



UNIVERSIDAD MODELO

Escuela de Ingeniería

Ingeniería Biomédica

Ciclo escolar 2023 - 2024

Octavo semestre

Grupo A

Proyectos

Simulador de venas y arterias regenerativas para inserción de
cateterismo enfocado a residentes de radiología

Alumno:

Emiliano Cardona Arenaza

Maestro:

Ariana Marilyn Sánchez Mutul

Fecha de entrega:

06/06/2024

Índice

Resumen.....	3
Abstract.....	3
Marco Teórico	4
Planteamiento del problema.....	7
Hipótesis	8
Objetivo general	8
Objetivos específicos	8
Metodología	8
Resultados	10
Discusión	12
Perspectivas a futuro.....	13
Referencias.....	15

Índice de ilustraciones

Ilustración 1: Prueba de punción.....	11
Ilustración 2: Pruebad de corte y rasgadura	11

Índice de tablas

Tabla 1. Cantidades para preparar el silicón	9
---	----------

Simulador de venas y arterias regenerativas para inserción de cateterismo enfocado a residentes de radiología

Resumen

El proyecto se centra en el desarrollo de un simulador de venas regenerativas para la inserción de catéteres, dirigido a residentes de radiología. Destaca la evolución y la importancia de la simulación clínica en la educación médica, subrayando su papel crucial en la reducción de errores médicos y la mejora de la seguridad del paciente. A pesar de los avances significativos en los simuladores médicos, aún persiste una problemática clave: los simuladores actuales no logran proporcionar una respuesta háptica auténtica ni reproducen adecuadamente las propiedades físicas, mecánicas y acústicas necesarias para una simulación efectiva del Acceso Venoso Central (AVC). Esta limitación afecta la capacidad de los profesionales de la salud para desarrollar habilidades precisas y abordar las complejidades del AVC.

Es por ello que se propone el desarrollo de un material regenerativo innovador que mantenga su integridad y proporcione elasticidad y resistencia después de múltiples perforaciones con catéter. El objetivo es mejorar la calidad de la simulación del AVC, ofreciendo una experiencia más realista y efectiva para el aprendizaje de esta técnica vital. La metodología del proyecto incluye la creación de un molde tridimensional mediante impresión 3D y la elección de materiales adecuados como la silicona de caucho, que ofrece una combinación óptima de flexibilidad, durabilidad y rentabilidad.

Las pruebas realizadas evaluaron las propiedades de punción, corte y elasticidad del material, confirmando su idoneidad para el simulador. Los resultados positivos de estas pruebas sugieren que el nuevo material puede resistir el desgaste asociado con la práctica repetida sin comprometer su funcionalidad, proporcionando una herramienta valiosa para la formación médica. El objetivo general es elaborar un sistema de venas de la región torácica y abdominopélvica que perfeccione la inserción de catéteres en cirugía endovascular, mejorando así la formación de internos de radiología mediante simulación clínica avanzada.

Abstract

The project focuses on the development of a regenerative vein simulator for catheter insertion, aimed at radiology residents. It highlights the evolution and importance of clinical simulation in medical education, underlining its crucial role in reducing medical errors and improving patient safety. Despite significant advances in medical simulators, a key issue remains: current simulators fail to provide authentic haptic feedback or adequately reproduce the physical, mechanical, and acoustic properties necessary for effective Central Venous Access (CVA) simulation. This limitation affects the ability of healthcare professionals to develop accurate skills and address the complexities of CVA.

This is why the development of an innovative regenerative material that maintains its integrity and provides elasticity and strength after multiple catheter punctures is proposed. The goal is to improve the quality of CVA simulation, providing a more realistic and effective experience for learning this vital technique. The project methodology includes the creation of a three-dimensional mold using 3D printing and the choice of suitable materials such as silicone rubber, which offers an optimal combination of flexibility, durability and cost-effectiveness.

The tests performed evaluated the puncture, shear and elasticity properties of the material, confirming its suitability for the simulator. The positive results of these tests suggest that the new material can withstand the wear and tear associated with repeated practice without compromising its functionality, providing a valuable tool for medical training. The overall objective is to develop a thoracic and abdominopelvic region vein system that perfects catheter insertion in endovascular surgery, thus enhancing the training of radiology interns through advanced clinical simulation.

Marco Teórico

La simulación clínica surge de la necesidad de reducir los errores médicos y, por ende, garantizar la seguridad del paciente durante el proceso de aprendizaje de los estudiantes de medicina. Es una herramienta de aprendizaje cuyo objetivo principal es la adquisición de competencias, entrenando en un ambiente lo más parecido posible al contexto real.

Cameron, R. (2021), platica acerca de la evolución de los simuladores médicos, lo cual ha sido una constante en la búsqueda de mejorar la formación de profesionales de la salud. Desde sus inicios con modelos anatómicos rudimentarios hasta la sofisticación actual de modelos computacionales avanzados, la tecnología ha desempeñado un papel crucial en la creación de entornos de aprendizaje simulados. Estos simuladores aspiran a reproducir de manera fiel los aspectos físicos y fisiológicos de procedimientos médicos, brindando a los profesionales la oportunidad de practicar de manera segura y controlada antes de enfrentarse a situaciones clínicas reales.

La simulación clínica en la educación médica se posiciona como una herramienta innovadora que garantiza el desarrollo de competencias clínicas, orientándose hacia la calidad de los cuidados y la seguridad de los pacientes. En la última década, las facultades de medicina han abrazado este nuevo enfoque centrado en la seguridad del paciente. Este enfoque implica la repetición de habilidades y destrezas, así como la imitación y entrenamiento en situaciones comunes, poco comunes y complejas. La simulación permite llevar el error hasta sus últimas consecuencias sin implicar riesgos reales, fomentando la reflexión objetiva durante o después del error.

La efectividad de la simulación clínica en el desarrollo de competencias profesionales y la garantía de la seguridad en la atención sanitaria son evidentes. Sin embargo, es crucial destacar que la simulación no pretende ser un sustituto de la práctica supervisada en un entorno real, sino un

complemento deseable. Esto permite a los profesionales de la salud desarrollar habilidades, conocimientos y actitudes necesarias para un desempeño óptimo.

Felipe, I. (2011), mencionan que el AVC, se realiza mediante sondas intravasculares que se insertan en los grandes vasos venosos del tórax y abdomen. Se colocan en pacientes que requieren la administración de fluidos, fármacos, nutrición parenteral o para la medición de constantes fisiológicas. La técnica de inserción preferida es la descrita por Seldinger, que utiliza una guía metálica para dirigir el catéter a su ubicación final. Actualmente, la punción puede realizarse bajo guía ultrasonográfica, siendo este método el estándar de oro debido a la significativa reducción de complicaciones. Los vasos más comúnmente utilizados son la vena yugular interna, subclavia y femoral. Para seleccionar la vena adecuada, es necesario considerar las tasas de complicaciones mecánicas, trombóticas e infecciosas. Además, en algunos procedimientos se puede utilizar medio de contraste para mejorar la precisión y seguridad de la colocación del catéter.

A pesar de los beneficios generales que aporta la simulación clínica, la atención precisa al detalle en ciertos procedimientos, como el AVC, presenta desafíos específicos. La reproducción háptica, fundamental para el éxito del AVC, a menudo se ve limitada en la mayoría de los simuladores actuales. La capacidad de sentir la resistencia realista al insertar un catéter y la localización precisa de venas superficiales son elementos críticos que requieren mejoras sustanciales.

Russo, A. (2014), realizó un estudio en la Universidad de la República en Uruguay sobre la utilización de modelos simuladores para el entrenamiento de accesos venosos centrales destaca la utilidad de estos simuladores. Los participantes, en un 93%, coinciden en la utilidad del modelo para el entrenamiento de la punción venosa. Se considera que estos simuladores son recursos innovadores y prácticos para la formación continua, proporcionando a los estudiantes oportunidades de práctica constante de destrezas psicomotrices mientras se familiarizan con los procedimientos y fortalecen sus conocimientos anatómicos sin implicar riesgos reales para los pacientes.

Hoy en día, se han identificado diversos factores que pueden complicar el AVC, como la edad del paciente, su peso, la calidad de las venas, antecedentes médicos y la ansiedad del paciente. Abordar estos factores en la formación de profesionales de la salud resalta la necesidad urgente de simuladores más avanzados y realistas que proporcionen una experiencia más auténtica.

En un estudio realizado por Torossian et al. (2019), se resalta el papel crucial de la experiencia de los profesionales de la salud en la superación de desafíos vinculados al Acceso Venoso Central (AVC). Esta experiencia les capacita para adaptar técnicas y enfoques, garantizando así el éxito del procedimiento. La investigación reveló que la tasa de fracaso del AVC se sitúa entre el 35% y el 50%, siendo principalmente atribuida a la retirada temprana del catéter. Comparativamente, se evidenció que profesionales menos experimentados lograron un rango de éxito del 44% al 76.9%, mientras que

aquellos con mayor experiencia alcanzaron un éxito significativamente mayor, entre el 91% y el 98%. Este contraste subraya la influencia positiva de la experiencia en los resultados del procedimiento. En respuesta a estas observaciones, distintas instituciones de salud a nivel global han recomendado el uso de simuladores médicos. Esta medida pretende proporcionar una preparación más sólida y confianza a los médicos antes de llevar a cabo su primera intervención en pacientes. El propósito es reducir los riesgos asociados a la seguridad del paciente y elevar la calidad de la atención médica en estos procedimientos.

Vega Medina, L. et al. (2016), exploraron diversos materiales comúnmente utilizados en la creación de 3 estructuras simuladas similares a los tejidos humanos. Estos materiales fueron sometidos a evaluación para desarrollar un modelo físico adecuado. Entre los materiales considerados se incluyeron el alginato, elastómero de poliuretano, silicona de platino, mangueras de látex y mangueras de silicona de grado médico. De los materiales mencionados anteriormente, se llevaron a cabo pruebas rigurosas de punción, corte y rasgado. Los resultados resaltaron a la silicona de grado médico como la opción óptima. Este material mantuvo su integridad tanto en condiciones extremadamente calientes como frías y se destacó por su notable flexibilidad y elasticidad.

En la actualidad, la mayoría de los simuladores médicos presentan limitaciones significativas en la reproducción de una respuesta háptica realista, especialmente en el contexto del AVC. Esta carencia es de suma importancia, ya que la simulación precisa de la respuesta táctil es esencial para el éxito de procedimientos médicos como el AVC. Por ende, se hace imperativo abordar esta limitación mediante el desarrollo de un modelo de simulación avanzado que no solo ofrezca una auténtica respuesta táctil, sino que también integre propiedades físicas, mecánicas y acústicas realistas de las venas.

Las venas son vasos sanguíneos encargados de conducir la sangre desde los capilares sanguíneos hacia el corazón. Por lo general, transportan desechos de las células y CO₂. En estado normal, en las venas no se producen fenómenos acústicos perceptibles. Sin embargo, en ciertas situaciones, se pueden observar en las venas yugulares ruidos de murmullo o de soplo. Esto ocurre en caso de anemia, situación patológica en la que la sangre no transporta suficiente oxígeno; o de clorosis, enfermedad en la que hay deficiencia de hierro en la sangre. Estos ruidos se distinguen por ser continuos; cuando hay intermitencia, esta no es rítmica, y se puede valorar mediante la auscultación de las venas.

El propósito fundamental de este proyecto es la creación de un material regenerativo innovador. Este material tiene como objetivo principal proporcionar la elasticidad y resistencia necesarias para mantener la integridad del sistema simulado, incluso después de múltiples perforaciones con catéter. La meta es superar las limitaciones existentes en simuladores médicos actuales, asegurando que el material regenerativo sea capaz de resistir el desgaste asociado con la práctica repetida, sin comprometer su autenticidad y funcionalidad.

Planteamiento del problema

La simulación médica ha experimentado una transformación significativa al convertirse en una herramienta indispensable para la formación de profesionales de la salud. En particular, en procedimientos críticos como el Acceso Venoso Central (AVC), la simulación proporciona un ambiente seguro y controlado para que los profesionales practiquen, perfeccionen sus habilidades y ganen confianza en la ejecución de este procedimiento crucial, que implica la inserción de un catéter en una vena central del cuerpo.

A pesar de los avances en la simulación médica, el AVC presenta desafíos específicos. Los simuladores existentes a menudo no logran proporcionar una respuesta háptica auténtica, y carecen de las propiedades físicas, mecánicas y acústicas realistas necesarias para una simulación efectiva. Esta carencia se traduce en una formación deficiente, ya que los profesionales de la salud no pueden experimentar de manera realista las complejidades y sutilezas asociadas con la técnica del AVC.

La literatura médica ha identificado factores del paciente que complican el AVC en entornos clínicos reales, como la edad, el peso corporal, la calidad de las venas y enfermedades subyacentes. La falta de simuladores realistas limita la capacidad de los profesionales de la salud para desarrollar habilidades precisas y abordar estas variables, aumentando potencialmente el riesgo de complicaciones durante procedimientos reales.

Además, la insuficiencia de materiales utilizados en simuladores actuales ha generado una necesidad apremiante. Algunos materiales carecen de la elasticidad, resistencia y durabilidad necesarias, lo que puede conducir a fugas y a una experiencia de entrenamiento inadecuada. Surge, entonces, la imperiosa necesidad de desarrollar un material que no solo mantenga su integridad después de múltiples punciones con catéter, sino que también reproduzca fielmente las propiedades físicas y mecánicas de las venas.

Los materiales más utilizados en la fabricación de dispositivos médicos son la silicona de grado médico y la silicona de platino debido a sus propiedades biocompatibles y durabilidad. Sin embargo, optaré por usar silicona de caucho en mi proyecto debido a sus similitudes con los materiales mencionados anteriormente, ofreciendo características comparables en términos de flexibilidad, resistencia y seguridad.

Este proyecto se presenta como una respuesta integral a estas problemáticas, buscando no solo mejorar la calidad de la simulación del AVC, sino también cerrar las brechas en la formación médica al proporcionar un enfoque más realista y efectivo para el aprendizaje de esta técnica vital.

Hipótesis

El material elaborado contiene la elasticidad necesaria para evitar fugas, aunque se haya perforado con anterioridad, cuenta con una gran resistencia y durabilidad lo cual permite que pueda ser usado múltiples veces.

Objetivo general

- Elaborar un sistema de venas de la región torácica y abdominopélvica con fiabilidad con el fin de perfeccionar la inserción de catéter en cirugía endovascular para internos de radiología mediante la simulación clínica.

Objetivos específicos

- Desarrollar un material regenerativo que no tenga fugas aún después de haberle perforado con catéter.
- Emplear un material sintético que recree las propiedades físicas, mecánicas y acústicas de las venas del sistema para aumentar la fidelidad.
- Realizar pruebas de punción, corte y rasgadura al material empleado.

Metodología

En el diseño del simulador, se empleó una metodología avanzada para asegurar la precisión y funcionalidad del modelo. Inicialmente, se creó un molde tridimensional mediante técnicas de impresión 3D, el cual se utilizó para verter el polímero que formaría las estructuras venosas del simulador. La elección del material para la impresión 3D recayó en el PLA (ácido poliláctico), debido a sus destacadas propiedades hidrofóbicas. Estas propiedades son cruciales, ya que facilitan un flujo de líquido sin obstrucciones dentro de las venas simuladas, replicando de manera más fiel el comportamiento del flujo sanguíneo en el cuerpo humano. El uso de PLA también proporciona una superficie lisa y uniforme, lo que contribuye a la precisión y repetibilidad de los entrenamientos y procedimientos realizados con el simulador.

La elección entre silicona de grado médico y silicona de caucho es crucial en el diseño y fabricación de simuladores de venas, ya que cada material presenta características, ventajas y desventajas que impactan directamente en la funcionalidad y eficacia del simulador.

Ambos tipos de silicona comparten ciertas características que los hacen adecuados para la creación de simuladores de venas. Son altamente flexibles y elásticos, permitiendo la simulación precisa del comportamiento de las venas humanas. Ambos materiales pueden soportar un amplio rango de temperaturas sin degradarse, asegurando la durabilidad del simulador en diversas condiciones de uso. Además, tanto la silicona de grado médico como la silicona de caucho son duraderas y resistentes a la fatiga y al desgaste, garantizando una larga vida útil del simulador. También son resistentes a

muchos productos químicos, aceites y disolventes, lo que es beneficioso para el mantenimiento y limpieza del simulador.

Se decidió utilizar silicona de caucho en el diseño del simulador de venas debido a su rentabilidad y versatilidad. La silicona de caucho es más económica que la silicona de grado médico, lo que permite la producción de simuladores a gran escala sin comprometer el presupuesto. Además, ofrece una amplia gama de compuestos que pueden ser personalizados para lograr las propiedades específicas deseadas en el simulador, como la elasticidad y la resistencia, garantizando una simulación precisa del comportamiento de las venas humanas. Esta flexibilidad en la personalización, combinada con su durabilidad y resistencia a diversos productos químicos, hace que la silicona de caucho sea una opción ideal para la fabricación eficiente y efectiva de simuladores de venas.

Para desarrollar la manguera de silicona de caucho, es necesario preparar adecuadamente el material utilizando un diluyente de silicona al 10% y un catalizador TP al 3%. Este proceso implica varias etapas críticas para asegurar que el producto final tenga las propiedades deseadas de elasticidad, durabilidad y resistencia.

Se calculó el volumen de la base donde se colocará la manguera de silicona de caucho. Para ello, se determinaron los volúmenes de dos cilindros: el cilindro de la estructura y el cilindro más pequeño destinado al hueco de la manguera. El volumen de la base se obtuvo restando el volumen del cilindro más pequeño (V1) del volumen del cilindro de la estructura (V2).

$$V1 = \pi R^2 h = \pi \cdot 0.8^2 \cdot 20 = 12.8 \pi \approx 40.21 \text{ cm}^3$$

$$V2 = \pi R^2 h = \pi \cdot 2^2 \cdot 20 = 80 \pi \approx 251.32 \text{ cm}^3$$

$$V2 - V1 = V_t$$

$$251.32 - 40.21 \approx 211.11 \text{ cm}^3$$

Una vez obtenido el volumen total de la manguera, lo vertí en las siguientes proporciones.

Silicon de caucho	180 ml
Diluyente de silicón (10%)	18 ml
Catalizador TP (3%)	5.4 ml

TABLA 1. CANTIDADES PARA PREPARAR EL SILICÓN

El primer paso para hacer la silicona es mezclarla con el diluyente de silicona rigurosamente durante 5 minutos. El propósito del diluyente es reducir la viscosidad de la silicona de caucho, haciendo que sea más fluida y fácil de trabajar. Esto permite una mejor penetración en moldes complejos y una distribución uniforme del material. Además, ayuda a prevenir la formación de burbujas de aire, que pueden debilitar la estructura final.

Una vez que la silicona de caucho y el diluyente están bien mezclados, se agrega el catalizador TP. El catalizador es un componente crucial que inicia y acelera el proceso de curado de la silicona. Sin

el catalizador, la silicona no se endurecería adecuadamente y permanecería en un estado líquido o semilíquido. El propósito del catalizador TP es activar la reacción química que permite que la silicona de caucho pase de un estado líquido a uno sólido. Este proceso de curado es esencial para formar una manguera robusta y duradera. El catalizador asegura que el material alcance sus propiedades óptimas de elasticidad, resistencia a la tracción y durabilidad.

La silicona de caucho, el diluyente y el catalizador deben ser mezclados de manera homogénea. Es crucial que todos los componentes estén bien integrados para garantizar un curado uniforme y la máxima calidad del producto final. La mezcla debe hacerse en condiciones controladas para evitar la inclusión de aire y asegurar una textura uniforme.

Después de mezclar, la silicona de caucho se vierte en el molde que dará forma a la manguera. Previo a esto se lubrica el molde con vaselina que no se pegue el silicón y sea fácil de desmontar. Una vez en los moldes, el material se deja curar, permitiendo que el catalizador haga su trabajo. Dependiendo de la formulación específica de la silicona de caucho y del catalizador TP, el curado puede requerir condiciones específicas de temperatura y humedad para asegurar que el material adquiera todas las propiedades deseadas.

Las pruebas incluyen la verificación de la idoneidad de los materiales para el simulador y la evaluación de su resistencia mediante pruebas mecánicas. La prueba de corte se realizó utilizando un objeto punzocortante con el cual se aplicó tensión en varias direcciones para observar el comportamiento del material ante el rasgado. La prueba de elasticidad consistió en aplicar tensiones graduales para evaluar la flexibilidad del material. Para la prueba de punción, se utilizó una jeringa de 5 a 10 ml con aguja, simulando accesos venosos centrales, insertando la aguja repetitivamente a un ángulo de 45° con respecto a la horizontal durante varios minutos. Esta prueba de punción tenía como objetivo determinar si el material contenía fugas después de ser punzado, asegurando que pueda ser utilizado múltiples veces sin comprometer su integridad.

Resultados

Los materiales utilizados en el simulador de venas fueron sometidos a una serie de pruebas rigurosas para verificar su idoneidad y resistencia mecánica. Las pruebas incluyeron evaluaciones de punción, corte y elasticidad, y sus resultados son fundamentales para determinar la viabilidad del simulador en contextos educativos y clínicos.

Prueba de Punción

La primera prueba realizada fue la de punción, diseñada para evaluar la capacidad del material de la vena para resistir múltiples inserciones de agujas sin comprometer su integridad. Se utilizó una jeringa de 5 a 10 ml con aguja, simulando accesos venosos centrales. La aguja se insertó repetitivamente a un ángulo de 45° con respecto a la horizontal durante varios minutos.

Los resultados fueron positivos. La vena simulada demostró tener la consistencia requerida para resistir las punciones sin presentar fugas. Este resultado es crucial ya que garantiza que el material puede ser utilizado múltiples veces, lo cual es esencial para fines educativos donde se practican repetidamente técnicas de acceso venoso. La capacidad del material para mantener su integridad después de múltiples punciones indica su durabilidad y su adecuación para ser utilizado en simuladores que buscan replicar la experiencia de venopunción de manera realista.



ILUSTRACIÓN 1: PRUEBA DE PUNCIÓN

Prueba de Corte

La siguiente evaluación fue la prueba de corte. En esta prueba, se utilizó un objeto punzocortante para aplicar tensión en varias direcciones sobre el material de la vena. Esta prueba es fundamental para determinar la resistencia del material a fuerzas cortantes y su capacidad para mantener su estructura cuando se enfrenta a situaciones de estrés mecánico.

Los resultados mostraron que el material de la vena tiene una excelente resistencia al rasgado. A pesar de la aplicación de fuerzas cortantes, el material no presentó desgarros significativos, lo que indica que puede soportar la manipulación y el uso riguroso sin deteriorarse. Esta resistencia es vital para asegurar que el simulador pueda ser utilizado repetidamente en condiciones que imiten el manejo clínico sin sufrir daños que comprometan su funcionalidad.



ILUSTRACIÓN 2: PRUEBAS DE CORTE Y RASGADURA

Prueba de Elasticidad

Finalmente, se llevó a cabo la prueba de elasticidad para evaluar la flexibilidad del material. Se aplicaron tensiones graduales para observar cómo respondía el material de la vena a la deformación y su capacidad para volver a su forma original después de ser estirado.

El material mostró una flexibilidad adecuada, siendo capaz de estirarse y volver a su forma original sin sufrir daños permanentes. Esta elasticidad es importante para simular con precisión el comportamiento de las venas humanas durante los procedimientos médicos, proporcionando una experiencia de entrenamiento realista y efectiva para los estudiantes y profesionales de la salud.

A pesar de los resultados positivos en términos de resistencia y elasticidad, se observó que la vena simulada es algo más gruesa de lo que debería ser. Esta discrepancia en el grosor puede afectar la precisión del simulador en la replicación de las condiciones reales de las venas humanas. Por lo tanto, es necesario ajustar el diseño del molde para obtener un grosor más adecuado y realista.

El grosor excesivo podría influir en la percepción táctil durante las prácticas de punción y en la respuesta del material bajo tensión. Un ajuste en el molde permitirá una representación más precisa y funcional de las venas humanas, mejorando la calidad del entrenamiento y la fidelidad del simulador.

Discusión

El desarrollo de un simulador de venas con materiales de silicona de caucho representa un avance significativo en la educación médica y la formación de profesionales de la salud. Este proyecto no solo demuestra una excelente viabilidad técnica, sino que también aborda una necesidad crítica en el entrenamiento de habilidades clínicas. La capacidad de ofrecer una experiencia de simulación realista y repetible hace de este proyecto una inversión invaluable para cualquier institución educativa o clínica.

Uno de los mayores beneficios del simulador de venas es su capacidad para proporcionar una formación práctica en un entorno controlado y seguro. Los estudiantes pueden practicar técnicas de punción venosa, manipulación de catéteres y otros procedimientos esenciales sin los riesgos asociados a los pacientes reales. La realista respuesta táctil del simulador, gracias a la elasticidad y resistencia del material de silicona de caucho, permite a los estudiantes desarrollar y perfeccionar sus habilidades de manera efectiva.

Desde una perspectiva económica, la durabilidad del simulador significa una reducción significativa en los costos a largo plazo. La capacidad del material para soportar múltiples punciones y procedimientos sin degradarse elimina la necesidad de frecuentes reemplazos, lo que representa un ahorro considerable. Además, el uso de silicona de caucho, que es más económica que otras alternativas como la silicona de grado médico, permite producir simuladores de alta calidad a un costo más accesible.

Este proyecto se distingue por su innovación en el diseño y la utilización de materiales avanzados. La combinación de resistencia al corte y elasticidad asegura que el simulador no solo es duradero, sino que también ofrece un realismo superior. La posibilidad de ajustar el grosor del material para una mayor precisión anatómica añade un nivel de personalización que otros simuladores no pueden igualar. Esto garantiza que los usuarios experimenten una simulación lo más cercana posible a las condiciones reales, mejorando la transferencia de habilidades del laboratorio a la práctica clínica.

Al proporcionar un medio efectivo para la práctica de técnicas invasivas, este simulador contribuye directamente a mejorar la calidad de atención en la práctica médica. Profesionales mejor entrenados están más preparados para realizar procedimientos con precisión y confianza, reduciendo el riesgo de complicaciones y mejorando los resultados para los pacientes. La formación continua y la capacidad de realizar prácticas repetidas sin riesgos reales son factores clave para mantener altos estándares de atención.

El uso de materiales sostenibles y económicos también significa que este simulador puede ser accesible a una mayor cantidad de instituciones, incluidas aquellas con presupuestos limitados. Esto amplía el alcance del proyecto, permitiendo que más estudiantes y profesionales de la salud se beneficien de una formación de alta calidad.

Perspectivas a futuro

Uno de los principales enfoques será el diseño de un mejor molde que permita obtener una réplica más precisa de las venas humanas. Actualmente, aunque el simulador ha demostrado una excelente resistencia y funcionalidad, se ha observado que la vena simulada es algo más gruesa de lo ideal. Un diseño de molde más adecuado permitirá una representación anatómica más fiel, lo cual es crucial para asegurar que los estudiantes y profesionales de la salud se entrenen en condiciones que se asemejen lo más posible a la realidad clínica.

El diseño de un nuevo molde también debe considerar la variabilidad en el diámetro y la estructura de las venas humanas, permitiendo la creación de simuladores que puedan ajustarse a diferentes escenarios clínicos y tipos de pacientes. Esto no solo mejorará la precisión del entrenamiento, sino que también ampliará la aplicabilidad del simulador en diversos contextos médicos.

Además del rediseño del molde, la incorporación de pruebas acústicas representa una innovadora mejora en la funcionalidad del simulador. Las pruebas acústicas pueden ser utilizadas para evaluar y perfeccionar la respuesta del material a los ultrasonidos, una técnica ampliamente utilizada en la práctica médica para la visualización de venas y otras estructuras internas. Al integrar esta característica, el simulador no solo servirá para la práctica de la venopunción, sino que también permitirá a los estudiantes y profesionales desarrollar habilidades en el uso del ultrasonido para la localización y canulación de venas.

Las pruebas acústicas podrán evaluar cómo el material de silicona de caucho interactúa con las ondas sonoras, asegurando que la visualización ultrasonográfica sea clara y precisa. Esta adición aumentará significativamente el valor del simulador, proporcionando una herramienta completa para la enseñanza de procedimientos guiados por ultrasonido, que son cada vez más comunes en la medicina moderna.

Referencias

- Abadi, E. (2018). *Modeling Lung Architecture in the XCAT Series of Phantoms: Physiologically Based Airways, Arteries and Veins*. Recuperado de <https://sci-hub.se/https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29533891/>
- Cameron R. Smith,. (2021). La evolución y el papel de la simulación en la enseñanza de la medicina. *Anesthesia Patient Safety Funation*, 4(2). <https://www.apsf.org/wp-content/uploads/newsletters/2021/0402-es/APS0402-ES.pdf>
- Chávez de la Rosa, D., Tass Rosado, J., Villarreal Del Valle, L., Sandoval Bernal, S., & González Mejía, V. (2020). Simulación clínica y dimensiones de pensamiento crítico en estudiantes de medicina de una universidad privada. *Investigación En Educación Médica*, 9(36), 70-77. <https://doi.org/10.22201/fm.20075057e.2020.36.20244>
- De la Cámara Egea, M. A. (2017). *Simulación animada de un cateterismo cardíaco*. Recuperado de <https://radiologiaclub.com/2017/01/27/simulacion-animada-de-un-cateterismo-cardiaco/>
- De Oliveira, E. C. (2020). *Impact of immersion on the performance of haptic virtual reality for inferior alveolar nerve anesthesia training*. Recuperado de <https://doi.org/10.11606/t.3.2020.tde-12022020-112919>
- Felipe Imigo, Alvaro Elgueta, Erick Castillo, Eduardo Celedón, Carlos Fonfach, Jorge Lavanderos, & Edgardo Mansilla. (2011). Accesos venosos centrales. *Cuadernos de Cirugía*, 25(1), 52-58. <https://doi.org/10.4206/cuad.cir.2011.v25n1-08>
- Guirola Ortíz, J. A., Mayoral Campos, V., Bosch Melguizo, J., Sánchez Ballestín, M., Medrano Peña, J., & De Gregorio Ariza, M. A. (2018). *Fabricación y técnicas de punción tipo Seldinger en un fantoma vascular guiado por ecografía*. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/563036005/52-Presentacion-Electronica-Educativa-99-1-10-20181120>
- Lee, S. U., Joo, Y. H., Chang, I., Kim, D. K., Lee, J. C., Jung, J. Y., Park, J. W., & Kwak, Y. H. (2021). *Novel Simulation Model That Realizes Arterial and Venous Blood Flow for Ultrasound-Guided Central Venous Catheter Insertion in Children*. Recuperado de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8313016/>
- Torossian, K., Benayoun, S., Ottenio, M., & Brulez, A-C. (2019). *Guidelines for designing a realistic peripheral venous catheter insertion simulator: A literature review*. Recuperado de <https://sci-hub.se/https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0954411919864786>
- Urbina, J., Sotelo, J., Springmüller, D., Montalba, C., Letelier, K., Tejos, C., Irrázaval, P., Andía, M. E., Razavi, R., Valverde, I., & Uribe, S. (2016). *Realistic aortic phantom to study*

hemodynamics using MRI and cardiac catheterization in normal and aortic coarctation conditions. Journal of Magnetic. Recuperado de <https://doi.org/10.1002/jmri.25208>

- Vega Medina, L., Pérez Gutiérrez, B., & Camargo, L. H. (2016). *MODELO DE PIEL, MÚSCULO Y VENA PARA ENTRENAMIENTO DE PUNCIÓN SUBCLAVIA EN ACCESO VENOSO CENTRAL EN PEDIATRÍA*. Recuperado de https://www.redalyc.org/journal/6078/607863422005/html/#redalyc_607863422005_ref31
- Villca, S. (2018). Simulación clínica y seguridad de los pacientes en la educación médica. Recuperado de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2225-87872018000200007#:~:text=La%20simulación%20clínica%20en%20la%20educación%20médica%20es%20efectiva%20en,una%20práctica%20segura%20y%20efectiva