

SOLUÇÃO DO PROBLEMA INVERSO NA TOMOGRAFIA BIOELÉTRICA CARDÍACA

Ivanilson dos Santos Silva¹; Juan Alberto Leyva Cruz²

1. Bolsista FAPESB, Licenciando em Física, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: ivansilva_jesus@yahoo.com.br
2. Orientador, Departamento de Física, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: juan@uefs.br

PALAVRAS-CHAVE: Física Médica, Imagens Cardíacas, Coração, Problema Inverso.

INTRODUÇÃO

Apesar do facto de arritmias cardíacas continuarem sendo uma das principais causas de morte e de incapacidade, uma modalidade de imagem para a função cardíaca eléctrica ainda não foi desenvolvido para utilização clínica. Na atualidade as pessoas estão familiarizadas com métodos de imagem não invasivos, como tomografia computadorizada ou ressonância magnética. Estes métodos são concebidos para reconstruir a forma geométrica e localização dos órgãos internos (por exemplo, o coração, um tumor cerebral) sem a necessidade de penetração física para dentro do corpo através de um cateter ou procedimentos cirúrgicos. Eles também podem ser usados para fornecer informações de forma não invasiva da função particular de um órgão interno tal como uma perfusão de sangue regional ou atividade metabólica. Por exemplo, a MRI pode ser utilizada para adquirir imagens de uma região de perfusão sanguínea diminuída no cérebro, tal como ocorre durante o acidente vascular cerebral. Como dito acima, uma modalidade de imagem funcional para a atividade eléctrica do coração ainda não existe na prática clínica. O desenvolvimento deste tipo de ferramenta tem sido um grande impulso da pesquisa realizada na área da Física Médica experimental e nas técnicas de processamento digital de biosinais na comunidade científica internacional [2-3]. O método existente para o diagnóstico não invasivo de problemas do ritmo cardíaco é o eletrocardiograma convencional (ECG). ECG mede sinais eléctricos a partir de seis a 12 eléctrodos colocados na superfície do tórax. Estes sinais de medem a atividade bioelétrica do coração com eletrodos localizados na superfície do corpo. A metodologia de ECG tradicional é muito limitada na resolução, pois ela mede o biopotencial na superfície do corpo eléctrico em apenas seis ou doze pontos, deixando de fora uma informação muito importante. Os avanços na eletrônica e computadores tornaram possível a construção de uma bioinstrumentação capaz de cobrir a superfície do tórax com centenas de eletrodos possibilitando a medida dos ECG em quase todos os pontos da superfície do tórax. Hoje esta abordagem é chamada de mapeamento de potenciais bioelétricos medidos na superfície do tórax (MPST). Normalmente são utilizados na ordem de 250 eletrodos de superfície corporal incorporados em um colete que facilita a aplicação rápida e conveniente.

Recentemente Intini *et al.*, 2009, publicaram a primeira aplicação clínica desta técnica de imagens eletrocardiográficas, para a visualização não-invasiva de arritmias cardíacas, num atleta com taquicardia ventricular focal (VT). Usando o mapa reconstruído da sequência da corrente de ativação epicárdica durante um complexo ventricular QRS a partir dos mapas de biopotenciais medidos na superfície do corpo por 224 eletrodos. Segundo os autores os resultados obtidos estavam em correlação com os mapas obtidos usando técnicas padrão. Eles concluíram que a técnica de imageamento dos MPST permite guiar o diagnóstico e a terapia de uma arritmia cardíaca clínica. As imagens obtidas pelo registro dos MPST fornece o conjunto completo de dados de ECG da superfície do torax. A partir desta informação experimental, o cardiologista pode assim inferir a atividade bioelétrica no coração e chegar a uma decisão quanto ao diagnóstico e tratamento de uma doença cardíaca.

O fato de obter as informações do coração a partir de informações medido na superfície do corpo, implica na solução de um problema inverso. Tal processo é difícil, envolve uma quantidade razoável de "informações a priori" e é propenso a erros. Por exemplo, é impossível relacionar a informação medida na superfície do corpo com um local específico no interior do coração, uma vez que o potencial eléctrico em qualquer ponto da superfície corporal reflecte a actividade eléctrica integrada de todo o coração. É evidente, portanto, aprimorar os métodos matemáticos de reconstrução de imagens para resolver e validar esta nova técnica.

Similar ao conceito de tomografia computadorizada ou ressonância magnética, imagem eletrocardiográfica, usa métodos matemáticos para reconstruir de forma não invasiva a atividade elétrica do coração do total da superfície corporal ECG. O resultado é uma aproximação das medições elétricas que teria sido obtidos por electrodos em contacto directo com o coração, mas sem a necessidade de se aproximar do coração fisicamente. Recentemente, foram medidos com 400 bioeletrodos o MPST de cachorros e ao mesmo tempo usando 200 eletrodos na superfície do coração dos mesmos foi medida a atividade bioelétrica do coração destes animais. Usando os dados dos MPST foi reconstruída a atividade bioelétrica no coração dos animais, que comparado com os dados experimentais obteve um sucesso com uma precisão de 8 mm ou melhor [5].

METODOLOGIA

Problemas bioelétricos diretos e inversos

O primeiro pesquisador a definir o problema inverso (PI) desde o ponto de vista físico foi um professor russo *Oleg Mikailivitch Alifanov*, e definiu a solução do mesmo como: A melhor solução de um problema inverso implica a determinação de causas desconhecidas com base na observação dos seus efeitos. Isto está em contraste com o problema direto (PBD), cuja solução envolve encontrar efeitos com base em uma descrição completa de suas causas. A resolução do Problema Bioelétrico Direto (PBD) tem como requisitos a obtenção dos ECG via experimental ou simulado, utilizando um modelo computacional do torso de um paciente com todas as regiões que o constituir e com suas respectivas condutividades e potenciais elétricos. A relevância do PBD esta fundamentada no estudo da heterogeneidade do ECG, sendo sua importância relevante apenas para estudos acadêmicos, uma vez que não possui finalidades clínicas, ou seja, na resolução de problemas da saúde. No entanto, Problema Bioelétrico Inverso (PBI) que tem com finalidade detecta as fontes bioelétricas que deram origem das atividades elétricas anormais que foram retratados pelos ECG. Visto isto, PBI possui uma grande importância na pratica clínica e no estudo das diversas anomalias que afetam o coração. Porém, resolver o PBI de forma cada vez mais próxima do real, requer muito esforço em pesquisa, devido a sua grande complexidade na modelagem do volume condutor (*fantoma digital*), e na quantidade de parâmetros do sistema físico que podem ser considerados para sua resolução e também na formulação das equações que serão resolvidas e otimizadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Sempre que se pensa em escrever um software o primeiro que o programador faz é analisar os requisitos funcionais para o sistema, ou seja, quais as competências que sistema ira abordar e ao mesmo tempo quais os fundamentos necessários para o usuário utilizar a ferramenta. O algoritmo lógico do funcionamento da ferramenta computacional intitulada, Sistema de Imagens em Eletrocardiografia (siECG), programada usando o MATLAB, o qual é uma linguagem de Programação de alto nível, da empresa *Mathworks*. Podemos dizer que o **siECG** é composto por três partes fundamentais, ou falando em termos de programação, dois objetos gráficos chamados de painéis, um que trata das malhas dos sinais do ECG importados, o problema bioelétrico direto (PBD) e o outro do problema bioelétrico inverso (PBI) que consecutivamente resulta na visualização das imagens dos sítios de ativação no interior do coração.

A ferramenta computacional pode ser dividida em dois painéis principais, um para o PBD e outro para o PBI. Na parte superior do painel do PBD observamos a existência de três botões, o da *geometria*, o da *visualização das malhas* e o da *superfície*. Cada um destes botões são objetos gráficos aos quais lhe são associados campos, que ao serem controlados via código fonte em formato de *scripts*, é possível realizar várias tarefas ou funções. Uma das propriedades mais importante destes objetos é precisamente o campo *callback*, o qual permite

executar um grupo de código funcional representado por um nome, ao ser chamado ou invocado pelo seu nome, desde o corpo do programa principal.

O foco desde trabalho é construir um aplicativo que permita visualizar e processar imagens não invasivas da atividade elétrica cardíaca. Principalmente a imagem dos potenciais bioelétricos medidos na superfície do torso e a imagem da distribuição da densidade de corrente elétrica no coração, dentro do miocárdio. Para obter acesso a estas estruturas foram utilizadas imagens de ressonância magnética nuclear (RMN) em formato DICOM e utilizando o software Amírav4.1 (Mercury Computer Systems, Chelmsford, MA), as mesmas foram segmentadas e extraídas as geometrias das regiões de interesse que inicialmente foram o torso, os pulmões e o coração. Estas regiões foram compostas de as coordenadas de superfícies fechadas (VER) e tripletos de triângulos que formaram ditas superfícies. Ditas superfícies ficaram desta forma discretizada em elementos finitos de superfícies triangulares independentes. Os valores dos potenciais bioelétricos utilizados foram reais, medidos experimentalmente em uma configuração standard chamada de DALHOUISE, a qual corresponde a uma configuração de 123 derivações ou elétrodos, que depois foi interpolado para 350 sinais, e assim foi constituído o conjunto de sinais na superfície do torso, o os mapas de potenciais na superfície do torso. A solução do problema bioelétrico é justamente o conjunto ou mapas de potenciais elétricos na superfície do torso, e ela é visualizada ao clicar no botão malha e superfície.

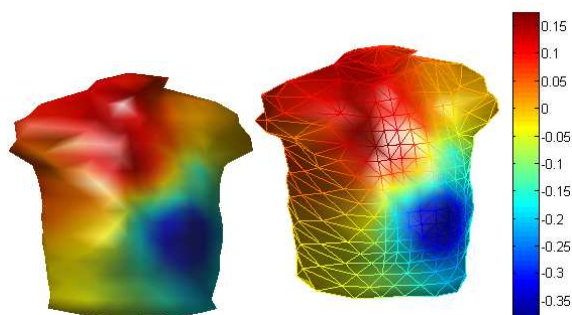


Figura 1: Visualização dos Mapas de Potenciais em forma Superfície sólida e Malha sobre o torso do paciente. Os valores da tensão elétrica estão em mV.

Na Fig. 1 é mostrado o resultado principal deste trabalho, as soluções dos PBD e do PBI. A primeira é ilustrada no torso em forma de malha, e a barra deslizante vertical controla o tempo de duração dos ECG, neste caso estamos observando o conjunto de potenciais bioelétricos no instante de tempo de 800 ms. Já a solução do problema inverso foi calculada para um só instante de tempo, e ilustrada ao clicar no botão Deconvolução. Podemos ver com clareza a distribuição de corrente de ativação dos biopotenciais na superfície do miocárdio. Encontra-se em fase terminação o código que permite calcular o problema inverso para todos os instantes de tempo.

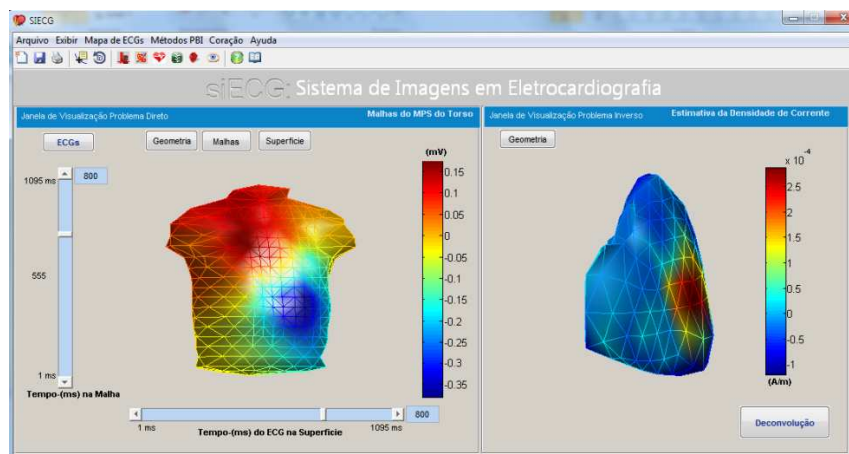


Figura 2: Visualização da solução do PBD e do PBI ao mesmo tempo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS:

Foi construída uma ferramenta computacional chamada de Sistema de Imagens em Eletrocardiografia, **siECG**, a qual visualiza as soluções dos PBD e PBI, além de analisar sinais simples, de forma independente e expandido. Foi demonstrada a funcionalidade do **siECG** utilizando dados reais de um paciente, calculando e mostrando a geometria do torso e do coração e os resultados dos PBD e PBI. O sistema encontra-se em pleno funcionamento no LINFIS.

REFERÊNCIAS

- [1] Jaakko Malmivuo, Robert Plonsey. 1995. **Bioelectromagnetism - Principles and Applications of Bioelectric and Biomagnetic Fields**, Oxford University Press, New York,
- [2] Bin He. **Imaging and Visualization of 3-D Cardiac Electric Activity**. IEEE TRANSACTIONS ON INFORMATION TECHNOLOGY IN BIOMEDICINE, VOL. 5, NO. 3, SEPTEMBER 2001.
- [3] Intini A, Goldstein RN, Jia P, Ramanathan C, Ryu K, Giannattasio B, Gilkeson R, Stambler BS, Brugada P, Stevenson WG, Rudy Y, Waldo AL. Electrocardiographic imaging (ECGI), a novel diagnostic modality used for mapping of focal left ventricular tachycardia in a young athlete. *Heart Rhythm*. 2005 Nov;2(11):1250-2.
- [4] Charulatha Ramanathan, Raja N Ghanem, Ping Jia, Kyungmoo Ryu, Yoram Rudy. Noninvasive electrocardiographic imaging for cardiac electrophysiology and arrhythmia. *Nature Medicine*. 10, 422-428 (14 March 2004)
- [5]- <http://rudylab.wustl.edu/overview/index.htm>.