REPRODUÇÃO DE SINAIS DE ELETROCARDIOGRAMAS

Renata Nadal Bayer (PIBIC/UEPG), Patricio Cardoso Dias dos Reis, Antonio Marcos Batista (Orientador), e-mail: antoniomarcosbatista@gmail.com

Universidade Estadual de Ponta Grossa/Departamento de Matemática e Estatística.

Física / Física Geral

Palavras-Chave: *eletrocardiograma, coração, tacograma.*

Resumo

O coração bombeia sangue por meio de ciclos de sístole e diástole, funcionando como duas bombas em série. A variabilidade dos batimentos cardíacos apresenta determinismo, permitindo a aplicação de modelos matemáticos não lineares. Com base em três equações diferenciais acopladas, foram simulados sinais de ECG representando diferentes quadros clínicos, com os respectivos parâmetros apresentados.

Introdução

O coração atua como bomba dupla, sustentando as circulações pulmonar e sistêmica por meio da atividade elétrica iniciada no nó sinoatrial e conduzida até os ventrículos (Constantine et al., 2022). O eletrocardiograma (ECG), exame de baixo custo e não invasivo, registra essa atividade elétrica e é amplamente utilizado na avaliação cardiovascular (Lima et al., 2021). O sinal apresenta ondas típicas: onda P, correspondente à despolarização atrial (Feldman et al., 2004); complexo QRS, que reflete a despolarização ventricular (Samesima et al., 2022); e onda T, relacionada à repolarização ventricular. Em indivíduos saudáveis, a frequência cardíaca situa-se entre 60 e 72 bpm (Samesima et al., 2022). Para descrever essa dinâmica, destacam-se modelos matemáticos como o de McSharry, composto por três equações diferenciais acopladas (McSharry et al., 2003).

Materiais e Métodos

O modelo de McSharry (McSarry et al., 2003) foi utilizado para gerar sinais de ECG a partir da série temporal dos batimentos cardíacos, integrados pelo método de Runge-Kutta de quarta ordem. A frequência cardíaca foi fixada em 60 bpm (Feldman et al., 2004), e os parâmetros ajustados para compatibilizar os sinais com ECGs de pacientes reais. Para validação, os resultados foram comparados com registros da SOCERJ, incluindo ruído e termo senoidal para aproximar as variações fisiológicas descritas na literatura.

Resultados e Discussão

A análise da variabilidade da frequência cardíaca, obtida pelo tacograma RR e pelo diagrama de Poincaré, permite avaliar índices de curto e longo prazo (SD1 e SD2) (Dos Reis et al., 2024; Golinska, 2013; Roy; Ghatak, 2013). O modelo matemático de McSharry et al. (2003), baseado em equações diferenciais, reproduz sinais realistas de ECG e foi modificado neste estudo pela adição de ruído e termo senoidal, resolvidos pelo método de Euler-Maruyama (Maruyama, 1955). Essa adaptação possibilitou simular tanto padrões fisiológicos quanto sinais característicos de diferentes condições clínicas, como bloqueio trifascicular (Veloso; Ginefra, 2005), taquicardia atrial em insuficiência cardíaca infantil (Christiani; Barbosa, 2005) e alterações isquêmicas do segmento ST.

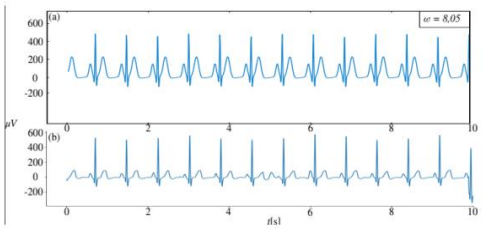


Figura 1: (a) ECG de um quadro clínico real, de um adulto saudável e (b) ECG gerado pelo modelo.

Conclusão ou Conclusões

O modelo de McSharry reproduz sinais de ECG realistas e, com ruído e termos senoidais, representa padrões fisiológicos e patológicos, incluindo arritmias. Os resultados destacam a importância de modelos dinâmicos e simulações computacionais no estudo da atividade cardíaca e no apoio ao diagnóstico cardiovascular.

Agradecimentos

Agradeço aos meus orientadores, Antonio Marcos Batista e Patrício Dias, e à Universidade Estadual de Ponta Grossa pelo incentivo e bolsa concedida.

CONSTANTINE, A.; DIMOPOULOS, K. Physiology of the normal heart. *Medicine*, v. 50, 2022.
DOS REIS, Patrício D. C. et al. **Modelo matemático para a reprodução de sinais de ECG de quadros clínicos reais.** *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 46, e20230367, 2024.
FELDMAN, J.; GOLDWASSER, G. P. Revista da SOCERJ, v. 17, p. 251, 2004.
GOLINSKA, K. A. Studies in Logic, Grammar and Rhetoric, v. 35, p. 117, 2013.
LIMA, E. M. **Deep neural network-estimated electrocardiograph age as a mortality predictor**. Nature Communications, v. 12, 2021.
MARUYAMA, G. Rendiconti del Circolo Matematico di Palermo, v. 4, p. 48, 1955.
McSHARRY, P. E.; CLIFFORD, G. D.; TARASSENKO, L.; SMITH, L. A. *IEEE* Transactions on Biomedical Engineering, v. 50, p. 3, 2003.
ROY, B.; GHATAK, S. Arquivos Brasileiros de Cardiologia, v. 101, 2013.
SAMESIMA, N. et al. **Diretriz da Sociedade Brasileira de Cardiologia sobre a Análise e Emissão de Laudos Eletrocardiográficos – 2022**. Arquivos Brasileiros de Cardiologia, v. 119, 2022.
VELOSO, H. H.; GINEFRA, P. Revista da SOCERJ, v. 18, p. 569, 2005.