

Modelo ex vivo para entrenamiento de ecografía y punción renal

Sofía Ascorra H^{1,2}, Beatriz Rivera S³, José Miguel Villena H⁴, Vicente Parada A^{1,2}, Matías Poblete M^{1,2}, Felipe Urrea R¹, José Antonio Salvadó B¹.

(1) Clínica Santa María, Santiago, Chile

(2) Universidad Finis Terrae

(3) Universidad Mayor, Santiago

(4) Hospital Clínico Dra. Eloisa Díaz, La Florida

Resumen

Introducción:

La simulación clínica se ha consolidado como una herramienta fundamental en la enseñanza quirúrgica moderna, permitiendo el desarrollo de habilidades técnicas en entornos seguros y controlados. En urología, la punción renal ecoguiada constituye un procedimiento esencial para intervenciones como la nefrostomía y la nefrolitotomía percutánea. La adquisición de esta destreza implica una curva de aprendizaje prolongada, lo que refuerza la necesidad de modelos de simulación realistas y accesibles.

Objetivo:

Describir el desarrollo, implementación y evaluación inicial de un modelo ex vivo, económico y replicable, para la enseñanza de la punción renal guiada por ecografía.

Material y método:

Se diseñó un modelo experimental utilizando un riñón porcino introducido en una carcasa de pollo eviscerado, con dilatación del sistema colector mediante una mezcla de polietilenglicol (PEG) y azul de metileno. El modelo fue utilizado en un taller de punción renal ecoguiada durante el "IV Endourology Summit 2024" en Santiago de Chile, con participación de médicos en formación bajo supervisión directa de urólogos expertos.

Conclusión:

El modelo ex vivo descrito constituye una alternativa accesible y efectiva para la enseñanza de la punción renal bajo ecografía, favoreciendo la adquisición de competencias técnicas y acortando la curva de aprendizaje en un entorno sin riesgo para el paciente.

Palabras clave: Simulación clínica; Punción renal; Ecografía; Urología; Educación médica.

Abstract

Introduction:

Clinical simulation has become a fundamental tool in modern surgical education, allowing the development of technical skills in safe and controlled environments. In urology, ultrasound-guided renal puncture is an essential procedure for interventions such as nephrostomy and percutaneous nephrolithotomy. Acquiring this skill involves a prolonged learning curve, reinforcing the need for realistic and accessible simulation models.

Objective

To describe the development, implementation, and initial evaluation of an ex vivo, low-cost, and replicable model for teaching ultrasound-guided renal puncture.

Material and Method

An experimental model was designed using a porcine kidney inserted into an eviscerated chicken carcass, with dilation of the collecting system achieved through a mixture of polyethylene glycol (PEG) and methylene blue. The model was used in a workshop on ultrasound-guided renal puncture during the "IV Endourology Summit 2024" held in Santiago, Chile, with participation from medical trainees under the direct supervision of expert urologists.

Conclusion

The described ex vivo model represents an accessible and effective alternative for teaching ultrasound-guided renal puncture, promoting the acquisition of technical skills and shortening the learning curve in a risk-free environment for patients.

Keywords: Clinical simulation; Renal puncture; Ultrasound; Urology; Medical education.

Introducción

El entrenamiento quirúrgico enfrenta desafíos crecientes, asociados a las restricciones en tiempo quirúrgico, disponibilidad de pacientes y demandas éticas de seguridad asistencial. En este contexto, la simulación clínica ha emergido como una ayuda en la educación médica moderna, permitiendo desarrollar habilidades clínicas y quirúrgicas en un entorno seguro y libre de riesgo para el paciente (1,2).

La punción renal es una habilidad esencial para procedimientos como la nefrostomía percutánea y la nefrolitotomía percutánea (NLPC). La correcta ejecución de esta técnica requiere coordinación visuo-motriz y conocimiento anatómico (3).

La literatura estima una curva de aprendizaje de aproximadamente 24 procedimientos para alcanzar competencia en la punción para nefrostomía (4), mientras que para NLPC se requieren entre 25 y 50 casos, observándose mejoras significativas en el tiempo de punción después de los primeros 36 (5).

Ante esta curva de aprendizaje, la simulación ofrece una alternativa complementaria a la enseñanza tradicional, facilitando la repetición, el error controlado y la retroalimentación directa (6).

Sin embargo, los altos costos y la complejidad técnica de algunos modelos limitan su uso generalizado. El objetivo del presente trabajo es presentar un modelo de simulación ex vivo, factible, económico y replicable, diseñado para el aprendizaje de la punción renal guiada por ecografía.

Materiales y método

Diseño del modelo

Se elaboró un modelo ex vivo empleando la carcasa de un pollo entero eviscerado como soporte anatómico. En su interior se introdujo un riñón porcino previamente preparado.

Para simular la dilatación de la vía urinaria se utilizó una mezcla de polietilenglicol (PEG) y azul de metileno, la cual confiere ecogenicidad y contenido líquido visible bajo ultrasonido.

Con la ayuda de una vaina ureteral, se inyectaron entre 20 y 30 mL de la mezcla, en la vía urinaria superior, posteriormente se cerró el uréter distal con seda 2-0 mientras se retiraba progresivamente la vaina, asegurando la mantención de la mezcla dentro del sistema colector. Posteriormente, el riñón fue introducido en la cavidad del pollo, el cual fue cerrado con sutura catgut 0, garantizando la integridad estructural.

Técnica de punción

Bajo guía ecográfica directa, se realizó la punción renal con aguja Chiba N° 18, identificando las estructuras anatómicas simuladas. Se confirmó la correcta localización intrarrenal mediante la aspiración del fluido teñido con azul de metileno.

Evaluación del modelo

El modelo fue probado en el curso "IV Endourology Summit 2024" (Santiago, Chile), en la sección Hands-on de punción renal ecoguiada. Los participantes —residentes de urología y urólogos— realizaron la técnica bajo supervisión directa de endourólogos expertos, recibiendo instrucción personalizada en posicionamiento del transductor, orientación espacial, visualización de estructuras renales y trayecto de punción.

Discusión

La simulación clínica ha revolucionado la educación médica en urología, esta se aplica tanto en procedimientos endoscópicos, laparoscópicos y percutáneos, contribuyendo a una enseñanza segura y estandarizada (7).

Diversos estudios han demostrado que el entrenamiento simulado mejora el rendimiento operatorio real, acorta los tiempos quirúrgicos y disminuye la tasa de complicaciones (8,9).

El entrenamiento basado en simuladores —ya sean virtuales, híbridos o biológicos— permite acelerar esta curva al ofrecer repetición controlada y retroalimentación inmediata. Múltiples estudios demuestran que los programas de simulación reducen significativamente los errores iniciales de punción y mejoran la orientación espacial ecográfica (10).

Existen múltiples modelos descritos para la punción renal. Los modelos de gelatina balística ofrecen buena visualización ecográfica, pero son costosos y requieren materiales de difícil acceso (11). Otros utilizan riñones porcinos dentro torso de cerdo ex vivo, logrando alta fidelidad anatómica pero con limitaciones de transporte y conservación (12). El modelo tipo "sandwich", que coloca riñones de cerdo entre capas de piel porcina dentro de una caja de entrenamiento laparoscópico, permite la punción ecoguiada, aunque su armado es más complejo (13).

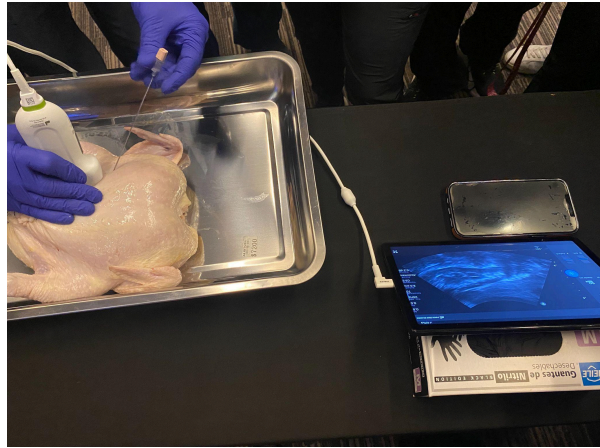
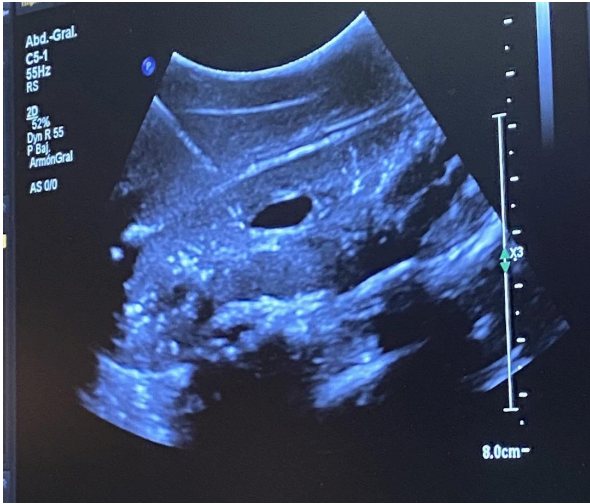
En comparación, el modelo descrito en este trabajo es económico, reproducible y fácil de implementar en laboratorios de simulación clínica. Además la utilización de materiales biológicos simples y la preparación sencilla facilitan su implementación en cursos y programas docentes

Limitaciones

El presente modelo no reproduce estructuras óseas ni la variabilidad anatómica humana, lo que limita su utilidad en la enseñanza de casos complejos. Tampoco se evaluaron métricas objetivas de desempeño (tiempo de punción, número de intentos, precisión angular), las cuales podrían incorporarse en futuros estudios.

Conclusión

El modelo de simulación ex vivo descrito constituye una alternativa accesible, reproducible y realista para la enseñanza de la punción renal guiada por ecografía. Permite el desarrollo de habilidades técnicas esenciales en un entorno seguro y supervisado, optimizando la curva de aprendizaje y fortaleciendo la formación de residentes de urología. Su bajo costo y fácil implementación favorecen su integración en talleres prácticos y programas de simulación clínica, contribuyendo a una educación quirúrgica moderna centrada en la seguridad del paciente.



Bibliografía

1. Issenberg SB, McGaghie WC, Petrusa ER, Gordon DL, Scalese RJ. Features and uses of high-fidelity medical simulations that lead to effective learning: a BEME systematic review. **Med Teach.** 2005;27(1):10-28.
2. Okuda Y, Bryson EO, DeMaria S Jr, et al. The utility of simulation in medical education: what is the evidence? **Mt Sinai J Med.** 2009;76(4):330-343.
3. Turna B, Nazli O. Percutaneous nephrolithotomy: techniques, complications and tips. **Int Urol Nephrol.** 2007;39(1):77-82.
4. Wah TM, Weston MJ, Irving HC. Percutaneous nephrostomy insertion: outcome data from a prospective multi-operator study at a UK training centre. *Clin Radiol.* 2004;59(3):255-61. doi:10.1016/j.crad.2003.09.018. PMID: 15037138.
5. Tzelvels L, Karasavvidis T, Skolarikos A, Liatsikos E. Systematic review on the learning curve of percutaneous nephrolithotomy: operative time, fluoroscopy time, stone-free rate, puncture performance, complications, and safety indicators. *Curr Urol Rep.* 2025;26(1):49-60. doi:10.1007/s11934-024-01234-5. PMID: 40466747.
6. Matsumoto ED, Hamstra SJ, Radomski SB, Cusimano MD. The effect of bench model fidelity on endourological skills: a randomized controlled study. **J Urol.** 2002;167(3):1243-1247.
7. Mishra S, Kurien A, Ganpule A, et al. Percutaneous renal access training: role of simulation and learning curve. **J Endourol.** 2010;24(4):635-640.
8. Aedos R, Kerkebe M. Simulación en urología. **Rev Chil Urol.** 2024;83(1):14-23
9. Hammad FT, et al. Impact of simulation-based training on renal puncture success and safety. **Urol Ann.** 2023;15(2):107-114.
10. Sun H, et al. Virtual and hybrid simulators in urology: a systematic review. **Curr Opin Urol.** 2024;34(3):219-226.
11. Jain S, Chandrashekar N, Sharma R, Singh V. A realistic, durable, and low-cost training model for percutaneous renal access using ballistic gelatin. *World J Urol.* 2019;37(4):877-884. PMID: 30668307
12. Chew B, Abu-Ghanem Y, Gupta M, et al. Introduction of an ex-vivo pig model for teaching percutaneous nephrolithotomy access techniques. *J Endourol.* 2019;33(5):428-433. PMID: 31364971.
13. Jutzi S, Imkamp F, Kuczyk MA, Wä, N, Herrmann TR. New ex vivo organ model for percutaneous renal surgery using a laparoendoscopic training box: the sandwich model. *World J Urol.* 2014;32(4):783-789.