

# Análisis de la repolarización cardíaca en el ECG, registrado durante angioplastia, mediante la transformada de KL \*

José García #, Paul Lander &, Galen Wagner † y Pablo Laguna #

# Centro Politécnico Superior, Univ. de Zaragoza, María de Luna 3, 50015 Zaragoza, España

& Oklahoma University, V. A. Medical Center

†Duke University Medical Center

**Resumen** - En este estudio se han analizado registros ECG de pacientes sometidos a Angioplastia Percutánea Transluminal Coronaria (PTCA) en alguna de las arterias principales. Durante la angioplastia se produce la oclusión de estas vías y por tanto una falta de flujo sanguíneo en determinadas regiones cardíacas que genera una isquemia. En este estudio se ha evidenciado la capacidad de la transformada de Karhunen-Loève (KLT) aplicada al complejo ST-T para detectar y caracterizar la isquemia inducida por la angioplastia.

## I. INTRODUCCIÓN

La Angioplastia Percutánea Transluminal Coronaria (PTCA) [1] es una técnica usada en el tratamiento de arterias coronarias afectadas por estenosis. Para efectuar una angioplastia se introduce un catéter de modo transcutáneo en la vía que se halla parcialmente obstruida y presenta defectos de conducción, y se infla un balón en el extremo del catéter a la altura de la estenosis de forma que se produzca una apertura del vaso sanguíneo para restaurar la correcta circulación. No obstante, al producirse la oclusión de la vía debido a la presencia del balón hinchado, los tejidos cardíacos quedan temporalmente privados de flujo sanguíneo, de forma análoga a como sucede en un infarto de miocardio, generándose una isquemia temporal. En el ECG se muestra la isquemia en cambios de la morfología del complejo ST-T. La monitorización de forma eficiente de estos cambios permite hacer un seguimiento de la isquemia en la medida que ésta se refleje en el ECG. En un estudio previo [2] se vio la utilidad de la transformada de Karhunen-Loève (KLT) para monitorizar la isquemia en registros de Holter. En este estudio se va a usar dicha técnica para analizar su utilidad, en un laboratorio de cateterización, como marcador de la isquemia inducida por la angioplastia y de otros fenómenos que puedan identificarse. Los registros corresponden al proyecto "STAFF" coordinado por la Universidad de Duke que pretende estudiar la información presente en el ECG durante PTCA.

## II. LA TRANSFORMADA DE KARHUNEN-LOÈVE

La KLT [3] es una transformación lineal dependiente de la señal, óptima en el sentido de que concentra la máxima información de la señal en el menor número de parámetros, y además define la mayor separación entre los espacios de señal y ruido. Por lo tanto, con igual número de coeficientes la KLT es la transformada que da una representación más eficiente de la señal. En este trabajo se representa el complejo ST-T en la base de funciones de KL y se estudia la capacidad de la KLT para describir el fenómeno

de isquemia inducida. En la figura 1 se muestran los seis primeros complejos base que representan el complejo ST-T, generados previamente utilizando un amplio y representativo conjunto de señales (en torno a 100.000 latidos) [2]. La capacidad de representación de la KLT en los complejos ST-T viene dada por el hecho de que el 70%, 90% de la energía de la señal puede representarse con las 2, 4 primeras funciones base, respectivamente. Por tanto, la monitorización de estos parámetros equivale en la práctica a monitorizar el complejo ST-T. Para conocer el comportamiento dinámico de la señal, es decir, las variaciones que se producen en el complejo ST-T durante el proceso, se estudian las series en el tiempo de los coeficientes de la transformada: series de kl. Para reducir el efecto del ruido (50/60 Hz, muscular, variaciones de línea de base, artefactos de movimiento), las series de kl se obtienen a partir de una estimación adaptativa, después de eliminar las variaciones de línea de base con *splines cúbicos*. Dado que la isquemia es un proceso lento comparado con el ritmo cardíaco, los algoritmos adaptativos convergen suficientemente rápido para seguir las variaciones que la isquemia produce en el complejo ST-T sin introducir errores apreciables [2].

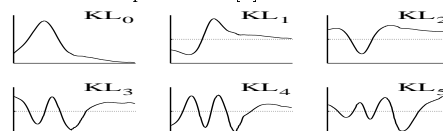


Figura 1: Primeras seis funciones base del complejo ST-T.

Cada valor de la serie  $kl_i(n)$ , con  $n$  representando a cada latido e  $i$  al orden de la base, informa de la contribución de la función base  $KL_i$  para representar el  $n$ -ésimo complejo ST-T. Si se observan las funciones base puede verse que el valor de la serie  $kl_0$  está relacionado directamente con el segmento ST dado que valores positivos de  $KL_0$  corresponden a un segmento ST positivo, y que un incremento de  $kl_0(n)$  representará una elevación del segmento ST. De forma similar puede razonarse, y dado que la función base  $KL_1$  presenta un área negativa en el intervalo de tiempo que corresponde al segmento ST (50-150 ms iniciales del complejo ST-T representado), que un incremento de  $kl_1(n)$  describe una depresión en el segmento ST.

## III. ANÁLISIS DEL ECG DURANTE ANGIOPLASTIA

En el presente estudio se registró el ECG en pacientes que fueron sometidos a angioplastia. Cada registro consta de las derivaciones ortogonales X Y Z, cada una muestreada a 1000 Hz con 16 bits de resolución. Para cada paciente se dispone de varios registros que comprenden las etapas previa al inflado, de inflado, y posterior a éste, de modo que pueden estudiarse las variaciones en la forma de la señal a lo largo de todo el proceso. En este estudio se han calculado y representado las series de kl para las derivaciones ortogonales X Y Z según [2].

\*Este trabajo ha sido financiado por el proyecto TIC94-0608-02:02 CICYT, y PIT06/93 CONAI.

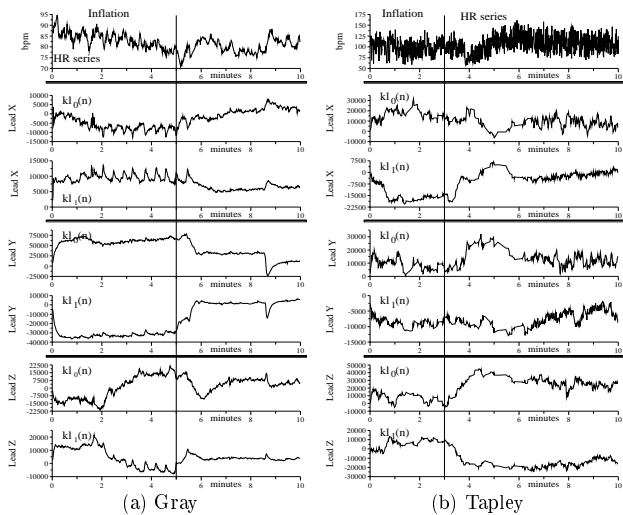


Figura 2: HR y Series de KL

En la figura 2 se representan el ritmo cardíaco (HR) y las series de  $kl$  correspondientes a la etapa de inflado de dos registros (a,b) del estudio STAFF: “Gray” y “Tapley”. En 2(a) se tienen las series de un paciente sometido a una angioplastia en la arteria coronaria derecha (RCA). La oclusión comienza con el inicio del registro, y se mantiene hasta el minuto cinco del mismo. Durante este intervalo de tiempo se produce una depresión de  $kl_0(n)$  y elevación de  $kl_1(n)$  en la derivación X, que corresponde a una depresión del segmento ST. En la derivación Y se aprecia un claro aumento de  $kl_0(n)$  y disminución de  $kl_1(n)$ , que corresponde a una elevación del segmento ST, recuperándose después de la oclusión. En el registro ECG se observa la onda T de gran amplitud durante la etapa de inflado. En la derivación Z se tiene un descenso de  $kl_0(n)$  y elevación de  $kl_1(n)$  durante los dos primeros minutos del inflado (depresión del segmento ST), y un comportamiento opuesto en el resto de la angioplastia. La localización espacial de cada una de las derivaciones es la que determina que los cambios en el segmento ST reflejen elevaciones o depresiones, dependiendo de la arteria obstruida. En este mismo registro se puede observar un interesante carácter periódico de las variaciones de las series durante la angioplastia. En las derivaciones X y Z, principalmente, se aprecian oscilaciones cada 20 s aproximadamente. Similar comportamiento periódico del fenómeno de isquemia en algunos pacientes aparece descrito también en [2]. En la figura 2(b) se muestran los resultados para una angioplastia llevada a cabo en la arteria circunfleja. El tiempo de inflado del balón comprende los tres primeros minutos del registro. Durante este intervalo se observa un aumento de  $kl_0(n)$  y disminución de  $kl_1(n)$  en la derivación X, que corresponde a una elevación del segmento ST, y un comportamiento opuesto, es decir, una depresión del segmento ST en las derivaciones Y, Z. En ambos registros puede observarse que tras el proceso de inflado se produce una variación importante del ritmo cardíaco. Esto constata una relación estrecha existente entre el fenómeno de isquemia y el ritmo cardíaco.

En la figura 3 tenemos las mismas gráficas que en la figura 2 registradas en dos angioplastias llevadas a cabo en la arteria RCA, y en la arteria circunfleja. En la figura 3(a) el inflado se llevó a cabo durante los primeros tres minutos y medio, mientras que en la figura 3(b) el inflado se produjo durante cinco minutos comenzando en 50 s. Un fenómeno interesante se observa en ambos registros aproximadamente un minuto después del proceso de inflado (minuto cuatro y medio en la derivación Y en 3(a) y minuto siete en las derivaciones X, Z en 3(b)). Se produce un decaimiento muy fuerte de  $kl_0(n)$  y  $kl_1(n)$ , una recuperación y una nueva caída; tras ésta se vuelve a los valores iniciales de las series. Estas variaciones indican la presencia de una onda T negativa de

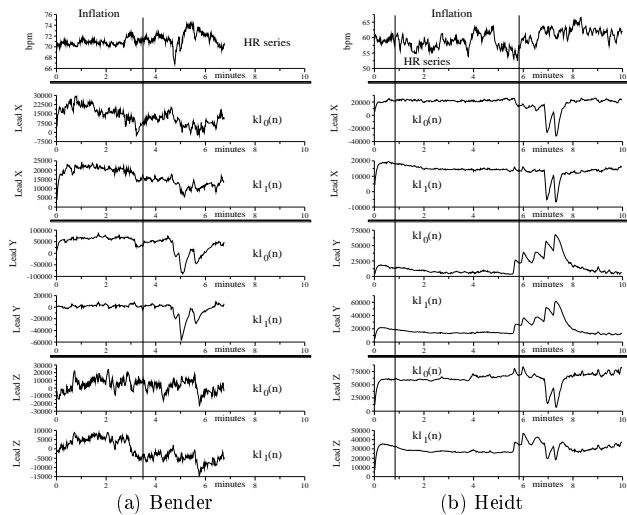


Figura 3: HR y Series de KL

gran amplitud que aparece y desaparece en dos ocasiones. En la figura 4 se muestran diferentes latidos correspondientes a la derivación Y del registro “Bender” que ponen de manifiesto estos cambios en la morfología del ECG. En 3(a) el comportamiento está correlado con las variaciones del HR: cuando el complejo ST-T se hace altamente negativo, el HR decrece proporcionalmente. El análisis de estos dos registros sugiere un marcado fenómeno transitorio posterior al inflado del balón.

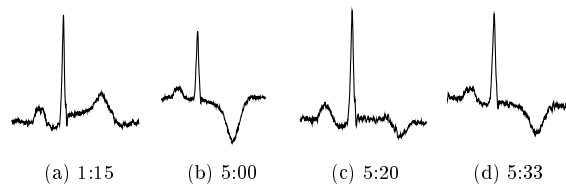


Figura 4: Variación de la morfología del ECG.

#### IV. CONCLUSIONES

En este estudio se ha analizado la posibilidad de usar la transformada de KL para monitorizar las variaciones de forma del complejo ST-T y por tanto la isquemia inducida durante PTCA y que se manifiesta en el ECG de superficie. La aplicación de esta técnica a registros del estudio “STAFF” muestra que la evolución del complejo ST-T queda perfectamente evidenciada en la evolución de los coeficientes  $kl$  (con una clara interpretación de  $kl_0(n)$  y  $kl_1(n)$  en términos de depresión/elevación del segmento ST). Además se han puesto de manifiesto unos comportamientos oscilatorios en un paciente que pueden apuntar fenómenos cardiovasculares de tipo alternante como ha sido recientemente indicado en [4]. La aplicación de este método en un número elevado de pacientes permitirá establecer la aplicabilidad clínica de la técnica.

## Referencias

- [1] J. G. Webster, *Encyclopedia of Medical Devices and Instrumentation*, John Wiley & Sons, New York, 1978.
- [2] P. Laguna, G. B. Moody, and R. G. Mark, “Analysis of the cardiac repolarization period using the KL transform: Applications on the ST-T database.”, in *Computers in Cardiology*. IEEE Computer Society Press, 1994, pp. 233–236.
- [3] C. W. Therrien, *Discrete random signals and statistical signal processing*, Prentice-Hall, 1992.
- [4] D. S. Rosenbaum, M. D. Lange, et al., “Electrical alternans and vulnerability to ventricular arrhythmias”, *The New England Journal of Medicine*, vol. 330, no. 4, pp. 235–241, January 1994.