

Estimação de Ordem para Modelagem Auto-regressiva no EEG Neonatal

José R. Bokehi¹; Carlo E. Teatini¹; Fabrício Nicolato¹; David M. Simpson²; Antonio F.C. Infantosi²

¹ Depto. de Engenharia Biomédica - FUNREI

² Programa de Eng. Biomédica - COPPE/UFRJ

Cx. Postal: 68510 - CEP: 21945-970 - Rio de Janeiro - RJ

e-mail: jrphael@serv.peb.ufrj.br

Resumo - A estimação espectral auto-regressiva tem se mostrado uma ferramenta útil na análise do sinal EEG, contudo, é necessário calcular-se a ordem do modelo. Neste trabalho, critérios objetivos para seleção da ordem foram aplicados ao EEG neonatal em diferentes estados do ciclo sono-vigília. A ordem ótima mediana encontrase geralmente na faixa entre 5 e 8 (frequência de amostragem de 128 Hz e trechos EEG de 1 s), e média próxima de 7 para os três padrões de sono-vigília.

Abstract - Autoregressive spectral estimation has proven to be a useful tool in the analysis of the EEG signal, but it requires the choice of model order. In the present work, objective criteria for model order selection were applied to the neonatal EEG in different phases of sleep-wakefulness. The median order was generally found to lie between 5 and 8 (at 128Hz sampling rate, 1 second windows) with the mean near 7, for the three sleep-wakefulness patterns studied.

Introdução

A análise espectral tem se mostrado ferramenta útil na análise quantitativa do EEG neonatal¹. Espectros de potência podem ser obtidos a partir da Transformada Rápida de Fourier (FFT). Alternativamente, a modelagem auto-regressiva (AR) apresenta maior resolução espectral para trechos de curta duração, aspecto relevante no estudo da dinâmica do EEG².

Uma das limitações na utilização da modelagem AR decorre da necessidade da determinação da ordem do modelo. Se por um lado, ordens altas podem provocar o aparecimento de picos espúrios no espectro, ordens baixas podem implicar perda de detalhes espectrais². O Critério de Informação de Akaike (AIC) e Erro Final de Predição (FPE), podem ser utilizados para seleção da ordem^{3,4}. Jansen et alii⁵ usaram a ordem 10 para o EEG de indivíduos adultos normais (frequência de amostragem de 64 Hz), enquanto que Crowell et alii⁶ utilizaram a ordem 6 para o EEG neonatal (frequência de amostragem de 30 Hz). A investigação da ordem AR ótima para as fases do ciclo sono-vigília do EEG neonatal é o objetivo deste trabalho.

Materiais e Métodos

Dois canais EEG (C4-O2, C3-O1) de 8 neonatos a termo, com até 3 dias de vida, considerados normais, foram registrados durante sono espontâneo⁷. Para cada criança foram selecionados segmentos de sinal de 24 a 297 segundos de duração, amostrado a 128 Hz e livre de artefatos. Tais segmentos referem-se aos estados de vigília (padrão Voltagem Baixa, Irregular -

LVI), sono quieto (padrão Voltagem Alta Lenta - HVS) e sono ativo (padrão Misto).

Para diferentes padrões de ciclo sono-vigília de cada neonato foi determinada a ordem ótima de trechos consecutivos de 1s de duração. Para comparação dos resultados entre padrões e neonatos, o teste não-paramétrico Kruskal-Wallis foi utilizado.

Para verificar o desempenho dos critérios em sinais auto-regressivos com características de um EEG, foram simulados 1000 trechos de sinais de 1s, a partir de parâmetros AR (ordem 6) estimados de trechos de 1s de EEG neonatal. Para cada trecho de sinal foi então calculada a ordem ótima segundo critérios FPE e AIC. Este procedimento foi repetido para 12 trechos de EEG escolhidos aleatoriamente entre os padrões de sono/vigília.

Resultados e Discussão

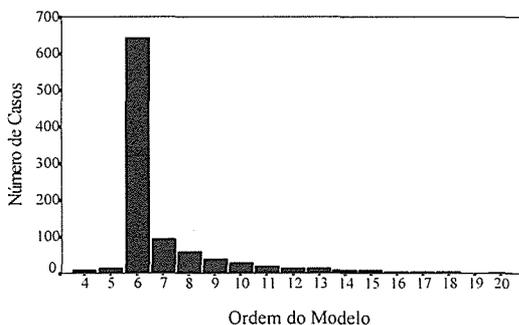
A mediana das distribuições de ordem ótima (critério FPE) para cada um dos três padrões de EEG se encontram na mesma faixa de 5 a 8, com valores médios de cada indivíduo variando entre 6 e 9. O teste Kruskal-Wallis indica diferença significativa ($p < 1\%$) entre os padrões e entre os neonatos. Entretanto, as médias, medianas e desvios-padrão, apresentam pequena variabilidade entre os estados de sono-vigília (tabela 1).

Tabela 1 - Parâmetros estatísticos da ordem ótima de padrões sono-vigília do EEG de neonatos

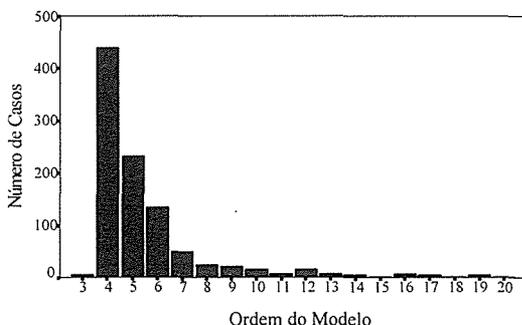
	Média	Mediana	Desvio-Padrão
LVI	7,266	6,000	3,051
HVS	7,729	6,000	3,453
Misto	7,546	6,000	3,538

Como esperado, a ordem ótima obtida pelo critério AIC é idêntica, na quase totalidade dos casos, àquela determinada por FPE, para sinais simulados ou EEG de neonatos⁴. Em testes adicionais observou-se que a ordem ótima é independente entre trechos consecutivos ($p < 1\%$) e também, não correlacionada ($p > 5\%$) com a potência (em 14 dos 18 trechos), e a frequência média (em 17 dos 18 trechos) de EEG.

A figura 1 mostra histogramas da ordem indicada pelo critério FPE, em dois ensaios com 1000 trechos de EEG simulado (AR, ordem 6, parâmetros estimados a partir de trechos de EEG neonatal). Em ambos os casos pode-se observar ampla variabilidade nos resultados (até nestes sinais de ordem fixa), sendo os valores modais seis e quatro, respectivamente. Tais valores são iguais às ordens indicadas pelos critérios AIC e FPE para os trechos de EEG, nos quais se basearam as simulações da figura 1. Para a figura 1b, a ordem quatro poderia ser considerada a correta, apesar do modelo de ordem seis ter sido empregado de fato. Assim, a ordem indicada pelos critérios FPE e AIC reflete também os próprios parâmetros AR dos sinais.



(a)



(b)

Figura 1 - Histogramas com moda 6 (a) e 4 (b)

Conclusão

Na prática, não é possível alterar a ordem da modelagem AR do EEG, conforme a fase do ciclo sono-vigília, o neonato ou o trecho em estudo, devendo-se escolher uma ordem fixa. Os resultados sugerem que, embora os critérios FPE e AIC não permitam selecionar uma única ordem ótima para o EEG neonatal, ordens entre 5 e 8 (para sinal amostrado em 128Hz) parecem ser adequadas, sendo ordens mais altas dentro desta faixa recomendáveis devido a melhor resolução espectral assim obtida.

Referências

- STOCKARD-POPE, J.E.; WERNER, S.S.; BICKFORD, R.G. e CURRAN, J.S. *Atlas of Neonatal Electroencephalography*. Second Edition, Raven Press, New York, 1992.
- BOKEHI, J.R.; SIMPSON, D.M. e INFANTOSI, A.F.C. Análise espectral de sinais EEG utilizando modelagem auto-regressiva. *Revista Brasileira de Engenharia-Caderno de Engenharia Biomédica*, v. 9, n. 2, p. 5-22, 1993.
- MARPLE, S.L., Jr., *Digital spectral analysis with applications*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey-USA, 1987.
- KAY, S.M. *Modern spectral estimation: theory and application*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey-USA, 1988.
- JANSEN, B.H.; BOURNE, J.R. e WARD, J.W. Autoregressive estimation of short segment spectra for computerized EEG analysis. *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, v. BME-28, n. 9, p. 630-638, 1981.
- CROWELL, D.H.; JONES, R.H.; KAPUNIAI, L.E. e LEUNG, P., Autoregressive representation of infant EEG for the purpose of hypothesis testing and classification, *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.*, v. 43, p. 317-324, 1977
- GALHANONE, P.R., *Análise multivariada aplicada a sinais fisiológicos neonatais: estudo das fases de sono-vigília*. Tese Mestrado, Programa de Engenharia Biomédica-COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro-Brasil, 1995.

Agradecimentos

Ao CNPq pelo apoio financeiro.