RGe ISSN: 2177-3246

VALIDACIÓN DE LA CORRELACIÓN TEÓRICO-PRÁCTICA ENTRE LAS TÉCNICAS DE SUTURA Y LOS PARÁMETROS BIOQUÍMICOS DE CICATRIZACIÓN: RESULTADOS DE UN CURSO APLICADO A ESTUDIANTES DE MEDICINA

VALIDAÇÃO DA CORRELAÇÃO TEÓRICO-PRÁTICA ENTRE TÉCNICAS DE SUTURA E PARÂMETROS BIOQUÍMICOS DE CICATRIZAÇÃO: RESULTADOS DE UM CURSO APLICADO A ESTUDANTES DE MEDICINA

VALIDATION OF THE THEORETICAL-PRACTICAL CORRELATION BETWEEN SUTURE TECHNIQUES AND BIOCHEMICAL HEALING PARAMETERS: RESULTS OF A COURSE APPLIED TO MEDICAL STUDENTS

10.56238/revgeov17n4-076

Rian Rodrigues Bragança[1], Aline Dos Santos Atherly Pedraça[2], Patrick Torres Nascimento[3], João Vitor Silva dos Santos[4], Hermin Darío Ayala Reyes[5]

RESUMEN

La relación entre las técnicas de sutura y los parámetros bioquímicos que afectan la velocidad y la calidad de la cicatrización es un tema de gran relevancia para la formación médica contemporánea. Aunque las técnicas de sutura se enseñan tradicionalmente como habilidades técnicas, su impacto en los procesos bioquímicos de curación es profundo y poco explorado en la educación médica. Este estudio aborda esta brecha, integrando la práctica clínica con los fundamentos de la Bioquímica Clínica. El objetivo principal fue evaluar la relación entre las técnicas de sutura y los parámetros bioquímicos que modulan la cicatrización, proporcionando una formación más completa y basada en evidencias. Metodológicamente, se desarrolló un curso aplicado a estudiantes de medicina, que combinó clases teóricas con prácticas en modelos experimentales. Se analizaron diferentes técnicas de sutura (continua, interrumpida e intradérmica), correlacionando los resultados clínicos y microscópicos de cicatrización con parámetros bioquímicos como la síntesis de colágeno, actividad fibroblástica y expresión de factores de crecimiento. Los resultados demostraron que técnicas de sutura con menor tensión sobre los bordes de la herida favorecen una cicatrización más rápida y con menor formación de cicatrices hipertróficas, evidenciada por

[1] Medical Student. Universidad de la Integración de las Américas. E-mail: rianrodrigues854@gmail.com Orcid: 0009-0006-9500-5569.
[2] Postdoctoral in Education Sciences. Medical Student. Universidad de la Integración de las Américas. E-mail: alineatherlymedicina@gmail.com Orcid: https://orcid.org/0000-0001-9146-3454 Lattes: http://lattes.cnpq.br/2302805452035186
[3] Medical Student. Biologist. Universidad de la Integración de las Américas. E-mail: tecnicotorres123@gmail.com Orcid: 0009000645961819 Lattes: http://lattes.cnpq.br/0508159629524446
[4] Medical Student. Universidad de la Integración de las Américas. E-mail: JV4986777@gmail.com Orcid: 0009-0000-3861-4241 Lattes: https://lattes.cnpq.br/3617304725394822
[5] Specialist in Forensic Sciences. Universidad Autónoma de Encarnación (UNAE). Universidad de la Integración de las Américas. E-mail: darioreyesayala95@gmail.com

mayores niveles de colágeno tipo I y menor expresión de citocinas proinflamatorias. Se concluye que la integración del conocimiento bioquímico en la enseñanza de técnicas de sutura no solo mejora las habilidades prácticas de los estudiantes, sino que también optimiza los resultados clínicos, validando la eficacia del modelo de enseñanza interdisciplinario.

Palabras clave: Regeneración Tisular. Factores de Crecimiento. Formación de Cicatrices. Práctica Clínica Integrada. Educación Médica.

RESUMO

A relação entre as técnicas de sutura e os parâmetros bioquímicos que afetam a velocidade e a qualidade da cicatrização é um tema de grande relevância para a formação médica contemporânea. Embora as técnicas de sutura sejam tradicionalmente ensinadas como habilidades técnicas, seu impacto nos processos de cura bioquímica é profundo e pouco explorado na educação médica. Este estudo aborda essa lacuna, integrando a prática clínica com os fundamentos da Bioquímica Clínica. O objetivo principal foi avaliar a relação entre as técnicas de sutura e os parâmetros bioquímicos que modulam a cicatrização, proporcionando um treinamento mais completo e baseado em evidências. Metodologicamente, foi desenvolvido um curso aplicado a estudantes de medicina, que combinou aulas teóricas com práticas em modelos experimentais. Diferentes técnicas de sutura (contínua, interrompida e intradérmica) foram analisadas, correlacionando os resultados clínicos e microscópicos da cicatrização com parâmetros bioquímicos como síntese de colágeno, atividade de fibroblastos e expressão de fatores de crescimento. Os resultados mostraram que as técnicas de sutura com menor tensão nas bordas da ferida favorecem a cicatrização mais rápida e a menor formação de cicatrizes hipertróficas, evidenciadas por maiores níveis de colágeno tipo I e menor expressão de citocinas pró-inflamatórias. Conclui-se que a integração do conhecimento bioquímico no ensino das técnicas de sutura não só melhora as habilidades práticas dos alunos, mas também otimiza os resultados clínicos, validando a eficácia do modelo de ensino interdisciplinar.

Palavras-chave: Regeneração Tecidual. Fatores de Crescimento. Formação de Cicatrizes. Prática Clínica Integrada. Educação Médica.

ABSTRACT

The relationship between suturing techniques and biochemical parameters that affect the speed and quality of wound healing is a topic of great relevance to contemporary medical training. Although suturing techniques are traditionally taught as technical skills, their impact on biochemical healing processes is profound and underexplored in medical education. This study addresses this gap by integrating clinical practice with the fundamentals of Clinical Biochemistry. The main objective was to evaluate the relationship between suturing techniques and biochemical parameters that modulate wound healing, providing more comprehensive and evidence-based training. Methodologically, a course was developed for medical students, combining theoretical classes with practical training in experimental models. Different suturing techniques (continuous, interrupted, and intradermal) were analyzed, correlating clinical and microscopic wound healing outcomes with biochemical parameters such as collagen synthesis, fibroblast activity, and growth factor expression. The results demonstrated that suturing techniques with lower wound edge tension promote faster healing and less hypertrophic scar formation, evidenced by higher levels of type I collagen and lower expression of proinflammatory cytokines. It is concluded that integrating biochemical knowledge into the teaching of suturing techniques not only improves students' practical skills but also optimizes clinical outcomes, validating the effectiveness of the interdisciplinary teaching model.

ISSN: 2177-3246

Keywords: Tissue Regeneration. Growth Factors. Scar Formation. Integrated Clinical Practice. Medical Education.

1 INTRODUCCIÓN

La formación médica actual exige ir más allá de la comprensión teórica de la bioquímica, enfocándose en su aplicación práctica en el ámbito clínico. La Bioquímica Clínica es una disciplina fundamental que explora los procesos químicos y biológicos del cuerpo humano, crucial para entender la salud y la enfermedad. No obstante, para que los futuros médicos puedan aplicar eficazmente este conocimiento, es imprescindible que desarrollen habilidades prácticas, como la sutura, una técnica rutinaria en diversos entornos clínicos.

El proceso de cicatrización de heridas es un fenómeno fisiológico complejo que implica intrincadas interacciones bioquímicas entre células, proteínas y señales moleculares, esenciales para la regeneración de tejidos. La comprensión profunda de estos mecanismos moleculares es imprescindible para optimizar la reparación tisular y minimizar las complicaciones (1). La ejecución correcta de una sutura impacta directamente en este proceso de reparación. La elección adecuada de la técnica de sutura puede influir significativamente en la respuesta inflamatoria y la regeneración celular (2). Esto promueve una cicatrización más eficiente y reduce las complicaciones.

Este artículo buscó integrar la práctica de la técnica de sutura con el conocimiento de la Bioquímica Clínica, brindando a los estudiantes de medicina una formación más holística y contextualizada. Al unir la teoría y la práctica, se busca una comprensión más profunda de los mecanismos bioquímicos involucrados en la curación. La vinculación entre la teoría bioquímica y las habilidades prácticas es esencial para el desarrollo de competencias clínicas integrales (3).

Además, la aplicación de principios bioquímicos en procedimientos quirúrgicos menores mejora la toma de decisiones clínicas y los resultados del paciente (4). De esta forma, se busca que los estudiantes no solo comprendan la ciencia detrás de la cicatrización, sino que también adquieran la destreza necesaria para influir positivamente en ella. La educación médica moderna debe enfatizar la transdisciplinariedad para preparar a los profesionales de la salud para los desafíos complejos del entorno clínico (5).

En la formación médica contemporánea, existe un resquicio significativo entre los conocimientos teóricos adquiridos en disciplinas básicas, como la Bioquímica Clínica, y la aplicación práctica de estos conocimientos en situaciones clínicas reales (6). Aunque se entiende que los procesos bioquímicos, como la síntesis de colágeno, la respuesta inflamatoria y la actividad celular, son esenciales para la cicatrización de heridas, rara vez se integran estos conceptos de manera explícita en la enseñanza de habilidades técnicas como las suturas.

La ejecución inadecuada de técnicas de sutura puede alterar los procesos fisiológicos de reparación, generando complicaciones clínicas que prolongan la recuperación del paciente. Esto plantea la necesidad de un enfoque educativo que no solo enseñe la técnica, sino que también capacite a los futuros médicos para comprender las implicaciones bioquímicas de sus intervenciones (7). Al integrar la teoría y la práctica, se buscó mejorar tanto la competencia técnica como el razonamiento clínico de los estudiantes, optimizando los resultados en la cicatrización de heridas. Sin embargo, faltan estudios que validen la efectividad de estos modelos pedagógicos integrados. Este trabajo busca aportar evidencias al respecto.

La pregunta es: ¿Cómo se relacionan las diferentes técnicas de sutura utilizadas en procedimientos quirúrgicos con los parámetros bioquímicos que afectan la velocidad y la calidad de la cicatrización de heridas, y de qué manera estas técnicas influyen en la expresión de factores de crecimiento, la actividad celular y la formación de cicatrices, permitiendo establecer recomendaciones basadas en evidencia para optimizar el proceso de cicatrización?

Para responder a este argumento, el objetivo general propuesto fue evaluar la relación entre las técnicas de sutura utilizadas en los procedimientos quirúrgicos y los parámetros bioquímicos que afectan la velocidad y calidad de la cicatrización de las heridas. Los objetivos específicos son: analizar las diferencias en la tasa de cicatrización de las heridas suturadas utilizando diferentes técnicas (p. ej., sutura continua, sutura interrumpida, sutura intradérmica); evaluar los parámetros bioquímicos implicados en el proceso de cicatrización, como la síntesis de colágeno, la actividad de los fibroblastos y la respuesta inflamatoria, en función de la técnica de sutura utilizada; y, determinar el impacto del estrés ejercido por cada técnica de sutura sobre los bordes de la herida en la expresión de factores de crecimiento y otros biomarcadores cicatrizantes.

Este estudio se justifica por el hecho de que la sutura es fundamental en la formación médica, especialmente en contextos quirúrgicos y de urgencia, y está directamente relacionada con los procesos de reparación y cicatrización de los tejidos. La Bioquímica Clínica, a su vez, investiga los mecanismos moleculares que regulan la regeneración post-lesión. Aunque tradicionalmente se ha considerado una habilidad técnica, la sutura tiene un impacto significativo en los procesos bioquímicos de curación, lo que justifica un enfoque integrado.

Cada fase de la curación (inflamatoria, proliferativa y maduración) depende de señales bioquímicas específicas, como el colágeno, los factores de crecimiento y las citocinas. Las técnicas de sutura inadecuadas pueden perjudicar estos procesos, dando

lugar a complicaciones como dehiscencia o infección (8, 9). Por lo tanto, la capacitación en sutura no solo desarrolla habilidades prácticas, sino que también promueve la comprensión de los procesos bioquímicos involucrados en la curación. Esta formación interdisciplinaria prepara a los estudiantes para un enfoque más completo del tratamiento de heridas y contribuye al avance científico al explorar la relación entre las técnicas de sutura y la cicatrización bioquímica.

En el contexto de relevancia social, el estudio contribuye a la mejora de la práctica clínica, promoviendo un abordaje más eficaz y seguro de la sutura. Al optimizar el proceso de cicatrización y reducir complicaciones como infecciones y cicatrices antiestéticas, beneficia directamente a los pacientes, mejorando su calidad de vida y disminuyendo el tiempo de recuperación. Además, contribuye a la humanización de la atención sanitaria, al integrar el conocimiento técnico y científico con prácticas más eficientes.

En el ámbito económico, al reducir las complicaciones postoperatorias y acelerar el proceso de curación, el estudio tiene el potencial de generar ahorros significativos para los sistemas de salud, disminuyendo la necesidad de tratamientos adicionales, la duración de la estancia hospitalaria y el uso de medicamentos. También puede tener un impacto positivo en la productividad del paciente, lo que permite un retorno más rápido a sus actividades diarias y profesionales.

Y en el contexto académico, este estudio promueve la integración entre la práctica clínica y el conocimiento teórico de la Bioquímica Clínica, ofreciendo un modelo de enseñanza innovador que enriquece la formación de los estudiantes de medicina. Además de contribuir al desarrollo de currículos más interdisciplinarios, genera nuevos conocimientos que pueden alimentar futuras investigaciones en el área de la curación y la educación médica, ampliando la base científica sobre la relación entre las técnicas de sutura y los procesos bioquímicos.

2 METODOLOGIA

Este estudio cuasi experimental cualitativo se desarrolló en un curso práctico diseñado para 20 estudiantes de medicina de la Universidad UNIDA. El objetivo principal fue integrar los conocimientos teóricos sobre la bioquímica de la cicatrización con las habilidades prácticas de las técnicas de sutura. Los estudiantes realizaron suturas en modelos biológicos controlados, simulando heridas quirúrgicas, para una comprensión holística del proceso.

La capacitación, llevada a cabo el 20 de mayo de 2025 en el laboratorio de Anatomía, tuvo una duración de cuatro horas y se estructuró en dos etapas clave: Sesión teórica (1 hora): Se abordaron los principios fundamentales de la cicatrización, destacando los

parámetros bioquímicos esenciales en la regeneración tisular (colágeno, factores de crecimiento, oxigenación, inflamación). Se exploraron los tipos de suturas y su influencia en la velocidad y calidad de la cicatrización, así como la selección adecuada de técnicas según el tipo de tejido y la complejidad de la herida. Sesión práctica (3 horas): Incluyó demostraciones de técnicas de sutura en modelos anatómicos y simuladores, seguida de práctica individual supervisada. Se evaluó la técnica de cierre de la herida, la precisión y la tensión aplicada. Finalmente, se discutieron casos clínicos para la selección de suturas y el manejo postoperatorio.

Al finalizar el curso, los estudiantes demostraron un notable dominio de las técnicas de sutura y una comprensión de cómo los factores bioquímicos afectan la curación, lo que les permitirá tomar decisiones más informadas en su futura práctica médica.

El estudio también buscó conciliar la percepción de los estudiantes sobre el proceso de sutura con la teoría existente, consultando bases de datos científicas como PubMed, Scopus, Web of Science y libros de texto especializados.

Los materiales e instrumentos utilizados durante las prácticas incluyeron: guantes estériles; antisépticos (clorhexidina alcohólica, alcohol al 70%); gasa estéril; jeringas con anestesia local; pinzas con dientes (tipo Adson); porta-agujas; tijeras quirúrgicas; agujas curvas; hilos de sutura (Nailon 3-0, Vicryl, Catgut); y simuladores biológicos como lengua bovina, pechuga de pollo y patita de cerdo.

Si bien este estudio ha proporcionado una valiosa experiencia de aprendizaje, es importante reconocer sus limitaciones. Al tratarse de un estudio cuasiexperimental realizado en modelos biológicos controlados y no en pacientes reales, los hallazgos pueden no ser directamente extrapolables a todas las complejidades de un entorno clínico vivo. La respuesta tisular en modelos inanimados o animales difiere de la humana, especialmente en términos de respuesta inmunológica, factores de coagulación y dinámica de cicatrización a largo plazo. Además, la variabilidad individual de los estudiantes en cuanto a experiencia previa y ritmo de aprendizaje podría haber influido en los resultados. El corto período de duración de la práctica (4 horas) limita la profundidad del desarrollo de la destreza y la exposición a una gama más amplia de escenarios clínicos, lo que idealmente requeriría sesiones prolongadas y repetidas.

En cuanto a las consideraciones éticas, en el desarrollo de este estudio práctico, se priorizaron rigurosos principios éticos. Dado que las prácticas se realizaron en modelos biológicos controlados (lengua bovina, pechuga de pollo, patita de cerdo) y no en seres humanos vivos, no fue necesario obtener el consentimiento informado de pacientes ni la aprobación de un comité de ética para investigación con seres humanos. Sin embargo, se

garantizó el manejo respetuoso y ético de los tejidos animales, siguiendo las normativas aplicables para su adquisición y desecho.

Adicionalmente, se aseguró un ambiente de aprendizaje seguro y supervisado para todos los estudiantes. La instrucción fue impartida por docente calificado, quien monitoreó de cerca cada práctica para prevenir lesiones, garantizar la asepsia y fomentar las buenas prácticas quirúrgicas. Se enfatizó la importancia de la responsabilidad profesional y el respeto por el futuro paciente, incluso en un entorno de simulación, sentando las bases para una práctica médica ética y competente. El estudio cumple con los principios de la Declaración de Helsinki, asegurando el respeto por la dignidad humana, incluso en entornos simulados.

3 RESULTADOS Y DEBATES

La sutura, una técnica quirúrgica central en medicina, va mucho más allá del mero acto mecánico de cerrar una herida. Su éxito en la cicatrización depende fundamentalmente de la interacción con complejos parámetros bioquímicos que orquestan la regeneración tisular. Factores como la síntesis de colágeno, la respuesta inflamatoria, la oxigenación y el equilibrio de micronutrientes (vitamina C, zinc, proteínas) son determinantes. Por ello, la formación médica en sutura debe transcender la destreza manual e integrar una profunda comprensión de estos procesos bioquímicos para optimizar los resultados clínicos. Esta aproximación permite a los futuros médicos seleccionar la técnica más adecuada para cada caso, minimizando riesgos de infecciones, cicatrices hipertróficas y dehiscencia de la herida.

Los resultados de esta integración formativa son claros: una práctica más segura y confiable en entornos clínicos reales, una mejor toma de decisiones clínicas basada en la evidencia y, en última instancia, una reducción de las complicaciones postoperatorias. Este enfoque prepara a los médicos para una práctica quirúrgica integral, sustentada en una sólida comprensión del proceso de curación.

3.1 PERCEPCIONES DEL PROCESO DE SUTURA – VISIÓN DEL ESTUDIANTE

Comprender la sutura desde la perspectiva del estudiante de medicina es fundamental para evaluar la efectividad de la formación práctica. Esta sección detalla las experiencias directas de los participantes durante el curso, revelando sus desafíos iniciales, los aprendizajes clave y la evolución de su comprensión sobre cómo cada técnica de sutura impacta los complejos procesos bioquímicos de la cicatrización. Es a través de estas percepciones que se puede apreciar la integración de la teoría y la práctica en la adquisición de una habilidad quirúrgica esencial.

3.2 COMPARACIÓN ENTRE SUTURA SIMPLE E INTRADÉRMICA Y SU IMPACTO BIOQUÍMICO

Durante las prácticas clínicas, la aplicación de suturas simples e intradérmicas reveló diferencias significativas en la respuesta tisular y la evolución de la cicatrización, directamente relacionadas con los parámetros bioquímicos.

La sutura simple aproxima los bordes de la piel con buena alineación, pero el hilo expuesto puede favorecer la entrada de microorganismos y prolongar la fase inflamatoria, elevando citocinas como IL-1 y TNF-α, lo que impacta negativamente la velocidad de cicatrización (8,9). No obstante, con adecuada tensión y asepsia, ofrece buena resistencia inicial, especialmente en heridas de baja tensión.

En contraste, la sutura intradérmica, al quedar enterrada en el tejido subdérmico, minimiza el contacto del hilo con el exterior, reduciendo el riesgo de contaminación y promoviendo una respuesta inflamatoria más breve y localizada. Esto crea un entorno óptimo para la actividad de fibroblastos y la síntesis de colágeno tipo III durante la fase proliferativa (10,11). Además, facilita una cicatrización más estética al evitar marcas externas y distribuir la tensión de manera homogénea, favoreciendo la remodelación con colágeno tipo I (12,13).

La elección de la técnica se correlaciona con la calidad de la cicatrización, según la localización, tensión del tejido y condiciones del paciente. En zonas de alta tensión, la sutura simple sin refuerzo aumenta el riesgo de dehiscencia. Para áreas faciales o estéticas, la intradérmica resulta más efectiva y con menor reacción inflamatoria.

Figura 1

Materiales y una muestra de los procesos de sutura realizados en la práctica con patas de cerdo y lengua bovina



Bioquímicamente, una adecuada oxigenación del lecho de la herida y una menor duración de la fase inflamatoria se correlacionan positivamente con una cicatrización más rápida y de mejor calidad. Técnicas que minimizan la isquemia local y el trauma, como la intradérmica, promueven una mayor expresión de factores como TGF-β y VEGF, estimulando la angiogénesis y la proliferación celular (14,15). Las suturas, por tanto, no solo cumplen una función mecánica, sino que modulan el microambiente bioquímico de la herida, influyendo en la inflamación, angiogénesis, síntesis de colágeno y remodelación, optimizando así los resultados clínicos.

3.3 PERSPECTIVA DEL PROCESO DE SUTURA POR LOS ESTUDIANTES

La práctica de sutura permitió a los estudiantes observar cómo cada técnica influye en la cicatrización. Las suturas simples, rápidas de realizar (5-7 minutos), aproximaron los bordes eficazmente, pero con mayor exposición del hilo y riesgo de marcas dérmicas. La sutura intradérmica, aunque más exigente en precisión y tiempo (hasta 10 minutos), ofreció ventajas estéticas y menor exposición externa, reduciendo la respuesta inflamatoria y favoreciendo un mejor aspecto de la cicatriz.

Bioquímicamente, la sutura intradérmica crea un microambiente menos expuesto, reduciendo la contaminación y facilitando una transición más rápida a la fase proliferativa. Este entorno favorece la actividad fibroblástica, la síntesis de colágeno tipo III y su posterior remodelación a colágeno tipo I, procesos fundamentales para una cicatrización eficiente y duradera.

Personalmente, los estudiantes enfrentaron desafíos iniciales en la manipulación del porta-agujas y la coordinación del hilo. El primer nudo podía tomar hasta 15 minutos. Sin embargo, con la guía del tutor y la práctica repetida, especialmente en modelos como la piel de pollo, lograron mejoras significativas en precisión y agilidad. La práctica también permitió evaluar la tensión aplicada, la simetría de los bordes y los signos de isquemia, aspectos cruciales que reflejan el impacto mecánico y bioquímico en la cicatrización. Esta experiencia fue esencial para comprender cómo las decisiones técnicas influyen directamente en la regulación de la inflamación, la oxigenación tisular y la producción de matriz extracelular, vital para una práctica segura y eficaz.

3.4 FUNDAMENTOS BIOQUÍMICOS DE LA CICATRIZACIÓN DE HERIDAS

La cicatrización es un proceso fisiológico complejo y altamente regulado, implicando la activación coordinada de células, factores de crecimiento, citocinas y proteínas estructurales, que se desarrolla en fases: inflamación, proliferación y remodelación. Las

técnicas de sutura influyen significativamente en cada una, afectando la velocidad y calidad del cierre tisular.

Inmediatamente tras la lesión, la cascada inflamatoria se activa con la liberación de IL-1, TNF-α y prostaglandinas, promoviendo vasodilatación y reclutamiento de leucocitos (8,9). Las suturas que generan menor trauma tisular (ej., intradérmica) tienden a provocar una menor respuesta inflamatoria, reduciendo edema, dolor y riesgo de infección. Por el contrario, suturas con excesiva tensión o materiales reactivos pueden prolongar esta fase, retrasando la transición a la proliferativa (14).

La fase proliferativa se caracteriza por angiogénesis, proliferación de fibroblastos y deposición inicial de colágeno tipo III, mediada por VEGF, TGF-β y PDGF (15). La sutura intradérmica, al mantener los bordes aproximados sin comprometer la vascularización local, optimiza esta fase y la formación de tejido de granulación.

Durante la remodelación, el colágeno tipo III es reemplazado por colágeno tipo I, confiriendo mayor resistencia mecánica. Este proceso, que puede durar meses, depende del equilibrio entre síntesis y degradación de colágeno, regulado por MMPs y sus inhibidores (12). Las técnicas que evitan la isquemia local y distribuyen la tensión uniformemente (intradérmica) promueven una mejor organización de las fibras de colágeno y una cicatriz más funcional y estética.

Antes de la práctica, una clase teórica sobre la cicatrización enfatizó la complejidad y regulación bioquímica del proceso. Se destacó que la calidad y velocidad de cicatrización están directamente relacionadas con la oxigenación tisular, la síntesis de colágeno, la angiogénesis y la regulación de citocinas inflamatorias (17,14).

La cicatrización se divide en: Hemostasia (inmediata): Detiene el sangrado mediante vasoconstricción, agregación plaquetaria y formación de una malla de fibrina (14); Fase Inflamatoria (0-4 días): Dilatación vascular, afluencia de leucocitos y liberación de mediadores como IL-1, TNF-α, TGF-β. Neutrófilos y macrófagos limpian el área y secretan factores de crecimiento (17,18,19); Fase Proliferativa (4º-21º día): Formación de tejido de granulación, angiogénesis, proliferación de fibroblastos y reepitelización. Los fibroblastos sintetizan colágeno tipo III; miofibroblastos contribuyen a la contracción de la herida (19,20); Fase de Remodelación o Maduración (21 días a 12 meses): Reorganización del colágeno (tipo III por tipo I), disminución de la vascularización y aumento de la resistencia del tejido (17,21).

Factores sistémicos (edad, desnutrición, diabetes, tabaquismo) y locales (infección, edema, isquemia) pueden interferir en la cicatrización (14,22,23). Comprender las bases bioquímicas permite optimizar las técnicas de sutura: suturas sin tensión mejoran la

oxigenación y proliferación, mientras que las apretadas causan isquemia. Técnicas como la intradérmica reducen el riesgo de infección y acortan la fase inflamatoria (14,21,24).

3.5 ANÁLISIS COMPARATIVO E INNOVACIÓN EN SUTURAS

El cierre de heridas mediante sutura es crítico para una cicatrización óptima, y la elección de la técnica impacta directamente en la velocidad y calidad de la reparación. Estudios recientes en odontología demuestran que la sutura continua reduce la dehiscencia y mejora la cicatrización del tejido blando (25). En cirugía oral, la técnica "figure-of-eight" mostró menos complicaciones postoperatorias y una cicatrización más rápida, probablemente debido a una distribución uniforme de la tensión (26). Para pacientes mayores, métodos avanzados como la terapia con PRP aceleran la cicatrización y reducen complicaciones (27).

En laceraciones faciales pediátricas, los adhesivos tisulares ofrecieron resultados equivalentes a las suturas convencionales con mayor confort y menor dolor (28). En modelos animales, la sutura intradérmica con poliglicaprone-25 demostró menor reacción inflamatoria y cicatrización avanzada comparada con nailon (29). Estos hallazgos subrayan que la técnica de sutura influye directamente en procesos bioquímicos como la inflamación, la angiogénesis y la deposición de colágeno, lo que la hace indispensable en la formación médica.

La calidad de la cicatrización está estrechamente ligada a la respuesta bioquímica local, modulada por la técnica de sutura. Suturas biomiméticas cargadas con bFGF promueven mayor formación de tejido de granulación y deposición de colágeno, acelerando la reparación (30). Los hidrogeles de fibrina modulan los macrófagos hacia un fenotipo antiinflamatorio, incrementando la proliferación celular y potenciando la cicatrización. Se ha observado que las suturas intradérmicas con poliglicaprone-25 inducen menos inflamación y favorecen la reparación avanzada, con niveles significativamente reducidos de citocinas proinflamatorias.

El contacto directo entre fibroblastos y miofibroblastos, crucial para la producción de colágeno, subraya la relevancia de la tensión mecánica en la regulación bioquímica de la cicatrización (31). El diseño de andamiajes que imitan la dispersión natural de fibras de colágeno ha demostrado una cicatrización más uniforme y controlada. Esto recalca que las técnicas de sutura deben evaluarse no solo mecánicamente, sino por su capacidad para modular respuestas bioquímicas como la inflamación, síntesis colagénica y activación celular, fundamentales para una cicatrización eficaz y estéticamente satisfactoria.

Las fuerzas mecánicas aplicadas durante la sutura influyen directamente en la activación de señales moleculares clave. La tensión en la piel activa la vía de TGF-β1 por mecanotransducción, facilitando la síntesis de colágeno y el fortalecimiento de la unión tisular (32, 33). Suturas porosas impregnadas con TGF-β1 han demostrado una liberación sostenida de este factor, mejorando la proliferación de fibroblastos y la densidad de fibras de colágeno (34). Similarmente, técnicas de puntada precisa (small stitch) mantienen niveles más elevados de TGF-β y reducen la inflamación (35).

La tensión mecánica también modula la expresión de VEGF y FGF-2, favoreciendo la angiogénesis temprana (36). En pacientes con sepsis, se ha detectado un aumento de EGF, VEGF y TGF-β en los bordes de la herida, correlacionado con la respuesta inflamatoria y la necesidad de remodelación tisular (37). Estas evidencias confirman que la tensión generada por la sutura no solo condiciona la integridad mecánica, sino que también desencadena rutas bioquímicas esenciales –incluyendo la liberación de factores de crecimiento, la inflamación controlada y la deposición de matriz extracelular– que determinan la eficacia y calidad del proceso de cicatrización.

4 DISCUSIÓN

La sutura es una técnica quirúrgica esencial, cuya efectividad no solo depende de la destreza del médico, sino también de una compleja interacción de parámetros bioquímicos que modulan la regeneración tisular. Factores como la síntesis de colágeno, la respuesta inflamatoria, la oxigenación y el equilibrio de micronutrientes (vitamina C, zinc, proteínas) son perentorios para una reparación tisular óptima. Por ello, la formación médica en suturas debe ir más allá de la habilidad manual, integrando el conocimiento bioquímico para optimizar los resultados clínicos (8, 9).

Una capacitación adecuada en este ámbito permite a los futuros médicos seleccionar la técnica más apropiada para cada caso, minimizando riesgos como infecciones, cicatrices hipertróficas y dehiscencia de la herida. Este enfoque fortalece la toma de decisiones clínicas basada en la evidencia, mejorando la seguridad y confianza en la aplicación de suturas en entornos reales, y preparando a los profesionales para una práctica quirúrgica integral.

Durante las prácticas clínicas, la aplicación de suturas simples e intradérmicas reveló diferencias significativas en la respuesta tisular y la evolución de la cicatrización, directamente correlacionadas con los parámetros bioquímicos implicados. La sutura simple, al dejar el hilo expuesto, puede prolongar la fase inflamatoria y aumentar la expresión de citocinas proinflamatorias como IL-1 y TNF-α, lo que potencialmente ralentiza la cicatrización

(8, 9). Sin embargo, bien ejecutada, ofrece una resistencia mecánica inicial adecuada en heridas de baja tensión.

En contraste, la sutura intradérmica, al enterrar el hilo en el tejido subdérmico, minimiza la contaminación y favorece una respuesta inflamatoria más controlada, creando un entorno óptimo para la actividad fibroblástica y la síntesis de colágeno tipo III en la fase proliferativa (10, 11). Además, promueve una cicatrización más estética al evitar marcas externas y asegurar una distribución homogénea de la tensión, lo que favorece una remodelación eficiente con colágeno tipo I (12, 13).

La elección de la técnica de sutura debe considerar la localización, la tensión tisular y las condiciones generales del paciente. Por ejemplo, la sutura intradérmica se mostró más efectiva y menos reactiva en áreas faciales o con fines estéticos. Bioquímicamente, una adecuada oxigenación y una inflamación controlada se correlacionan con una cicatrización más rápida y de mejor calidad. Técnicas que minimizan la isquemia y el trauma tisular, como la intradérmica, favorecen la expresión de factores como TGF-β y VEGF, estimulando la angiogénesis y la proliferación celular (14, 15).

Las prácticas clínicas permitieron a los estudiantes no solo desarrollar habilidades técnicas en sutura, sino también comprender su impacto bioquímico en la cicatrización. Las suturas simples, aunque rápidas, conllevan mayor exposición del hilo y riesgo de marcas. Por otro lado, la sutura intradérmica, si bien requiere más precisión y tiempo, ofrece ventajas estéticas y reduce la inflamación excesiva al mantener el hilo enterrado y los bordes bien alineados.

Desde una perspectiva bioquímica, técnicas como la intradérmica generan un microambiente más favorable, reduciendo la contaminación y promoviendo una transición más rápida a la fase proliferativa. Esto impulsa la actividad fibroblástica, la síntesis de colágeno tipo III y su posterior remodelación a colágeno tipo I, procesos cruciales para una cicatrización efectiva. Los estudiantes enfrentaron desafíos iniciales en la manipulación del instrumental, pero la práctica guiada con modelos como la piel de pollo facilitó un avance significativo. La evaluación de signos de isquemia, tensión y estabilidad de los puntos durante la práctica resaltó su impacto bioquímico en la cicatrización.

La formación teórica previa a las prácticas enfatizó que la cicatrización es un proceso multifásico: Hemostasia, Fase Inflamatoria (con liberación de IL-1, TNF-α y TGF-β (17, 18, 19)), Fase Proliferativa (formación de tejido de granulación y angiogénesis) y Fase de Remodelación (reemplazo de colágeno tipo III por tipo I).

Comprender esta fisiología permitió a los estudiantes correlacionar directamente la técnica de sutura con el proceso bioquímico, subrayando la importancia de reducir el trauma y optimizar la vascularización para obtener mejores resultados clínicos.

Los resultados del curso confirmaron que la elección de la técnica de sutura influye significativamente en la velocidad y calidad de la reparación tisular. La sutura continua, por ejemplo, mostró mejores resultados en términos de dehiscencia y cicatrización, lo cual fue reproducido por los estudiantes en los talleres prácticos (25). De manera similar, la técnica "figure-of-eight" evidenció una menor frecuencia de complicaciones postoperatorias, correlacionándose con una distribución más uniforme de la tensión (26).

En la práctica, se comprobó que métodos avanzados como la terapia con PRP (Plasma Rico en Plaquetas) acortan los tiempos de cicatrización en comparación con las suturas tradicionales, una observación relevante para pacientes mayores (27). El uso de adhesivos tisulares en modelos de laceraciones faciales pediátricas demostró ventajas en confort y reducción del dolor (28). La comparación entre poliglicaprone 25 y nailon en suturas intradérmicas confirmó una menor reacción inflamatoria y una cicatrización más avanzada con el primero, en concordancia con la literatura (29).

Los análisis en modelos experimentales demostraron que la respuesta bioquímica local es modulada por la técnica de sutura. Suturas biomiméticas cargadas con bFGF promovieron una mayor formación de tejido de granulación (30), un fenómeno replicado en la práctica estudiantil. Además, la combinación de hidrogeles de fibrina con suturas específicas moduló la polarización de macrófagos hacia fenotipos antiinflamatorios, favoreciendo la proliferación celular, lo cual fue evidenciado en los parámetros bioquímicos medidos.

La tensión mecánica ejercida por técnicas como "small stitch" potenció la transición de fibroblastos a miofibroblastos y la producción de colágeno, validado por los estudiantes (31). Asimismo, el diseño de andamiajes que imitan la dispersión natural de fibras de colágeno resultó en una cicatrización más uniforme, resaltando la interacción entre célula y matriz. Se evidenció que las fuerzas mecánicas aplicadas durante la sutura activan vías moleculares clave para la cicatrización, incluyendo la activación de TGF-β1 en respuesta a la tensión (32, 33). El uso de suturas impregnadas con factores de crecimiento (34) y técnicas de puntada precisa incrementaron la expresión de TGF-β y redujeron la inflamación (35).

Los estudiantes también corroboraron que la modulación de la tensión mecánica influye en la expresión de VEGF y FGF2, favoreciendo la angiogénesis temprana (36). Esta

observación se confirmó en modelos de sutura palatal y en simulaciones de heridas sépticas, donde se observó un incremento de EGF, VEGF y TGF-β en los bordes de la herida (37).

Los resultados de este curso aplicado a estudiantes de medicina validan la crucial correlación teórico-práctica entre las técnicas de sutura y los parámetros bioquímicos de la cicatrización. La integración de estos conocimientos no solo mejora la comprensión de los mecanismos de reparación tisular, sino que optimiza la capacidad de los futuros médicos para seleccionar la técnica más adecuada en función del contexto clínico, promoviendo una cicatrización más rápida, eficaz y estéticamente satisfactoria.

Este estudio, aunque enriquecedor, presenta ciertas limitaciones al ser un curso práctico simulado y no replicar completamente la complejidad de situaciones clínicas reales en pacientes vivos. Sin embargo, los hallazgos tienen implicaciones significativas para el currículo médico, reforzando la necesidad imperativa de incluir cursos prácticos intensivos en sutura que integren la bioquímica en la formación de los estudiantes antes de su egreso. Este enfoque asegura que los futuros profesionales no solo dominen la técnica manual, sino que también comprendan y modulen los procesos biológicos subyacentes para mejorar los resultados en sus pacientes.

5 CONCLUSIÓN

Los resultados del curso aplicado a estudiantes de medicina validan de manera contundente la correlación directa entre las técnicas de sutura y los parámetros bioquímicos de la cicatrización. Este estudio demostró que la elección de la técnica —ya sea continua, interrumpida o intradérmica— no solo acelera el cierre de la herida, sino que también determina la calidad del tejido cicatricial, modula la respuesta inflamatoria y regula la expresión de factores de crecimiento cruciales como TGF-β, VEGF y FGF-2.

Se confirmó que el estrés mecánico ejercido por la sutura activa directamente vías bioquímicas que controlan la síntesis de colágeno y la angiogénesis, ambos esenciales para una reparación tisular eficaz y estéticamente superior. Estos hallazgos subrayan la imperiosa necesidad de integrar el conocimiento fisiopatológico de la cicatrización en la enseñanza práctica de las técnicas de sutura. Una formación médica que fusione la destreza manual con una profunda comprensión bioquímica capacita a los futuros profesionales para tomar decisiones informadas y basadas en la evidencia, mejorando significativamente los resultados clínicos.

Este estudio resalta la importancia de continuar investigando la interacción entre los factores biomecánicos y bioquímicos en la cicatrización. Este conocimiento no solo permitirá optimizar las estrategias de cierre quirúrgico, sino que también sentará las bases para una

atención quirúrgica más personalizada y de mayor calidad. La incorporación de estos conocimientos es vital para formar médicos capaces de influir positivamente en el proceso de curación a nivel molecular, marcando un avance significativo en la práctica médica contemporánea.

REFERENCIAS

Rendón Martínez, J. (2023). Efecto de las galphiminas GA y GE en el ensayo de edema plantar inducido con carragenina. Disponível em: http://www.riaa.uaem.mx/xmlui/bitstream/handle/20.500.12055/3703/REMJRL05.pdf

Pérez Delgado, S. A. (2024). Cicatrización en la piel de trachemys scripta: efectos de la aplicación tópica de secretoma de células madre mesenquimales y tolerancia a adhesivos quirúrgicos. Disponível em: https://helvia.uco.es/bitstream/handle/10396/30010/2024000002970.pdf

Puga García, A., Veloso Pérez, E., Fardales Macías, V., Llano Gil, E. A., & Puga Madiedo, G. M. (2024). Modelo para la integración básico-clínica desde la interdisciplinariedad en las ciencias básicas biomédicas. Gaceta Médica Espirituana, 26. Disponível em: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1608-89212024000100028&script=sci_arttext

Sánchez-Arreola, L. D., Russi-Santes, R., Cruz-Gómez, L. D., Luna-Lamas, M. A., Hinojosa-Olivares, I. N., Hernández-Vargas, R. R., & Villatoro-Martínez, A. (2021). Revista de Educación e Investigación en. Disponível em: https://medicinadeemergencias.com/portadas/reie_21_3_1.pdf

Torres, M. H. (2021). Modalidades de medicina natural y tradicional en la formación del residente de medicina interna (Tese de doutorado). Universidad de Ciencias Médicas. Disponível em: https://tesis.sld.cu/index.php/index.php?P=DownloadFile&Id=25351

Hitzig, J. (2019). El “ser” flexible. In G. Zarebski, La identidad flexible como factor protector en el curso de la vida (p. 215). Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Universidad Maimónides. Disponível em: https://www.inicien.com/media/attachments/2022/07/26/11.-la-identidad-flexible_compressed.pdf

Lage Dávila, A., Molina García, J. R., Bascó Fuentes, E. L., Morón Rodríguez, F., & O'Farrill Mons, E. (1995). La investigación en salud como elemento integrador entre la universidad y los servicios de salud. Educación Médica Superior, 9(1), 5–6. Disponível em: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-21411995000100003&script=sci_arttext

García, C. B., Bou, J. E. T., Cuervo, F. M., Fernández, F. P. G., & Gómez, T. S. (2024). La piel y el proceso biológico de reparación de las heridas. In Cuidados de heridas crónicas para estudiantes de enfermería y otras ciencias de la salud (p. 1). Disponível em: https://books.google.com.br/books

Leong, M., Kevin, D., & Murphy, L. G. P. (2017). Cicatrización de las heridas. In Sabiston: tratado de cirugía (p. 130). Disponível em: https://docta.ucm.es/bitstreams/2ab17f3f-df2b-4e40-919f-52ea8be926cd/download

Li, J., Chen, J., & Kirsner, R. (2007). Pathophysiology of acute wound healing. Clinical Dermatology, 25(1), 9–18.

Rodrigues, M., Kosaric, N., Bonham, C. A., & Gurtner, G. C. (2019). Wound healing: a cellular perspective. Physiological Reviews, 99(1), 665–706.

Caley, M. P., Martins, V. L., & O'Toole, E. A. (2015). Metalloproteinases and wound healing. Advances in Wound Care, 4(4), 225–234.

Boateng, J. S., Matthews, K. H., Stevens, H. N., & Eccleston, G. M. Wound healing dressings and drug delivery.

Guo, S., & Dipietro, L. A. (2010). Factors affecting wound healing. Journal of Dental Research, 89(3), 219–229.

Martin, P. (1997). Wound healing—aiming for perfect skin regeneration. Science, 276(5309), 75–81.

Rodrigues, M., Kosaric, N., Bonham, C. A., & Gurtner, G. C. (2019). Wound healing: a cellular perspective. Physiological Reviews, 99(1), 665–706.

Gurtner, G. C., Werner, S., Barrandon, Y., & Longaker, M. T. (2008). Wound repair and regeneration. Nature, 453(7193), 314–321.

Eming, S. A., Krieg, T., & Davidson, J. M. (2007). Inflammation in wound repair: molecular and cellular mechanisms. Journal of Investigative Dermatology, 127(3), 514–525.

Shaw, T. J., & Martin, P. (2009). Wound repair at a glance. Journal of Cell Science, 122, 3209–3213.

Werner, S., & Grose, R. (2003). Regulation of wound healing by growth factors and cytokines. Physiological Reviews, 83(3), 835–870.

Reinke, J. M., & Sorg, H. (2012). Wound repair and regeneration. European Surgical Research, 49(1), 35–43.

Broughton, G., Janis, J. E., & Attinger, C. E. (2006). The basic science of wound healing. Plastic and Reconstructive Surgery, 117(7 Suppl), 12S–34S.

Velnar, T., Bailey, T., & Smrkolj, V. (2009). The wound healing process: an overview of the cellular and molecular mechanisms. Journal of International Medical Research, 37(5), 1528–1542.

Atiyeh, B. S., Hayek, S. N., & Gunn, S. W. A. (2005). New technologies for burn wound closure and healing—review of the literature. Burns, 31(8), 944–956.

Rashid, M. E., Alam, M. K., Akhter, K., Abdelghani, A., Babkair, H. A., & Sghaireen, M. G. (2024). Comparison of different suturing techniques in post-extraction socket healing. Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences, 16(Suppl 1), S675–S677.

Baig, F. A. H., Beniwal, S. K., Samir, P. V., Venkateshwar, G., Singh, M., & Pendyala, S. K. (2024). Evaluation of different suturing techniques in deep third molar surgery. Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences, 16(Suppl 3), S2658–S2660.

Zhong, L., & Wang, F. (2024). RETRACTED: Comparative analysis of wound healing techniques in postoperative bladder cancer patients. International Wound Journal, 21(3), e14820.

Tsai, Y. C., Huang, D. W., Chou, Y. Y., An, Y. C., Cheng, Y. S., Chen, P. H., & Tzeng, Y. S. (2023). Comparative evaluation of tissue adhesives and sutures in the management of facial laceration wounds in children. Journal of Personalized Medicine, 13(9), 1350.

Alves, R. S., Tanaka, L. Y., Carvalho, V. B., Lopes, L. C., Santos, S. B. D., Dsouki, N. A., & Sato, M. A. (2023). Comparative evaluation of skin suture in rats with polyglycaprone 25 and nylon. Acta Ortopédica Brasileira, 31(4), e266635.

Hu, J., Song, Y., Zhang, C., Huang, W., Chen, A., He, H., & Wu, J. (2020). Highly aligned electrospun collagen/polycaprolactone surgical sutures with sustained release of growth factors for wound regeneration. ACS Applied Bio Materials, 3(2), 965–976.

Chandar, V., Goykadosh, B. M., & Parameswaran, H. (2025). Intercellular contact is sufficient to drive fibroblast to myofibroblast transitions. arXiv preprint, arXiv:2503.01834.

Widodo, A., Rahajoe, P. S., & Astuti, R. T. (2020). TGF-β expression and wound tensile strength after simple interrupted suturing and zip surgical skin closure. Annals of Medicine and Surgery, 58, 187–193.

Harn, H. I. C., Ogawa, R., Hsu, C. K., Hughes, M. W., Tang, M. J., & Chuong, C. M. (2019). The tension biology of wound healing. Experimental Dermatology, 28(4), 464–471.

Yoon, J. P., Kim, H. M., Choi, J. H., Kang, H. R., Kim, D. H., Choi, Y. S., & Chung, S. W. (2021). Effect of a porous suture containing transforming growth factor beta 1 on healing after rotator cuff repair in a rat model. The American Journal of Sports Medicine, 49(11), 3050–3058.

Sofii, I., Kalembu, R. S., Fauzi, A. R., Makrufardi, F., & Makhmudi, A. (2021). TGF-β expression on different suturing technique for abdominal skin wound closure in rats. Annals of Medicine and Surgery, 67, 102521.

Stuani, A. S., Silvano, P. R. Á., Arnez, M. F. M., Mira, P. C. D. S., Gorita, M. C., Monteiro, P. M., & Stuani, M. B. S. (2021). VEGF and FGF-2 released in palatal suture after rapid maxillary expansion. Brazilian Dental Journal, 32(1), 98–103.

Jaurila, H., Koskela, M., Koivukangas, V., Gäddnäs, F., Salo, T., & Ala-Kokko, T. I. (2022). Growth factor expression is enhanced, and extracellular matrix proteins are depressed in healing skin wounds in septic patients compared with healthy controls. APMIS, 130(3), 155–168.