

Análisis de recurrencia visual de temperatura periférica en la evaluación de un tratamiento psicológico del dolor basado en un diseño $N = 1$ ¹

Visual recurrence analysis of peripheral temperature in the assessment of psychological pain treatment based in $N = 1$ design

Erik Leonardo Mateos Salgado y Benjamín Domínguez Trejo²

RESUMEN

En este trabajo se propone que, por medio del análisis de recurrencia visual de los cambios en la temperatura periférica, es posible incorporar la teoría de las dinámicas no lineales en el tratamiento psicológico del dolor crónico. Se evaluaron los patrones de recurrencia a lo largo de un tratamiento de modulación de dolor basado en un diseño $N = 1$. Al analizar las gráficas de recurrencia, se observaron diferentes patrones de temperatura periférica de acuerdo con la fase del tratamiento en los que se extrajeron las señales, mostrando características intermedias en un sistema azaroso y determinista. Cabe mencionar que en el transcurso del tratamiento los patrones de recurrencia fueron cambiando. Se plantea incluir en estudios posteriores, con un mayor número de participantes, los análisis de cuantificación de recurrencias.

Palabras clave: Análisis de recurrencia visual; Dolor crónico; Diseño $N = 1$; Temperatura periférica.

ABSTRACT

This paper proposes the use of visual recurrence analysis of peripheral temperature. It is possible to incorporate the nonlinear dynamic theory in the psychological treatment of chronic pain. In this paper, recurrence patterns were evaluated through the length of a modulation pain treatment based on a $N = 1$ design. The analysis of recurrence graphs showed different patterns of peripheral temperature, according to the treatment phases from which there were obtained the signals showing intermediate characteristics in a random and deterministic systems. Recurrence patterns were changing along the treatment. It is considered to include recurrence quantification analysis in future research including more participants.

Key words: Visual recurrence analysis; Chronic pain; $N = 1$ design; Peripheral temperature.

¹ Trabajo apoyado parcialmente por los proyectos PAPIME PE303407, PAPIIT-UNAM IN305508 y CONACYT 89848.

² Doctorado en Psicología, Facultad de Psicología, Universidad Nacional Autónoma de México, Av. Universidad 3004, Col. Copilco Universidad, Del. Coyoacán, 04510 México, D.F., México, tel. (55)56-22-23-12, correos electrónicos: eriklms@yahoo.com.mx y benjamin@servidor.unam.mx. Artículo recibido el 16 de octubre de 2009 y aceptado el 13 de febrero de 2010.

INTRODUCCIÓN

La incorporación de diferentes propuestas teóricas y tecnológicas en el estudio del dolor crónico ha permitido avances en la comprensión de su etiología, evaluación y tratamiento. Así, se ha transitado desde un enfoque dualista mente-cuerpo a uno biopsicosocial (Gatchel, Peng, Peters, Fuchs y Turk, 2007). De hecho, el tipo de terapia que ha demostrado ser más efectiva en el tratamiento del dolor crónico (DC en lo sucesivo) es la que involucra un trabajo multidisciplinario (Ruvalcaba y Domínguez, 2009). Sin embargo mucho del trabajo se ha basado en un enfoque nomotético que considera la homogeneidad del paciente con dolor, lo que ha producido poca atención en la aplicación de experimentos basados en diseños de caso único en este campo (Onghena y Eddington, 2005).

Además de la prevalencia de una perspectiva lineal y reduccionista que se refleja al considerar los resultados de ensayos clínicos aleatorizados como proporcionales a la magnitud de la intervención (Sweeney, 2002), se ha planteado que tal perspectiva de análisis acercaría más a las ciencias duras, como la física o la química, lo que resulta paradójico ya que en estas ciencias se ha incorporado una visión no lineal de los fenómenos que se estudian (Glasgow, 2008).

Análisis de recurrencias

Desde la perspectiva de los sistemas dinámicos no lineales, se propone que los seres vivos son sistemas abiertos y alejados del equilibrio, y que mantener una perspectiva lineal y determinista no permitirá una comprensión adecuada de estos sistemas (Goldberger, Rigney y West, 1990), en especial porque la combinación de sistema abierto y no lineal posibilita que los seres vivos exhiban propiedades nuevas o de autoorganización; es decir, el todo es diferente a la suma de sus partes. Estos niveles de autoorganización se pueden apreciar de diferentes formas, siendo los ejemplos más evidentes los ritmos biológicos y la presencia de recurrencias (Walleczec, 2000).

Otra característica de las conductas de los seres vivos es que son sistemas complejos que se caracterizan por la interacción de múltiples varia-

bles que se acoplan y reflejan diferentes tipos de conducta, por ejemplo ciertos patrones de repetición. Entre más compleja es la conducta, menos obvias son estas recurrencias (Riley y Van Orden, 2005), aunque es posible usar el análisis de recurrencia visual para detectar patrones ocultos, cambios estructurales en los datos y similitud en los propios patrones a través del tiempo (Eckmann, Kamphorst y Ruelle, 1987), incluso cuando no es posible la integración completa de todas las variables del sistema (Bertuglia y Vaio, 2005).

Lo anterior es factible porque dicho análisis se basa en el espacio de fase, que se obtiene por medio de la aplicación del teorema de Takens, el cual permite que una conducta se reconstruya sin importar la variable que se mida (Riley y Van Orden, 2005). La construcción del espacio de fase se logra por medio de copias de retardos de tiempo de la variable de interés. Al elegir una variable x como un indicador preliminar de la conducta del sistema, se le compara consigo misma en un punto previo del tiempo; es decir, t más un retraso de x o más dos retrasos ($2x$); esto hace que la variable original x se convierta en una dimensión del sistema y su retardo en otra (Zbilut y Webber, 1992). En el análisis de recurrencia se trazan y miden las trayectorias de este espacio de fase, se evalúa si las trayectorias se juntan en un punto o si viajan juntas por una secuencia de puntos, lo que permite caracterizar la dinámica del sistema (Eckmann y cols., 1987).

Al revisar la propuesta de las dinámicas no lineales, es importante incorporarla para avanzar en la comprensión de la naturaleza del DC. Sin embargo, algunos requisitos de este tipo de análisis han limitado su aplicación; por ejemplo, el uso de matemáticas complejas, lo que se podría solucionar mediante un trabajo multidisciplinario. Otro problema es que en muchos de estos análisis se trabaja con series temporales largas que generalmente no se usan en la investigación del dolor (Gatchel y cols., 2007); incluso en diseños de caso único la cantidad de datos no es suficiente para que se aplique este tipo de análisis (Onghena y Edgington, 2005); además, tal diseño se basa en mediciones de autorreporte, que han mostrado tener dificultades para esclarecer la relación entre el estado emocional y su reporte (Mehl, Pennebaker, Crow, Dabbs y Price, 2001). Lo anterior podría resolver-

se incluyendo análisis de señales biológicas en el estudio del dolor, con las cuales se pueden hacer registros durante periodos prolongados.

De hecho, el estudio de señales biológicas es uno de los campos de aplicación más fructíferos de las dinámicas no lineales; algunas de estas respuestas se han relacionado con problemas de salud; por ejemplo, la actividad cardiaca (Lombardi, 2000) y cerebral (Abásolo, Hornero, Gómez, García, y López, 2006), si bien sólo con la actividad cardiaca se han realizado registros prolongados, aunque el equipo para realizar este tipo de registro es muy costoso, en especial para los países en vías de desarrollo.

Temperatura periférica

Una respuesta fisiológica que se podría incluir es la de temperatura periférica (TP), toda vez que existen los dispositivos adecuados y baratos para monitoreos prolongados, como el sensor iButton de la compañía Maxim.

La TP está relacionada con la pérdida y conservación de calor, en cuya regulación está involucrado el sistema circulatorio, que permite la vasoconstricción y vasodilatación, siendo el principal mecanismo regulador la rama simpática del sistema nervioso autónomo que mantiene un tono vasoconstrictor, pues la inhibición de este tono induce vasodilatación generalizada (Kihara, Sugeno y Low, 2004). Basándose en dicha característica, en el área de psicofisiología se comenzó a utilizar la TP como un indicador de activación (Andreassi, 2007), y se ha descubierto el importante papel que desempeña la hiperactividad del sistema simpático en los procesos de dolor (Turk, 2004), así como que las sensaciones de temperatura y dolor están asociadas funcional y anatómicamente en el sistema nervioso central (Craig, 1998).

En el campo clínico se ha encontrado que pacientes con DC no pueden producir incrementos de temperatura periférica cuando se les enseña a relajarse, y que esta respuesta sólo se logra con el paso del tiempo (Domínguez, Olvera, Cruz, y Cortés, 2001; Domínguez, Infante y Olvera, 2008).

Aunque en la literatura hay estudios sobre temperatura periférica y dolor, no hay, hasta donde se sabe, estudios que apliquen el análisis visual de recurrencias, ni tampoco en los que se evalúe

esta respuesta por periodos prolongados. Para tener una mejor comprensión de la respuesta fisiológica y su valor clínico, se requiere de más investigación, por lo que se propone aquí incluir la perspectiva de las dinámicas no lineales para su análisis.

Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue registrar los cambios en la TP de la mano dominante durante las diferentes fases de un tratamiento psicológico de dolor basado en un diseño N = 1, así como evaluar si por medio del análisis de recurrencia visual se hacen más evidentes los diferentes patrones de acuerdo a los momentos del tratamiento.

MÉTODO

Participantes

En este estudio con diseño N = 1 de tipo A-B participó una paciente de 31 años de edad, con diagnóstico de cervicalgia crónica y síndrome de espalda fallida de tres años de antigüedad. Dicha paciente estaba medicada con gabapentina (una por la noche), Anapsique® (media tableta por la noche) y Tradol® de 100mg (una cada doce horas).

Materiales

Al efecto, se empleó un sensor de temperatura de la marca iButton con rango de registro de -40 a 85°C y con resolución de temperatura de 0.5°C, un equipo de retroalimentación biológica marca Procomp Electronics, una cinta autoadhesiva y un diario de dolor-sueño.

Procedimiento

La paciente participó en un proyecto en que se evaluó su estructura del sueño, perfil psicofisiológico de estrés y evaluación dinámica de los músculos trapecios por medio de electromiografía de superficie; en este artículo sólo se consideran los registros de TP por periodos prolongados y el tratamiento basado en un diseño N = 1 para modular el dolor.

Se llevaron a cabo doce sesiones, a razón de una vez por semana y con duración de aproximadamente una hora. La duración de la intervención (AB) fue de 84 días: 21 para la línea base (A) y 63 para el tratamiento (B).

Fase A. Las primeras tres sesiones se dedicaron a realizar una entrevista clínica y la evaluación del perfil psicofisiológico de estrés y de la dinámica muscular.

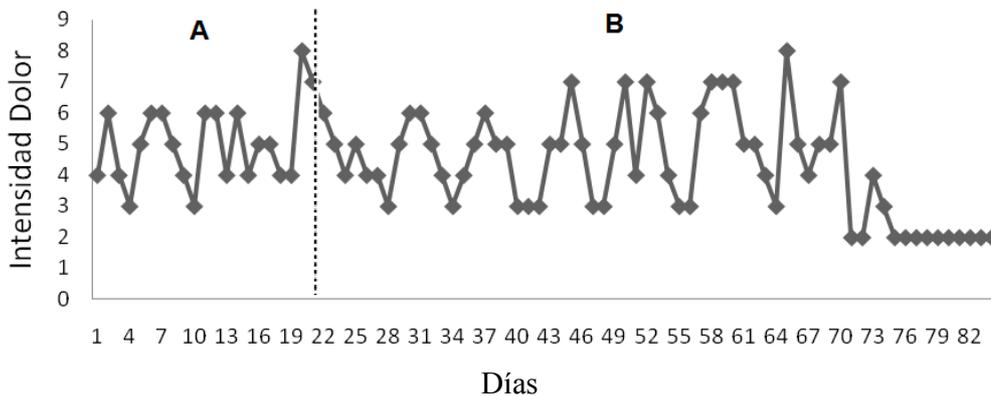
Fase B. De la sesión 4 a la 6, la sesión consistió en enseñar a la paciente respiración diafragmática y a identificar la tensión muscular en la zona cervical, lo que se hizo con el apoyo del equipo de retroalimentación biológica; de la sesión 7 a la 12 se incluyó una técnica de imaginería guiada para mejorar la respuesta deliberada de relajación, y asimismo se indicaron movimientos de cuello y hombros como parte de los ejercicios que se le dejaron como tarea en casa. La primera parte de las sesiones de tratamiento se destinaron a evaluar el desarrollo de la respuesta de relajación de la paciente.

Durante toda la intervención (AB) se le pidió a la paciente que llevara puesto el sensor de temperatura y que sólo se lo quitara al bañarse. Las citas se llevaron a cabo cada siete días para que el sensor, programado para recoger los datos de temperatura cada 5 minutos, registrara la TC durante el lapso entre citas. Hubo pérdida de datos de una semana debido a que la paciente no acudió a la cita en la semana acordada, y en dos ocasiones se perdieron datos de 48 hrs debido a que la paciente cambió el día de la misma.

RESULTADOS

Hacia el final del tratamiento la paciente reportó disminución de la intensidad del dolor. Los resultados se presentan en la Figura 1.

Figura 1. Reporte de intensidad del dolor durante el tratamiento (A = línea base, B = tratamiento).



Análisis visual de recurrencias

Para este propósito se utilizó el software Visual Recurrence Analysis (VRA), versión 5.01, de Eugene Kononov. En este software se requieren 500 datos como mínimo para realizar el análisis. Debido a que en ocasiones la paciente tuvo que quitarse el sensor, sólo se consideran los periodos en los que se pudieran conseguir más de 500 muestras de temperaturas sin interrupción; de estos, se obtuvieron siete muestras con 566 datos de temperatura; dos de línea base y cinco de tratamiento. La descripción de las muestras y el reporte de dolor se presentan en la Tabla 1.

tarse el sensor, sólo se consideran los periodos en los que se pudieran conseguir más de 500 muestras de temperaturas sin interrupción; de estos, se obtuvieron siete muestras con 566 datos de temperatura; dos de línea base y cinco de tratamiento. La descripción de las muestras y el reporte de dolor se presentan en la Tabla 1.

	Inicio muestra Hora	Fin muestra Hora	Porcentaje promedio de dolor, de 3 días
LB1	10:06	9:11	46%
LB2	10:05	9:10	53%
TX1	10:09	9:14	36%
TX2	10:03	9:08	40%
TX3	10:03	9:08	56%
TX4	10:05	9:10	40%
TX5	10:21	9:26	20%

Para construir la gráfica de recurrencia se tiene que determinar la dimensión de inmersión (m) y el tiempo de retardo (d), por lo que se empleó el método de falsos vecinos cercanos para determinar m y el de información mutua para d .

Interpretación de las figuras de recurrencias

Para su análisis, se han establecido las siguientes características de las recurrencias:

1. Se debe observar si la señal presenta patrones caracterizados como aleatorios, deterministas o caóticos (Figura 2).
2. Se evalúa la presencia de líneas diagonales paralelas a la diagonal principal; éstas representan el determinismo de la señal, y diagonales más largas implican un mayor determinismo.
3. La distribución del color indica la distancia entre las temperaturas en el espacio de fases. Cuando la distancia es menor, se apre-

cia en color blanco, y conforme se incrementa la distancia se va volviendo más oscuro. De acuerdo a este mapa, entre más cercanas sean las temperaturas de la gráfica, más claridad en su matiz habrá.

Al revisar las gráficas de recurrencias de las temperaturas (Figuras 3 y 4) se puede observar que muestran un patrón intermedio entre aleatorio y determinista, por lo que es posible concluir que presentan un cierto orden. Las gráficas de línea base (Figura 3) y las del tratamiento (Figura 4) presentan diferentes patrones, en especial LB1 y TX5. En cuanto a la presencia de líneas diagonales, se aprecia que en las últimas gráficas de tratamiento son más detalladas.

Al revisar los colores, se ve que, conforme se avanza el tratamiento, las distancias de las temperaturas se van alejando ya que se notan patrones oscuros más detallados, en especial en TX5.

Figura 2. Gráficas de recurrencia de una señal aleatoria ($m = 4$ y $d = 1$), determinista ($m = 2$ y $d = 3$) y caótica ($m = 2$ y $d = 16$).

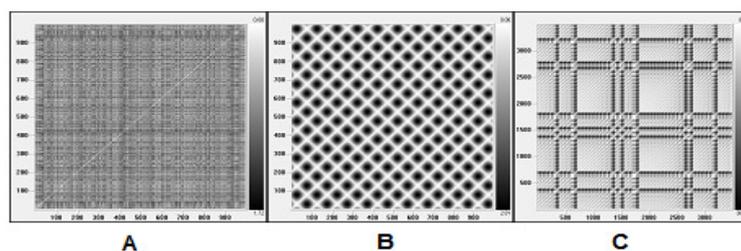


Figura 3. Gráficas de recurrencia de las líneas base: LB 1 ($m = 9$ y $d = 11$), LB 2 ($m = 8$ y $d = 11$).

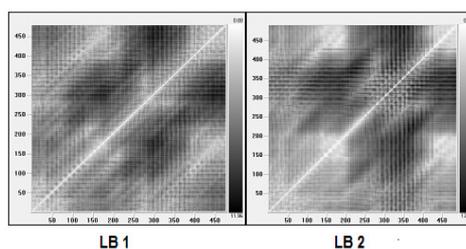
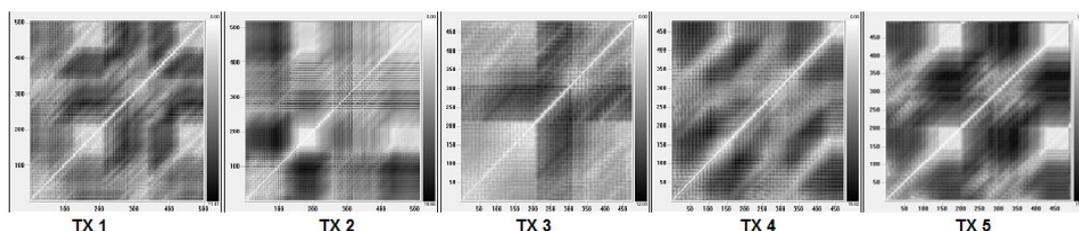


Figura 4. Gráficas de recurrencia de los tratamientos: TX 1 ($m = 9$ y $d = 8$), TX 2 ($m = 8$ y $d = 7$), TX 3 ($m = 9$ y $d = 11$), TX 4 ($m = 10$ y $d = 10$) y TX 5 ($m = 9$ y $d = 9$).



DISCUSIÓN

Aunque el análisis de recurrencia visual es cualitativo, se basa en supuestos rigurosos y ofrece beneficios que otras técnicas cuantitativas no pueden; por ejemplo, el análisis de Fourier y el supuesto de estacionariedad de la señal (Eckmann y cols., 1987).

Al interpretar los datos del reporte subjetivo de intensidad del dolor, se aprecia que el tratamiento mostró efectividad en la última semana del tratamiento, lo cual se relacionó con una mejor definición de las distancias de la temperatura de la última muestra. Sin embargo, no es posible saber si estos cambios en los patrones de recurrencia se pueden relacionar con un determinado estado de salud. También, las TP mostraron diferentes

patrones de recurrencia en las diferentes muestras; lo que no se ignora es si dichas diferencias son características normales de la señal, por lo que se sugiere hacer registros con más pacientes y con personas sanas.

De manera general, se puede apreciar que la temperatura presenta una actividad intermedia entre azar y determinismo, aunque no es posible determinar si es caótica, para lo cual se tendría que incluir otro tipo de análisis no lineal, como la dimensión de correlación. Si bien existe el análisis cuantitativo de la recurrencias (Zbilut y Webber, 1992), se decidió no aplicarlo hasta conocer algunas características de las gráficas de recurrencia. Se propone, por último, incluir los análisis de cuantificación de recurrencias en estudios posteriores y emplear un mayor número de participantes.

REFERENCIAS

- Abásolo, D., Hornero, R., Gómez, C., García, M. y López, M. (2006). Analysis of EEG background activity in Alzheimer's disease patients with Lempel-Ziv complexity and central tendency measure. *Medical Engineering and Physics*, 28(4), 315-322.
- Andreassi, J. (2007). Introduction to psychophysiology. En J. Andreassi (Ed): *Psychophysiology. Human behavior and physiological response* (pp. 1-15). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Bertuglia, C.S. y Vaio, F. (2005). *Nonlinearity, chaos and complexity. The dynamics of natural and social systems*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Craig, A.D. (199). A new version of the thalamic disinhibition hypothesis of central pain. *Pain Forum*, 7, 1-14.
- Domínguez, B., Infante, P. y Olvera, Y. (2008). Avances y retos de la psicología del dolor en México. Experiencias del Grupo "Dolor y Estrés" de la Facultad de Psicología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). *Revista Iberoamericana de Dolor*, 1, 46-51.
- Domínguez T., B., Olvera L., Y., Cruz M., A. y Cortés S., J.F. (2001). Monitoreo no invasivo de la temperatura periférica bilateral en la evaluación y tratamiento psicológico. *Psicología y Salud*, 11(2), 61-71.
- Eckmann, J.P., Kamphorst, S.O. y Ruelle, D. (1987). Recurrence plots of dynamical systems. *Europhysics Letters*, 4, 973-977.
- Gatchel, R.J., Peng, Y.B., Peters, M.L., Fuchs, P.N. y Turk, D.C. (2007). The biopsychosocial approach to chronic pain: Scientific advances and future directions. *Psychological Bulletin*, 13(4), 581-624.
- Glasgow, R.E. (2008). What types of evidence are most needed to advance behavioral medicine? *Annals of Behavioral Medicine*, 35, 19-25.
- Goldberger, A., Rigney, D.R. y West, B.J. (1990). Chaos and fractals in human physiology. *Scientific American*, 262(2), 42-49.
- Kihara, M., Sugeno, J. y Low, P.A. (2004). Temperature regulation. En D. Robertson, I. Biaggioni, G. Burnstock y P.A. Low (Eds): *Primer on the Autonomic Nervous System* (pp. 127-129). Amsterdam: Elsevier.
- Lombardi, F. (2000). Chaos, heart rate variability, and arrhythmic mortality. *Circulation*, 101, 8-10.
- Mehl, M.R., Pennebaker, J.W., Crow, M., Dabbs, J. y Price, J. (2001). The Electronically Activated Recorder (EAR): A device for sampling naturalistic daily activities and conversations. *Behavior Research: Methods, Instruments, and Computers*, 33, 517-523.
- Onghena, P. y Edgington, E.S. (2005). Customization of pain treatments. Single-case design and analysis. *Clinical Journal of Pain*, 21(1), 56-68.
- Riley, M.A., y Van Orden, G.C. (2005). *Tutorials in contemporary nonlinear methods for the behavioral sciences*. Arlington, VA: National Science Foundation.
- Ruvalcaba P., G. y Domínguez T., B. (2009). La terapia psicológica del dolor crónico. *Psicología y Salud*, 19(2), 247-252.

- Sweeney, K. (2002). History of complexity. En K. Sweeney y F. Griffiths (Eds.): *Complexity and health care. An introduction* (pp. 19-35). Salem, MA: Radcliffe Medical Press.
- Turk, D. (2004). Understanding pain sufferers: the role of cognitive processes. *The Spine Journal*, 4, 1-7.
- Walleczec, J. (2000). The frontiers and challenges of biodynamics research. En J. Walleczec (Ed.): *Self-organized biological dynamics and nonlinear control* (pp. 1-13). Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- Zbilut, J.P. y Webber, C.L. (1992). Embeddings and delays as derived from quantification of recurrence plots. *Physics Letters*, A, 171, 199-203.