

# Objektív sebészet – robotok és szimulátorok használata a sebészeti képességek felmérésére

## Objective surgery – advanced robotic devices and simulators used for surgical skill assessment

SUHÁNSZKI NORBERT<sup>1</sup>, HAIDEGGER TAMÁS<sup>2,@</sup>

<sup>1</sup>Neumann János Informatikai Kar, Óbudai Egyetem, Budapest (Molnár András, dékán)  
<sup>2</sup>Bejczy Antal iRobottechnikai Központ, Óbudai Egyetem, Budapest (Tar József, igazgató)

A laparoscopos sebészet sikerességére alapozva a robotsebészet az egyik legmeghatározóbb irányzattá vált a nyugati el-látásban, elsősorban a hasi beavatkozások tekintetében. Míg a kézi laparoscopos eljárások elsajátítása hosszú és fáradsá-gos feladat, a da Vinci típusú robotizált alkalmazások számos intuitív vezérlési és ergonómiai funkciót kínálnak. Mindkét esetben alapvető fontosságú, hogy a sebészek valós technikai képességeivel, készségeivel tisztában legyünk. A robotizált sebészeti eszközök használata radikálisan új mérési módszereket tesz lehetővé a műtéti folyamatok számos paraméterét tekintve, amely alapján új tananyagok és vizsgáztatási módszerek kerültek kidolgozásra. Ezek forradalmasíthatják a laparoscopos sebészet oktatását, hiszen objektív kritériumrendszer bevezetését teszik lehetővé. A robotos környezetben és szimulátorokon alkalmazott alapvető metrikákat és módszereket viszi végig ez a cikk, részletesen kitérve az egyes módszerek validáltságára és hasznosságára. Az elkövetkező pár évben várhatóan ezek fogják meghatározni a modern laparoscopos sebészeti képzések összetételét.

**Kulcsszavak:** robotsebészet, sebészeti képességek felmérése, MIS, sebészeti szimulátorok, tanulási görbe

Robotic assistance became a leading trend in minimally invasive surgery, which is based on the global success of laparo-scopic surgery. Manual laparoscopy requires advanced skills and capabilities, which is acquired through tedious learning procedure, while da Vinci type surgical systems offer intuitive control and advanced ergonomics. Nevertheless, in either case, the key issue is to be able to assess objectively the surgeons' skills and capabilities. Robotic devices offer radically new way to collect data during surgical procedures, opening the space for new ways of skill parameterization. This may be revolutionary in MIS training, given the new and objective surgical curriculum and examination methods. The article reviews currently developed skill assessment techniques for robotic surgery and simulators, thoroughly inspecting their validation procedure and utility. In the coming years, these methods will become the mainstream of Western surgical education.

**Keywords:** robotic surgery, surgical skill assessment, MIS, surgical simulators, learning curve

*Beérkezett:* 2014. október 31.; *elfogadva:* 2014. november 7.

## Bevezetés

Az 1980-as években kezdődött a minimálisan invazív se-bészet (MIS) korszaka egy petevezeték laparoscopos el-kötésével. Azóta egyértelművé vált, hogy a MIS számos előnnyel rendelkezik, azonban ellenérvként a sebészek gyakorlottsága, a szükséges készségek bonyolultsága me-rül fel. A MIS elterjedése különösen kiélezte az évszáza-

dos kérdést: ki a jó sebész? Kezdetektől fogva vizsgál-ták, mennyi gyakorlás alatt érheti el egy kezdő sebész a kellő pontosságot, hogy éles helyzetben is magabiztosan hasznosíthassa tudását. Miután a rezidensképzésébe is bekerült a laparoscopos eszközök kezelése az Amerikai Egyesült Államokban, minimum 50 műtétet kellett vég-rehajtaniuk, azonban ez egyáltalán nem volt költségha-tékony.<sup>1</sup>

<sup>@</sup>Levelezési cím/Corr. address: Haidegger Tamás, Bejczy Antal iRobottechnikai Központ, Óbudai Egyetem, 1032 Budapest, Kiscelli u. 82. Tel.: +36 1 666 5729, fax: +36 1 666 5729. E-mail: haidegger@irobot.uni-obuda.hu

Ekkor merült fel az igény a szimulátorokra.<sup>2</sup> A gyakorlatoknak a műtőn kívül kellett történnie úgy, hogy a páciens biztonságát ne veszélyeztessék; emellett költség-hatékonyan kellett lennie és segítenie kellett a minőségbiztosítást.<sup>3</sup> Erre kiváló eszközt nyújtottak a szimulátorok, amelyeknek komoly validációs módszerrel kellett átesniük. A szimulátorok szükségességét igazolta, hogy a sebészek továbbképzése után a technológia sikeresnek bizonyult: 8000 epevezeték-műtéből 15 esetben fordult elő sérülés.<sup>1</sup> Emellett fény derült arra is, hogy a kevesebb és több laparoscopos tapasztalattal rendelkezők tanulási üteme közel azonos.

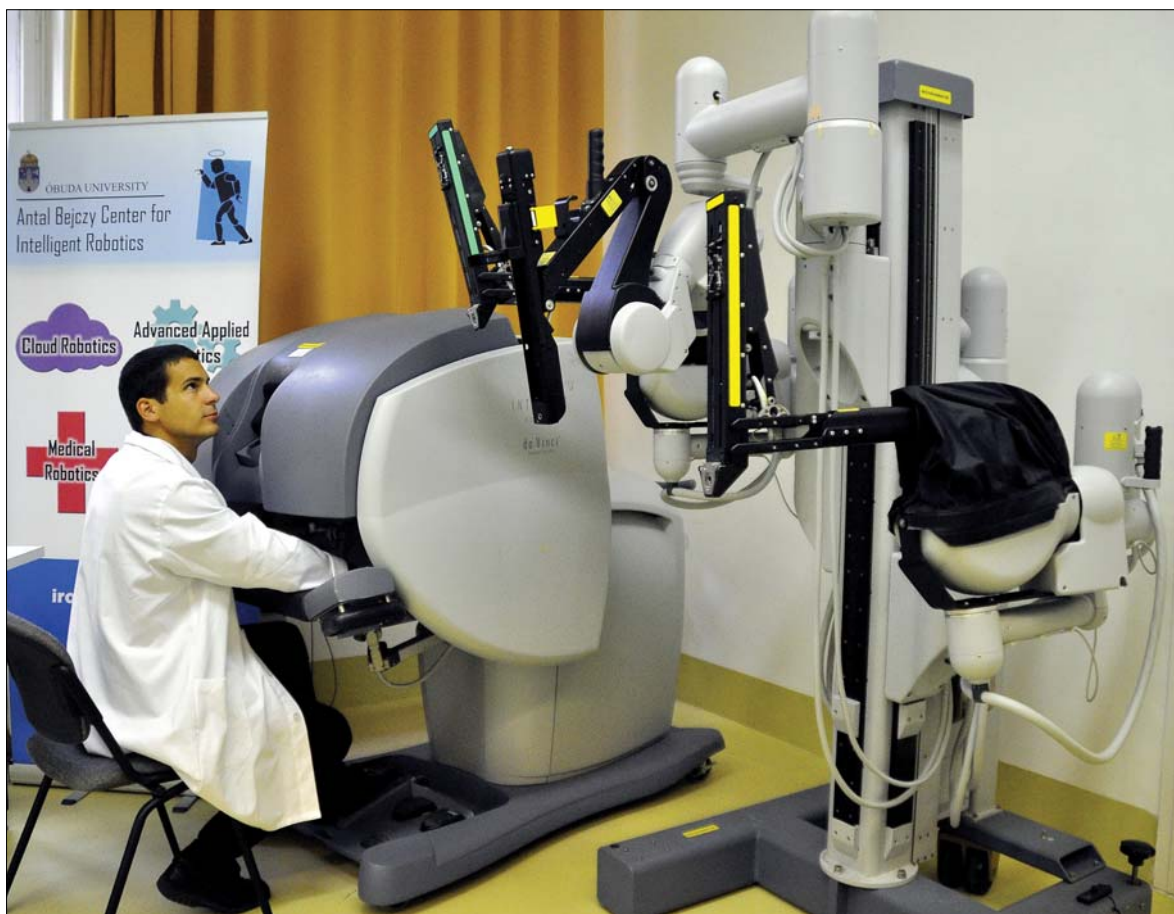
Az 1990-es években több kutatás is arra irányult, hogy olyan robotot fejlesszenek, amely hatékonyan tudja támogatni a sebészi munkát.<sup>4,5</sup> Egy megfelelően kialakított rendszer lehetővé teszi a stabilabb eszközkezelést és jobb ergonómiát biztosít. A világítás is jobban kontrollálható, így a sebész munkája jelentősen precízebbé válhat. Ugyanakkor az új rendszerek validálása kapcsán kiemelkedő fontosságúvá vált, hogy a velük elérhető fejlődést, a sebészi képességek javulását parametrizálják. A 2000-ben debütált da Vinci Surgical System (Intuitive Surgical Inc.) a legelterjedtebb sebészrobot a világon, már a negyedik generációnál jár a rendszer, és mintegy 3200 robot végez műtéteket szerte a világban. A legtöbb vizsgálatot értelemszerűen a

da Vincivel végezték, mivel összességében már több mint 2,5 millió humán beavatkozást hajtottak végre vele, így kiemelkedően fontos a sebészek alapos képzése, felkészítése (1. ábra). Számos adat áll még rendelkezésre a da Vinci egy korai versenytársa, a Zeuson végzett mérésekből. Ezt a robotot 2000–2003 között a Computer Motion Inc. fejlesztette és forgalmazta, nagyjából 50 darabot értékesítettek belőle.<sup>6</sup>

## A tanulási folyamatok mérése

A tanulási görbét először Hermann Ebbinghaus definiálta 1885-ben;<sup>7</sup> a tanulás hatékonyságának jellemzésére valamilyen objektív megfigyelési rendszert alkalmaz – grafikonon ábrázolva a tanulás mértékét a tapasztalat függvényében. A tanulási görbe lehet emelkedő (elért pontszám mutatója), csökkenő (teljesítés ideje alapján), avagy akadozó (erratic). Az effektivitást sokféle képen definiálhatjuk. Erre egy módszer az idő–cselekvés analízis (Time–Action Analysis; TAA,<sup>5</sup> amely szerint a hatékonyságot az alábbi szempontokkal jellemezhetjük:

- műveletvégzési idő,
- mozdulatok, cselekvések száma,
- hibák száma.



1. ábra. Első generációs da Vinci-robot az Óbudai Egyetem iRobottechnikai Központjában (Fotó: Balaton József)

**1. táblázat.** Robotsebészeti kutatások tanulási görbéje<sup>5</sup>

Szerző	Használt robotrendszer	Feladat	Ismétlések száma	Résztvevők	Paraméter	Jelentős javulás
Yohannes	Da Vinci	Kézügyesség-vizsgálat, varrás, csomózás	5	4 kezdő, 4 tapasztalt	Idő	Igen
Prasad	Zeus	Gyöngyáthelyezés, kötélbújtatás	5	17 kezdő, 11 tapasztalt	Idő és hibák száma	Igen
Maniar	Zeus	Gyöngyáthelyezés, kötélbújtatás	15	20 kezdő, 0 tapasztalt	Fejlődés százalékban	Igen
Heemskers	Da Vinci	Gyöngyáthelyezés, befűzés	3	8 kezdő, 0 tapasztalt	Idő és pontosság	Nem
Blavier	Da Vinci	Tű átjuttatása gyűrűkön	6	10 kezdő, 0 tapasztalt	Teljesítménypont hibapont, kétkezesség	Igen
Nio	Zeus	Varrás, csomózás	20	1 kezdő, 1 tapasztalt	Mozdulatok száma	Igen
Chang	Zeus	Csomózás	5–14 óra tréning	8 résztvevő	Idő, összesített pontszám	Igen
Hernandez	Da Vinci	Varrás	5	7 kezdő, 6 tapasztalt	OSATS, idő	Igen
Narazaki	Da Vinci	Felvesz és elhelyez, tűbújtatás, varrás	6	7 kezdő, 0 tapasztalt	Idő, megtett távolság	Igen
Ro	Da Vinci	5 fűrés	5–6	17 kezdő, 2 tapasztalt	Idő és hibák száma	Csak kezdőknél

Kiegészítő paraméterek is felvehetők ezek mellé – például vérvesztés, roncsolás mértéke. Ezeket a metrikákat élő szervezeten végrehajtott műtétek esetén mérjük.

## A tanulási görbe meghatározására robotsebészeti eszközökön

A technológia tudományos alátámasztására igyekeztek meghatározni a robotsebészeti eszközök tanulási idejét, mértékét. Ezzel kapcsolatban több átfogó tanulmány született, a legértékesebb Olthof és munkatársai munkája.<sup>5</sup> 21 vizsgált beszámolóból 10 foglalkozott robotsebészettel, amelyből 6 esetben da Vinci, 4 esetben Zeus robotrendszert használtak. A robotokkal gyöngy- vagy gyűrűáthelyezést, csomózást és varrást hajtottak végre több-kevesebb sebész bevonásával. Az alanyok között haladók és kezdők egyaránt voltak. Megfigyelési szempont általában az elvégzés ideje és a hibák száma volt. Az eredményeket az *1. táblázat*

foglalja össze, amely alapján elmondható, hogy az egyes tanulmányok esetén a paraméterek csak részben voltak egymásnak megfeleltethetők, nem volt egyértelmű, szabványos pontozási rendszer.

Az új eszközök, különösen a robotok alkalmazásakor szükség van a megfelelő gyakorlás biztosítására, de az elvárt követelményrendszer kialakítása és a feladatok kiértékelése nem egyértelmű feladat. A University of Washington kutatói régóta dolgoznak a robotizált készségfelmérés objektív tételén.<sup>8,9</sup>

### Fundamentals of Robotic Surgery

Egy háromhetes speciális tréning alatt igyekeztek a tanulási görbe általános alakulását meghatározni nyolc sebész bevonásával. A feladat az intracorporalis csomózás volt, amelyet mind laparoscoppal, mind Zeusszal meg kellett ismételnük több alkalommal. Minden lépéshez egy-egy pontszámot rendeltek, függően a lépés nehézségétől, komplexitásától.

**2. táblázat.** Az első átfogó robotos/laparoscopos képességfelmérés eredménye<sup>8</sup>

Eszköz	Kezdeti végrehajtási idő	Minimum–maximum	Kezdeti összesített pontszám	Végső végrehajtási idő	Végső pontszám
Laparoscop	160 s	47–432 s	40 pont	140 s	77 pont
Zeus	390 s	N/A	N/A	139 s	71 pont

A lépések esetén nem lehetett részpontszámot elérni, csak „teljesített” vagy „nem teljesített” minősítést. A maximális pontszám 100 volt. A rögzített videofelvétel elemzése után határozták meg a pontszámokat és a 2. táblázatban összefoglalt eredmények kerültek publikálásra. 8–10 óra gyakorlás után 94 pontra emelkedett a Zeus-használók pontszáma, 14 óra után pedig 99 pontot értek el, idejük 82 másodpercre redukálódott. Megállapították, hogy 4–6 óra gyakorlás szükséges a videó–kéz–szem koordináció megtanulásához. A legjelentősebb fejlődést olyan sebészeknél mérték, akiknek sem a laparoscoppal, sem a Zeus-rendszerrel nem volt még tapasztalata. Megfelelő gyakorlási idő után jobb eredményeket értek el robotsebészeti eszközökkel, rövidebb idő alatt. Ezt részben a jobb kamerakezelés és megvilágítás, részben a jobb felbontás és zajsűrítés tette lehetővé.

A fentieket is figyelembe véve, egy új oktatási tervet dolgoztak ki, amely alkalmas az egységesített robotsebészeti képzés megvalósítására. Számos bizottság és sebészeti társaság belátta, hogy szükség van egy egységesített rendszerre, amely úgynevezett magas szintű vizsgáztatásra (high-stakes testing – HST) is alkalmas,<sup>10</sup> ezért a Minimal Invasive Robotics Association és a Florida Nicholson Center segítségével új tantervet készítettek.

A 2004-ben világot látott Fundamentals of Laparoscopic Surgery (FLS) tantervhez hasonlóan,<sup>11</sup> a minimálisan elvárható készségeket és tudásanyagot kívánták összeállítani, amit ezentúl minden sebésznek teljesítenie kell, mielőtt műtétet végezhetne. A robotos tananyag is pszichomotoros, kognitív és csapatmunka-készségeket fejleszt, azaz a szükséges elméleti orvosi tudás oktatását nem tartalmazza. Emellett a tanterv nem tér ki a pre- és posztoperációs kezelésekre oktatására sem.

A Robotos FLS curriculum elkészítésére a Delphi analízist alkalmazták, amely alapján összegyűjtötték a szempontokat, amelyek fontosak és elvárhatóak egy sebésztől, aki műtétet kíván végezni, majd ezt a kritériumlistát egy szelektált riportba egyesítették. 25 szempontot gyűjtöttek össze, amelyből 15 intraoperatív készséget, 2 postoperatív

készséget, 8 pedig praeoperatív készséget írt le (3. táblázat). A Fundamentals of Robotic Surgery néven publikált anyag e kritériumok definícióját, hibalehetőségeit, mérhető metrikáit is tartalmazta.<sup>12</sup>

Egy második iterációban (újabb sebészeti konferencián) a korábban javasolt tananyagot három új szempont szerint vizsgálták meg:

- tudásalapú információk tartalma,
- pszichomotoros képességek fejlesztése,
- csapatmunka és kommunikáció fejlesztése.

A kognitív, elvárható képességek területéhez kapcsolódóan az FRS-tananyagban rögzítésre kerültek a következők:

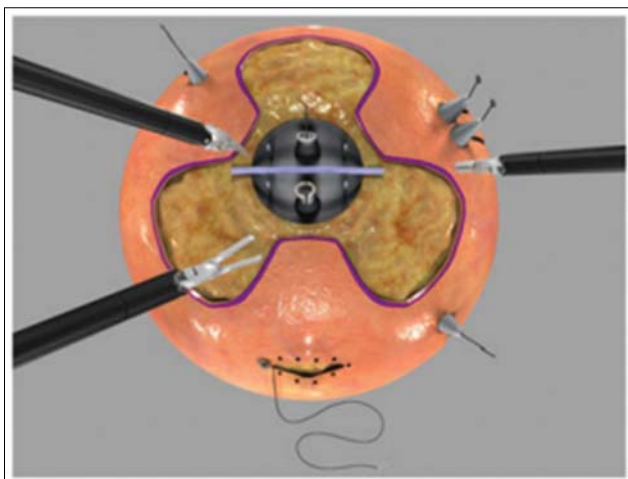
- bevezetés a robotsebészeti eszközök alapismereteibe, funkcionalitásába;
- az eszköz praeoperatív beállítása és pozicionálása;
- intraoperatív működtetés alapjai, kommunikációs lehetőségei;
- műtét utáni lépések és leállítás.

A pszichomotoros képességek körében hét alapvető követelményt tártak fel, amelyeknek feladata a motorikus mozgások finomítása, pontosítása. Az általánosan megfogalmazott követelmények bármilyen (master–slave teleoperációs) robotsebészeti tananyaggal, szimulátorral szemben a következők:

- a feladatoknak háromdimenziósnak kell lenniük;
- a tesztcélú feladatoknak egyszerre több tanulási célja (feladata) legyen, egyszerre több képesség párhuzamos értékelésére adjon lehetőséget;
- szükséges, hogy az oktatás során a robotrendszer minden képességét ismertessék, azokat a képességeket is feltárják, amelyek laparoscopia és nyílt műtét esetén nem merülnek fel;
- a feladatok implementációjának költségkímélőnek kell lennie;
- a magas szintű, valósághű modelleket tesztelésre kell használni, oktatásra az alacsony szintű modellek és eszközök is alkalmasak;

3. táblázat. A Robotos FLS által elvárt készségek listája<sup>10</sup>

Praeoperatív	Intraoperatív	Postoperatív
Rendszer beállítása	Energiafelhasználás	Kidokkolás
Ergonomikus elhelyezkedés	Kameravezérlés	Előkészítés az elszállításra
Dokkolás	Fogás	
Robot előkészítése	Eszközcsere	
Műtő előkészítése	Test pozicionálása	
Szituáció ismertetése	Robotkarok kezelése	
Kommunikációs kör kialakítása	Kéz–szem koordináció	
Válaszadás a rendszerhibákra	Atraumatikus szövet kezelése	
	Kimetszés	
	Tű kezelése	
	Varrás	
	Csomózás	
	Biztonságos operatív környezet fenntartása	



2. ábra. Az FRS fantom dómszerű munkatere<sup>9</sup>

- a feladatok könnyen adminisztrálhatóak legyenek, hogy az újraértékelést megkönnyítsék;
- a feladatokat úgy kell megtervezni, hogy a virtuális környezetben létrehozott CAD/CAM modellek sztereolitográfiával nyomtatva a valósághoz minél közelebb álló eredményt hozzanak.

A megfelelő képzés elősegítésének érdekében FRS 10 mintafeladatot is megalkottak a dóm alakú fantomon (2. ábra), amit ezekhez terveztek. Minden feladathoz tartozik egy-egy, lépésről lépésre definiált feladatleírás és a hibapontok listája is:

- FLS-szeg-átadás,
- FLS-varrás és -csomózás,
- FLS-alakvágás,
- varratszedés,
- négytornyos dóm a kétkezeség gyakorlására,
- ér kivágása,
- negyedik kar kezelése,
- mechanikus vágás,
- dokkolási feladat,
- szűrőcsap (trocar) behelyezése.

A csapatmunkára és kommunikációra koncentrálnó csoport olyan alapvető elveket állapított meg, amelyek a sikeres csapatorientált operációk és képzések elvégzéséhez nélkülözhetetlenek:

- integráció,
- felhatalmazás,
- személyspecifikusság,

#### 4. táblázat. A GEARS metódus szempontjai, értékelése<sup>13</sup>

Távolságérzékelés				
1	2	3	4	5
Rendszeresen mellényúl, lassan korigál		Néhány melléfogás, de gyors korigálás		Az eszközökkel pontosan bánik, korigálásra nincs szükség
Kézügyesség				
1	2	3	4	5
Csak az egyik kezét használja, a nem dominánst nem alkalmazza		Mindkét kezét használja, nem az interakciójuk pontatlan		Kiválóan alkalmazza mindkét kezét
Hatékonyság				
1	2	3	4	5
Számos határozatlan mozdulat		Lassú, de határozott mozdulatok		Magabiztos, hatékony mozgás, folyamatos munkavégzés
Önrendelkezés				
1	2	3	4	5
Képtelen önállóan feladatot végrehajtani, még szóbeli vezetéssel is		Felügyelettel képes végrehajtani a feladatokat		Önállóan képes elvégezni a feladatokat
Erőérzékelés				
1	2	3	4	5
Kemény mozdulatok, szöveti károsodást okoz, gyenge kontroll		Megfelelően kezeli a szöveteket, ritka a varrás felszakadása		Sérülésmentesen képes a feladatot végrehajtani
Robotvezérlés				
1	2	3	4	5
Rendszeresen optimalizálatlanul hagyja a látóterét, ütközteti az eszközöket		A látótér beállítása néha nem optimális, néha előfordul az eszközök ütköztetése		A kamerakezelés kiváló, minimális az ütköztetés

- ismételhetőség,
- valósidejűség,
- birtoklás,
- kockázatok kezelése.

A fenti kritériumok definiálása mellett meghatározták a kötelező kommunikációs feladatokat is. Ilyen feladatok például a szituáció ismertetése és a műtét alatti kommunikáció definiálása. Utóbbi azért fontos, mert a robot kezelője nem lát rá a műtőben lévő további személyek munkájára.

Az elkészült tananyagot kompetenciaalapú rendszerként tervezték, azaz a gyakorlást nem a megfelelő időkorlát teljesítéséig kell folytatni, hanem a tanulási görbe egy adott szintjének eléréséig. Ezáltal egy kevésbé szubjektív osztályozási rendszer alapjait fektették le.

### A GEARS kiértékelő módszer

Amellett, hogy az FRS a legszélesebb körben elfogadott oktatási struktúra, megjelentek más módszertanok is. GEARS (Global Evaluative Assessment of Robotic Skills) módszer egy standard kiértékelő eljárás, amely alkalmas a robotsebészeti képességek mérésére.<sup>13</sup> Hat alapvető sebészi készséget vizsgálnak a robot segítségével, a kiértékelés pedig egy ötfokú skálán történik (4. táblázat).

Egy többéves vizsgálat során különböző tudásszintű résztvevők méréseivel tudták igazolni, hogy a GEARS-módszer is megfelelően képes szétválasztani a technikai képzettség szerint az embereket (5. táblázat).

### CUSUM-módszer alkalmazása a sebészeti minőségbiztosításban

Kutatók vizsgálták, hogy független, más területeken használt módszertanokat mennyire lehet alkalmazni a robotsebészetben. Időalapú teljesítés helyett a CUSUM-analízist vetették be (amelyet eredetileg Page alkotott meg 1954-ben, vállalati minőségbiztosítás bevezetésére), amelynek alapja, hogy a folyamat vagy intézkedés során az elemi lépéseket össze kell állítani, azokat külön-külön vizsgálni és pontozni. A CUSUM objektívebb kiértékelési módszer, amennyiben kumulatív summázás az alanyokat saját képességeikhez viszonyítva pontozza, nem pedig más sebészek időteljesítményéhez képest.<sup>14</sup> Azt találták, hogy a korábbi cikkekkel ellentétben 91 robotsebészeti beavatkozás ta-

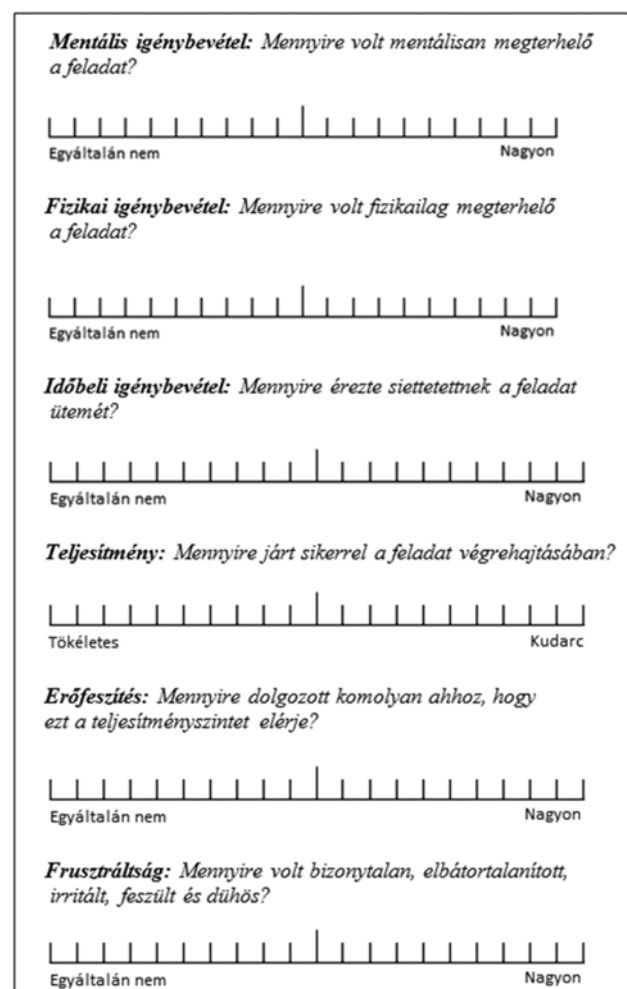
**5. táblázat.** A GEARS teszt eredménye pontszámokban kifejezve, amely alapján validálták a metrikákat<sup>13</sup>

Tapasztalat szintje	Pontszámuk
4 éve graduáltak	20,3 ± 2,4
5 éve graduáltak	22,9 ± 2,8
6 éve graduáltak	27,1 ± 2,1
Gyakornok	22,8 ± 3,8
Gyakorlott sebészek	28,7 ± 1,8

pasztalata szükséges a kellő tudás megszerzéséhez. Vizsgálataikat méheltávolítás kapcsán végezték, ahol a minimális elvárható hibahatárt korábbi publikációk alapján határozták meg. Az első vizsgálatok során csak az intraoperatív komplikációkat vették figyelembe, azaz minden komplikációt okozó cselekedetet hibapontszámmal büntettek. A részt vevő egyik sebésznek 96 esetet kellett kezelnie, mire a minimális hibahatár alá esett, míg egy másik sebésznek 76 műtétet kellett végrehajtania ehhez. További kísérletek után az átlag 91 esetre esett. A tanulmány rámutat arra a feltevésre, hogy minden sebésznek más a tanulási görbéje, annak karakterisztikája. Ennek oka számos környezeti és személyes változó lehet. Ebből kifolyólag előfordulhat, hogy egy sebész talán sosem fog a megfelelő CUSUM-hibaérték alá esni, azaz minőségbiztosítási szempontból soha nem lesz megfelelő.

### NASA Task Load Index

Robotsebészeti feladatok szubjektív kiértékelésére is egyre gyakrabban használják az elvégzett feladat munkaterheléséről információt adó NASA Task Load Index-et (NASA-



**3. ábra.** A NASA által kifejlesztett munkaterhelési index, a NASA Task Load Index<sup>16</sup>

TLX). Ez közvetlen módon nemcsak magát a feladatot, hanem a feladatvégzési környezetet is jellemzi (3. ábra). A NASA–TLX-et 1988-ban fejlesztették ki, mint többdimenziós szubjektív értékelési eszközt, amely a terhelést a következő hat alskálára bontja: mentális, fizikai, időbeli igénybevétel, teljesítmény, erőfeszítés és frusztráltság.<sup>15</sup>

## Robotsebészeti szimulátorok

Mivel a sebészek oktatása költséges és fáradságos feladat, illetve nemritkán veszélyes is lehet a páciensekre, rohamosan terjedőben vannak a sebészeti szimulátorok, amelyek legegyszerűbb formájukban boksztrénerként segítenek a kézi laparoscopos készségek elsajátításában. Megjelentek

mindeközben a komplex, robotsebészetet támogató eszközök is.<sup>2</sup> A szimulátorok nagy előnye, hogy sokkal könnyebben mérhetők rajtuk a megadott szempontok szerint a készségek, a sebészeti teljesítmény. Mivel az FRS relatív új rendszernek tekinthető, több robotsebészeti szimulátor már saját metrikát dolgozott ki. Ezeket röviden tárgyaljuk.

### RoSS trainer

A Simulated Surgical Systems cég 2010 márciusában debütált a da Vinci sebészeknek szánt termékével, a RoSS-szal (Robotic Surgery Simulator).<sup>17</sup> Az eszköz számos előnyös tulajdonsággal rendelkezik: különálló szimulátor, független a sebészeti robottól (4. ábra). Minimális fenntartási költségei vannak, hiszen nincs szükség elhasználandó eszközök cseréjére, vásárlására. Emellett a rendszer jól fejleszthető és bővíthető.

A RoSS rendelkezik külső monitorral, így a mentor folyamatosan láthatja a gyakorlatvégzés menetét, segítheti a gyakorlat helyes végrehajtását. A gép tartalmazza a vázlat, két kijelzőt, a számítógépet és a két vezérlőkart. A kijelző lehet binokuláris beépített vagy érintőképernyő is. Kiegészítőként pedálokat is csatlakoztatni lehet, amelyek funkciója programozható (például fény ki- és bekapcsolása, kamera helyzetváltoztatása). A gyártó szerint ez az egyetlen – jelenleg a piacon lévő – szimulációs eszköz, amellyel akár teljes műtétek szimulációja is elvégezhető.<sup>18</sup>

A robotsebészetre való gyorsan növekvő igényeknek megfelelően a RoSS nemcsak gyakorlatokat, hanem több feladatból álló teljes tantervet is tartalmaz. A tantervek a kognitív és motorikus készségek fejlesztését egyaránt igyekeznek szem előtt tartani. A tanterv négy modulból áll, amelyek további feladatokat tartalmaznak (6. táblázat).

### SimSurgery

A SimSurgery gyakorlatsomagokat árul, amelyekkel kezdő sebésztől a haladóig megtalálhatóak különböző készségfejlesztő feladatok.<sup>19</sup> A SEP Basic (SimSurgery Education Platform) névre keresztelt csomag 25 gyakorlatot tartalmaz:

- 4 kamera navigációs,
- 6 szövetkezelési,
- 7 varrási,
- 8 haladó varrási gyakorlatot.

Minden feladat metrikáit SQL adatbázisba tárolják. A 25 feladatnak összesen 102 részfeladata, 156-féle hibametrikája van,<sup>20</sup> amelyek specializáltan egy-egy műtéti típusra adnak felkészülési lehetőséget, beleértve



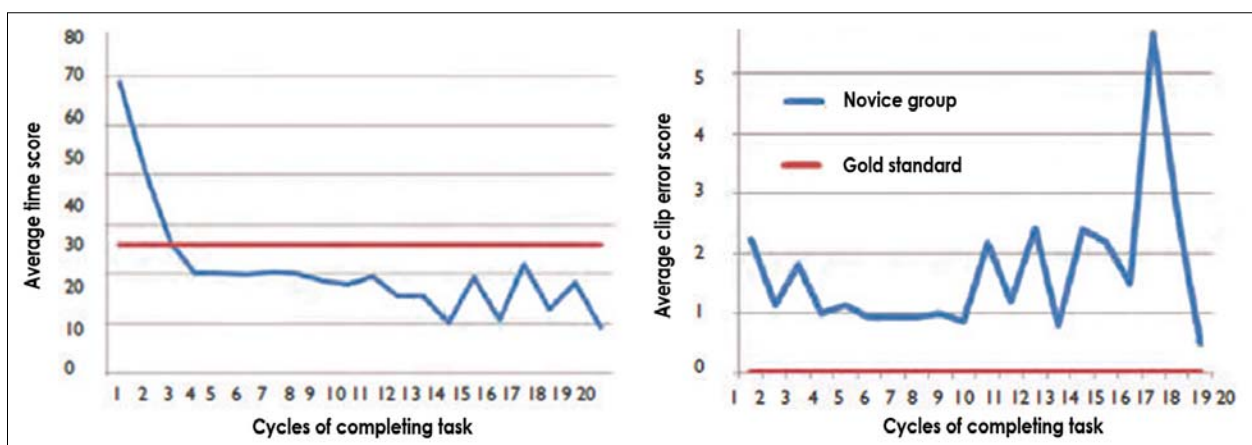
4. ábra. A RoSS sebészrobotikai oktatásimulátor (Fotó: Simulated Surgical Systems Inc.)

6. táblázat. A RoSS tanterv moduljai és feladatai

<b>Modul 1</b> Alap konzolhasználat	Feladat 1 <i>Eszközkezelés</i>
	Feladat 2 <i>Kamerakezelés</i>
	Feladat 3 <i>Koordinált eszközhasználat</i>
	Feladat 4 <i>4. kar használata</i>
<b>Modul 2</b> Pszichomotoros készségek fejlesztése	Feladat 5 & 6 <i>Labdaelhelyezés</i>
	Feladat 7 & 8 <i>Térbeli elhelyezés</i>
<b>Modul 3</b> Alapvető sebészi készség fejlesztése	Feladat 9 & 10 <i>Tűkezelés</i>
	Feladat 11 <i>Elektrokauterkezelés</i>
	Feladat 12 <i>Vágás</i>
	Feladat 13 <i>Szövetvarrás</i>
<b>Modul 4</b> Haladó sebészi készség fejlesztése	Feladat 14 <i>Élő szövet kezelése</i>
	Feladat 15 <i>Kimetszés</i>
	Feladat 16 <i>Csomózás</i>

egy robotsebészeti szimulációt, ahol 6 tűkezelési, 7 kezdő és 8 haladó varrási feladat végrehajtására van lehetőség.<sup>19</sup> A SEP Robot validálását 16 alannal végezték, akiknek nem volt korábbi tapasztalata MIS-szel.<sup>21</sup> A jelentkezőknek két

feladatot kellett végrehajtaniuk: epevezeték kapcsolását és varrását. A gyakorlatokat folyamatos gyakorlási ciklusokkal kellett végrehajtaniuk. Az első feladat elemzése alapján a kapcsolás végrehajtási ideje 30,25 másodpercre csökkent



5. ábra. Az átlagos pontszám alakulása a végrehajtások száma alapján, illetve az átlagos kapcsolási hibák száma a SEP Robot szimulátoron<sup>21</sup>



(szélső értékek: 14 és 42 másodperc). Azonban jól megfigyelhető volt, hogy a 10. próbálkozás után elkezdett nőni a kapcsolási hibák száma is (5. ábra). Ezt a tendenciát más szerzők is megerősítették, akik a rezidenseknél tapasztaltak gyorsabb munkavégzést, de nagyobb potenciális hibázást, illetve sérülést a beteg számára.<sup>22</sup>

A csomózás feladata is hasznos adatokat mutatott ki: ez a gyakorlat mutatta a legjobb tanulási görbét, mert átlagosan három ciklus után sikerül elérni a kívánt pontszámot. A végrehajtási idő 83,25 másodpercig csökkent (50-től 178 másodpercig). A hibák száma egy küszöb után itt is növekedni kezdett, hasonlóan az előző feladathoz. A kísérletből kiderült, hogy kezdő sebészek is akár három próbálkozás alatt elérhetik az elvárt standard szintet, így a szimulátort hatékony eszközként kezelték.

### A dV-Trainer

A Mimic Technologie fejlesztése, a da Vinci Trainer,<sup>23</sup> az MSim 2.0 platformra épülő szimulátor, amelynek fő célja a minél valóságosabb műtéti környezet előállítása. Az új render engine-nek köszönhetően jobb árnyék-fény vetődést és jobb varrás-csomózás szimuláció építhető fel (6. ábra). A da Vinci Trainer (dV Trainer) olyan sikeres lett, hogy a robotot gyártó Intuitive Surgical Inc. licenziába vette a technológiát, és saját neve alatt árulja azt. A dV Trainer egy úgynevezett MScore módosított TAA-metrikát követ.<sup>24</sup> A tutor különböző tréningeket, tanterveket állíthat össze az egyes hallgatóknak, tanulásukat nyomon követheti. A tantervek importálhatóak, exportálhatóak: az export tartalmaz-

za a gyakorlatokat, végrehajtásuk sorrendjét és a súlyozási beállításokat.

Mérhető paraméterek tájékoztatást adnak mind a sebész gyakoroltságáról, mind pedig a (szimulált) beteget ért traumáról:

- teljesítési idő,
- mozgásparaméterek,
- eszközök pontossága,
- elejtések száma,
- kihagyott célpontok,
- az eszköz elhagyja a látóteret,
- vérvesztés,
- erek sérülése,
- kihasználatlan energia,
- teljes pontszám.

Több mint 45 alap és haladó szintű gyakorlat áll a tanulók rendelkezésére, amelyet a saját fejlesztésű pontozó rendszerrel lehet validáltatni. Az alapgyakorlatok között szerepel a sebészi konzol kezelése, csuklógyakorlatok, kamera és világítás kezelése, hibaelhárítást oktató kurzus. A haladó gyakorlatok a tű befűzését és használatát, varrást, kimetszést és a csomózást oktatják. Emellett játékok segítségével a sebészek akár versenyezhetnek is egymással.

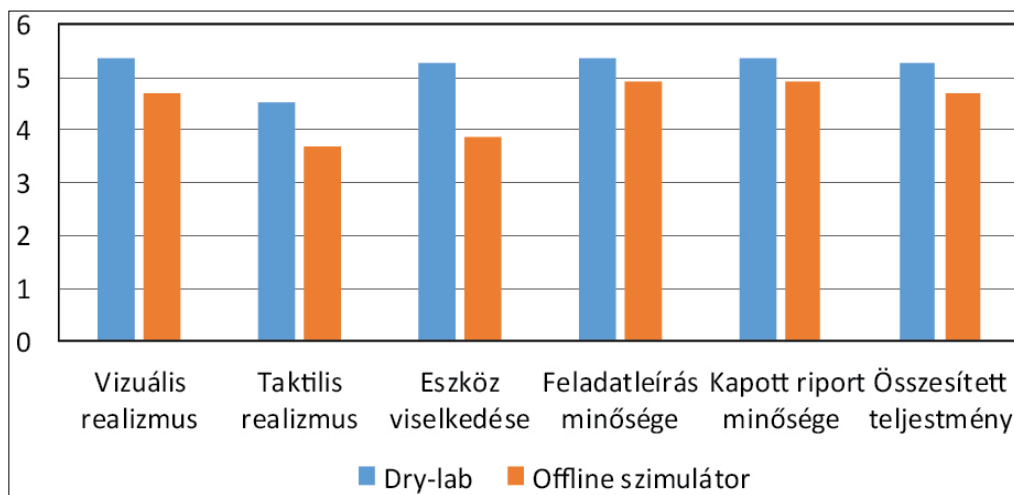
A szimulációs eszköz hivatalosan használhatóvá válása 2008-ban indult útjára, amikor az AUA (American Urological Association) elfogadta a tanulmányt, miszerint a VR-tréning hatásosnak bizonyul, jelentős fejlődés érhető el vele. Ezt követően a társaság felügyeletével egy kísérlet indult el,<sup>25</sup> amelyben négy, robotsebészeti tapasztalat-



6. ábra. A dV Trainer varrási feladata (Mimic Inc.)

7. táblázat. A feleletválasztós kérdőív eredménye a dV Trainer értékelésére<sup>25</sup>

Kérdés	Igen (%)	Nem (%)
A sebészrobotok hasznosak lehetnek a gyermekgyógyászatban?	100	0
Szükség van a számítógépes sebészeti szimulátorokra a sebészi képzésben?	100	0
Szükség van a számítógépes sebészeti szimulátorokra, hogy a képességeket szinten tartsa a képzések után is?	88	12
Hasznos lenne egy szimulátor a da Vinci robot használatának tanulásakor?	100	0
Hasznos lenne egy offline tréning-szimulátor – ami nem a da Vinci-masteren fut – a da Vinci-eszköz elsajátítására?	94	6

7. ábra. Az eszközök értékelése Likert-skálán<sup>25</sup>

tal rendelkező, négy gyakorlottabb sebész – robotsebészeti tapasztalat nélkül – és hét tanuló vett részt. A résztvevők a da Vinci-rendszeren műthettek egy gyakorlótáblán (dry-lab), majd a szimulátort használva újra végre kellett hajtaniuk ugyanazon gyakorlatokat. A különbség alapján véleményezniük kellett a szimulátor minőségét úgynevezett Likert-skálán. (A Likert-skála 0-tól 6-ig terjedő skála, ahol 0 = egyáltalán nem értek egyet, 6 = teljes mértékben egyetértek.) A dry-labon gyakorlókat szakértő bírák pontozták, akik elől a jelentkezők tapasztalati adatai el lettek rejtve. A szimulátoros tréning alatt a szimulátor az alábbi metrikákat rögzítette:

- idő (másodperc),
- megtett mozgás eszközönként (mm),
- gyűrű deformálódása,
- eszközütközések száma,
- eszköz látótéren kívül (másodperc).

A gyakorlatok után 88% azt nyilatkozta, ennek a szimulációs minőségnek lenne szerepe a robotsebészetben. Heten állították, hogy ők be is vezetnék a képzésbe a szimulációs gyakorlatot. A Likert-skálán 5,23 átlagértékelést kapott a dry-lab, míg a szimulátor 4,69 ponttal zárt. A feleletválasztás és a Likert-skálán mért kérdőív eredményét a 7. táblázat és a 7. ábra mutatja.

A metrikákból kiolvasható volt a kezdők és tapasztaltak közötti különbségek is, amelyet a 8. táblázat ismertet.

Azonban az is megállapításra került, hogy minél többet használják a szimulátort, annál költséghatékonyabbá tehető, folyamatos üzem mellett a leggazdaságosabb.

2009 márciusában megjelent egy újabb kutatási eredmény, amely egy 20 résztvevős kísérletről számolt be.<sup>26</sup> A tesztben kezdők és haladók egyaránt részt vettek, és három gyakorlatot hajtottak végre:

- *Ring & cone*: az előző kísérletben is ismertetett gyűrűáthelyezési gyakorlat.
- *String walk*: kifeszített dróton kellett egy gyűrűt végigvezetni a drót érintése nélkül.
- *Letterboard*: egy doboz megfelelő rekeszébe kellett a betűformákat helyezni.

A gyakorlatok végrehajtása után kérdőívet kellett kitölteniük a sebészeknek, amely alapján a precizitás kivételével csak jó és kiváló értékeléseket kapott a szimulátor.

A tréner hitelesítésének következő lépcsője a felület, tartalom és konstrukció validálása volt.<sup>27</sup> A tanulmányt 19 kezdő és 7 tapasztalt sebész bevonásával hajtották végre. A kezdők két-három órát gyakorolhattak az eszközön a felmérések megkezdése előtt. Ez után 10 perces gyakorlatok következtek (pick & place, peg board, dots & number, suture sponge). A gyakorlatok alatt számos metrika rögzítésre került:

- teljesítési idő,
- maximális kifejtett erő,

**8. táblázat.** Tapasztaltak és tapasztalatlanok közti különbségek (átlag  $\pm$  szórás)

	Tapasztalatlan	Tapasztalt
Teljesítési idő	159 $\pm$ 16	96 $\pm$ 15
Mozgás mértéke (mm)	2095 $\pm$ 212	1301 $\pm$ 245
Gyűrűtorzulás	1,99 $\pm$ 0,21	1,76 $\pm$ 0,31
Eszközütkezések száma	2,03 $\pm$ 0,84	0,85 $\pm$ 0,36
Eszköz a látószögön kívül (mp)	7,90 $\pm$ 2,46	5,22 $\pm$ 3,20
Master kontroll a középponton kívül	34,70 $\pm$ 11,16	4,32 $\pm$ 2,41

**9. táblázat.** Összesített statisztika a négy gyakorlatra a dV Traineren<sup>27</sup>

Változó	Kezdők esetén	Haladók esetén
Teljes pontszám (%)	74 $\pm$ 18	82 $\pm$ 11
Teljesítési idő (s)	269 $\pm$ 196	139 $\pm$ 56
Maximális erő kifejtés	6,02 $\pm$ 13,52	2,71 $\pm$ 5,34
Teljes mozgás (mm)	2635 $\pm$ 1682	1674 $\pm$ 712
Eszközütkezések száma	4,9 $\pm$ 7,8	0,9 $\pm$ 1,3
Látószögön kívül töltött idő (s)	87 $\pm$ 104	32 $\pm$ 36
Elejtett eszközök	0,3 $\pm$ 0,6	0 $\pm$ 0

- deformálódás mértéke,
- megtett út,
- eszközök ütkezése,
- eszköz a látókörön kívül,
- sikeres és sikertelen tesztek száma.

Az arculat értékelése során a kezdőkből álló csoport tagjai hasznosnak ítélték meg a szimulátort, sőt bevezették volna a képzésbe is. A haladók közt is elfogadott lett a szoftver, azonban például a tükezelési gyakorlatot nem találták valóságnak. A konstrukció validálásakor a teljesítményt modulonként analizálták, amelynek eredményét a 9. táblázat tartalmazza.

Háromévnnyi fejlesztés után újra összehasonlították a dV Trainert a da Vinci-rendszerrel, hogy validálják valóságosságát.<sup>28</sup>

A teszten 16 urológus vett részt, akiket három csoportba osztottak. Az első csoport szabványos tréninget hajtott végre dV Traineren, míg a második csoport a da Vincin gyakorolhatott. A harmadik team nem gyakorolhatott egyik eszközön sem, csupán kontrolles csoport volt.

A gyakorlatok közt két standard feladat volt: string walk és suturing, amelyeket fentebb ismertettünk. A vonalvezetési gyakorlat esetén a gyűrű leejtése 10 másodpercnyi büntetést vont maga után, míg a vezeték meghúzása vagy a gyűrű összeroppantása 60 másodperces időnövekedéssel

**10. táblázat.** A résztvevők megoszlása és eredményei

	1. csoport	2. csoport	3. csoport
Urológiai képzettség			
Kezdő	3	3	4
Senior	2	2	2
Robotsebészeti tapasztalat			
Kezdő	3	3	4
Tapasztalt	2	2	2
Kezdeti pontszámok			
String walk	289,7 $\pm$ 70	245,8 $\pm$ 73,2	277,6 $\pm$ 5,7
Suturing	161,4 $\pm$ 31,5	139,2 $\pm$ 27,3	166,6 $\pm$ 25,5
Végső pontszámok			
String walk	202,1 $\pm$ 43,6	122,8 $\pm$ 42,3	236,7 $\pm$ 80,0
Suturing	138,7 $\pm$ 43,1	93,2 $\pm$ 38,1	147,6 $\pm$ 35,5

járt. A varrási feladatnál a tű eltörése és a varrat felszakítása egyaránt 15 szekundum büntetést jelentett. A da Vincin való gyakorlást pontozóbírák pontozták. Mindhárom csoport végrehajtotta dry-lab környezetben a gyakorlatokat, majd a tréning után megismételték (10. táblázat).

A résztvevőket a második és harmadik csoportban megkérdezték a szimulátor valóságosságáról. Minden megkérdezett azt nyilatkozta, könnyen használható és igen hasznos. A pontszámok csökkenése – legfőképpen a második csoport esetén – is bizonyította a szimulátor használhatóságát, újabb lépcsőfokot megtéve a siker felé.

A Korea University School for Medicine<sup>29</sup> kutatásában a dV Trainert alkalmazták, hogy kiderítsék, mennyi gyakorlás szükséges a készségek jelentős fejlődéséhez. A kísérletben 20 tanuló vett részt, akiknek nem volt korábbi tapasztalata az eszközzel. A „tube 2” névre hallgató gyakorlatot vették az elemzés alapjául, ami vesicourethral anastomosis szimulálására szolgál. A gyakorlatot több mint 80 alkalommal ismételték meg, hogy a tanulási görbét alaposan tanulmányozhassák. A kísérlet végén minden megfigyelt paraméter – végrehajtási idő, ütközések száma, kritikus hibák száma – jelentősen csökkent. Az átlagos végrehajtási idő 138 másodpercre rövidült, mindössze négy óra gyakorlás után.

Más tanulmányok is hasonló eredményre jutottak.<sup>30</sup> Egy féléves képzés során öt feladaton keresztül vizsgálták a szimulátoron és a da Vinci-rendszeren nyújtott teljesítményt:

- pick & place,
- ring & cone,
- letterboard,
- string walk,
- camera control gyakorlat.

A metrikák mérésére az M-Sim pontozórendszert használták dVT (dV Trainer) esetén, míg a dVSS (da Vinci Surgical System) tréning eredményeit szakértők értékelték. A gyakorlatok után kérdőíveket töltöttek ki, hogy a szimulátor használhatóságát értékeljék, illetve definiálták a tanulási görbét is: észrevették, hogy átlagosan 6 próbálkozás után közel lineárisra vált a tanulási görbe.

Egy 2010-ben megjelent tanulmány<sup>31</sup> szerzői szintén a Mimic programjára épülő da Vinci-sebészrobot szimulátorának validálását végezték el. A kísérletben 39 sebész vett részt. A jelentkezőket három csoportba osztották. Az első csoport (18 fő) a 0–20 műtétet végzett rezidensekből állt. A második csoport nyolc főt számlált, akiknek 21–150 műtétnyi tapasztalata volt. A harmadik csoport 13 fője már 150-nél több műtétet kellett végrehajtson praxisa folyamán. A sebészeknek 24 feladatot kellett elvégezniük, mindegyiket egy-egy alkalommal. A feladatokat a következő öt fő kategóriába sorolták:

- EndoWrist manipulációk,
- kamerakezelés,
- tű mozgatása,
- tű használata,
- kimetszés.

A gyakorlatok kiértékelésére számos – a da Vinci-szimulátor által nyújtott – metrikát vettek alapul, amelyek a következők voltak:

- összes pontszám,
- teljesítés ideje,
- mozgás természetessége,
- eszközök ütközésének száma,
- túlzott erőfelfejtés ideje,
- eszközök nézetén kívül kerülése,
- rendelkezésre álló hely kihasználtsága,
- elejtések száma,
- eltévesztett célpontok száma,
- hibás energiafelhasználás ideje,
- vérveszteség,
- vérerek sérülésének száma.

A 24 feladat elvégzése után jól látható volt, hogy az eredmények alátámasztják a korrelációs feltevést (11. táblázat). A kutatás előnye, hogy a kísérlet magas résztvevői számmal lett hitelesítve, ezért képes objektíven bizonyítani a fenti hipotézist, miszerint a dV Trainer képes megkülönböztetni a haladó sebészt a kezdőtől.

**11. táblázat.** A da Vinci-szimulátor validációs kísérletének eredménye táblázatos formában<sup>31</sup>

Csapat	Pontszám	Időpontszám
Csapat 1	64,7% ± 13,4%	39,1%
Csapat 2	79,1% ± 5,5%	58,6%
Csapat 3	87,4% ± 3,9%	87,3%

## Összegzés

Az elmúlt évtizedben a robotsebészet szerepe jelentősen felértékelődött, amely megmutatkozik mind a használatba állított rendszerek számában, mind pedig az elvégzett operációk mennyiségében és változatosságában. A piacot jelenleg a da Vinci-rendszer uralja, amelyhez több szimulátor is készült. A robotsebészet és a rajta keresztül bevezetett készségfelmérési technikák közvetlenül hozzájárulnak ahhoz, hogy a sebészeti beavatkozások során mutatott emberi teljesítmény objektíven mérhető legyen. Ennek első számú hasznossága az oktatásban mutatkozik meg. Egységesített curriculumok és metrikák révén képzési szintek és elvárások határozhatók meg. Manapság még számos párhuzamosan fejlesztett, egymással versengő módszer létezik. Ezek áttekintését nyújtotta a cikk. Megállapítható, hogy míg az alapvető szintek (kezdő és haladó) elkülönítésére szinte mindegyik módszer megbízhatóan használható, a műtéti folyamatok összetett vizsgálatára elsősorban csak az olyan komplex módszerek alkalmasak, mint a Fundamentals of Robotic Surgery. Ez utóbbi a SAGES és más rangos szakmai szervezetek támogatása mellett várhatóan dominánssá fog válni a területen, és minden nyugati robotsebészeti képzés eleme lesz hamarosan.

## Irodalomjegyzék

- <sup>1</sup> *Auerback AD, Gibbs VC*: Learning curves for new procedures – the case of laparoscopic cholecystectomy, 2009.
- <sup>2</sup> *Sándor BLJ*. Minimally invasive surgical technologies: challenges in education and training. *Asian J of Endoscopic Surgery* 2010; 3: 101–108.
- <sup>3</sup> *Sánchez-Margallo FM, Moyano-Cueva JL, Pagador JB, Enciso S, Gómez-Aguilera EJ, Usón-Gargallo J, Sánchez-Peralta LF*: Learning curves of basic laparoscopic psychomotor skills in SINERGIA VR simulator. 2012.
- <sup>4</sup> *Haidegger T*: A robotsebészet hódítása – sikerek, kudarcok, kihívások. *Orvosi Hetilap* 2010; 150: 1690–1696.
- <sup>5</sup> *Nio D, Bemelman WA, Olthof E*. The learning curve of robot-assisted laparoscopic surgery. Amsterdam, 2007.
- <sup>6</sup> *Sándor THJ*: Robotsebészet. *Magyar Sebészet* 2013; 66: 236–244.
- <sup>7</sup> *Wikipedia*. [http://en.wikipedia.org/wiki/Learning\\_curve](http://en.wikipedia.org/wiki/Learning_curve) (2010)
- <sup>8</sup> *Satava RM, Pellegrini CA, Sinanan MN, Chang L*: Robotic surgery – Identifying the learning curve through objective measure of skill.
- <sup>9</sup> *Satava R*: Fundamentals of robotic surgery: outcomes measures and curriculum development. *NextMED/MMVR* 2013; 20: 1–4.
- <sup>10</sup> *Patel V, Satava R, Smith R*: Fundamentals of robotic surgery: a course of basic robotic surgery skills based upon a 14-society consensus template of outcomes measures and curriculum development, 2013.
- <sup>11</sup> *FSL Program*. [www.fslprogram.org](http://www.fslprogram.org) (2014)
- <sup>12</sup> *Sages*. [www.sages.org/meetings/annual-meeting/abstracts-archive/fundamentals-of-robotic-surgery](http://www.sages.org/meetings/annual-meeting/abstracts-archive/fundamentals-of-robotic-surgery) (2014)
- <sup>13</sup> *Goldfarb DW, Sander JC, Miles BJ, Dunkin BJ, Goh AC*: Global evaluative assessment of robotic skills: Validation of a clinical assessment tool to measure robotic surgical skills. 2012.
- <sup>14</sup> *Gebhart JB, Woelk JL*: Identify your learning curve for robotic hysterectomy, 2013.
- <sup>15</sup> *Sandra LE, Hart G*: Development of NASA-TLX (Task Load Index). Results of empirical and theoretical research. Pasadena, CA, 1988.
- <sup>16</sup> *Godri V*: Laparoskopos sebészeti tréner validálása. BME MSc, diplomamunka, 2012.
- <sup>17</sup> *RoswellPark.org*. [www.roswellpark.org/robotics/training/robotic-surgery-simulator-ross](http://www.roswellpark.org/robotics/training/robotic-surgery-simulator-ross) (2014)
- <sup>18</sup> *SSS weboldal*. <http://www.simulatedsurgicals.com/what-is-ross.htm>
- <sup>19</sup> *Simulated Surgical Systems weboldala*. <http://www.simulatedsurgicals.com/what-is-ross.htm> (2013, November)
- <sup>20</sup> *SimSurgery*. <http://www.simsurgery.com/> (2013, November)
- <sup>21</sup> *Bahsoun AN, Khan MS, Dasgupta P, Ahmed K, Malik MM*: Learning curve of basic surgical skill acquisition on the SEP robot. 2013.
- <sup>22</sup> *Fabry G*: Élethű laparoskopos sebészeti tréner fejlesztése. BME MSc, diplomamunka, 2012.
- <sup>23</sup> *Md News portál*. [http://www.mdnews.com/news/2013\\_01/closing-the-learning-gap-for-robotic-surgery.aspx](http://www.mdnews.com/news/2013_01/closing-the-learning-gap-for-robotic-surgery.aspx)
- <sup>24</sup> *MedGadget portál*. <http://www.medgadget.com/2012/05/mscore-analyzes-robotic-surgery-simulator-performance.html> (2012, May)
- <sup>25</sup> *Casale P, Sweet R, Thomas CP, Lendvay S*: Initial validation of a virtual-reality robotic simulator. 2008.
- <sup>26</sup> *Peine WJ, Mohammadi Y, Sundaram CP, Sethi AS*: Validation of a novel virtual reality robotic simulator. 2009.
- <sup>27</sup> *Wszolek MF, Gould FJ, Libertino JA, Moinzadeh A, Kenney PA*: Face, content, and construct validity of dV-trainer, a novel virtual reality simulator for robotic surgery. 2009.
- <sup>28</sup> *Mues AC, Graversen JA, Gupta M, Benson MC, Cooper KL, Landman J, Badani KK, Korets R*: Validating the use of the mimic dV-trainer for robotic surgery skill acquisition among urology residents. London, 2011.
- <sup>29</sup> *Kang SG, Yang KS, Ko YH, Kang SH, Park HS, Lee JG, Kim JJ, Cheon J*: A study on the learning curve of the robotic virtual reality simulator. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A*. 2012; 22: 438–42
- <sup>30</sup> *Perez M, Tran N, Jehl JP, Felblinger J, Bresler L, Hubert J, Perrenot C*: The virtual reality simulator dV-trainer is a valid assessment tool for robotic surgical skills. 2012.
- <sup>31</sup> *Meraney AM, Staff I, Shichman SJ, Finnegan KT*: Da Vinci skills simulator construct. 2012.
- <sup>32</sup> *Agrawal V, Peine WJ, Peine JW*: Member effect of backlash on surgical robotic task proficiency. 2012.
- <sup>33</sup> *Van Dam R, van Gemert WG, Heemskerk J*: First results after introduction of the four-armed da Vinci surgical system in fully robotic laparoscopic cholecystectomy. 2005.