

Cinética del *algor mortis*. Primeros pasos para estimar data de muerte en animales[#]

Kinetics of *algor mortis*. First steps for estimating time since death in animals

AL Henríquez^{a,b*}, C Landaeta-Aqueveque^{c,d}, J Larenas^b

^aCandidata a Doctor en Ciencias Silvoagropecuarias y Veterinarias, Becaria CONICYT.

^bDepartamento de Patología Animal, Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

^cCandidato a Doctor en Ciencias Silvoagropecuarias y Veterinarias, Becario CONICYT.

^dDepartamento de Ciencias Biológicas Animales, Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

SUMMARY

The time elapsed from death until the moment the corpse equals its temperature to ambient temperature is known as “Early Post Mortem Interval”, and during this period the decrease in body temperature –*algor mortis*– is a useful routine measure to estimate postmortem interval (IPM) in human forensics. Early IPM for humans is 24 hours on average, but there is no information regarding animals that allow the use of *algor mortis* as an estimator of IPM. In this study, the core body and ambient temperature were measured continuously in 50 dead laboratory rats. Results showed that, on average, early IPM was 11 hours 14 minutes, ranging between 8 hours and 32 minutes and 17 hours with 7 minutes. An equation that estimates the IPM in rats was also obtained, minimizing residuals. This is the first experimental study aimed to obtain parameters to estimate the postmortem interval from *algor mortis* in animals.

Palabras clave: intervalo post mórtem, *algor mortis*.

Key words: post mortem interval, *algor mortis*.

INTRODUCCIÓN

La estimación del Intervalo Post Mórtem (IPM) o “data de muerte” en medicina forense humana es de importancia puesto que permite asignar responsabilidades y excluir sospechosos en un caso de índole policial, por esta razón se han realizado variados estudios tendientes a obtener una mejor estimación del IPM. La utilización de la temperatura en el post mórtem temprano (24 horas luego de la muerte) es de utilidad para la estimación IPM, aun cuando se recomienda su utilización en forma conjunta con otros cambios cadavéricos dada la variación que presenta este indicador (Edge 1984, Henssge y col 2000, Al-Alousi y col 2002^{a, b}, Honjyo y col 2005, Erlandsson y Munro 2007, Wardak y Cina 2011).

La muerte de un individuo determina un enfriamiento progresivo del cuerpo debido al cese en la capacidad de producir y conservar el calor proveniente del metabolismo celular (Burman 1874, Khallaf y Rosser 1988, Mall

y col 1998). La temperatura del cuerpo desciende hasta igualarse a la temperatura ambiental donde éste se encuentra, proceso llamado *algor mortis*, y el tiempo que demora en lograr esta equivalencia es lo que se denomina “post mórtem temprano”. Este período es de gran importancia puesto que es la ventana de tiempo en que la temperatura sirve para estimar el IPM.

El enfriamiento del cadáver es un proceso físico en el cual influyen escasamente los procesos biológicos, las características anatómicas son reconocibles y pueden ser consideradas en la estimación, además la temperatura es fácil de medir en el cadáver (Henssge y Madea 2004). Respecto a esto último se han desarrollado variados trabajos con el fin de determinar cuál es el mejor sitio para la medición de la temperatura post mórtem, tanto en humanos como en animales, los últimos utilizados como modelo animal. La temperatura central del cuerpo disminuye más lentamente que la temperatura superficial, por lo que medida por la vía rectal o directamente en el hígado es útil para la estimación de IPM (Al-Alousi 2002, Mall y col 2002). Existen otros sitios de medición que también han demostrado ser de utilidad como cerebro y conducto auditivo, aunque se ha demostrado que existen diferencias en la temperatura registrada según el sitio u órgano utilizado, tanto en humanos (Al-Alousi y col 2001,

Acceptado: 11.10.2012.

[#] Financiado por Beca de Apoyo Doctoral CONICYT N° 24110084.

* Casilla 323 Correo Puente Alto, Santiago, Chile; alhenriquezh@gmail.com

Al-Alousi y col 2002^a) como en animales (Grayson y Mendel 1956, Hanneman y col 2004). En animales, los estudios relacionados con el *algor mortis* son escasos; a pesar de esto, se acepta que los mismos factores influyen en forma similar que en el enfriamiento de un cadáver humano. La temperatura del animal puede ser tomada rectalmente (Hanneman y col 2004, Kaliszan y col 2005, Erlandsson y Munro 2007, Proctor y col 2009, Abdulazeez y Noordin 2010), en el hígado (Grayson y Mendel 1956, Proctor y col 2009, Abdulazeez y Noordin 2010) y otros lugares como globo ocular (Kaliszan y col 2005), tejidos blandos de la órbita (Kaliszan y col 2005), músculos del muslo (Edge 1984, Cox y col 1994, Kaliszan y col 2005) o miembro anterior (Edge 1984) y nariz (Edge 1984, Cox y col 1994).

El *algor mortis* está influenciado por variaciones individuales como: especie, momento del día y ejercicio previo a la muerte, así como también la cobertura grasa, área de superficie corporal y condiciones patológicas que condicionan cambios en la temperatura corporal (Mall y col 1998, Al-Alousi y col 2002^{a, b}, Proctor y col 2009). Del mismo modo debe considerarse que animales más pequeños se enfrían más rápido debido a que tienen mayor área de superficie comparado con su masa corporal. La densidad de la cubierta de pelo como aislante también debe ser considerada (Proctor y col 2009). La disminución de la temperatura del cadáver se ve influenciada además por el ambiente en que se encuentra (temperatura, humedad, viento, entre otros) (Mall y col 1998, Al-Alousi y col 2002^b, Mall y col 2002, Gulyás y col 2006, Bisegna y col 2008, Kaliszan 2011).

Jones (1982) obtuvo el registro continuo de temperatura *in vivo* en ratas mantenidas en aislamiento mediante la utilización de una sonda de registro continuo implantada en el tejido subcutáneo, de esta forma, el momento en que un animal moría podía ser determinado por el descenso de la temperatura corporal. Este autor determinó que ratas macho de 230-270 gramos igualan la temperatura del cuerpo con la ambiental dentro de seis horas de ocurrida la muerte.

De esta forma, el objetivo de este estudio fue estudiar la cinética del *algor mortis* en ratas de uso experimental para estimar un intervalo post mórtem en condiciones de temperatura de laboratorio.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se utilizaron 50 ratas adultas, Sprague-Dawley (*Rattus norvegicus*), con un peso promedio de 400 g, obtenidas en el Bioterio Central de la Facultad de Medicina de la Universidad de Chile. Posterior a la determinación del adecuado estado sanitario de los animales, se utilizaron dos ratas en forma separada por cada período de muestreo, las que fueron sacrificadas con 0,3 ml de solución para eutanasia T61^{®1} inyectada por vía intracardiaca. Este

estudio contó con la aprobación del comité de bioética de la Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias de la Universidad de Chile.

Durante el estudio, los cadáveres fueron mantenidos en una habitación de 2 m x 2 m x 3 m, en decúbito lateral izquierdo sobre una tablilla de disección de madera de 1 cm de grosor. Se registró la temperatura ambiental y la del animal de forma intraesofágica profunda desde el tiempo 0 y en registro continuo con termómetro Hanna Instruments con sonda de acero modelo HI 141000 0.9.4. Se eligió la vía intraesofágica profunda puesto que la temperatura del abdomen craneal se comporta de forma similar a la temperatura del hígado (Grayson y Mendel 1956) y de esta manera se mantuvo la integridad de dicho órgano para estudios histopatológicos. La temperatura ambiental fue controlada durante toda la fase experimental, obteniéndose un promedio de 20,07 °C, siendo 4,5 °C la mayor diferencia entre la temperatura ambiental máxima y mínima para un individuo. El momento de la muerte fue considerado “tiempo 0 (cero)” y el período de registro de datos consideró 24 horas desde el tiempo cero.

Para evaluar el *algor mortis* se utilizó la diferencia entre la temperatura del individuo y la del ambiente (en adelante Δt), dado que la tasa de pérdida de temperatura de un cuerpo depende de la diferencia existente entre su temperatura y la del ambiente que lo rodea (Nokes 2002^a). Se ocupó como indicador la razón entre el Δt en el momento de la evaluación (Δt_i) y el Δt en el momento de la muerte (Δt_0) (Nokes 2002^b). La razón $\Delta t_i/\Delta t_0$ varió entre 1 en el momento de la muerte ($\Delta t_i = \Delta t_0$) a 0 cuando las temperaturas corporal y ambiental se igualan ($\Delta t_i = 0$). Después de que ambas temperaturas, corporal y ambiental, se igualan, el índice carece de valor para estimar el momento de la muerte. Para obtener Δt_i se midió la temperatura ambiental al mismo tiempo que la corporal; mientras que el Δt_0 se obtuvo con la temperatura ambiental y corporal inmediatamente verificada la muerte del individuo. Una vez obtenida la razón $\Delta t_i/\Delta t_0$ para cada observación, se buscó una ecuación para estimar el IPM en función de dicha razón.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La temperatura corporal descendió desde el momento de la muerte hasta igualarse con la temperatura del ambiente donde fueron mantenidos los cadáveres. A diferencia de lo descrito para cadáveres humanos, este momento en que se igualan ambas temperaturas ocurrió en promedio a las 11 horas con 14 minutos. Del mismo modo se evidencia una diferencia con el estudio de Jones (1982), en el cual los cadáveres igualaron su temperatura con la ambiental a las 6 horas. Estos resultados apoyan lo planteado por diversos autores (Edge 1984, Henssge y col 2000, Al-Alousi y col 2002^{a,b}, Honjyo y col 2005, Erlandsson y Munro

¹ Intervet®.

Cuadro 1. Intervalo post mórtem (minutos) por tramo de la razón $\Delta t_i/\Delta t_0$ en ratas Sprague-Dawley, mantenidas a aproximadamente 20 °C de temperatura ambiental.

Post mortem interval (minutes) for segment of reason $\Delta t_i/\Delta t_0$ in Sprague-Dawley rats kept at approximately 20 °C.

Tramo	Razón $\Delta t_i/\Delta t_0$	IPM esperado	Percentil 5	Percentil 95
1	0 - 0,05	560,783	420	955
2	0,05 - 0,1	393,772	310	515
3	0,1 - 0,15	316,117	235	365
4	0,15 - 0,2	264,966	190	295
5	0,2 - 0,25	226,761	155	245
6	0,25 - 0,3	196,255	140	215
7	0,30 - 0,35	170,860	120	185
8	0,35 - 0,4	149,106	105	160
9	0,40 - 0,45	130,078	90	140
10	0,45 - 0,5	113,170	80	120
11	0,5 - 0,55	97,955	65	105
12	0,55 - 0,6	84,126	55	95
13	0,6 - 0,65	71,450	50	80
14	0,65 - 0,7	59,750	40	70
15	0,7 - 0,75	48,887	30	60
16	0,75 - 0,8	38,749	25	50
17	0,8 - 0,85	29,244	20	40
18	0,85 - 0,9	20,299	10	30
19	0,9 - 0,95	11,852	5	20
20	0,95 - 1	3,849	0	15

2007, Wardak y Cina 2011) respecto a la variabilidad de este parámetro entre especies e individuos y en este caso probablemente esté fuertemente influenciado por la masa y la superficie corporal, mayores en el presente trabajo que en el de Jones (1982).

De acuerdo a lo presentado en el cuadro 1, la dispersión de la variable respuesta (IPM) aumenta conforme disminuye el valor de la razón $\Delta t_i/\Delta t_0$; es decir, en la medida que la temperatura del cadáver y la ambiental tienden a igualarse, la estimación del IPM es más imprecisa. Esta variabilidad puede estar influenciada estadísticamente por el tamaño del tramo (0,05): en la medida que el ancho del tramo tiende a 0, la variabilidad de la estimación del IPM se acerca más a la real para un determinado valor de la variable $\Delta t_i/\Delta t_0$. La dispersión de la variable respuesta también puede estar influenciada por otras variables biológicas intrínsecas de los individuos, tales como peso y superficie corporal, respuesta individual al estrés previo a la muerte y temperatura al momento de la muerte. Sin embargo, observando el gráfico presentado en la figura 1, se puede apreciar que en todos los tramos exceptuando el tramo 1 (razón $\Delta t_i/\Delta t_0$ entre 0 - 0,05), esta razón puede ser de mucha utilidad en la estimación del IPM. No obstante la incorporación de otros estudios puede mejorar la precisión de la estimación.

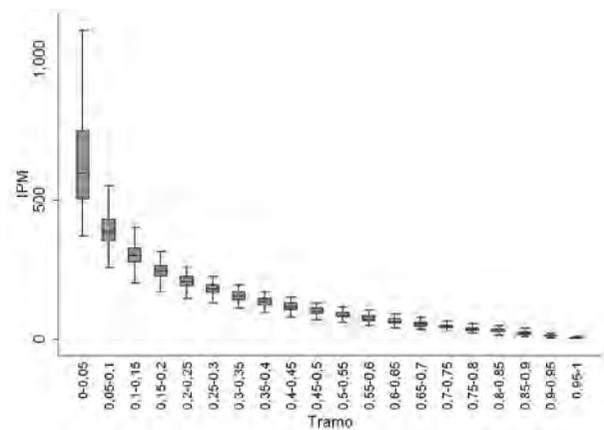


Figura 1. IPM observado, por tramo de la razón $\Delta t_i/\Delta t_0$ en ratas Sprague-Dawley, mantenidas a aproximadamente 20 °C de temperatura ambiental.

Observed IPM by segment of reason $\Delta t_i/\Delta t_0$ in Sprague-Dawley rats, kept at approximately 20 °C.

La ecuación que mejor se acercó a la estimación fue la de la función logarítmica:

$$IPM = \alpha * Ln\left(\frac{1}{\Delta t_i / \Delta t_0}\right)$$

Donde IPM es intervalo post mórtem, y α es una constante. La elección de la constante α se hizo mediante el criterio

de minimizar el cuadrado de los residuos ((IPM observado - IPM esperado por el modelo)²) y el valor obtenido fue de 154,03. De este modo la función que permitió estimar el intervalo post mórtem a partir de la razón $\Delta t_i/\Delta t_0$ fue:

$$IPM = 154,03 * \ln\left(\frac{1}{\Delta t_i / \Delta t_0}\right)$$

La figura 2 grafica la relación entre dicha razón e intervalo y cómo esta relación es modelada por la función.

Los resultados entregados, y en particular la función que estima el IPM a partir de la razón $\Delta t_i/\Delta t_0$, son válidos para este estudio con ratas a una temperatura que se mantuvo cercana a los 20 °C. Para el estudio del IPM en otra especie animal o en otras condiciones ambientales es necesario validar o modificar la función; es decir, es necesario ajustar el valor de α para minimizar los residuos y luego verificar que la curva de los valores estimados siga a la nube de valores observados.

ANÁLISIS DEL ERROR DE ESTIMACIÓN

Es esperable que conforme el IPM sea mayor, se produzcan mayores errores en la estimación del mismo. En otras palabras, el error de estimación debería aumentar en la medida que la razón $\Delta t_i/\Delta t_0$ se acerque a 0. Para describir el error de estimación se recurrió a los percentiles de la siguiente manera: Primero, dado que la variable predictora $\Delta t_i/\Delta t_0$ es una variable continua que varía entre 1 y 0, se dividió dicho rango en 20 tramos (0 - 0,05; 0,05 - 0,1; 0,1 - 0,15... 0,9 - 0,95; 0,95 - 1). Luego, en cada tramo, se calculó el valor esperado para la marca de clase (valor central de la variable $\Delta t_i/\Delta t_0$ en cada tramo o clase). Finalmente se calcularon los percentiles 5 y 95 de la variable respuesta (IPM), de modo de reunir entre ambos percentiles el 90% de las observaciones, como una aproximación no paramétrica a los intervalos de confianza (90%) de éstas. Esto último debido a que las estimaciones del tiempo presentaron distribuciones significativamente distintas a la normal en

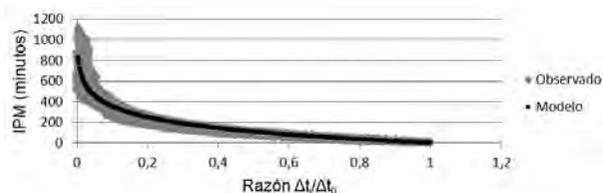


Figura 2. Valores observados y estimados (modelo) del Intervalo Post Mórtem (IPM; minutos) según la razón $\Delta t_i/\Delta t_0$, en ratas Sprague-Dawley, mantenidas a aproximadamente 20 °C de temperatura ambiental.

Observed and estimated (model) values of the postmortem interval (IPM; minutes) according to the reason $\Delta t_i/\Delta t_0$, in Sprague-Dawley rats, kept at approximately 20 °C.

la mayoría de los tramos (Shapiro-Wilks, $P < 0,05$). En el cuadro 1 se presentan dichos valores, y se puede observar la disminución de la precisión de la estimación conforme $\Delta t_i/\Delta t_0$ se acerca al 0.

Se observó que los cuerpos igualaron su temperatura con la del ambiente a partir de los 512 minutos (8 horas con 32 minutos), siendo el promedio 674 minutos (11 horas 14 minutos) y el máximo fue de 1.027 minutos (17 horas, 7 minutos), concentrándose la mayoría de las observaciones hacia los valores más bajos (Mediana = 632 minutos) (figura 1 y cuadro 1).

Del presente estudio se puede concluir que el IPM temprano para ratas de laboratorio a una temperatura ambiental de 20 °C se puede considerar en promedio hasta las 11 horas con 14 minutos, con una variación entre 8 horas con 32 minutos y 17 horas con 7 minutos.

Con el fin de mejorar la estimación del IPM cuando la razón $\Delta t_i/\Delta t_0$ se acerca a cero se hacen necesarios nuevos estudios que incluyan más variables, como por ejemplo la superficie corporal o el peso del animal. Estos estudios también permitirán evaluar el valor real de las variables que se mencionan en la literatura. El presente trabajo presenta una base objetiva y cuantitativa para la realización de dichos trabajos.

La repetición de este estudio en otras especies y condiciones ambientales de temperatura puede permitir el hallazgo de factores comunes que se pueden obtener, de modo de proponer un algoritmo común para la estimación del IPM a partir de *algor mortis* durante el IPM temprano.

RESUMEN

El tiempo que un cadáver requiere para igualar su temperatura con la temperatura ambiental se conoce como "Intervalo Post Mórtem Temprano" y durante este período, el *algor mortis* es un elemento de utilidad y de uso rutinario en medicina forense humana para estimar el Intervalo Post Mórtem (IPM). En humanos se acepta que el IPM temprano es de 24 horas en promedio, pero en animales carecemos de información que permita utilizar el *algor mortis* para estimar el IPM. De esta forma, en este estudio se utilizaron 50 cadáveres de rata de laboratorio a los cuales se les midió la temperatura intraesofágica profunda en forma continua y la temperatura ambiental. Los resultados muestran que, en promedio, el IPM temprano fue de 11 horas con 14 minutos, con una variación entre 8 horas con 32 minutos y 17 horas con 7 minutos. También se obtuvo una ecuación para estimar el IPM en ratas, con residuos mínimos. Éste es el primer estudio experimental dirigido a obtener parámetros con los cuales estimar el post mórtem a partir del *algor mortis* en animales.

REFERENCIAS

- Abdulazeez IO, MM Noordin. 2010. *Algor mortis* pattern in dogs, a guide to estimation of time of death. *Pertanika J Trop Agric Sci* 33, 105-111.
- Al-Alousi LM, RA Anderson, DM Worster, DV Land. 2001. Multiple-probe thermography for estimating the postmortem interval: I. Continuous monitoring and data analysis of brain, liver, rectal and environmental temperatures in 117 forensic cases. *J Forensic Sci* 46, 317-322.

- Al-Alousi LM. 2002. A study of the shape of the post-mortem cooling curve in 117 forensic cases. *Forensic Sci Int* 125, 237-244.
- Al-Alousi LM, RA Anderson, DM Worster, DV Land. 2002^a. Factors influencing the precision of estimating the postmortem interval using the triple-exponential formulae (TEF). Part I. A study of the effect of body variables and covering of the torso on the postmortem brain, liver and rectal cooling rates in 117 forensic cases. *Forensic Sci Int* 125, 223-230.
- Al-Alousi LM, RA Anderson, DM Worster, DV Land. 2002^b. Factors influencing the precision of estimating the postmortem interval using the triple-exponential formulae (TEF). Part II. A study of the effect of body temperature at the moment of death on the postmortem brain, liver and rectal cooling in 117 forensic cases. *Forensic Sci Int* 125, 231-236.
- Bisegna P, C Henssge, L Althaus, G Giusti. 2008. Estimation of the time since death: sudden increase of ambient temperature. *Forensic Sci Int* 176, 196-199.
- Burman JW. 1874. The cooling of the body after death. *Br Med J* 1, 408.
- Cox RJ, SL Mitchell, EO Espinoza. 1994. CompuTOD, a computer program to estimate time of death of deer. *J Forensic Sci* 39, 1287-1299.
- Edge WD. 1984. Estimating the post mortem interval in big game animals. *J Forensic Sci* 29, 1144-1149.
- Erlandsson M, R Munro. 2007. Estimation of the post-mortem interval in beagle dogs. *Science and Justice* 47, 150-154.
- Grayson J, D Mendel. 1956. The distribution and regulation of temperature in the rat. *J Physiol* 133, 334-346.
- Gulyás B, J Jr Dobai, G Szilágyi, G Csécsei, G Jr Székely. 2006. Continuous monitoring of post mortem temperature changes in the human brain. *Neurochem Res* 31, 157-166.
- Hanneman SK, JT Jesurum-Urbaitis, DR Bickel. 2004. Comparison of methods of temperature measurement in swine. *Lab Anim* 38, 297-306.
- Henssge C, L Althaus, J Bolt, A Freisleder, H-T Haffner, CA Henssge, B Hoppe, V Schneider. 2000. Experiences with a compound method for estimating the time since death II. Integration of non-temperature-based methods. *Int J Legal Med* 113, 320-331.
- Henssge C, B Madea. 2004. Estimation of the time since death in the early post-mortem period. *Forensic Sci Int* 144, 167-175.
- Honjyo K, K Yonemitsu, S Tsunenari. 2005. Estimation of early postmortem intervals by a multiple regression analysis using rectal temperature and non-temperature based postmortem changes. *J Clin Forensic Med* 12, 249-253.
- Jones PA. 1982. Automated estimation of time of death in rats by continuous temperature recording. *Lab Anim* 16, 119-122.
- Kaliszan M, R Hauser, R Kaliszan, P Wiczling, J Buczyński, M Penkowski. 2005. Verification of the exponential model of body temperature decrease after death in pigs. *Exp Physiol* 90, 727-738.
- Kaliszan M. 2011. Does a draft really influence postmortem body cooling? *J Forensic Sci* 56, 1310-1314.
- Khallaf A, BL Rosser. 1988. Thermographic Study of Postmortem Cooling of the Human Head: A Preliminary Report. *Thermology* 3, 53-58.
- Mall G, M Hubig, G Beier, W Eisenmenger. 1998. Energy loss due to radiation in postmortem cooling. Part A: quantitative estimation of radiation using the Stefan-Boltzmann law. *Int J Legal Med* 111, 299-304.
- Mall G, M Hubig, M Eckl, A Büttner, W Eisenmenger. 2002. Modelling postmortem surface cooling in continuously changing environmental temperature. *Leg Med* 4, 164-173.
- Nokes L. 2002^a. The cooling of a corpse. In: Knight B (ed). *The estimation of the time since death in the early postmortem period*. 2nd ed. Arnold, London, UK, Pp 11-13.
- Nokes L. 2002^b. *Double exponential models*. In: Knight B (ed). *The estimation of the time since death in the early postmortem period*. 2nd ed. Arnold, London, UK, Pp 17-18.
- Proctor KW, WJ Kelch, JC Jr New. 2009. Estimating the time of death in domestic canines. *J Forensic Sci* 54, 1433-1437.
- Wardak KS, SJ Cina. 2011. Algor mortis: an erroneous measurement following postmortem refrigeration. *J Forensic Sci* 56, 1219-1221.