

Artículo de revisión

La técnica de plastinación, sus fundamentos y alternativas de menor costo

Plastination technique, fundament and cheaper alternatives

Fonseca-Matheus Johanna^{1*}

Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado". Decanato de Ciencias Veterinarias.

^{1*} Área de Anatomía de los Animales Domésticos. Profesor Asociado. Dirección postal: Cabudare estado Lara, Núcleo Héctor Ochoa Zuleta, Decanato de Ciencias Veterinarias, Área de Anatomía de los Animales Domésticos, C.P.: 3023. Teléfono 0251-2592468, e-mail: jfonseca@ucla.edu.ve.

RESUMEN

La plastinación es una técnica de conservación de piezas anatómicas que se fundamenta en la sustitución del agua y lípidos de los tejidos por un polímero como la silicona. Esta sustitución permite obtener una pieza perdurable en el tiempo y sin efectos nocivos para la persona que la utiliza. El proceso consta de cuatro fases básicas que deben cumplirse para obtener el producto final, en orden, estas fases son la fijación, deshidratación, impregnación forzada y curado. Una desventaja importante de la plastinación es el alto costo de producción ya que los reactivos utilizados son producidos en Alemania y deben ser importados por el laboratorio donde se realizará. Adicionalmente, el equipamiento necesario es muy costoso y tiene especificaciones técnicas importantes que deben ser cumplidas por razones de seguridad. A medida que la investigación avanza, van surgiendo variaciones orientadas a mejorar el resultado final y a disminuir los costos de producción de piezas plastinadas. Por esta razón, actualmente existen alternativas que permiten implementar la plastinación en laboratorios de instituciones educativas con recursos económicos limitados.

Palabras clave: Plastinación, silicona, piezas anatómicas, tejidos.

ABSTRACT

Plastination is a preserving technique of anatomical pieces based on substitution of water and lipids of tissues by a polymer such as silicone. This substitution allows to obtain a piece that lasts over time and without harmful effects for the person who uses it. This technique has four basic phases that must be met to obtain the final product, in order, these phases are fixation, dehydration, forced impregnation and curing. An important disadvantage of plastination is the high cost of production since the reagents used are produced in Germany, and must be imported by the laboratory where this technique will be performed. Additionally, necessary equipment is too expensive and has important technical specifications that must be met for safety reasons. As the research progresses, variations are emerging aimed at improving the final result and reducing the costs of producing plastinated pieces. For this reason, there are currently alternatives that allow to perform plastination in laboratories of educational institutions with limited economic resources.

Key words: Plastination, silicone, anatomical specimens, tissues.

INTRODUCCIÓN

La enseñanza de la anatomía mediante el uso de cadáveres aún está vigente, es importante que el estudiante se relacione directamente con las diferentes estructuras anatómicas que componen el cuerpo, de esta manera, comprenderá mejor su organización y relación y el aprendizaje será más perdurable en el tiempo [1]. Este hecho ha creado la necesidad de mejorar las técnicas de conservación para prolongar la vida útil de las preparaciones anatómicas. Existen numerosos estudios en los que se han probado soluciones conservadoras, la mayoría de las cuales contienen sustancias nocivas como el formaldehído [2, 3]. La necesidad de desplazar la presencia permanente del formaldehído en las preparaciones anatómicas promovió la creación de la técnica conocida como plastinación. Esta técnica fue creada por el Dr. von Hagens en 1977 [4], se fundamenta en el reemplazo del agua y los lípidos de los tejidos por un polímero como la silicona, que se endurece mediante un proceso de curación. El resultado final es una pieza seca, sin olor y perdurable [5].

Un aspecto clave en el proceso de plastinación es la elección del tipo de polímero y el procedimiento que se utilizará [6]. Desde que el Dr. von Hagens inventó la plastinación han surgido numerosas variantes como alternativas orientadas a simplificar o disminuir los costos que implica el proceso [7]. Las modificaciones se han realizado tanto en el tipo de sustancias utilizadas como en los procedimientos [8, 9, 10, 11], cada uno con sus ventajas y desventajas [12]. No obstante, se siguen manteniendo vigentes las cuatro fases o etapas básicas de la técnica que son: la fijación y preparación, la deshidratación, la impregnación forzada y el curado o endurecimiento de los polímeros [13].

Fijación y preparación de los tejidos

Durante esta etapa se realiza la fijación de los tejidos con formalina y se procede a disecar las estructuras anatómicas que se desean mostrar en la pieza final. La fijación no es un requisito indispensable, el uso de piezas no fijadas da como resultado mayor flexibilidad de los tejidos en el producto final. No obstante, la misma es necesaria cuando los tejidos representan un riesgo biológico para el personal [14]. Según vonHagens (1987) [5], la fijación de los tejidos se puede realizar con diferentes sustancias, cualquier técnica de fijación es aceptable. El fijador más utilizado es la formalina pero también se ha reportado el uso de alcohol o soluciones que incorporan varias sustancias en su formulación [8]. Sin embargo, se recomienda evitar el uso de sustancias como alcohol, glicerina, fenol y glicoles ya que pueden afectar los tejidos o interferir con el proceso de curado [15].

La concentración de formaldehído en las soluciones fijadoras puede variar; existen reportes en los que se ha utilizado al 2% [2], al 5% [16, 17] y al 10% [15]. Estas diferencias en las concentraciones de formaldehído aparentemente no afectan el resultado final de la plastinación [5], aunque no es aconsejable utilizar concentraciones por encima del 5% [13]. Esta baja concentración de formol se ha recomendado para la fijación de los tejidos cuando se realiza plastinación con silicona, la finalidad es evitar el oscurecimiento de los mismos [6].

Deshidratación.

Durante esta fase las preparaciones anatómicas son sumergidas en acetona con una concentración de 90 a 100% [15, 17]. El tiempo de inmersión es variable y depende del tamaño y composición de los tejidos de la pieza a conservar, en general el proceso puede tardar de 14 a 45 días [18, 19]. Se recomienda iniciar el procedimiento con un preenfriamiento de las piezas en agua. Una vez frías son retiradas del agua y escurridas para luego ser sumergidas en acetona dentro de un freezer a -25°C. La monitorización del proceso de deshidratación se realiza cada dos días mediante el uso de un acetómetro que mide el grado de pureza de la acetona [19]. Cuando la acetona alcanza una concentración mayor a 99% se cuentan 7 días antes de retirar las piezas del baño de inmersión, tiempo estimado en que la acetona dentro de los tejidos alcanza la misma concentración del baño y se considera que la deshidratación se ha completado [15]. El proceso de deshidratación alternativo se ha realizado con alcohol en lugar de acetona. En este caso las piezas son sumergidas en el alcohol a concentraciones crecientes [20] de 50, 60, 70, 80, 90 y 100% [21]. La deshidratación con alcohol varía en los diferentes reportes pero lo importante es que debe realizarse de manera secuencial con concentraciones crecientes. En un estudio se utilizó inmersión en alcohol al 70% durante 24 horas y luego en alcohol al 100% durante 48 horas [10]. En otro reporte se realizó el procedimiento con alcohol a concentraciones crecientes entre 50% y 100%, las piezas fueron sumergidas progresivamente en un alcohol más concentrado cada tres días (a temperatura ambiente), luego fueron sumergidas en acetona a 4 °C durante 24 horas [12].

La temperatura durante el proceso de deshidratación es un factor muy importante, según el método estándar de plastinación establecido por von Hagens, el recipiente que contiene las piezas sumergidas en acetona debe permanecer dentro de un freezer a -25 °C [22]. En la mayoría de los estudios utilizan esta temperatura durante la deshidratación de las piezas [18, 19], entre otras cosas, porque se ha observado que produce mejores resultados en lo que respecta a la

retracción de los tejidos [23, 24]. En un estudio en el que la deshidratación se realizó a 5 °C se observó una retracción significativa de los tejidos blandos, por esta razón piezas resultantes fueron poco útiles para la docencia [8]. La retracción de los tejidos blandos produce distorsión de la anatomía y dificulta la identificación de las diferentes estructuras, por eso las piezas pierden su valor educativo y no pueden ser usadas en el proceso enseñanza-aprendizaje.

Algunos reportes incluyen una etapa adicional conocida como desengrasado, el cual en la mayoría de los estudios se considera como parte de la deshidratación, ya que la acetona utilizada en esta última disuelve la grasa presente en los tejidos y permite su eliminación [18]. Cuando este procedimiento se realiza por separado, el recipiente que contiene la pieza sumergida en acetona es retirado del freezer y permanece a temperatura ambiente durante varios días o semanas. Otra sustancia utilizada para este fin es el cloruro de metileno (MeCl) [20], el cual es un potente desengrasante. En este caso la pieza una vez deshidratada es retirada de la acetona y sumergida en el MeCl durante 2 a 7 días [15].

Impregnación forzada.

Durante esta etapa se realiza el reemplazo del solvente (acetona) presente en los tejidos con polímeros como la silicona [15, 17, 25]. Además de la silicona (Biodur S10®) existen diferentes clases de polímeros disponibles para realizar la impregnación forzada. Las emulsiones polimerizantes como la resina epóxica (E 12) y la resina poliéster (P 35) fueron las primeras que se utilizaron. No obstante, han surgido variantes mejoradas como la P40 y PEM 27, que aportan una mejor visibilidad de las estructuras en los cortes anatómicos [4, 12]. La ventaja que ofrecen las emulsiones polimerizantes es que no requieren refrigeración durante la impregnación forzada.

La silicona fabricada por Biodur®, utilizada en la técnica de plastinación estándar, está compuesta por una mezcla que contiene 99% Biodur S10® (polidimetilsiloxano) y 1% Biodur S3® (dibutiltindilaurato) como catalizador [9, 26]. Dado que esta silicona viene mezclada con el catalizador tiene un menor tiempo de vida útil, se recomienda almacenarla bajo refrigeración a -20°C para reducir su endurecimiento [6].

Independientemente del fabricante, la silicona debe ir acompañada de un **cross-linker** (reactivo de curado) que provoca la unión entre cadenas para aumentar su dureza y resistencia, además de un catalizador que produce la polimerización de la misma [6]. Cuando se utiliza silicona como la PR-10 mezclada con el **cross-linker** CR-22 sin el catalizador, se puede reutilizar debido a que necesita de este último para polimerizar [6]. Esta mezcla de PR-10 más el CR-22 es estable a

temperatura ambiente y reduce los costos de la técnica de plastinación porque no requiere que se realice en un freezer [9].

Una vez completada la etapa de deshidratación, la pieza es retirada de la acetona y sumergida en el polímero, el cual se encuentra en estado líquido [27]. Este procedimiento se realiza en un envase hermético al que se le crea vacío (2 a 15 mm Hg) mediante el uso de una bomba. Cuando se utiliza silicona como la S10 para la impregnación, el recipiente se debe colocar dentro de un freezer a -25°C, en el caso de la resina epóxica y resina poliéster el proceso se realiza a temperatura ambiente [5]. La presencia de vacío dentro del envase provoca la entrada del polímero de manera forzada hacia el interior de los tejidos, y a su vez, la salida de los restos de acetona presentes en estos [6]. La clase de polímero que se utiliza determina las características finales del producto como la flexibilidad o rigidez y la transparencia u opacidad [28]. La técnica estándar de plastinación se realiza con la silicona S10 (Biodur S10®) [12], la cual produce piezas flexibles y opacas [5].

El tiempo que debe permanecer la pieza sumergida en el polímero depende, entre otras cosas, de su tamaño y de la viscosidad del polímero usado. A mayor viscosidad mayor es el tiempo de penetración en los tejidos, por lo que se recomienda que para las piezas grandes o gruesas se utilice un polímero de baja viscosidad [5]. Durante este proceso se observa la salida del solvente (acetona) desde los tejidos en forma de pequeñas burbujas [18]. Este fenómeno se utiliza para monitorizar el proceso de impregnación, la rapidéz con la que emergen las burbujas indica la velocidad con la que el polímero penetra los tejidos y puede ser regulado al controlar la presión de vacío [9, 24]. El momento en que cesa la salida de las mismas indica que el proceso de impregnación ha terminado y las piezas deben ser retiradas del polímero [15, 24]. Este fenómeno también se utiliza como indicador de la velocidad de impregnación, la cual se puede controlar modificando la presión de vacío. Es importante que el proceso se realice a velocidad moderada, ya que un impregnación muy rápida produce retracción y colapso de los tejidos [5, 15].

Curado o endurecimiento de los polímeros.

Una vez que la pieza es retirada baño se deja escurrir para retirar el exceso de polímero, el cual puede ser reutilizado. El proceso de curado consiste en el endurecimiento y secado del polímero para dar el acabado final a la pieza anatómica. La técnica de curado a elegir depende del polímero aplicado en la impregnación. Cuando se utiliza silicona, el curado se debe realizar mediante el uso de un reactivo en forma de gas, para esto las piezas deben ser colocadas en una cámara cerrada a la cual se le introduce el gas

reactivo de manera continua. En el caso del poliéster el curado comienza con luz ultravioleta, seguido de tratamiento con calor (50°C); por su parte, la resina epóxica y la emulsión polimerizante (PEM) reaccionan con sustancias de los tejidos y con los anhídridos presentes en las soluciones para curado en presencia de calor (50 °C) [5].

Procedimientos alternativos orientados a reducir los costos de la plastinación

Los estudios orientados a reducir los costos de la técnica se basan en la modificación de las etapas de deshidratación y de impregnación forzada. Con respecto a la deshidratación, la alternativa reportada ha sido el uso de alcohol a concentraciones crecientes. En el caso de la impregnación forzada se han empleado diferentes sustancias con efecto similar a los polímeros que ofrece Biodur®. En un ensayo se utilizó una emulsión creada a partir de la disolución de placas de petri plásticas en Xilol. Esta mezcla fue utilizada en lugar de la silicona durante la fase de impregnación, que además se realizó a temperatura ambiente, lo que reduce aún más los costos del procedimiento y simplifica la inversión inicial necesaria para establecer una unidad de plastinación en el laboratorio. Los resultados fueron similares a los obtenidos con el proceso de plastinación propuesto por el Dr. von Hagens [10]. Existe un reporte en el que realizaron impregnación forzada con glicerina en lugar de silicona y obtuvieron resultados satisfactorios con piezas útiles para la docencia [29]. Se ha documentado el uso de siliconas con propiedades similares a la utilizada por el Dr. von Hagens, las cuales generan resultados satisfactorios [10, 27, 30]. Estas siliconas reducen los costos de la técnica porque evitan la necesidad de importar los productos Biodur® desde Alemania.

Otro aspecto importante es que existen reportes en los que la impregnación forzada se ha realizado a temperatura ambiente, por lo que no se requiere usar un equipo de refrigeración [9]. Un estudio reciente demostró que la impregnación forzada con silicona se puede realizar a temperatura ambiente, el tiempo de duración del procedimiento es de dos semanas cuando se utiliza silicona S10 y tres semanas cuando se utiliza silicona S15 [31].

CONCLUSIÓN

La técnica de plastinación actual, aunque puede variar en la naturaleza de las sustancias utilizadas y en algunos factores físicos como la temperatura a la que se realiza, consta esencialmente de las cuatro etapas básicas descritas por el Dr. von Hagens en sus primeras publicaciones. El uso de sustancias alternativas como el alcohol, polímeros y catalizadores

producidos por otros fabricantes diferentes a Biodur® ha permitido reducir los costos de la técnica. Esto se debe, principalmente, a que no se requiere importar desde Alemania los reactivos necesarios porque se pueden utilizar los de producción local. Otro factor que contribuye a reducir los costos es el uso de los procedimientos alternativos a temperatura ambiente, los cuales han sido reportados en diferentes estudios. A medida que avanza la investigación se hace más factible realizar la técnica de plastinación en laboratorios de instituciones educativas que tienen recursos limitados, lo que indiscutiblemente tendrá un efecto muy positivo en el proceso de enseñanza de la anatomía para los estudiantes de carreras médicas.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] 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): 205-209.
- [2] Janczyk P, Weigner J, Luebke-Becker A, Richardson KC, Plendl J. A pilot study on ethanol-polyethylene glycol-formalin fixation of farm animal cadavers. *Berl Munch Tierarztl Wochenschr* 2011; 124(5-6):10-12.
- [3] O'Sullivan E, Mitchell BS. An improved composition for embalming fluid to preserve cadavers for anatomy teaching in the United Kingdom. *J Anat* 1993; 182: 295–297.
- [4] Pashaei S. A Brief Review on the History, Methods and Applications of Plastination. *Int. J. Morphol.* 2010; 28(4): 1075-1079.
- [5] von Hagens G, Tiedemann K, Kriz W. The current potential of plastination. *Anat Embryol* 1987; 175: 411-421.
- [6] Bravo H. Plastinación, una herramienta adicional para la enseñanza de la anatomía. *Int. J. Morphol* 2006; 24(3):475-480.
- [7] Kumro SL, Crocker AV, Powell RL. Injection plastination: a low-tech, inexpensive method for silicone preservation of small vertebrates. *The Journal of Plastination* 2013; 25(1): 12-17.
- [8] Valdéz F, Vega E, Valenzuela M. Estudio comparativo de dos técnicas de plastinación. *Int J Morphol* 2010; 28(3): 783-786.
- [9] Starchik D, Henry R. Comparison of cold and room temperature silicone plastination techniques using tissue core samples and a variety of plastinates. *The Journal of Plastination* 2015; 27(2): 13-19.
- [10] Singh N, Chaudhary A, Nair S, Kumar S. Non-Perishable museum specimens: Redefined plastination technique. *The Journal of Plastination* 2015; 27(2): 20-24.

- [11] Sui H, Henry R. Hoffen P45: a modified polyester plastination technique for both brain and body slices. *The Journal of Plastination* 2015; 27(2): 4-8.
- [12] Beat R. Plastination and its importance in teaching anatomy. Critical points for long-term preservation of human tissue. *J Anat* 2014; 224(3): 309-315.
- [13] Oostrom K. Fixation of tissue for plastination: general principles. *J Int Soc Plastination* 1987; 1:3-11.
- [14] Smith BJ, Holladay SD. Risk Factors Associated with Plastination: II. Infectious Agent Considerations. *J Int Soc Plastination* 2001; 16:14-18.
- [15] DeJong K, Henry RW. Silicone plastination of biological tissue: cold temperature technique – Biodur™ S10/S15 technique and products. *J Int Soc Plastination* 2007; 22:2-14.
- [16] Jiménez R, Isaza O. Plastinación, una técnica moderna al servicio de la anatomía. *IATREIA* 2005; 18(1):99-106.
- [17] Rivera MC, Bonino F, Fioretti C, Galán M, Gigena S, Moine R, Mouguelar H, Natali J, Quinteros R. Análisis multivariado aplicado a la etapa de deshidratación en la técnica de plastinación del riñón de caballo. *Int J Morphol* 2009; 27(3): 855-859.
- [18] Diz A, Miró F, Rodríguez M, Rivero J, Galisteo A, Conde-Pérez A. La plastificación como técnica de conservación del material anatómico. *An Vet* (1993-94); 9-10:49-56.
- [19] Stancu G, Motoc A, Stancu G, Halga A. Plastination. The sustainable method of preserving anatomical preparations. *Rev. rom. anat. funct. clín. macro microsc. antropol.* 2012; 11(3): 296-299.
- [20] Henry R. Principles of silicone plastination. *J Int Soc Plastination* 1998;13(2): 28.
- [21] Beltrán J. La plastificación en la Universidad Nacional de Colombia – Primera parte. *Morfología* 2010; 2(1):3-17.
- [22] Soal S, Pollard M, Burland G, Lissaman R, Wafer M, Stringer MD. Rapid ultrathin slice plastination of embalmed specimens with minimal tissue loss. *Clinical Anatomy* 2010; 23:539–544.
- [23] Kang J, Iliff S, Henry RW, Hervey D. Coloring Muscles and Vessels of Plastinated Limbs with Colored Silicone to Supplement Teaching. *The Journal of Plastination* 2015; 27(2):9-12.
- [24] Raouf A, Henry RW, Reed RB. Silicone plastination of biological tissue: Room-temperature technique Dow™/Corcoran technique and products. *J Int Soc Plastination* 2007; 22: 21-25.
- [25] Aubakirov A.B., Maul Y.A., Khamidulin B.S., Dosmambetova K.K., Suleimenova F.M., Minaidarov A.K., Sisabekov K.E. Polymeric embalming is an innovative method in teaching of human anatomy at medical university "astana". *The Journal of Plastination* 2014; 26(1): 14.
- [26] Chaynes P, Mingotaud A-F. Analysis of commercial plastination agents. *Surg Radiol Anat* (2004) 26: 235–238.
- [27] Godoy JRP, Sousa HA, Pádua AC, Carvalho P, Cerqueira GS, Barros HP, De Paula RC. Room-temperature plastination with Brazilian silicone: Polissil® silicones Poliplast 40. *The Journal of Plastination* 2016; 28(1):19.
- [28] Romero R. Dr. Gunther Von Hagens y la técnica de plastinación. *Informe Médico* 2008; 10(2): 77-81
- [29] Muñetón C, Otiz J. Plastinación: un instrumento complementario para el desarrollo del proceso enseñanza-aprendizaje de la anatomía. *Rev. Med. Vet.* 2012; 23:111-117.
- [30] Monteiro YF, Juvenato LS, Baptista CAC, Bittencourt APSV, Bittencourt AS. Kidney impregnation using silicone Polissil P10. *The Journal of Plastination* 2016; 28(1): 17.
- [31] Mircea-Constantin S, Boia M, Dragos C. Silicone (BIODUR) Viscosity and impregnation in plastination. *Materiale Plastice* 2015; 52(4):593-595.