

Efecto de la cantidad de estireno sobre la resistencia a la tracción de una resina poliéster para inyección de piezas anatómicas

Edgar Giovanni Corzo¹, José Darío Rojas²

RESUMEN

Introducción: Las resinas sintéticas industriales se emplean actualmente para preparar piezas anatómicas con fines académicos mediante la técnica de repleción de vasos sanguíneos, conductos y órganos huecos. Encontrar las propiedades físicas ideales de la resina que se ajusten a las necesidades de éste proceso, ha sido algo complejo. Algunas evidencias señalan el importante papel del estireno en la modificación de las propiedades físicas de la resina. **Objetivo:** Evaluar el efecto de diferentes cantidades de estireno sobre la resistencia a la tracción de una mezcla de resina flexible. **Materiales y métodos:** Se realizaron tres mezclas de resina con 10, 20 y 30% de estireno (A, B y C respectivamente) y se elaboraron 4 modelos de cada mezcla a partir de un modelo suministrado, para ser sometidos a tracción hasta su ruptura en una máquina universal de ensayos evaluando su resistencia a la tracción. **Resultados:** Los modelos de la mezcla A presentaron ruptura a una carga promedio de 148,75Kg.-fuerza, los de la mezcla B a 161,25 y los de la mezcla C a 296,25, observándose diferencia significativa en la carga de ruptura de la mezcla C con respecto a las otras dos. **Conclusiones:** Nuestros resultados sugieren que la adición de 30% de estireno a la resina poliéster flexible incrementa su resistencia a la tracción. Es necesario probar este comportamiento en diversas resinas y con cantidades diferentes de estireno. *Salud UIS 2008, 40: 191 - 196*

Palabras clave: Resinas sintéticas, estireno, resistencia a la tracción, anatomía

ABSTRACT

Introduction: synthetic resins are currently used with academic proposals to prepare anatomic organs by using injection techniques through blood vessels, conducts and hollow organs. Finding resin's right conditions and physical properties according to what process needs, has been difficult. Some evidences indicate that styrene plays an important role in changes in resin physical properties. **Objective:** To test the effect of styrene in different quantities in a resin flexible mixture over tensile strength. **Materials and methods:** Three resin mixtures were prepared with 10, 20 and 30% styrene (A, B and C respectively) and four standard models were built by using each mixture. Those models were placed in an Assay Universal Machine until they broke, testing their traction resistance. **Results:** Models in A mixture broke at 148.75kg.-f median charges, B mixture broke at 161.25 and C mixture at 296.25, so there is a significant difference between C and the other two groups. **Conclusions:** Our results suggest that styrene addition 30% in the flexible polyester resin increases the tensile strength. It is necessary probe this performance in different resins and at different styrene quantities. *Salud UIS 2008, 40: 191 - 196*

Keywords: Resins synthetic, styrene, tensile strength, anatomy

1. MSc. (C) Ciencias Básicas Biomédicas, Profesor Asociado, Departamento de Ciencias Básicas, Universidad Industrial de Santander.

2. MSc. (C) Ciencias Básicas Biomédicas, Profesor Asistente, Departamento de Ciencias Básicas, Universidad Industrial de Santander.

Correspondencia: José Darío Rojas Oviedo, Carrera. 32 No. 29-31 Departamento de Ciencias Básicas, Facultad de Salud, UIS, Bucaramanga, Colombia, Telefax: 6455396, E-mail: darojaso@gmail.com.

Recibido: Enero 25 de 2008 - **Aceptado:** Diciembre 4 de 2008

INTRODUCCIÓN

En la enseñanza de la anatomía humana se han empleado variadas metodologías, trascendiendo desde la práctica de la disección en especímenes cadavéricos, al uso de modelos anatómicos y en los últimos años la implementación de modelos computacionales que pretenden suplir la dificultad creciente para obtener material cadavérico¹⁻⁵.

Es ampliamente aceptado que el uso de preparaciones cadavéricas sigue siendo el método más eficiente para que los estudiantes de ciencias de la salud tanto de pregrado como de postgrado en áreas medicoquirúrgicas obtengan un aprendizaje significativo de la anatomía y adquieran y perfeccionen las destrezas manuales necesarias para su desempeño profesional⁶⁻¹¹.

Nuestros procesos de enseñanza aprendizaje se ven afectados por la difícil consecución de especímenes cadavéricos y el deterioro de las piezas anatómicas obtenidas. Por esta razón se han implementado como estrategia pedagógica alternativa la construcción de modelos anatómicos sintéticos, los cuales a pesar de no ser muy demostrativos de la gran variabilidad anatómica existente, permiten conservar por más tiempo las piezas anatómicas o generar réplicas a partir de ellas.

Dentro de las múltiples técnicas empleadas tanto en la preparación y mantenimiento de dichas piezas como en la obtención de modelos semiartificiales o artificiales a partir de ellas, la replicación de estructuras huecas como vasos sanguíneos y conductos, con diversos materiales para facilitar su identificación y estudio ha demostrado gran utilidad¹²⁻¹⁶.

Las resinas sintéticas de poliéster insaturado de uso industrial han sido empleadas exitosamente en la técnica de replicación, gracias a que sus propiedades químicas permiten además de lograr una mayor durabilidad de los especímenes anatómicos, conservar la morfología tridimensional del órgano y sus relaciones con los órganos circundantes¹⁷⁻²⁰.

Buscando incrementar la flexibilidad de la resina, ésta se mezcla con un hidrocarburo insaturado como el estireno y a continuación se adiciona el octoato de cobalto el cual funciona como acelerante en el proceso de fraguado y además activa el peróxido de metiletilcetona (MEK) que se emplea como catalizador de la reacción exotérmica que produce el endurecimiento de la resina a temperatura ambiente^{17,19}.

Algunos estudios han evaluado el impacto de concentraciones variables de estireno, las cuales fluctúan entre el 6 y el 60% sobre diferentes propiedades físicas de la resina, como el tiempo de fraguado y la fragilidad de las piezas obtenidas, concluyendo que con valores cercanos al 20% se obtienen los mejores resultados mientras que por encima del 50% se incrementa notablemente su fragilidad. Sin embargo estos estudios se fundamentan principalmente en pruebas calorimétricas y están relacionados con el uso industrial de estos materiales²¹⁻²³.

En ensayos preliminares realizados por nosotros, se ha observado que las resinas flexibles presentan mayor índice de ruptura, principalmente en los vasos sanguíneos de pequeño calibre, por lo que se ha buscado mejorar su resistencia a la tracción variando de manera empírica las cantidades de los componentes de las mezclas e incluso combinando dos tipos diferentes de resinas, sin obtener resultados concluyentes.

Este trabajo tiene como propósito comparar el uso de cantidades diferentes de estireno en tres mezclas de una resina comercial flexible para determinar mediante pruebas mecánicas cuál de estas preparaciones ofrece mayor resistencia a la tracción.

MATERIALES Y MÉTODOS

Preparación de las mezclas de resinas:

Los materiales utilizados en el presente estudio incluyeron resina poliéster insaturada de viscosidad media Poliser P- 2100®, como monómero se utilizó estireno, el acelerante empleado fue el octoato de cobalto y como catalizador el MEK, todos estos productos se obtuvieron de la casa comercial Suministros Industriales SUIN S.A., Colombia. Con los anteriores componentes se prepararon tres mezclas (A, B, C) que incluyeron una cantidad estándar de 100 ml. de resina, 0,1 ml. de acelerante y 1 ml. de MEK, a las cuales se les agregó una mezcla variable de estireno, empleando para la mezcla A, 10% v/v (con respecto al volumen de la resina), para la mezcla B 20% v/v y para la mezcla C, 30% v/v.

Diseño de modelos

Usando un modelo estándar para pruebas físicas de materiales, hecho en acero y de forma tubular con extremos cilíndricos ligeramente más engrosados que el cuerpo del mismo, suministrado por el Centro de

Caracterización de Materiales de la Universidad Industrial de Santander (CCMUIS), se elaboraron 4 modelos con cada una de las diferentes mezclas anteriormente preparadas. Figura 1. Dichos modelos se enumeraron del 1 al 4 para la mezcla A, del 5 al 8 para la mezcla B y del 9 al 12 para la mezcla C.



Figura 1. Réplica elaborada con la resina a partir del modelo estándar suministrado por el Centro de Caracterización de Materiales UIS.

Pruebas físicas

Los modelos se sometieron a pruebas físicas de tracción en el CCMUIS utilizando una Máquina Universal de Ensayos, la cual ejerce progresivamente tracción (medida en Kilogramos-fuerza) desde los extremos del modelo, el cual se va elongando progresivamente hasta su ruptura (Figura 2).

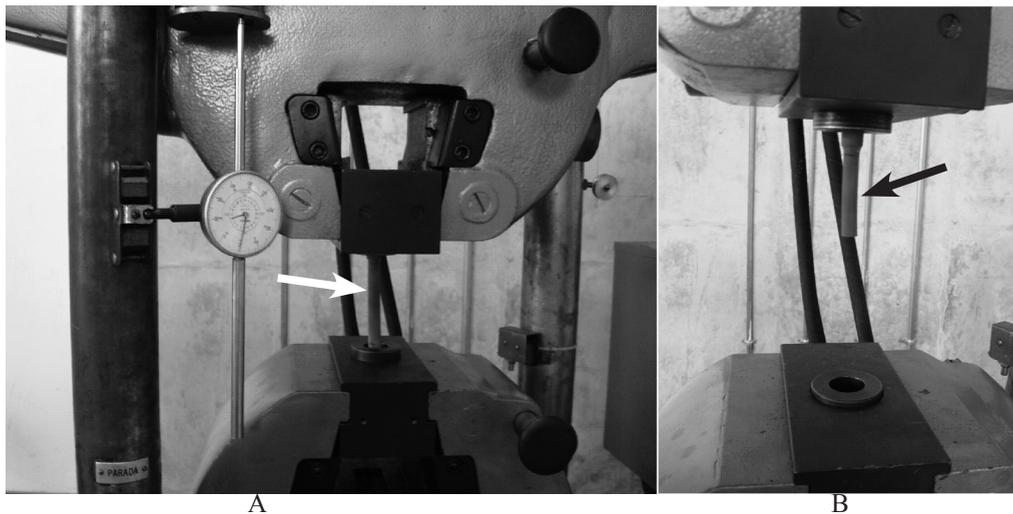


Figura 2. A. Máquina Universal de Ensayos con el modelo de resina listo para ser sometido a tracción. (Flecha blanca) B. Se observa un modelo fracturado después de ser sometido a la carga de ruptura. (Flecha negra)

Análisis de resultados

Se toman los registros de las cargas de tracción (Kilogramos-Fuerza) necesarias para romper cada uno de los modelos de los tres grupos, se promediaron sus resultados, se calculan sus desviaciones estándar y se compararon los datos de ruptura de los cuatro modelos de cada grupo, mediante análisis de varianza y para determinar diferencias específicas entre los grupos se utilizó el Test de Scheffé.

RESULTADOS

Una vez sometidos a tracción en la Máquina Universal de ensayos todos los modelos, se observó que los 4 modelos preparados con la mezcla A presentaron ruptura a cargas de 160, 160, 130 y 145Kg.-fuerza respectivamente, con un promedio de 148,75 y una desviación estándar (DE) de 14,36. El promedio de ruptura para los 4 modelos del grupo B, fue de 161,25 Kg.-fuerza, con valores de 130, 165, 190 y 160Kg.-fuerza, con una DE de 24,62 y

finalmente en el grupo C las cargas de ruptura de los 4 modelos fueron de 320, 295, 270 y 300Kg.-fuerza, con un promedio de 296,25 y una DE de 20,56.

La Figura 3 permite observar la distribución de las cargas de ruptura para cada uno de los cuatro modelos de cada una de las tres mezclas de resina A, B y C.

Estos resultados se analizaron mediante un ANOVA encontrándose una diferencia significativa entre los 3 grupos ($p < 0,01$), teniendo en cuenta este resultado, se realizó un Test de Scheffé el cual confirma que el grupo C es significativamente diferente tanto del grupo A ($p < 0,01$) como del grupo B ($p < 0,01$) y adicionalmente demuestra que no hay diferencia entre los grupos A y B ($p > 0,1$).

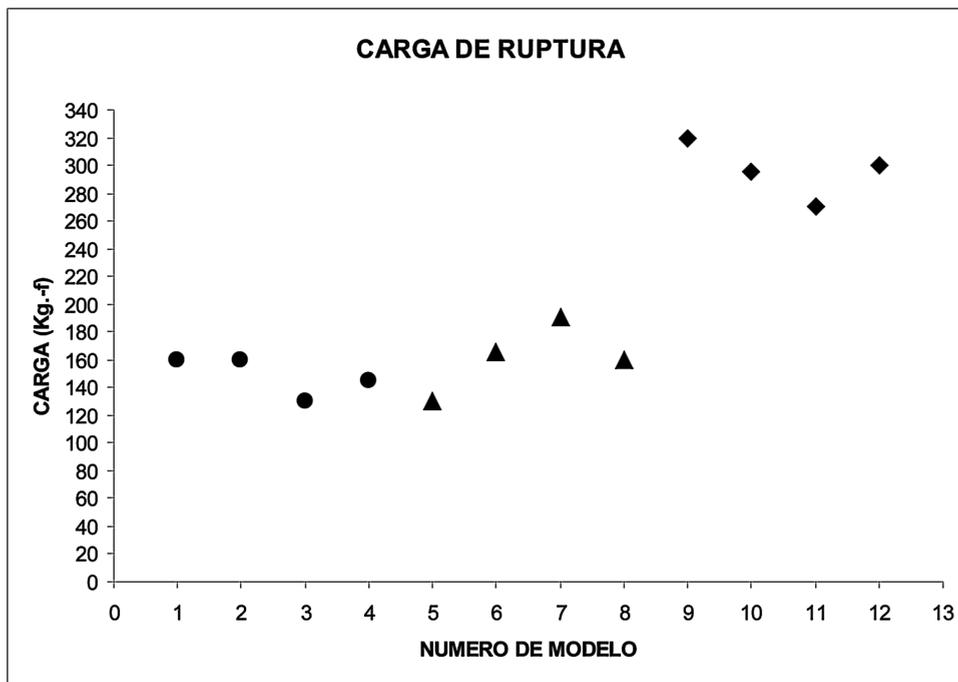


Figura 3. Cargas de ruptura a la cual se fracturaron las resinas de los diferentes modelos: ● Mezcla A (1, 2, 3 y 4), ▲ Mezcla B (5, 6, 7 y 8) y ◆ Mezcla C (9, 10, 11 y 12).

DISCUSIÓN

A pesar de ser numerosos los elementos empleados mediante diferentes técnicas en la preparación de piezas anatómicas con fines docentes e investigativos, es importante anotar que dependiendo del objetivo y de las piezas a tratar, las características deben ser más específicas. En época reciente se ha empleado por ejemplo el elastómero de poliuretano para visualizar vasos sanguíneos, demostrando importantes beneficios y ventajas cuando se quieren visualizar características microscópicas de perfusión para estudios microquirúrgicos¹⁴.

En los estudios sobre vasos sanguíneos de pequeño calibre, como los que se llevan a cabo para identificar variaciones anatómicas, son las resinas epóxicas las más empleadas mediante diversas metodologías y

mezclas¹⁹. Las resinas poliinsaturadas son elementos que se emplean en la actualidad para inyectar material cadavérico; sin embargo el uso primordial de estos materiales es industrial y por esta razón es necesario adecuar sus características de preparación para su uso en materiales biológicos.

Son múltiples las propiedades físicas evaluadas en diversos ensayos relacionados con la cantidad de estireno adicionado a la resina con el fin de incrementar su flexibilidad, pero ha mostrado impacto en otras propiedades como la estabilidad térmica y el índice de fragilidad. Según las recomendaciones de los productores de estas resinas y sustentadas en algunos de los citados estudios la cantidad sugerida de estireno debe ser de 20%, basado en la experiencia del uso convencional de estos materiales, pero no existen evaluaciones objetivas ni conclusiones documentadas sobre su uso en tejidos biológicos²¹⁻²³.

Teniendo en cuenta las discrepancias anteriormente mencionadas se evaluó el comportamiento de una de estas propiedades; la resistencia a la tracción, pues se ha observado que asociado a la mayor flexibilidad se presenta más fácil ruptura de las resinas preparadas bajo las condiciones actualmente recomendadas.

En ese sentido buscamos cuantificar esta propiedad con el porcentaje sugerido de estireno y una cantidad superior y otra inferior al mismo para tratar de identificar posibles diferencias en el comportamiento frente a pruebas físicas de tracción, encontrando que en términos de resistencia a la tracción no hay diferencia significativa cuando a la mezcla se le agregan 10 o 20% de estireno, mientras que la adición de un 30% de este componente requirió la aplicación de una mayor cantidad de Kg.-fuerza para romper los modelos de resina preparados con la mezcla C.

Las pruebas estadísticas nos permiten afirmar que en términos absolutos de resistencia a la tracción, ésta se ve incrementada al adicionar un 30% de estireno, cantidad superior a la sugerida por los productores de la misma.

A pesar de los resultados obtenidos, consideramos necesario realizar ensayos complementarios con un mayor número de modelos que permitan validar o refutar nuestros hallazgos. Igualmente sería útil probar con diferentes cantidades de los demás componentes de la mezcla, lo cual implicaría un trabajo mucho más riguroso que evaluara otras propiedades físicas y las posibles interacciones entre todas las variables involucradas.

Otro campo a explorar tiene que ver con la aplicación de diversas cantidades de estireno a diferentes tipos de resinas para compararlas entre ellas y de forma cuantitativa validar los resultados obtenidos en el presente ensayo.

Teniendo en cuenta nuestro interés particular en su aplicación a estructuras biológicas, sería de gran utilidad en ensayos posteriores, evaluar además de las propiedades físicas ya mencionadas, el índice de fragilidad y el impacto de su exposición al formaldehído, elemento en el que usualmente se incluyen las piezas anatómicas para su preservación.

Estos resultados aportan algunos elementos de juicio que permiten plantear alternativas de trabajo para mejorar las técnicas de replicación de piezas anatómicas actualmente empleadas con fines académicos, de acuerdo a las necesidades y tipos de tejidos o estructuras sobre las cuales se aplique la resina.

Sin subestimar nuestras posibles limitaciones, consideramos que éste es un importante avance hacia el ideal de estandarizar las mezclas actualmente utilizadas en éste campo y de ésta forma plantear futuras investigaciones que aporten nuevos elementos de juicio que enriquezcan la discusión académica en torno al uso de estos elementos industriales en el estudio de las ciencias morfológicas buscando alternativas útiles fundamentadas en argumentos objetivos y susceptibles de ser reproducidos.

REFERENCIAS

1. Jones D. Reassessing the importance of dissection: A critique and elaboration. *Clin Anat.* 1997;10(2):123-27
2. Macdonald G, Macgregor D. Procedures for embalming cadavers for the dissecting laboratory. *Proc Soc Exp Biol Med.* 1997;215(4):363-65
3. Bravo H, Inzunza O. Evaluación de algunos programas computacionales en la enseñanza de la anatomía y neuroanatomía en la Facultad de Medicina de la Pontificia Universidad Católica de Chile. *Rev Chil Anat.* 1995;13(1):79-86
4. Inzunza O, Bravo H. Animación computacional de fotografías, un real aporte al aprendizaje práctico de la anatomía humana. *Rev Chil Anat.* 2002;20:151-57
5. Inzunza O, Bravo H. Impacto de dos programas computacionales de anatomía humana en el rendimiento del conocimiento práctico de los alumnos. *Rev. Chil. Anat.* 1999;17(2):205-9
6. Montemayor Flores, B. El Significado de la Práctica de Disección para los Estudiantes de Medicina. *Int. J. Morphol.* 2006;24 (4): 575-80.
7. Villalobos FE, Torres JL, Matsunobu RT. Educación médica con modelos anatómicos en cadáver. Revisión bibliográfica. *Rev Mex Ortop Traum* 2001;15(6):312-31.
8. Martin M, Vashisht B, Frezza E, Ferone T y col. Competency-based instruction in critical invasive skills improves both resident performance and patient safety. *Surgery* 1998;124(2):313-17.
9. Entius C, Van Rijn RR, Holstege JC. Correlating sheet plastinated slices, computed tomography images and magnetic resonance images of the pelvic girdle: A teaching tool. *Acta Anat (Basel)* 1997;158(1):44-7.
10. Paczona R. A cadaver larynx holder for teaching laryngomicrosurgery. *J Laryngol Otol* 1997;111(1):56-7.
11. Rivara A, Casales S, Pereira P, et al. Uso de modelos anatómicos. Correlación radiológica en electrofisiología cardíaca. Presentado en 20°

- Congreso Uruguayo de Cardiología. 20 a 23 de Noviembre de 2004. Montevideo
12. Correa A. Conservación de piezas anatómicas en seco mediante el método de Prives. *Revista Electrónica de Veterinaria*. 2005; Vol. VI, N° 5
 13. Von Hagens G. Heidelberg, Institut für Plastination, 3a. edición 2002;19-21.
 14. Meyer E, Beer G, Lang A, Manestar M, Krucker T, Meier S y col. Polyurethane Elastomer: A New material for the visualization of cadaveric blood vessels. *Clinical anatomy* 2007;20:448-54
 15. Bourland M. Les techniques anatomiques de base et leurs modalités. *Ecole Nationale Veterinaire D'Alfort* 1971;46-52
 16. Mezquita D. Manual de técnica anatómica. Estades, Madrid, 1957;77-95,113-25.
 17. Ugón G, Martínez F: Manejo práctico de las resinas poliéster. Presentado en II Jornadas Anatomoclínicas de la Sociedad Uruguaya de Anatomía; Dic. 1999.
 18. Martínez F, Ugón G, Laza S, et al. Estudio de los ventrículos cerebrales mediante inyección de resinas poliéster. *Revista neurocirugía* Vol. 8 N.1.
 19. Vodenicharov A, Pavlov A, Chervenkov S. Methods for Permanent Conservation of Biological Objects and Anatomic Preparations in Synthetic Resins *Journal of Veterinary Medicine Series* 1995;24(4):233-36
 20. Ayala J, Ballesteros L, Suárez D, Forero P. Estandarización de una técnica de inyección de resina poliéster para el estudio de la vasculatura cerebral. *Revista Salud UIS* 2007;39:169-74
 21. Sánchez E, Zavaglia C, Felisberti M. Unsaturated polyester resins: influence of the styrene concentration on the miscibility and mechanical properties. *Polymer* 2000;41:765-9.
 22. Bureau E, Chebli K, Cabot C, et al. Fragility of unsaturated polyester resins cured with styrene: influence of the styrene concentrations. *Eur Polym J* 2001;37:2169-76.
 23. Taheri N, Mohammadi N. Dynamic mechanical analysis of segmental relaxation in unsaturated polyester resin networks : Effect of styrene content. *Polymer* 2005;46:9088-96.