Clasificare ACM

H5.2. Information interfaces and presentation (e.g., HCI): Miscellaneous.

## INTRODUCERE

Realitatea virtuală (RV) și realitatea augmentată (RA) sunt tehnologii cheie în cadrul mediilor de lucru curente și viitoare cu aplicații în diverse domenii ale activității umane: medicină, educație, inginerie, turism, iar lista poate continua. În ultimii ani, tehnologia a atins un stadiu de dezvoltare suficient pentru a oferi utilizatorului simulări multimodale avansate (e.g. răspuns vizual combinat cu răspuns tactil, denumit feedback haptic). Astfel, sunt sensibil îmbunătățite atât senzația prezenței la nivelul utilizatorului în cadrul mediilor virtuale, cât și interacțiunea dintre utilizator și mediul simulat. Dezvoltarea acestor sisteme constituie o prioritate în programele de cercetare mondiale pentru că au avantajul eficientizării și îmbunătățirii diferitelor activități umane (e.g. activități de pregătire a personalului medical, simulări realiste pentru testarea rezidenților în proceduri medicale pentru chirurgie, etc.). Folosirea RV și RA pentru dezvoltarea simulărilor vizual-haptice a constituit un pas important în pregătirea chirurgilor prin intermediul sistemelor de e-learning. O trecere în revistă a componentelor hardware și software pentru sisteme de e-learning vizuo-haptice a fost făcută în lucrarea [1].

În cadrul Universității Ovidius din Constanța s-a derulat proiectul „HapticMed - Interfețe cu retur haptic în aplicații medicale”, id: 567, cod SMIS: 12271, co-finanțat prin Fondul European de Dezvoltare Regională, în baza contractului de finanțare nr. 128/02.06.2010, încheiat cu Autoritatea Națională pentru Cercetare Științifică - Organism Intermediar

pentru Cercetare, în numele și pentru Ministerul Economiei, Comerțului și Mediului de Afaceri, în calitate de Autoritate de Management pentru Programul Operațional Sectorial „Creșterea Competitivității Economice”, având ca scop implementarea unui simulator pentru îmbunătățirea abilităților studenților și rezidenților chirurghi.

## ARHITECTURA PROTOTIPULUI HAPTICMED

Componentele software principale ale prototipului ce implementează mediul virtual suport al unei simulări de intervenție laparoscopică sunt: componenta de intrare multimodală, motorul de simulare a mediului virtual, componenta de gestiune a persistenței mediului și componenta de redare multimodală. Figura 1 prezintă atât aceste componente, cât și celelalte componente software și dispozitive hardware utilizate în implementarea prototipului HapticMed.

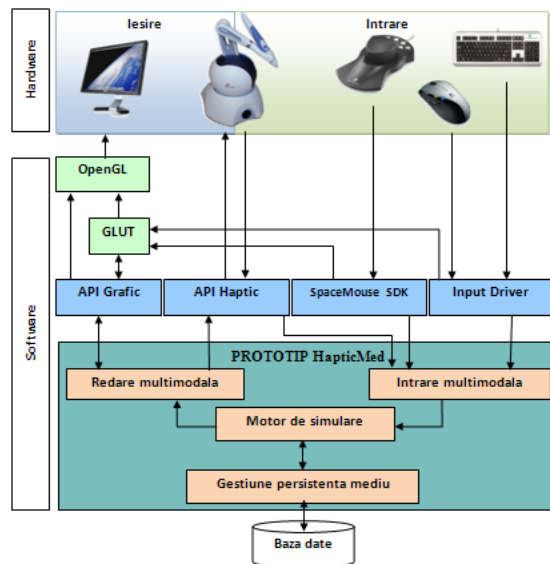


Figura 1. Arhitectura de nivel înalt a prototipului HapticMed.

Componenta de intrare multimodală asigură controlul dispozitivelor de interacțiune disponibile utilizatorului: tastatură, mouse, SpaceMouse (mouse 3D), Phantom (dispozitiv ce poate exercita forțe printr-un mecanism în formă de stilou (en: stylus)), făcând astfel posibilă exprimarea acțiunilor permise utilizatorului și obținerea unei interpretări/realizări a acestora în cadrul mediului simulat. În

particular, simularea simțului tactil va fi realizată prin implementarea unei forțe de răspuns care va fi transmisă și simțită de către utilizator prin intermediul stiloului dispozitivului haptic folosit.

Motorul de simulare este componenta care primește datele transmise prin intermediul componentelor software asociate dispozitivelor hardware folosite de către utilizator și le interpretează în contextul mediului simulat. Pentru aceasta, el se va baza pe accesul la entitățile componente ale mediului, pe simularea legilor fizice sau de altă natură, luând în considerare coliziunile și orice alte reacții ale obiectelor, determinând starea și reacțiile mediului virtual la acțiunile utilizatorului.

Motorul de simulare colaborează cu componenta de gestiune a persistenței mediului. Aceasta din urmă implementează funcții de citire/scriere a datelor stocate în baza de date a prototipului. El transmite datele de ieșire componente de redare multimodală. Aceasta permite crearea senzațiilor multi-modale la nivelul utilizatorului, prin afișarea elementelor vizuale ale feedback-ului mediului la acțiunile acestuia. Scena mediului este formată din obiecte 3D ce modelează instrumentele și țesuturile simulate. Deformabilitatea țesuturilor induce dinamism scenei simulate, configurația elementelor simulate schimbându-se ca răspuns la acțiunile utilizatorului asupra elementelor.

Componenta de redare multimodală este formată din două componente: grafică și haptică, fiecare ocupându-se cu un tip de redare: vizuală sau haptică. Pentru a realiza redarea grafică, prima componentă folosește algoritmi și funcții ale unui API grafic, care la rândul lui poate utiliza biblioteca Glut și în mod obligatoriu se bazează pe librăriile OpenGL. Componenta haptică se bazează pe un API haptic pentru a transmite o forță utilizatorului dispozitivului haptic. Un studiu detaliat al diferitelor componente software pentru redarea componente haptice a fost efectuat în [2].

Atât complexitatea mediului simulat, cât și precizia actului medical obligă atingerea unui echilibru între fidelitatea geometrică, fizică, vizuală și haptică a modelelor utilizate în implementarea prototipului.

## MEDIUL REAL SIMULAT

Prototipul simulează executarea task-ului de bază de palpare a unui ficat pentru identificarea aspectelor anatomice și a țesutului anormal.

Câmpul operator este vizualizat cu ajutorul unui laparoscop. Acest dispozitiv are diametrul în general de 10 mm, dar poate fi și de 5 mm. Laparoscopia din prima categorie asigură o vedere mai clară și mai luminoasă asupra câmpului operator, dar necesită o incizie mai mare și sunt mai greu de manevrat în vederea navigării în spații strâmte.

Instrumentele chirurgicale sunt obiecte rigide care vor interacționa între ele și cu țesuturi. Interacțiunile includ contact, penetrare și proximitate după cum punctul de interacțiune se află pe suprafața, înăuntrul sau în afara instrumentului sau a țesutului. Al doilea tip de interacțiune se aplică numai în cazul țesutului.

Momentul în care se produce coliziunea este un eveniment ce trebuie să fie gestionat de către prototip din punctul de vedere al celor două componente: vizuală și haptică. Vizual, răspunsul prototipului apare prin deformarea obiectului 3D ce simulează țesutul atins, în timp ce haptic, programul va răspunde utilizatorului cu o forță ce depinde de

caracteristicile fizice ale țesutului, pentru o simulare cât mai realistă a simțului tactil [3].

## SCURTĂ DESCRIERE A SISTEMULUI DE SIMULARE HAPTICMED

Prototipul HapticMed presupune interacțiunea utilizatorului cu un mediu virtual 3D folosind un dispozitiv haptic [4]. În cadrul operațiilor laparoscopice mișcarea penselor chirurgicale este restricționată de spațiul redus de lucru și de faptul că pensele sunt introduse prin incizii făcute în abdomenul pacientului. Pentru a simula acest tip de mișcări, am dezvoltat un sistem ce simulează un mediu de lucru laparoscopic (vezi Figura 2).

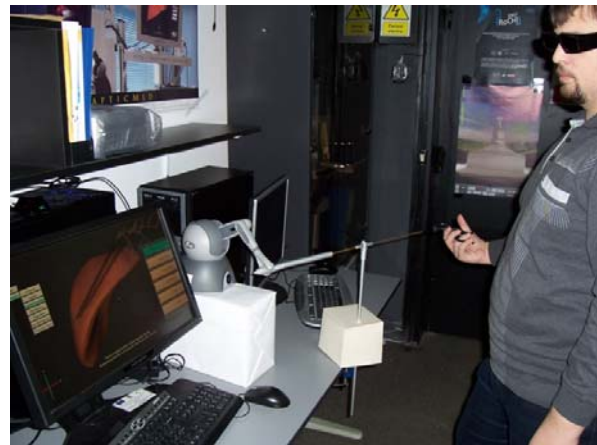


Figura 2. Sistemul de simulare HapticMed

Sistemul de simulare este format dintr-un mâner de pensă Maryland, un sistem de prindere cu bază fixă ce permite manevrarea mânerului pensei ca în cazul intervenției chirurgicale și un sistem de atașare la dispozitivul haptic.

### HapticMed@work

Ca rezultat al discuțiilor cu colaboratorul din domeniul medical, am implementat patru scenarii de evaluare a ficatului, câte unul pentru fiecare patologie a ficatului: normal (sănătos), cirotic, tumoral și hepatic.

Indiferent de scenariu, utilizatorul are la dispoziție două pense virtuale (replici realiste ale penselor Maryland și Babcock) care îi permit palparea ficatului virtual 3D, fără însă a fi posibilă penetrarea țesutului. Utilizatorul are un timp de aproximativ 30 secunde pentru a se familiariza cu manevrarea instrumentului haptic și utilizarea interfeței grafice. În acest model, camera și sursa de lumină atașate camerei sunt fixe, utilizatorul nefiind constrâns de manipularea lor în simulator. Interfața vizuo-haptică corespunzătoare este prezentată în Figura 3.



Figura 3. Testul de familiarizare a utilizatorului cu interfața vizuo-haptică

În sesiunea de evaluare a ficatului normal, reprezentarea grafică a unui sistem cartezian de axe 3D permite utilizatorului orientarea în scena 3D. Această funcție este foarte utilă în toate scenariile de utilizare a prototipului (vezi Figura 4).

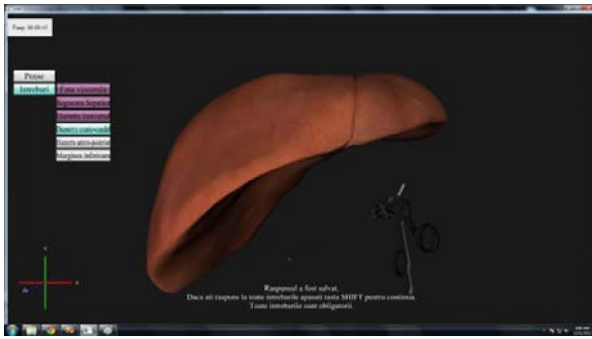


Figura 4 - Sesiune de lucru cu prototipul HapticMed în evaluarea ficatului normal

Acest scenariu are ca scop evaluarea și îmbunătățirea cunoștințelor teoretice și practice în cazul evaluării unui ficat normal. Procesele de evaluare și îmbunătățire a gestului de palpare a ficatului sănătos au ca subiect: mărimea forței aplicate în cadrul palpării, direcția pencei chirurgicale, zonele de palpare ale ficatului și metodologia de palpare.

Și în cazul ficatului cirotic, utilizatorul folosește o pensă pentru a observa și înțelege atributele de suprafață ale ficatului așa cum este ilustrat în Figura 5. După ce utilizatorul și-a format o părere despre starea ficatului, el utilizează același sistem de meniuri ce îi permit diagnosticarea ficatului din diferite perspective: culoare, suprafață, consistență etc.

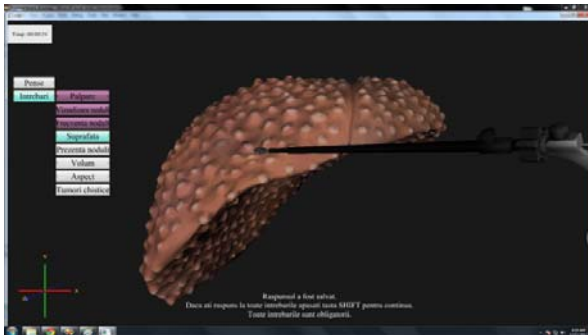


Figura 5 - Sesiune de lucru cu prototipul HapticMed în evaluarea ficatului cirotic

Scenariul de evaluare a ficatului tumoral urmează aceeași structură de evaluare precum cea utilizată la evaluarea ficatului normal și evaluarea ficatului cirotic: alegerea întrebării, efectuarea unui gest de palpare obligatoriu pentru a i se valida răspunsul, introducerea răspunsului. Modelul de ficat tumoral prezintă două tipuri de chisturi: un tip vizibil la suprafața ficatului, care prezintă și proprietăți haptice diferite față de restul suprafeței normale, și un tip invizibil utilizatorului, chisturi interne ficatului perceptibile doar în urma efectuării palpării (asemeni tipului anterior, aceste chisturi au o consistență haptică crescută față de suprafața ficatului normal). Din cauza existenței acestor două tipuri de chisturi, este recomandat ca utilizatorul să palpeze în totalitate suprafața ficatului pentru a identifica toate formațiunile existente în ficat (atât cele situate la suprafață, cât și cele situate în interior - vezi Figura 6).

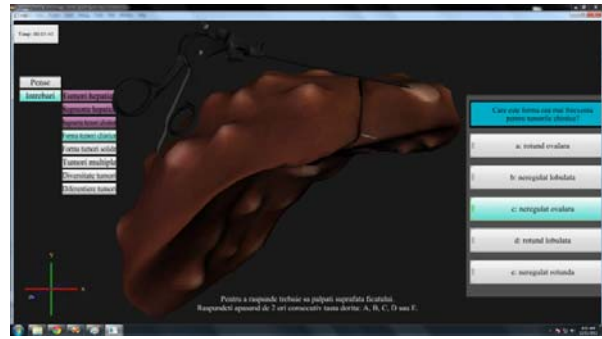


Figura 6 - Sesiune de lucru cu prototipul HapticMed în evaluarea ficatului tumoral

Patologiile unui ficat hepatic modifică un ficat normal atât din punct de vedere vizual (vezi Figura 7), cât și din punct de vedere haptic (ficatul hepatic determină de o consistență crescută). Datorită acestor modificări minore, utilizatorul urmează aceiași pași ca la evaluarea ficatului normal: alegerea întrebării, efectuarea gestului și introducerea răspunsului.

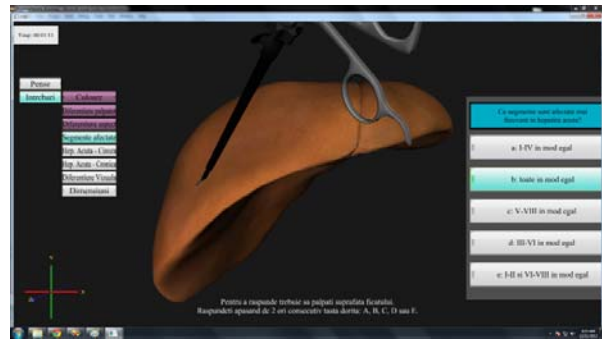


Figura 7 - Sesiune de lucru cu prototipul HapticMed în evaluarea ficatului hepatic

## EVALUAREA PROTOTIPULUI

Acest paragraf detaliază noțiunile teoretice necesare evaluării modulelor de simulare vizuo-haptice HapticMed. Fiecare dintre următoarele metrici sunt considerate pe o scara de la 1 la 10, 10 însemnând calitatea maximă/superioară. Dintre metricile de validare a simulatoarelor propuse de Satava [5] am utilizat:

### Face validity (corectitudinea interfeței):

Această metrică presupune evaluarea calităților vizuo-haptice ale interfeței simulatorului. Astfel, se evaluează:

- cât de bine seamănă modelul 3D al ficatului precum și interacțiunea haptică cu un model real de ficat
- cat de apropiată de realitate (adică aparatele laparoscopice reale, poziția utilizatorului, mediul) este manipularea dispozitivului haptic Sensable, inclusiv poziția de operare a utilizatorului.

### Content validity (corectitudinea conținutului)

Pentru fiecare modul în parte se definește clar și concis pentru ce aptitudine/skill este utilizat. De exemplu, simulatorul trebuie să măsoare corectitudinea diagnosticării ficatului prin palpare. În urma analizei se va decide dacă simulatorul reprezintă o unealtă de învățare potrivită.

### Construct validity (corectitudinea implementării)

Pentru verificarea acestui criteriu trebuie să decidem pe baza măsurării performanțelor utilizatorilor dacă simulatorul diferențiază între utilizatori cu diferite nivele de pregătire.

Rezultatele testului trebuie să diferențieze clar între un expert și un novice pentru fiecare procedură în parte.

Două metrici complementare sunt definite pentru fiabilitatea testării:

#### Fiabilitatea evaluatorilor.

Rezultatele testelor de evaluare a cunoștințelor evaluate de către experți diferiți ar trebui să fie similare, pentru ca criteriul de fiabilitate a evaluatorilor să fie îndeplinit.

Atunci când testul este evaluat de către experți independenți, având același nivel de expertiză, se obțin rezultate suficient de apropiate.

#### Fiabilitatea testării/retestării.

Repetarea testului după un interval de timp trebuie să întoarcă rezultate comparabile.

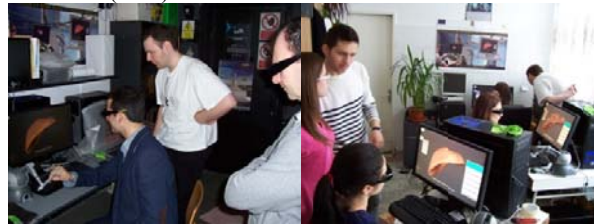
Datorită inaccesibilității la alte simulatoare precum și a structurii curriculei curente care nu prevede exersarea practică a gestului medical de palpate, metricile **concurrent validity** (comparativ cu alte simulatoare) și **predictive validity** nu vor fi luate în considerare în evaluarea prototipului HapticMed.

#### Implementarea planului de evaluare

Planul de evaluare a fost proiectat și aplicat în 2 etape, pentru a se minimiza perturbarea procesului de învățământ în care s-au implicat studenții și medicii/profesorii coordonatori, ținându-se cont de sugestiile colaboratorilor medicali din cadrul Spitalului Județean Constanța.

Studenții anului IV de la Facultatea de Chirurgie a Universității Ovidius din Constanța au demarat testele de utilizabilitate ale prototipului HapticMed în decembrie 2012 și le-au încheiat în aprilie 2013, în concordanță cu curricula pregătirii lor universitare. În cadrul acestor sesiuni de lucru, peste 90 de studenți din anul IV și în jur de 10 de rezidenți ai Secției de Chirurgie din cadrul Spitalului Județean din Constanța au avut ocazia să utilizeze la întreaga capacitate prototipul HapticMed (vezi Figura 8).

Colectarea rezultatelor s-a efectuat atât în timpul folosirii simulatorului, prin parametrii prestabiliți în componenta de proiectare a simulatorului, dintre care menționăm (timpul de utilizare a simulatorului, viteza, orientarea și forța de apăsare la nivelul dispozitivului haptic, precum și rezultatele testelor de specialitate), dar și ulterior, prin completarea de către utilizatori a doua chestionare de *Evaluare a Ușurinței Utilizării Sistemului HapticMed* (EUUSH) și de *Evaluare a Realismului Simulării și Utilizării Eficiente a Dispozitivului Haptic* (ERSUEDH).



(a)

(b)

Figura 8 – Testarea prototipului HapticMed în mediul de dezvoltare (a), mediul medical (b)

### Procesarea și interpretarea rezultatelor

Procesarea și interpretarea datelor obținute în urma testelor efectuate s-au realizat în vederea determinării corectitudinii și a conținutului interfeței, precum și a fiabilității evaluatorilor și a testării/retestării.

#### Verificarea corectitudinii interfeței (face validity)

Pentru a verifica corectitudinea interfeței și realismul simulatorului, s-a procedat în maniera informală, prin chestionarea utilizatorilor. Au fost luate în considerare răspunsurile la întrebările 4, 11, 13 (Figura 9), respectiv 1, 2, 3, 4, 6, 7, 9 (Figura 10).

7 din cei 10 rezidenți sunt complet de acord și de acord că *interfața uneltei propuse este potrivită*. Restul de 30% au fost doar parțial de acord și au adus comentarii cu sugestii de îmbunătățire a sistemului.

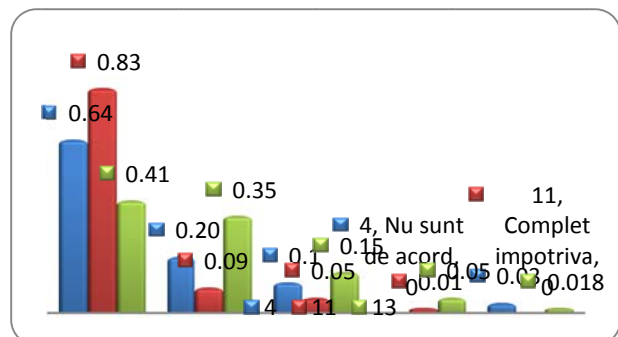


Figura 9 – Corectitudinea interfeței – asemănare cu mediul real

În ceea ce privește utilizatorii neexperți, peste 60% dintre (conform graficului din Figura 9) au considerat *potrivită* interfața prototipului, în vreme ce un procent nesemnificativ (<1%) au considerat interfața prototipului inadecvată scopului propus. Din al doilea set de întrebări, a rezultat că 6 din cei 10 rezidenți au considerat că utilizarea prototipului este clară și eficientă. Comentariile celorlalți au fost folosite în fazele ulterioare de dezvoltare.



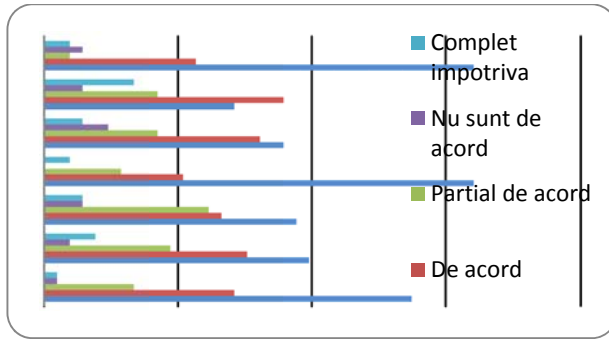


Figura 10 – Corectitudinea interfeței – claritatea utilizării.

Putem observa conform graficului din Figura 10 că aproximativ 50% dintre studenții participanți au considerat ca utilizarea prototipului este clară și eficientă.

Analizând rezultatele obținute din chestionarea rezidenților și studenților, apreciem că simulatorul este validat din punct de vedere al corectitudinii interfeței.

**Verificarea corectitudinii conținutului interfeței (Content validity)**

S-a evaluat măsura în care simulatorul este considerat potrivit ca unealtă de învățare de către utilizatorii acestuia. Pentru aceasta, s-au luat în considerare răspunsurile la întrebările 2, 3 și 6 din *Chestionarul de utilizabilitate*.

Nr.	Enunț întrebare
1	In general, sunt mulțumit(-ă) de cât de ușor am folosit acest sistem.
2	Am putut realiza rapid task-urile de stabilire a diagnosticului folosind acest sistem.
3	Am putut realiza eficient task-urile de stabilire a diagnosticului folosind acest sistem.
4	M-am simțit confortabil folosind acest sistem.
6	Cred ca mi-am îmbunătățit aptitudinile de realizare a palpării în vederea stabilirii a diagnosticului folosind acest sistem.
7	Rezultatul efectuării unei sesiuni de training a explicat clar unde am greșit.
9	Informațiile furnizate de sistem au fost ușor de înțeles.
11	Interfața sistemului este plăcută. Prin interfață înțelegem elementele folosite pentru a interacționa cu sistemul: styles-ul dispozitivului haptic, elemente ale interfeței grafice, etc.
13	Sistemul are toate funcționalitățile așteptate

Se poate observa în Figura 11 că în jur de 70% dintre studenți sunt de acord că simulatorul este o unealtă de învățare potrivită. Mai puțin de 0.5% dintre studenți consideră că utilizarea simulatorului HapticMed nu a influențat pozitiv capacitatea de diagnosticare prin palpate a ficatului.

**Verificarea corectitudinii implementării (construct validity)**

Evaluarea corectitudinii implementării este esențială evaluării oricărui simulator laparoscopic, întrucât aceasta trebuie să confirme faptul că simulatorul face distincție clară între utilizatorii experimentați și cei neexperimentați, pe baza măsurătorilor de performanță ale acestora (e.g. scorul la teste de evaluare a cunoștințelor) [6,7,8].

Scorurile medii obținute de cele două categorii de utilizatori la testele de evaluare au fost comparate și au rezultat diferențe semnificative între grupul studenților și cel al rezidenților (testul Mann-Whitney-Wilcoxon, nivel de semnificație 0.5) pentru patologiile de ficat normal și cea de ficat cirotic. La testele de evaluare a cunoștințelor pe patologiile de ficat tumoral, respectiv ficat hepatic, rezultatele nu diferă semnificativ între cele două grupuri de utilizatori.

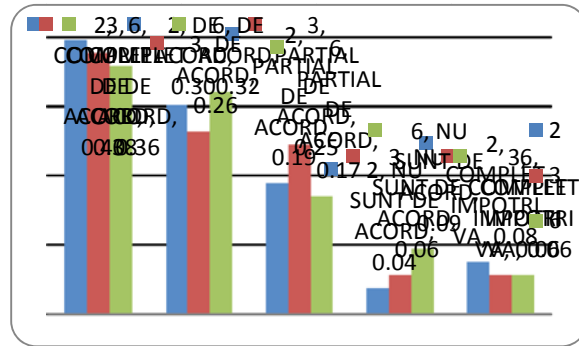


Figura 11 – Corectitudinea conținutului

Pentru analiza statistică privind verificarea corectitudinii implementării, s-a renunțat la analiza timpilor de lucru necesari studenților/rezidenților pentru a răspunde la întrebări, respectiv pentru a palpa ficatul. S-a hotărât acest lucru în urma unor sesiuni pregătitoare, în urma cărora s-a constatat ca timpul de lucru este neconcludent, întrucât utilizatorii aveau diverse nivele de experiență în utilizarea calculatorului, respectiv a uneltelor de acest tip. Mai mult, s-a dorit ca timpul de lucru să nu fie o constrângere în contextul testării simulatorului de către studenți și rezidenți. Pentru a putea primi feedback cuprinzător privind calitatea simulatorului, utilizatorilor li s-a îngăduit să decidă singuri modul în care au utilizat timpul în cadrul sesiunilor de test.

Putem deci considera că este demonstrată corectitudinea implementării (construct validity) simulatorului HapticMed.

**Fiabilitatea evaluatorilor (inter-rater reliability)**

Rezultatele testelor de evaluare a cunoștințelor stabilite de către experți chirurghi diferiți au fost comparate în vederea stabilirii gradului lor de similaritate. Au fost luate în considerare notele acordate în urma evaluării gestului de palpate de către doi experți chirurghi, ce au evaluat performanțele studenților.

Între eșantioanele cu notele experților corespunzătoare pentru același tip de utilizator (i.e. student, rezident) nu există diferențe semnificative în urma testului t.

Pentru ambii experți există însă diferențe semnificative între notele acordate studenților și cele acordate rezidenților (pentru expertul 1,  $p=0.02 < 0.05$ , respectiv pentru expertul 2  $p = 4.14E-10 < < 0.05$ ). Notele obținute de utilizatorii rezidenți sunt semnificativ mai mari decât cele obținute de studenții în anul 4. Totuși, acestea sunt semnificativ mai mici decât nota maximă.

### Fiabilitatea testării/retestării (test-retest reliability)

Rezultatele obținute de către studenți, respectiv rezidenți, la testele inițiale și la testele de control susținute ulterior au fost analizate. Astfel, s-a dorit să se verifice dacă repetarea testului de către același utilizator la momente diferite de timp conduce la obținerea de rezultate diferite.

Menționăm că nu toți studenții/rezidenții au repetat testul de control susținut ulterior. Dimensiunile eșantioanelor s-au modificat, astfel că dispunem de date privind testul de control pentru 20 de studenți, respectiv pentru 4 rezidenți.

Între scorurile la testul inițial și scorurile la testul de control există diferențe semnificative pentru grupul de studenți. La testul de control, aceștia au obținut rezultate mai bune. Acest lucru poate fi datorat procesului de învățare ce a avut loc între timp. De asemenea, putem argumenta că simulatorul a ajutat în acest proces de învățare.

Diferențele între scorurile la testul inițial și cel de control nu sunt semnificative în eșantionul de rezidenți. Aceștia au obținut rezultate similare în medie. Având în vedere că rezidenții sunt utilizatori experimentați, putem argumenta că simulatorul își dovedește fiabilitatea test/retest.

### DIRECȚII DE ÎMBUNĂȚIRE

În urma discuțiilor cu medicii chirurghi, cu rezidenții și cu studenții de la Facultatea de Chirurgie s-au desprins următoarele direcții de îmbunătățire prioritare.

Din perspectiva facilităților pe care le oferă sistemul de retur haptic, extinderea interacțiunilor instrumentului medical virtual la apucarea țesuturilor precum și la posibilitatea executării tăierilor în țesuturi constituie direcțiile principale de îmbunătățire. Din punct de vedere anatomic, introducerea replicilor virtuale ale organelor învecinate ficatului va duce la creșterea credibilității situației medicale simulate.

În încheiere dorim să ne exprimăm convingerea în potențialul de extindere a prototipului HapticMed în alte domenii de intervenție umană, cum ar fi chimie, fizică, biologie etc.

### CONCLUZII

În concluzie, am prezentat aspecte generale de proiectare, implementare și funcționare a prototipului HapticMed, primul simulator din România ce tratează palparea ficatului normal sau patologic în vederea stabilirii unui diagnostic. Dezvoltarea acestui simulator a îmbogățit cunoștințele echipei de dezvoltare în acest domeniu de cercetare. În plus, avem convingerea că folosirea simulatorului va îmbunătăți procesul de instruire vizuală și haptică a studenților de la facultățile de medicină, înainte ca acest proces să aibă loc în sălile de operație.

### Mulțumiri

Mulțumim ANCS pentru oportunitatea acordată prin finanțarea proiectului HapticMed în cadrul competiției POSCCE O.2.1.2-2009.

### REFERINȚE

1. Felix G. Hamza-Lup, Crenguta M. Bogdan, Dorin M. Popovici, Ovidiu D. Costea, "A Survey of Visuo-Haptic Simulation in Surgical Training", Proceedings of the Third International Conference on Mobile, Hybrid, and On-line Learning, Gosier, Guadeloupe, France, 2011, pp. 57-62.
2. Dorin M. Popovici, Felix G. Hamza-Lup, Adrian Seitan, Crenguta M. Bogdan, "Comparative Study of APIs and Frameworks for Haptic Application Development", 12th International Conference on Cyberworlds, Darmstadt, Germania, 25-27 Sept. 2012, ISBN: 978-0-7695-4814-2/12, IEEE, DOI 10.1109/CW.2012.13, pp. 37-44, 2012.
3. Felix G. Hamza-Lup, Adrian Seitan, Dorin M. Popovici, Crenguta M. Bogdan, „Liver Pathology Simulation: Algorithm for Haptic Rendering and Force Maps for Palpation Assessment”, Proceedings of the 19th International Conference, Medicine Meets Virtual Reality (MMVR) 2013, Feb 20-23, San Diego, California, USA, IOS Press, J.D. Westwood et al. (Eds.), doi:10.3233/978-1-61499-209-7-175, pag. 175-181, 2013
4. Felix G. Hamza-Lup, Adrian Seitan, Dorin M. Popovici, Crenguta M. Bogdan. (2012) "Medical Simulation and Training: "Haptic" Liver". Proc. of The 7th International Conference on Virtual Learning (ICVL), Brasov, 2-3 nov. 2012, ISSN 1844-8933, pg. 27-33.
5. R.M. Satava, A. Cuschieri, and J. Hamdorf. "Metrics for Objective Assessment". In Surgical Endoscopy, Vol. 17(2), pp. 220-226, 2003.
6. Brewin, J, Nedas, T, Challacombe, B, Elhage, O, Keisu, J & Dasgupta, Face, content and construct validation of the first virtual reality laparoscopic nephrectomy simulator', BJU INTERNATIONAL, vol 106, no. 6, pp. 850 – 854, 2010.
7. Zhang, A., Hünerbein, M., Dai, Y., Schlag, P. M., & Beller, S. (2008). Construct validity testing of a laparoscopic surgery simulator (Lap Mentor®). Surgical endoscopy, 22(6), 1440-1444.
8. Xiao, Dongjuan, et al. "Face, Content, and Construct Validity of a Novel Portable Ergonomic Simulator for Basic Laparoscopic Skills." Journal of Surgical Education, 2013.