

Virtual reality simulators in endovascular interventions

Simuladores de la realidad virtual en intervenciones endovasculares

Ernesto Marcelo Torresani¹

Abstract

It's estimated that about half of the adverse events occurred in the medical practice are due to medical errors that could have been prevented.

In procedures requiring practical training one of the foreseeable causes of these errors are tactics or techniques incorrectly employed.

Even though the possibility exists of performing training with animals or cadavers, this strategy might have ethical considerations or serious difficulties for reproducing all possible situations.

In the process of acquisition of psychomotor abilities as to perform complex manual tasks like those involved in the accomplishment of endovascular interventions, after its comprehension is mandatory its integration and automation thus acquiring a relevant role the VR simulators.

The simulation (typically used in pilots training) is a way of getting experience in situations that otherwise could be dangerous for oneself or the others.

In this manner and aiming to be more realistic, many of the complications that might happen in real life, can be reproduced in virtual labs. Numerous are the benefits of this methodology that allows professional training in unusual or complex situations, enhancing diagnostic and therapeutic efficiency.

With this novel system the interventionalist refines his/her technique rehearsing complex procedures several times yet without the potential risk of managing a real patient. Many interventions with a great variety of clinical situations can be practiced handling real instruments such as guide wires, catheters, balloons, stents, embolic protection devices, etc.

The system has been evolving steadily in the last years having been incorporated both in basic training in the early stages of medical residencies and as a mean of improvement for the experts, simulating specific cases with the objective of optimizing complex procedures and ultimately in the certification and recertification of specialists.

I believe we should do everything possible as to incorporate this technology in the formation of our physicians

Palabras clave: *simulators, virtual reality, skills learning, endovascular interventions, medical errors.*

INTRODUCTION

In two large studies, one of them carried out in Colorado and Utah and the other in New York, it

was observed an adverse event occurrence of 2.9 % and 3.7 % of admissions.

These events derived in deaths in 6.6 % of the Colorado and Utah hospitals and in 13.6 % of the New York ones. In both studies half of the events were secondary to medical errors that could have been prevented.

If these figures were extrapolated to the 33.6 million U. S. hospital admissions in 1997, one could infer that between 44,000 (Colorado and Utah study) and 98,000 (New York study) people would have died that year as a result of medical errors.

1. 1. Hemodynamics, General Angiography and Endovascular Therapy Unit. Sanatorio Modelo Quilmes. (1879) Andrés Baranda 282, Quilmes, Buenos Aires, Argentina.

✉ Correspondencia: etorresani@intramed.net



Figure 1. Radial puncture simulator.⁶

At the same time 43,458 deaths were registered due to car crashes, 42,297 due to breast cancer and 16,516 due to AIDS.¹ These shocking figures lead us to rethink about how could we avoid such errors by its prevention. We could define “error” (from Latin: *errorem*) as a wrong or mistaken action.²

In those procedures that require practical training for its performance, one of the causes of these foreseeable errors are tactics and/or techniques wrongly applied. Since long ago the physicians were trained by means of experimental surgery in animals in order to learn suture techniques or tissue anastomoses, before doing it in humans. One bowel, arterial or venous anastomosis has first to be learnt in non-stressing conditions so that it can be repeated and corrected without undesired consequences for people.³

Nonetheless, this learning strategy could have ethic implications on one side and impossibility of reproduction of all possible human situations on the other.

In the last 15 years we have witnessed an impressive development of informatics, expanding uninterruptedly to all human areas.

Incorporation of simulators for medical training is today a reality that is enhancing year after year.

ABOUT LEARNING

We could define “learning” as a relatively permanent behavioral change that occurs as the result of practice.⁴ It can be classified in three domains, being them:

- a. Cognitive or intellectual: comprises intellectual skills and capabilities, including memory and knowledge evocation (verbal information, concepts, principles or generalizations, problem resolution, critical thinking).
- b. Psychomotor: manual abilities or any act requiring neuromuscular coordination (skills).
- c. Affective: interests, attitudes and values (attitudes).

Even though all of we act involving the three domains in all our actions, circumstantial predominance of any of them can be useful with pedagogical purposes.

An individual learns: a) spoken information, b) concepts, c) principles, d) problem resolution, e) critical thinking, f) psychomotor skills and g) attitudes.

While achieving psychomotor skills there exist three moments: 1) acquisition, 2) fixation and 3) perfecting, having practice and demonstrations a key role.

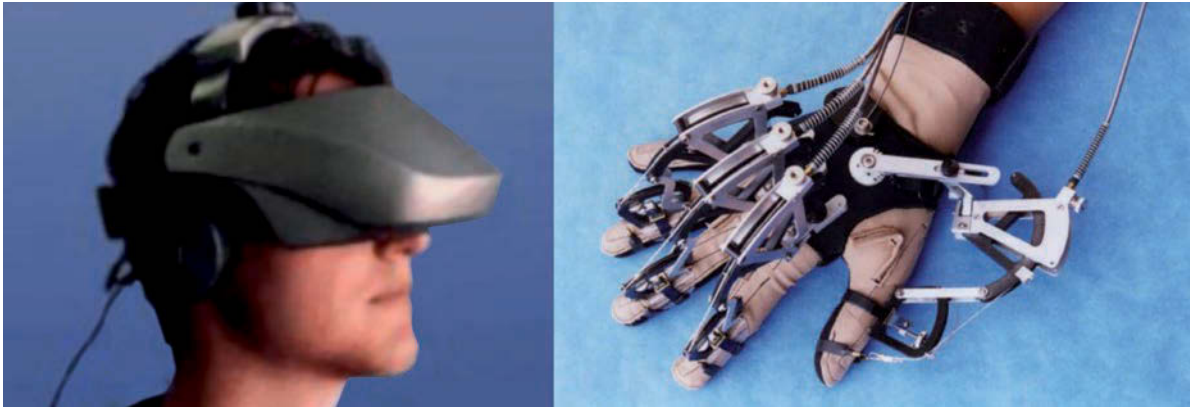


Figure 2. Devices utilized in virtual reality.



Figure 3. Simulator utilized in Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg.⁹

Table 1. Fitts-Posner's three-stage model of acquisition of motor abilities.

Stage	Goal	Activity	Performance
Cognition	Understand the task	Explanation, demonstration	Erratic, distinct steps
Integration	Comprehend and perform mechanics	Deliberate practice, feedback	More fluid with fewer interruptions
Automation	Perform the task with speed, efficiency and precision	Automated performance requiring little reasoning for refining	Continuous, fluid, adaptive

Table 1 summarizes the Fitts-Posner's three-stage theory of acquisition of motor abilities related with skills.⁵

For the performance of complex handwork such as that required for surgical interventions it's necessary not only to understand the task to handle but also its integration and automation. Is in this scenario where simulators emerge with a relevant role.

SIMULATORS

For the teaching/learning of these skills 5 simulator types are available, being them (**Table 2**)⁵: a) bench models, b) live animals, c) cadavers, d) human performance simulators, e) virtual reality simulators. Each of them has its advantages and disadvantages.

The bench models in endovascular areas have generally been made of transparent glass or plastic tubes mimicking the difficulties faced throughout the vessels and with the devices to be implanted, allowing visualization of maneuvers due to its transparency.

They are basically useful as to have an idea of the maneuvers and especially the way of operation of the devices to utilize or to implant. They are very simple and don't allow training or performance improvement.

Live animals have been used for ages for the learning and practice of surgical skills⁽³⁾, although its use is problematic due to ethic considerations, high costs and the need of institutional facilities.⁵

Human cadavers are much closer to the real-world and have also been used with this purpose, neverthe-

Table 2. Simulator types available.

Simulator	Advantages	Disadvantages	Best use
Bench models	Cheap, portable, reusable, minimum risks	Low fidelity, scholars acceptance, very basic tasks, no surgeries.	Basic skills for novices, discreet abilities
Live animals	High fidelity, availability. Haemostasis and even a complete surgery can be practiced	Cost, specialized facilities and personnel, ethical concerns, single use, anatomic differences	Advanced knowledge of the procedure, procedures in which blood flow is important, dissection skills.
Cadavers	High fidelity, only current real anatomy simulator, a WHOLE surgery can be practiced	Cost, availability, single use, risk of infection, tissue alterations	Advanced knowledge of the procedure, dissection skills, continuous medical education
Of human performance	Reusable, high fidelity, data storage, interactivity	Cost, maintenance, inactivity time, limited technical applications	Team creation, crisis management
Surgical / Virtual reality	Reusable, data storage, minimum configuration time	Cost, maintenance, inactivity time, limited technical applications, scholars acceptance; the three dimensions are not well simulated	Basic laparoscopic skills, abilities in endoscopic and percutaneous procedures.

less and despite being very useful for practicing dissections, sutures and so forth, also have high costs and a very limited availability. On the other hand in the endovascular field its utility is limited because of a different compliance of the tissues.⁵

In the area of human performance simulators many situations can be represented. They are frequently used in CPR training. Mannequins are utilized in which external cardiac massage and endotracheal intubation can be performed. Usually there is also a monitor that mimics different arrhythmias.

In the endovascular field they are utilized for practicing arterial puncture.

Figure 1 shows a simulator of this sort used for radial puncture training, built with plastic tubes connected to a pumping system that by air injection simulates the pulse wave.

The latest devices are the virtual reality (VR) simulators. We could define virtual reality⁷ as a computerized tridimensional interactive simulation in which the user feels immerse in an artificial ambience and perceives it as a real one because of sensorial stimuli.

Such systems are described as immersive, semi-immersive and non-immersive, according to the position of the user in relation to the stimulation.

In the immersive systems many devices are placed in the user's head, eyes, hands, etc. (**Figure 2**) that will stimulate different sensorial organs giving the sensation of being inside a new ambience; this is what we've seen in many sci-fi movies that evidently are no longer that.

The simulators used in endovascular procedures are built on a mannequin to which is added an inlet device that mimics femoral and/or radial puncture (as the above described), through which the catheters will be inserted.

The system⁸ is equipped with a built-in haptic unit, a computer, 2 or 3 monitors and controls of table movements, fluoroscopy, dye injection, balloon inflation, stent deployment, etc. (**Figure 3**) depending on which procedures they were designed for.

Haptic strictly speaking means anything and everything related with contact, especially when it is actively used.

This word is not included in the Royal Spanish Academy dictionary and it comes from the Greek *háptō*

(to touch, relative to tact). Nevertheless many theorists such as Herbert Read have expanded the meaning of the word "haptic" so that by default they allude with it to all non-visual and non-audible sensations that an individual experiments.

Haptic devices provide strength feedback to those interacting with virtual or remote environments. Such devices transfer sensation of presence to the operator.

They are currently available for angiography (neck and cerebral vessels, arms, legs, coronary and splanchnic arteries, aorta), angioplasties of several territories, embolization procedures, percutaneous valve implant, etc.

FLIGHT SIMULATORS

It's widely acknowledged the importance of flight simulators for pilots in training. In the beginning of aviation, flying skills were transmitted from one pilot to the other.¹⁰ During World War I the U.S. built a great amount of two-seat training- planes but they spent a lot of time and money so that became impractical.

It was Edwin Albert Link (1904-1981) who developed in 1929 the first flight simulator that was marketed under the name of "Blue Box" o "Link Trainer".

He had gotten his license as a pilot in 1927 after many years of training. Gathering the experience acquired as a pilot and working jointly with his father in an organ and piano factory, he developed the first flight simulator.

The device applied the technology used in the construction of automatic musical instruments that consists of bellows that inflate and deflate different parts, thus resembling the different movements in a plane.

In 1930 he organized a flying school named "Link Flying School" in Binghamton (New York). In 1933 he added the instruments available at that time in planes, achieving a much more sophisticated set.

However the simulator didn't raise much interest until 1934, when the U.S. Air Force took in charge the air mail service responding to a fraud occurred in the private companies that delivered it.

A high number of accidents with casualties and losses of planes had occurred, probably due to the high demand



Figure 4. Advertisement promoting the Link Trainer (1940). Roberson Museum and Science Center, Binghamton, New York.

and the difficulties faced at that time with nocturnal flights or bad weather. The Air Force then became interested in the flight simulator (“Link Trainer”), ordering the construction of 6 units as to improve pilot’s abilities. The great booming though occurred during World War II when 10,000 “Blue Box Training” were used to improve the safety and to shorten the period of training of 500,000 pilots.

Simulators were initially used as a training step and progressively gave the chance to expert pilots to improve their skills. Simulators are today an integral part in pilot’s training being also utilized in other fields including astronauts training.

VR SIMULATORS IN MEDICINE

In 1991 Satava¹¹⁻¹³ proposed the use of simulators as a valuable teaching tool for the training of surgeons. However the development was initially slow probably due to skepticism of the medical community and to the lack of solid scientific evidence demonstrating their utility.

In 2002, in the Department of Surgery of the Yale University School of Medicine, it was performed the first study¹⁴ that demonstrated the transference to the operating room of the technical formation acquired by means of VR devices.

Sixteen surgical residents PGY 1 to 4 (11 men and 5 women) were randomly assigned to VR training plus

a standard educational program appropriate to the year of residence or to a control group that only received standard formation. Participants were stratified by their year of residence. The surgeries were supervised by experienced surgeons blinded to the resident’s training status and recorded for a later analysis.

In this study it was observed that:

- Gallbladder dissection was 29 % faster for VR-trained residents.
- Non-VR-trained residents were 9 times more likely to transiently fail to make progress ($p < 0.007$) and 5 times more likely to injure the gallbladder or burn non-target tissue ($p < 0.04$).
- Mean errors were 6 times less likely to occur in the VR-trained group (1.19 vs. 7.38 errors per case; $p < 0.008$).

It was concluded thus that the use of VR surgical simulation significantly improved the operating room performance of residents during laparoscopic cholecystectomy, establishing the background for more sophisticated uses of this method in assessment, training, error reduction and certification of surgeons.

These concepts were later validated by another study conducted by Grantcharov TP et al.¹⁵ who observed that while performing a laparoscopic cholecystectomy, those previously VR-trained:

- a. Completed the procedure significantly faster than the control group ($p=0.021$).
- b. With less errors ($p=0.003$).
- c. With less movements ($p=0.003$) according with pre-specified scores.

In this way were established the basis for the utilization of this technology in skills' teaching.

VR simulators in endovascular procedures

In 2004 the U. S. Food and Drug Administration accepted¹⁶ VR simulation as a useful tool during the period of training for the performance of carotid angioplasties and compromised manufacturers of carotid angioplasty systems to train proctors so as to teach physicians and students using a progressive level approach.

That very year this initiative was also backed up by the Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, the Society for Vascular Medicine and Biology and the Society for Vascular Surgery, that jointly represent most of U. S. interventionalists performing carotid angioplasties.

On the other hand, in Europe was created the European Virtual Reality Endovascular Team (EVEREST)¹⁷ in which something similar happened, with the participation of Vascular Surgeons, Radiologists and Interventional Cardiologists.

The idea of utilizing this technology in the accreditation and/or recertification of certain skills is rapidly growing.

In a study¹⁸ of performance on a carotid stenting simulator that compared a group of experts with a group of novices, it was observed that both groups enhanced their performances but that the novices were the most benefited.

Another study¹⁹ demonstrated that simulation permits a structured evaluation of abilities in the endovascular field and correlates well with prior experience. Thereby it was concluded that simulators might prove useful in determining procedural competency and credentialing standards for endovascular surgeons.

In a recent publication²⁰ it was established that for the recertification in Interventional Cardiology in the U. S., even though the successful completion of a simulation session (3 h of VR training plus self-testing) is not yet a mandatory step, it provides 20 out of 100 credits required. A key role would be to count on it for the previous rehearsal of a particular case.

With all the information provided by magnetic resonance and/or computerized tomography²¹⁻²³ incorporated into the simulator in DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) format, it can be recreated the vascular anatomy of a given patient and can be rehearsed the appropriate maneuvers to handle it.

Lastly, several companies that market products (catheters, wires, stents, valves, etc) also recur to simulators as to show them efficiently.

VR simulators in our community

The Argentine subsidiary of Cordis Corporation has introduced a VR simulator manufactured by Mentice Medical Simulators.

It's housed in the Argentine College of Interventional Cardioangiology (ACIC) headquarters (2,146 Via-monte St. – 6th floor – Buenos Aires City).

This virtual lab includes a monitor that simulates so truly the environment of a cath lab that it appears as a real procedure. Last generation mannequins jointly with informatic and electronic devices make the trainees feel during the procedure all the sensations that they would perceive in a real case.

The procedure is followed in the first monitor where a "map" of the anatomy is displayed by X-ray simulation. In the second monitor instead, another very realistic fluoroscopic image is displayed, that serves as a guide during the intervention. When the session ends, a report appears in the monitor with an evaluation of the user's abilities. This report assigns a score to the procedure based upon the time consumed for performing the intervention and its level of complexity.

We have also counted intermittently with a similar simulator by Terumo that allows accomplishment of diagnostic and therapeutic coronary procedures by radial access.

It should be mentioned at last that some companies have temporarily moved their simulators for its utilization during training courses or demonstrations in courses and/or congresses, with software for percutaneous aortic valve implant, embolizations, percutaneous aortic endoprosthesis implant, etc.

DISCUSSION

In the process of acquisition of psychomotor abilities to perform complex manual tasks like those involved in the accomplishment of endovascular interventions, after its comprehension is mandatory its integration and automation thus acquiring a relevant role the VR simulators.

Simulation (typically used in pilots training) is a way of getting experience in situations that otherwise could be dangerous for oneself or the others.

In this manner and aiming to be more realistic, many of the complications that might happen in real life, can be reproduced in virtual labs. Numerous are the benefits of this methodology that allows professional training in unusual or complex situations, enhancing diagnostic and therapeutic efficiency.

With this novel system the interventionist refines his/her technique rehearsing complex procedures several times yet without the potential risk of managing a real patient. Many interventions with a great variety of clinical situations can be practiced handling real instruments such as guide wires, catheters, balloons, stents, embolic protection devices, etc.

The system has been evolving steadily in the last years having been incorporated both in basic training in the early stages of medical residencies and as a mean of improvement for the experts by simulation of specific cases with the objective of optimizing complex procedures and ultimately in the certification and recertification of specialists.

It's an expensive technology: a basic equipment costs up to U\$S 100.000. Besides, as in every informatic system, it's necessary its regular upgrade thus increasing even more the cost of maintenance.

Nonetheless by permitting learning, perfecting, maintenance of abilities, accreditation and recertification it's a system that has come to stay.

I believe we should do everything possible as to incorporate this technology in the formation of our physicians.

CONCLUSIONS

It's estimated that about half of the adverse events occurred in the medical practice are due to medical errors that could have been prevented.

In procedures requiring practical training one of the foreseeable causes of these errors are tactics or techniques incorrectly employed.

Even though the possibility exists of performing training with animals or cadavers, this strategy might have ethical considerations or serious difficulties for reproducing all possible situations.

In the last 15 years we have witnessed an impressive development in the field of informatics, ceaseless expanding throughout all human areas and tasks.

The incorporation of VR simulation in Medicine is today a quickly evolving reality, having been incorporated both in basic training and as a mean of improvement for the experts, simulating specific cases with the objective of optimizing complex procedures and ultimately in the certification and recertification of specialists.

No doubt this is a technology that has come to stay.

RESUMEN

Simuladores de la realidad virtual en intervenciones endovasculares

Se estima que alrededor de la mitad de los eventos adversos ocurridos durante la práctica médica son secundarios a errores médicos que podrían haberse preveni-

do. En procedimientos que requieren entrenamiento práctico, una de las causas previsibles de estas acciones son tácticas y/o técnicas mal empleadas.

Si bien existe la posibilidad de hacer algún tipo de entrenamiento con animales y/o cadáveres, esta estrategia puede tener connotaciones éticas y/o serias dificultades para reproducir todas las situaciones posibles.

En el aprendizaje de las destrezas psicomotoras para poder efectuar tareas manuales complejas como las relacionadas con la realización de procedimientos endovasculares, luego de comprender la tarea a llevar a cabo es necesario poder lograr su integración y automatización, tomando así un rol relevante los simuladores de la realidad virtual.

La simulación (utilizada típicamente en entrenamiento de aviadores) es un medio para adquirir experiencia en situaciones que de otro modo serían arriesgadas para uno o para terceros. De este modo, para dar más realismo, muchas de las complicaciones que se darían en la realidad podrán producirse con los simuladores del laboratorio virtual. Los beneficios de esta metodología son muy numerosos ya que permite al profesional entrenar en situaciones poco comunes o complejas, lo cual mejora la eficacia en los diagnósticos y tratamientos.

Con este novedoso sistema el intervencionista perfecciona su técnica, ya que puede realizar repetidas veces procedimientos complejos sin el riesgo que supondría hacerlo con un paciente real; así, es posible practicar intervenciones con una gran variedad de casos clínicos, utilizando instrumentos reales como guías, catéteres, balones, *stents*, sistemas de protección embólica, etc.

El sistema ha adquirido un desarrollo creciente en los últimos años; se incorpora tanto en el entrenamiento básico en las primeras etapas de formación en las residencias médicas, como medio de perfeccionamiento para los más expertos, para simular casos puntuales con el objeto de optimizar procedimientos complejos y últimamente en la certificación y recertificación de especialistas.

Creo que debiéramos hacer todo lo posible para involucrar esta tecnología en la formación de nuestros médicos.

Palabras clave: simuladores, realidad virtual, aprendizaje de destrezas, intervenciones endovasculares, errores médicos.

REFERENCES

1. Kohn LT, Corrigan JM, Donaldson MS, Editors; Committee on Quality of Health Care in America, Institute of Medicine. *To Err Is Human: Building a Safer Health System*. National Academy Press, Washington, D.C., 1999.
2. El Pequeño Larousse Ilustrado, Buenos Aires, Ediciones Larousse, 1996.
3. González Hermoso F. Errores médicos o desviaciones en la práctica asistencial diaria. *Cir Esp* 2001;69(6):591-603.
4. Galli A, Castro C. Programa de Formación de Formadores en Ciencias de la Salud. Volumen I. Módulo 1: Los Procesos de Enseñar y Aprender. Asociación de Amigos de la Facultad de Medicina, Buenos Aires, La Prensa Médica Argentina, 1999.
5. Reznick RK, MacRae H. Teaching surgical skills-changes in the wind. *N Engl J Med* 2006;355:2664-9.

6. <http://www.kyotokagaku.com/products/detail01/m99.html>
7. Beutel J, Kim Y, Hori SC. Medical Imaging. Volume 3. Display and PACS. 2000. The Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers. Chapter 2. Virtual Reality and Clinical Applications. pp. 67-102. <http://books.google.com.ar/books?id=HQ2qiJd6FgEC&lpg=PA69&ots=eHKM8fpCjE&dq=medical%20virtual%20reality%20definition&pg=PA69#v=onepage&q=medical%20virtual%20reality%20definition&f=false>
8. Duncan JR, Glaiberman CB. Analysis of Simulated Angiographic Procedures: Part 1. Capture and Presentation of Audio and Video Recordings. *J Vasc Interv Radiol* 2006;17:1979-1989.
9. <http://medphysrv1.medma.uni-heidelberg.de/>
10. Roberson Museum and Science Center, Binghamton, New York. "The Link Flight Trainer. A Historic Mechanical Engineering Landmark". June 10, 2000. <http://files.asme.org/ASMEORG/Communities/History/Landmarks/5585.pdf>
11. Satava RM. Virtual reality surgical simulator. The first steps. *Surg Endosc* 1993; 7(3):203-5.
12. Gallagher AG, Ritter EM, Champion H, Higgins G, Fried MP, Moses G, Smith CD and Satava RM. Virtual Reality Simulation for the OR. Proficiency-Based Training as a Paradigm Shift in Surgical Skills Training. *Ann Surg* 2005;241:364-372.
13. Gallagher AG, Cates Ch U. Virtual reality training for the operating room and cardiac catheterization laboratory. *Lancet* 2004;364:1538-40.
14. Seymour NE, Gallagher AG, Roman SA, O'Brien MK, Bansal VK, Andersen DK, Satava RM. Virtual Reality Training Improves Operating Room Performance. Results of a Randomized, Double-Blinded Study. *Ann Surg* 2002; 236 (4):458-464.
15. Grantcharov TP, Kristiansen VB, Bendix J, Bardram L, Rosenberg J, Funch-Jensen P. Randomized clinical trial of virtual reality simulation for laparoscopic skills training. *Br J Surg* 2004;91(2):146-150.
16. Gallagher AG, Cates Ch U. Approval of Virtual Reality Training for Carotid Stenting. What This Means for Procedural-Based Medicine. *JAMA* 2004;292(24):3024-3026.
17. Van Herzele I, Aggarwal R. Virtual Reality Simulation in the Endovascular Field. *US Cardiology* 2008;5(1):41-5.
18. Hsu JH, Younan D, Pandalai S, Gillespie BT, Jain RA, Schippert DW, Narins CR, Khanna A, Surowiec SM, Davies MG, Shortell CK, Rhodes JM, Waldman DL, Green RM, Illig KA. Use of computer simulation for determining endovascular skill levels in a carotid stenting model. *J Vasc Surg* 2004;40:1118-25.
19. Tedesco MM, Pak JJ, Harris Jr EJ, Krummel TM, Dalman RL, Lee JT. Simulation-based endovascular skills assessment. The future of credentialing? *J Vasc Surg* 2008;(47)1008-14.
20. Dangas GD, Popma JJ. Recertification in Interventional Cardiology. *J Am Coll Cardiol Intv* 2008;(1) 332-334.
21. Cates Ch U, Patel AD, Nicholson WJ. Use of virtual reality simulation for mission rehearsal for carotid stenting. *JAMA* 2007;297(3):265-266.
22. Gray W, Weisz G. Patient-specific anatomy in interventional vascular simulation. *Ev Today* 2005 (October);67-68. <http://www.endovascular-today.com/>
23. Marco J, Holmes Jr DR. Simulation: Present and Future Roles. *J Am Coll Cardiol Intv* 2008; (1) 590-592.

Translated by: Alejandro A. Fernández, on behalf of the *Argentine Journal of Interventional Cardioangiology*.

Simuladores de la realidad virtual en intervenciones endovasculares

Ernesto Marcelo Torresani

INTRODUCCIÓN

En 2 grandes estudios llevados a cabo, uno en Colorado y Utah y otro en New York, se observó que ocurrían eventos adversos en 2,9% y 3,7% de las internaciones. En los hospitales de Colorado y Utah el 6,6% y en New York el 13,6% de estos eventos derivaron en muerte. En ambos estudios la mitad de estos eventos fueron secundarios a errores médicos, que podrían haber sido prevenidos. Cuando estas cifras se extrapolan a las 33,6 millones de admisiones en hospitales de EE.UU. en 1997, se podría inferir que entre 44.000 (estudio de Colorado y Utah) y 98.000 (estudio de New York) personas habrían muerto ese año como resultado de errores médicos. En la misma época se registraron 43.458 muertes por accidente automovilístico, 42.297 por cáncer de mama y 16.516 por SIDA.¹ Estas impactantes cifras nos hacen reflexionar acerca de cómo se podrían evitar estos errores previniéndolos.

Podemos definir el error (del latín: *errorem*) como **acción** equivocada o desacertada.² En procedimientos que requieren entrenamiento práctico, una de las causas previsible de estas acciones son tácticas y/o técnicas mal empleadas.

Desde antaño los médicos se entrenaron mediante cirugía experimental en animales para aprender a realizar las técnicas de sutura y anastomosis de los tejidos antes de hacerlo en seres humanos. Una anastomosis intestinal, arterial o venosa debe aprenderse primero en condiciones no estresantes, donde puede repetirse y corregirse sin consecuencias indeseables para las personas.³ Sin embargo esta estrategia de aprendizaje podría tener connotaciones éticas por un lado e imposibilidad de reproducir todas las situaciones propias de los seres humanos, por otro.

En los últimos 15 años estamos asistiendo a un impresionante desarrollo en el área de la informática, que se extiende sin pausa en todos los ámbitos del quehacer humano. La incorporación de simuladores en el entrenamiento médico es hoy una realidad que va tomando mejor forma con el transcurso de los años.

ACERCA DE APRENDER

Podríamos definir *aprendizaje* como un cambio relativamente permanente del comportamiento que ocurre como resultado de la práctica.⁴ Es posible clasificarlo según dominios en:

- a. **Cognoscitivo o intelectual:** comprende capacidades y habilidades de orden intelectual, incluye la memoria y evocación de los conocimientos (*información verbal, conceptos, principios o generalizaciones, resolución de problemas, pensamiento crítico*).
- b. **Psicomotor:** habilidades manipulatorias o cualquier acto que requiera coordinación neuromuscular (*destrezas*).
- c. **Afectivo:** intereses, actitudes y valores (*actitudes*).

Si bien las personas actuamos involucrando los 3 dominios en todos nuestros actos, el predominio circunstancial de alguno puede resultar útil con fines pedagógicos.

El individuo aprende: a) información verbal, b) conceptos, c) principios, d) resolución de problemas, e) pensamiento crítico, f) destrezas psicomotoras y g) actitudes.

En el aprendizaje de las destrezas psicomotoras existen 3 momentos: 1) adquisición, 2) fijación y 3) perfeccionamiento, jugando un papel preponderante las demostraciones y la práctica. En la **Tabla 1** se esquematiza la teoría en 3 etapas de Fitss-Potter para la adquisición de habilidades motoras relacionadas con destrezas.⁵

Para poder realizar tareas manuales complejas como las implicadas en intervenciones quirúrgicas es necesario, luego de comprender la tarea a llevar a cabo, su integración y automatización. Es aquí donde tomarían un rol relevante los simuladores.

LOS SIMULADORES

Para la enseñanza/aprendizaje de este tipo de habilidades se describen 5 tipos de simuladores, a saber (**Tabla 2**):⁵ a) modelos de banco, b) animales vivos, c) cadáveres, d) simuladores del rendimiento humano, e) simuladores de la realidad virtual. Cada uno tiene sus ventajas y desventajas.

Los **modelos de banco** en el área endovascular en general han sido realizados con tubos de vidrio o plástico transparentes que imitan las dificultades de los vasos a atravesar y dispositivos a colocar y permiten visualizar las maniobras debido a la transparencia. Sirven inicialmente para tener una idea de las maniobras y especialmente del funcionamiento de los dispositivos a utilizar y/o implantar. Son muy simples y no permiten el entrenamiento o mejora del rendimiento logrado.

Los **animales vivos** han sido utilizados desde antaño para el aprendizaje y práctica de destrezas quirúrgicas;³

sin embargo su uso es problemático debido a preocupaciones éticas, alto costo y necesidades de facilidades institucionales.⁵

Los **cadáveres humanos**, al acercarse mucho más a la realidad, también se han usado con este propósito; sin embargo, a pesar de ser muy útiles para algunas cosas como práctica de disecciones y suturas, tienen también alto costo y muy limitada disponibilidad. Por otro lado, en el campo endovascular su utilidad es limitada debido a la diferente *compliance* de los tejidos.⁵

En el área de **simuladores de rendimiento humano** se representan distintas situaciones. Son utilizados con frecuencia en el entrenamiento de resucitación cardiopulmonar, que emplea muñecos a los que se puede realizar masaje cardíaco externo e intubación endotraqueal. Suele también haber un monitor que imita distintas arritmias. En el área endovascular se utilizan para practicar punción arterial. En la **Figura 1** se observa un simulador de este tipo para la práctica de la punción radial, construido por un sistema de bomba conectado a unos tubos de plástico que al inyectar aire simulan el latido del pulso.

Finalmente lo más novedoso son los **simuladores de la realidad virtual**. Podríamos definir como realidad virtual⁷ a una simulación tridimensional interactiva por computadora en la que el usuario se siente inmerso en un ambiente artificial y lo percibe como real basado en estímulos de los órganos sensoriales. Los sistemas utilizados se describen como inmersivos, semi-inmersivos y no inmersivos, refiriéndose a la situación del usuario en relación a la simulación. En los sistemas inmersivos se le colocan al usuario dispositivos en cabeza, ojos, manos, etc. (**Figura 2**) que estimularán distintos órganos sensoriales brindando la sensación de estar dentro de un nuevo ambiente; es lo que hemos visto en algunas películas de ciencia ficción, las que evidentemente han dejado de serlo.

Los simuladores utilizados en el área de procedimientos endovasculares están contruidos con base en un muñeco al que se le adiciona un dispositivo de ingreso que simula una punción radial (como el arriba descrito) y/o femoral, por donde se introducirán los catéteres. El sistema⁸ está equipado con una unidad háptica, una computadora, 2 o 3 monitores, y controles del movimiento de la mesa, fluoroscopia, inyección de medio de contraste, inflado del balón, despliegue de *stent*, etc. (**Figura 3**), dependiendo del procedimiento para el cual ha sido diseñado. **Háptica**, estrictamente hablando significa todo aquello referido al contacto, especialmente cuando éste se usa de manera activa. La palabra no está incluida en el *Diccionario de la Real Academia Española* y proviene del griego *háptō* (tocar, relativo al tacto). Sin embargo algunos teóricos como Herbert Read han extendido el significado de la palabra *háptica* de manera que con ella hacen alusión por exclusión a todo el conjunto de sensaciones no visuales y no auditivas que experimenta un individuo. Los dispositivos hápticos proporcionan la realimentación de fuerza

al sujeto que interactúa con entornos virtuales o remotos. Tales dispositivos trasladan una sensación de presencia al operador.

Actualmente existen para angiografías (vasos de cuello, cerebrales, miembros superiores, coronarias, esplácnicas, aorta y miembros inferiores), angioplastias de distintos territorios, procedimientos de embolización, colocación percutánea de válvulas, etc.

SIMULADORES DE VUELO

Es popularmente conocida la importancia de los simuladores de vuelo en el entrenamiento de los pilotos de avión. En los comienzos de la aviación, las habilidades para volar eran transmitidas de un piloto a otro.¹⁰ Durante la Primera Guerra Mundial, EE.UU. fabricó una gran cantidad de aviones de entrenamiento con 2 asientos, los que consumían mucho tiempo y dinero por lo que fueron tornándose poco prácticos.

Edwin Albert Link (1904-1981) desarrolló el primer simulador de vuelo comercializado en 1929 bajo el nombre de *Blue Box* o *Link Trainer*. Luego de varios años de entrenamiento, obtuvo su licencia para pilotar aviones en 1927. Aunando la experiencia obtenida como piloto y trabajando junto a su padre en una fábrica de órganos y pianos desarrolló el primer simulador.

El aparato usaba la tecnología utilizada en la fabricación de instrumentos musicales automáticos consistente en fuelles, que inflaban y desinflaban distintas partes simulando los distintos movimientos del avión. En 1930 organizó una escuela de vuelo llamada *Link Flying School* en Binghamton (New York). En 1933 le incorporó los instrumentos con que contaban los aviones, logrando un aparato mucho más sofisticado.

Al principio, el simulador no despertó, sin embargo, mucho interés, hasta que en 1934 la fuerza aérea de EE.UU. tuvo que tomar el servicio de correo aéreo, en respuesta a un fraude cometido por las empresas privadas que lo tenían a su cargo. Ello produjo un alto número de accidentes con pérdidas humanas y de aviones, probablemente secundarios a la alta demanda y la incapacidad en la época a volar durante la noche o ante malas condiciones climáticas. Así, la Fuerza Aérea se interesó en el simulador de vuelo (*Link Trainer*) ordenando al principio la construcción de 6 unidades para mejorar las habilidades de los pilotos.

El gran desarrollo lo tuvo durante la Segunda Guerra Mundial, cuando 10.000 *Blue Box Trainer* fueron usados para mejorar la seguridad y acortar el entrenamiento de 500.000 pilotos.

Los simuladores fueron usados como paso previo al entrenamiento y progresivamente dando la oportunidad a pilotos expertos en mejorar sus habilidades. Hoy los simuladores son una parte integral en el entrenamiento de pilotos de aviones, y también son utilizados en otras áreas incluyendo el entrenamiento de astronautas.

SIMULADORES DE LA REALIDAD VIRTUAL EN MEDICINA

En 1991, Satava¹¹⁻¹³ propuso el uso de simuladores para el entrenamiento de cirujanos, entendiéndolo como una gran herramienta de formación. Sin embargo, el desarrollo inicialmente fue lento, probablemente debido al escepticismo de la comunidad médica y a la ausencia de pruebas científicas sólidas que demostraran su utilidad.

En 2002, en el Departamento de Cirugía de la Escuela de Medicina de la Universidad de Yale se realiza el primer estudio¹⁴ para demostrar la transferencia de formación técnica adquirida con dispositivos de realidad virtual a la sala de operaciones. Se tomaron 16 médicos residentes de cirugía (11 hombres y 5 mujeres) de 1° a 4° año (*PGY 1-4 level*) y fueron asignados aleatoriamente a formación con simulador además de la formación programada estándar apropiada al nivel del año de residencia, o a un grupo control que solo recibiría formación tradicional. Los participantes fueron estratificados por año de residencia. La cirugía fue supervisada por un cirujano experimentado quien desconocía el nivel de entrenamiento del residente y grabada para su posterior análisis. En el estudio se observó:

- Los entrenados con simuladores disecaron la vesícula un 29% más rápido.
- En los no entrenados fue 9 veces más probable que no logaran progresar el dispositivo de disección ($p < 0,007$) y 5 veces más probable que hicieran una injuria de la vesícula o cauterizaran tejido adyacente no involucrado ($p < 0,04$).
- El promedio de errores fue 6 veces menor en el grupo entrenado (1,19 vs. 7,38 error/caso; $p < 0,008$).

De esta forma se concluyó que el entrenamiento previo con simulador de la realidad virtual mejora la performance de los residentes durante la colecistectomía laparoscópica, estableciéndose el escenario para usos más sofisticados de este método en la evaluación, formación, reducción de errores y certificación de cirujanos.

Estos conceptos fueron validados posteriormente por otro¹⁵ estudio realizado por Grantcharov TP y cols., quienes observaron que para la realización de una colecistectomía laparoscópica los entrenados previamente con simulador:

- La realizaron significativamente más rápido que el grupo control ($p = 0,021$).
- Con menos errores ($p = 0,003$).
- Con economía de movimientos ($p = 0,003$) según *scores* preestablecidos.

Quedaron así sentadas las bases para la utilización de esta tecnología en la enseñanza de destrezas.

Simuladores de la realidad virtual en procedimientos endovasculares

En 2004 la FDA (Food and Drug Administration) aceptó¹⁶ a la simulación de la realidad virtual como herramienta útil en la capacitación para la realización de angioplastia carotídea, comprometiendo a los fabricantes de sistemas de angioplastia carotídea a capacitar a médicos como entrenadores para educar a otros médicos como alumnos usando un enfoque de formación por niveles progresivos. En el mismo año las sociedades (*Society for Cardiovascular Angiography and Interventions - Society for Vascular Medicine and Biology - Society for Vascular Surgery*) que nuclean a casi todos los intervencionistas que realizan angioplastias carotídeas en EE.UU. apoyaron también esta iniciativa. Por su lado, en Europa se creó EVEREST¹⁷ (*European Virtual Reality Endovascular Team*), donde sucede algo semejante y participan cirujanos vasculares, radiólogos y cardiólogos intervencionistas.

Rápidamente se va madurando la idea de utilizar esta tecnología en la acreditación y/o recertificación de determinadas aptitudes. En un estudio¹⁸ que comparó el entrenamiento de un grupo de expertos con un grupo de principiantes con simuladores de angioplastia carotídea se observó que ambos mejoran su performance pero los principiantes se benefician muy especialmente. En otro¹⁹ se objetivó que los simuladores permitieron la evaluación estructurada de habilidades en el área endovascular correlacionándose bien con la experiencia previa, por lo que se asume que pueden ser de utilidad en la determinación de competencias y normas de procedimientos de acreditación para los cirujanos endovasculares.

En publicaciones recientes²⁰ se establece que para la recertificación de cardiólogos intervencionistas en EE.UU., si bien todavía no es un paso obligatorio la conclusión con éxito de una sesión con simuladores (3 horas de formación y autoevaluación en el simulador), otorga 20 de los 100 puntos necesarios para aprobarla. Además, puede tener un rol relevante en el ensayo previo de un caso puntual. Con la información provista por la angiografía por resonancia magnética y/o tomografía axial computada²¹⁻²³ incorporada al simulador en formato DICOM (*Digital Imaging and Communications in Medicine*) puede recrearse la anatomía vascular de un paciente, que permite ensayar todas las maniobras pertinentes para la resolución del problema. Finalmente debo mencionar que también los simuladores son utilizados por las empresas que comercializan distintos productos (catéteres, cuerdas, *stents*, válvulas, etc.) para mostrarlos con eficiencia.

Simuladores de la realidad virtual endovasculares en nuestro medio

La empresa *Cordis Corporation* con sede en nuestro país ha introducido un simulador de la realidad virtual fabricado por la empresa *Mentice Medical Simulators*. El si-

mulador está alojado en la sede del CACI (Colegio Argentino de Cardioangiólogos Intervencionistas), Viadonte 2146 6°Piso, CABA. Este laboratorio virtual incluye un monitor que simula el ambiente de una Sala de Hemodinamia de manera tan real que puede parecer que se está en un auténtico procedimiento. Maniqués de última generación, elementos informáticos y tecnológicos, servirán para que el médico que utilice la sala pueda percibir durante la intervención todas las sensaciones que notaría en un caso real. En el primer monitor se sigue la intervención y se muestra un “mapa” de la anatomía reproducida gracias a los rayos X simulados. En cambio, en el segundo se muestra otra imagen fluoroscópica, también muy real, que sirve de guía durante la intervención. Cuando concluye la sesión, aparece en el monitor un informe de evaluación de la habilidad del usuario. El informe asigna una puntuación del procedimiento basado en el tiempo empleado en realizar la intervención y en su nivel de complejidad.

También se ha contado con alguna intermitencia con otro simulador semejante de la empresa *Terumo* que permite la realización de procedimientos coronarios (diagnósticos y terapéuticos) por vía radial.

Finalmente, cabe mencionar que algunas empresas han trasladado transitoriamente sus simuladores habiendo sido utilizados durante cursos de entrenamiento o demostraciones en cursos y/o congresos con software para colocación percutánea de válvula aórtica, embolizaciones, colocación percutánea de endoprótesis aórtica, etc.

DISCUSIÓN

En el aprendizaje de las destrezas sicomotoras para poder realizar tareas manuales complejas como las relacionadas con la realización de procedimientos endovasculares, luego de comprender la tarea a llevar a cabo es necesario poder lograr su integración y automatización, lo cual otorga un rol relevante a los simuladores de la realidad virtual.

La simulación (utilizada típicamente en entrenamiento de aviadores) es un medio para adquirir experiencia en situaciones que de otro modo serían arriesgadas para uno o para terceros. De este modo, para dar más realismo, muchas de las complicaciones que se darían en la realidad podrán producirse con los simuladores del laboratorio virtual. Los beneficios de esta metodología son muy numerosos ya que permite al profesional entrenar en situaciones poco comunes o complejas, mejorando la eficacia en los diagnósticos y tratamientos.

Con este novedoso sistema, el intervencionista perfecciona su técnica, ya que puede realizar repetidas veces procedimientos complejos sin el riesgo que supondría hacerlo con un paciente real; las intervenciones se pueden practicar con una gran variedad de casos clínicos, utilizando instrumentos reales como guías, catéteres, balones, *stents*, sistemas de protección embólica, etc.

El sistema muestra un desarrollo creciente en los últimos años, y se lo incorpora tanto en el entrenamiento básico en las primeras etapas de formación en las residencias médicas, como en el perfeccionamiento para los más expertos, para simular casos puntuales con el objeto de optimizar procedimientos complejos y últimamente en la certificación y recertificación de especialistas.

Es una tecnología costosa: un equipo básico ronda los U\$S 100.000. Como todos los sistemas informáticos actuales tiene además necesidades periódicas de *upgrade*, lo que eleva aún más el costo del mantenimiento. Sin embargo, al permitir el aprendizaje, perfeccionamiento, mantenimiento de las habilidades adquiridas, acreditación y recertificación, es un sistema que ha venido para quedarse. Creo que debiéramos hacer todo lo posible para involucrar esta tecnología en la formación de nuestros médicos.

CONCLUSIONES

Se estima que alrededor de la mitad de los eventos adversos ocurridos durante la práctica médica son secundarios a errores médicos que podrían haberse prevenido. En procedimientos que requieren entrenamiento práctico, una de las causas previsibles de estas acciones son tácticas y/o técnicas mal empleadas.

Si bien existe la posibilidad de hacer algún tipo de entrenamiento con animales y/o cadáveres, esta estrategia puede tener connotaciones éticas y/o serias dificultades para reproducir todas las situaciones posibles.

En los últimos 15 años hemos asistido a un impresionante desarrollo en el área de la informática, que se extiende sin pausa en todos los ámbitos del quehacer humano. La introducción de simuladores en Medicina es hoy una realidad que muestra un desarrollo creciente en los últimos años y se lo incorpora tanto en el entrenamiento básico como en el perfeccionamiento para los más expertos, para simular casos puntuales con el objeto de optimizar procedimientos complejos y últimamente en la certificación y recertificación de especialistas. Sin duda es una tecnología que ha venido para quedarse.