

Eletrocardiograma de Alta Resolução: a chave para a análise do método

*Eduardo Corrêa Barbosa, Paulo Roberto Benchimol Barbosa, Alfredo de Souza Bomfim,
Sílvia Helena Cardoso Boghossian, Ricardo Luiz Ribeiro, Henrique H Veloso e Paulo Ginefra*

Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Palavras-chave: Eletrocardiograma, Eletrocardiograma de alta resolução, Potenciais tardios ventriculares

Resumo

O eletrocardiograma de alta resolução é um método diagnóstico não-invasivo que permite amplificar, promediar e identificar sinais de alta frequência e baixa amplitude, localizados dentro e após o final do QRS. Estes sinais anormais correspondem a zonas do miocárdio que se ativam de forma lenta e fragmentada, expressando a existência de alterações estruturais que servem de substrato arritmogênico. Estes micropotenciais são denominados de potenciais tardios ventriculares, sendo considerados atualmente um dos principais marcadores de eventos arrítmicos graves em determinadas cardiopatias, em especial, após infarto do miocárdio. Todavia, a sensibilidade e a especificidade do método variam consideravelmente devido a controvérsias na interpretação dos parâmetros usualmente analisados. O objetivo deste artigo é, através de revisão da literatura e experiência própria, fornecer subsídios para uma análise mais adequada do método.

Introdução

O eletrocardiograma de alta resolução (ECGAR) é um método cuja principal aplicação clínica é a identificação de determinados grupos populacionais propensos a desenvolverem arritmias ventriculares fatais. O fundamento do método baseia-se na identificação de sinais elétricos de baixa amplitude, alta frequência e usualmente tardios em

relação ao QRS (denominados de potenciais tardios) e que, portanto, correspondem a áreas de ativação ventricular lenta e fragmentada que podem servir de substratos para a gênese de arritmias por reentrada. Nesta revisão será discutida a interpretação do método naquelas situações em que seu emprego já é definitivo em decorrência do suporte convincente de dados da literatura.

Fica fora do objetivo desse trabalho, a análise do método quando seu uso é apenas promissor ou quando não existem dados suficientes que justifiquem a sua aplicação em larga escala. Já existe consenso¹ para a utilização do ECGAR em pacientes com doença cardíaca isquêmica, em especial, na estratificação do risco de desenvolvimento de taquiarritmias ventriculares sustentadas em pacientes com infarto do miocárdio recente², e na elucidação da síncope inexplicada em indivíduos com cardiopatia isquêmica³.

Todavia, ainda que vários estudos registrem, de modo uniforme, valores preditivos negativos acima de 90%^{4,7}, ocorre uma ampla variação de resultados referentes ao valor preditivo positivo (VPP) do método para futuras ocorrências de eventos arrítmicos graves. Após infarto do miocárdio, taxas entre 8% e 48% de VPP já foram computadas^{6,7}. Da mesma forma, existe discordância na incidência de potenciais tardios no ECGAR em pacientes com infarto do miocárdio, com índices variando entre 14% e 29%, assim como em indivíduos normais a incidência destes potenciais varia entre zero e 10%¹.

Os estudos na década de 90 tiveram a preocupação sistemática de testar a acurácia do ECGAR em prever o risco de arritmias graves em amostras

populacionais com características clínicas e demográficas semelhantes, tornando mais provável que diferenças metodológicas do ECGAR tenham contribuído de forma mais consistente para as discrepâncias de resultados. Ainda, sob este ponto de vista, estando razoavelmente uniformizados em diferentes equipamentos os algoritmos computadorizados, as técnicas de atenuação do ruído e promediação e o processo de filtragem do sinal elétrico, é plausível reconhecer que existam importantes diferenças na acurácia diagnóstica dos diversos parâmetros que o ECGAR pode fornecer com fins de prever o desenvolvimento de arritmias ventriculares.

O consenso sobre ECGAR do *American College of Cardiology*¹ assume a utilização de três parâmetros no domínio do tempo para o diagnóstico da presença de potenciais tardios ventriculares, todos eles utilizados com filtro bidirecional e corte passa-alta de 40Hz: 1) duração do vetor magnitude (valor anormal >114ms); 2) a raiz quadrática média do sinal (RMS) nos últimos 40ms (RMS40) do QRS (valor anormal <20mV); e 3) duração dos sinais menores que 40mV (LAS) no final do QRS (valor anormal >38ms). A presença de dois parâmetros anormais, em qualquer combinação, indica o diagnóstico de potenciais tardios. O estabelecimento destes critérios foi baseado em estudos que definiram limites de normalidade em grupos-controle de indivíduos normais que não são representativos da população de pacientes com doença coronariana, ou em estudos que avaliaram o valor preditivo do ECGAR em pacientes com espontânea ou induzida taquicardia ventricular, o que não representa necessariamente os mesmos padrões de substratos eletrofisiológicos presentes em períodos de um, dois ou mais anos após o infarto do miocárdio.

Alguns autores efetuaram análises críticas ou estudos prospectivos visando o aprimoramento do ECGAR na detecção de potenciais tardios com definição de parâmetros com melhor valor preditivo de arritmias ventriculares sustentadas. Desta forma, o ECGAR não deve ser um método de interpretação puramente quantitativa, ou seja, deve ser considerado um exame positivo para potenciais tardios, ou então, um exame negativo para potenciais tardios ventriculares. A análise dos parâmetros deve ser ponderada, buscando encontrar situações individuais em que se possa concluir, segundo os conhecimentos atuais, que existe uma alta ou baixa sensibilidade/especificidade para prever a evolução com arritmias fatais ou potencialmente fatais.

Nesse contexto, Nelson et al.⁸ publicaram interessante trabalho sobre o significado clínico do

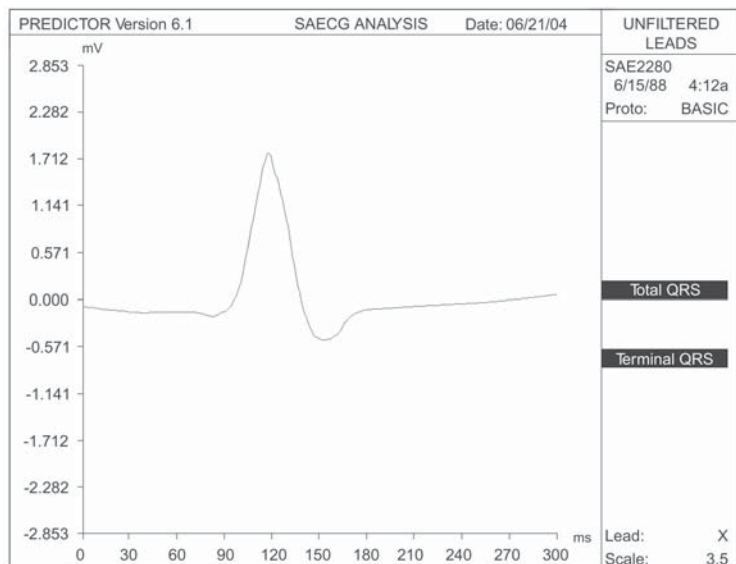
que eles nomearam como ECGAR “equivoco”, ou seja, exames com duração normal do vetor magnitude (VM) e tanto RMS40 como LAS anormais. Este tipo de resultado ocorreu em 15% de 491 pacientes que realizaram ECGAR, a maioria com cardiopatia isquêmica. A mortalidade total, em três anos de seguimento, foi de 5% para os indivíduos com ECGAR “equivoco”, não ocorrendo neste grupo mortes por arritmia. Já nos pacientes com RMS40 e LAS anormais e com duração do VM maior que 114ms, a mortalidade total foi de 19%, ocorrendo morte súbita em 10% dos casos. Os pacientes com ECGAR “equivoco” apresentaram menor grau de disfunção ventricular e muito melhor prognóstico.

El-Sherif et al.⁹, analisando o ECGAR dos pacientes que participaram do estudo CAST, encontraram na duração do QRS filtrado em filtro passa-alta de 40Hz, o melhor critério preditivo de eventos arrítmicos graves. Os valores de RMS40 e LAS não obtiveram diferenças estatisticamente significativas entre pacientes com e sem eventos arrítmicos.

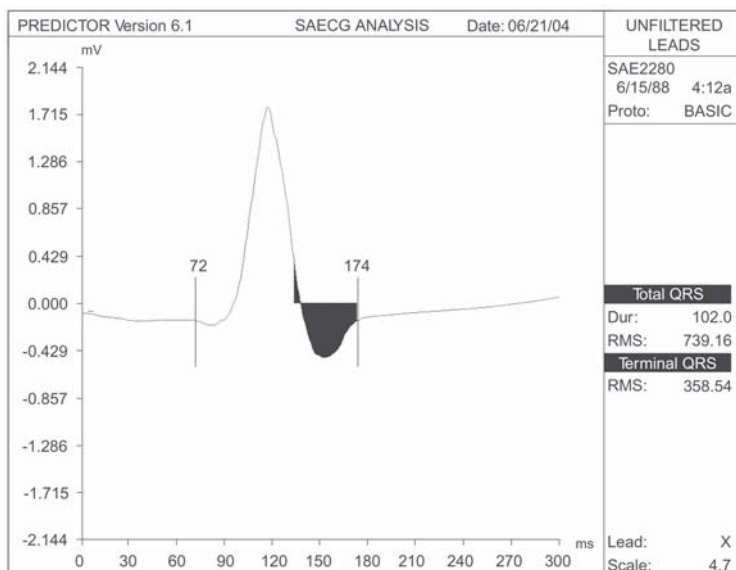
Lander et al.¹⁰ publicaram importante análise crítica do ECGAR com o objetivo de melhorar a identificação de potenciais tardios. Nesse estudo, a variável RMS40 foi considerada, de forma independente, como preditiva de eventos arrítmicos apenas quando menor que 4mV; acima deste valor não apresentou potência preditiva independente da duração do QRS filtrado. Os autores definiram quatro categorias de resultados para a identificação de pacientes sob alto risco de taquicardia ventricular, conforme o valor da duração do VM: 1) exame normal quando a duração for menor que 105ms; 2) exame normal limítrofe quando a duração estiver entre 105ms e 112ms; 3) exame anormal limítrofe quando estiver entre 113ms e 120ms e 4) exame anormal quando a duração for maior que 120ms. A duração do VM obteve melhor acurácia preditiva de arritmias do que os RMS40 (87,9% versus 71,2%). Esta diferença ocorreu principalmente pela menor especificidade do RMS40 (61,6% versus 94,5%).

Os autores ainda chamam atenção para discrepâncias entre valores da duração entre VM e as três derivações ortogonais filtradas. Se o valor da duração da derivação filtrada mais prolongada (X, Y ou Z) for igual ou maior que 60ms em relação à duração do VM, ou se a duração do VM for igual ou maior que 25ms em relação a uma derivação individual, é grande a possibilidade de erro devido a equívocos nas medidas ou algoritmo do computador; o prudente seria repetir o exame.

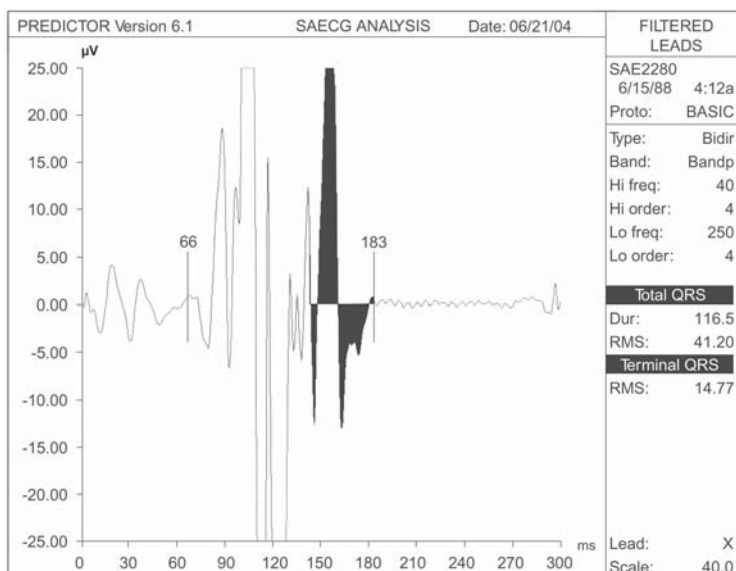
A presença de bloqueio dos ramos do feixe de His é uma condição conhecidamente limitadora do



A



B



C

emprego do ECGAR, porém mesmo graus parciais de distúrbios da condução intraventricular que prolongam o QRS no ECG convencional podem diminuir a acurácia diagnóstica do método. Onkin¹¹ demonstrou que a duração do QRS convencional maior que 92ms diminui significativamente a especificidade do ECGAR em prever arritmias. O autor propõe que, nesses casos, seja adotado um índice que meça a diferença entre a duração do QRS filtrado mais longo e a duração do QRS não-filtrado no ECG convencional. O valor absoluto da diferença maior que 25ms aumenta a especificidade em indivíduos normais de 78% para 87%.

A Figura 1 mostra o ECGAR de paciente com 44 anos, do sexo masculino, em investigação de taquicardia ventricular não-sustentada assintomática e ausência de cardiopatia estrutural detectável. O QRS não-filtrado em derivação ortogonal X mostra duração aumentada de 102ms por provável distúrbio de condução no sistema His-Purkinje (vide onda S alargada – Figuras 1A e 1B). A duração do QRS filtrado mais longo (derivação X – Figura 1C) excede em apenas 14,5ms o QRS não-filtrado, diminuindo a especificidade da variável duração no diagnóstico de potenciais tardios.

A reprodutibilidade do ECGAR tem se mostrada alta em ambos os domínios: tempo e frequência¹²; contudo, casos de não reprodução de resultados são observados e se devem a diferenças de metodologia. Quando se utiliza o mesmo equipamento, a baixa reprodutibilidade tem sido atribuída a diferentes níveis de ruído final. Goldberger¹³ demonstrou que quanto menor o ruído, maior a duração do VM, tendo esta variável distribuição normal com variância pequena para ruídos acima de 0,4mV, e ampla variância com ruído entre 0,2mV e 0,4mV. Portanto, ruídos muito baixos diminuem a reprodutibilidade do método. No trabalho de Lander¹⁰, a influência do ruído gerou amplas diferenças no parâmetro RMS40, mas não afetou de forma significativa as medidas da duração do VM. Portanto, ruídos muito baixos diminuem a

Figura 1

ECGAR em paciente com 44 anos, sexo masculino, portador de taquicardia ventricular não-sustentada e suspeita de cardiopatia isquêmica.

Em 1A e 1B, o QRS não-filtrado mostra, na derivação ortogonal X, onda S alargada por provável distúrbio de condução intraventricular. O QRS apresenta duração total aumentada com 102ms.

Em 1C, o QRS filtrado mais longo, também na derivação X, apresenta duração de 116,5ms excedendo em 14,5ms o QRS não-filtrado.

reprodutividade do método. Conjugando melhor aproveitamento da sensibilidade e da reprodutividade, aceitam-se como meta adequada ruídos finais entre 0,3mV e 0,4mV.

Outro importante dado a ser analisado no ECGAR é o tipo de filtro utilizado no sistema. A grande maioria dos trabalhos publicada usou o filtro bidirecional de Butterworth com quatro pólos, sendo este filtro recomendado pelo consenso do *American College of Cardiology*¹. No Brasil, alguns sistemas utilizam o filtro BiSpec®. Comparando os dois filtros, ainda que o valor dos parâmetros analisados seja semelhante na média, o desvio-padrão é alto.

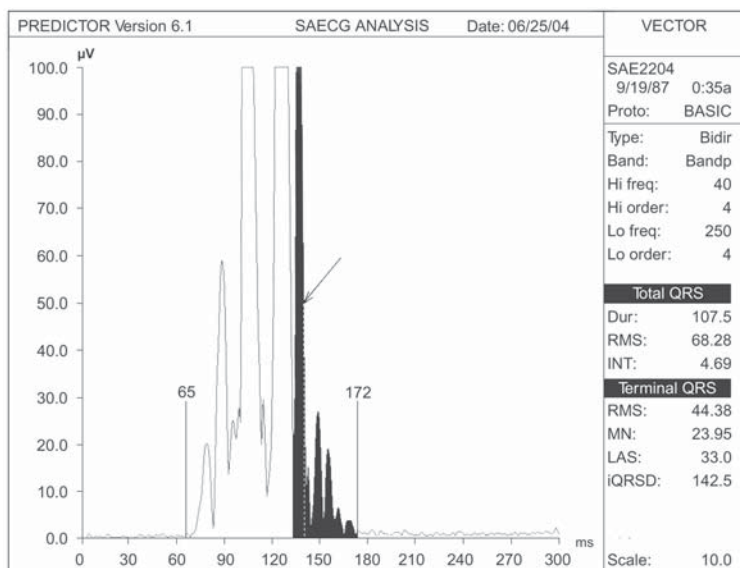
O filtro BiSpec® tem a propriedade de diminuir o RMS total do QRS em relação ao filtro bidirecional. Segundo Barbosa et al.¹⁴, o filtro BiSpec® apresentou em relação ao bidirecional, menor "odds ratio" (4,4 versus 23,4) para a identificação de pacientes sob alto risco de arritmias ventriculares graves. A especificidade foi semelhante entre os dois filtros, contudo, a discordância diagnóstica avaliada pelo índice kappa foi significativa, com $p=0,006$. Conclui o autor que o filtro BiSpec® não deve ser recomendado sob os limiares convencionais de normalidade utilizados para o filtro bidirecional, e que o algoritmo do filtro deve ser melhorado para obter aplicação clínica.

Na cardiopatia não-isquêmica, o valor do ECGAR em prever eventos arrítmicos é ainda controverso. Entre várias etiologias, seu uso é mais difundido na cardiomiopatia arritmogênica do ventrículo direito (displasia do VD). Nesta doença, o ECGAR tem dois objetivos não necessariamente relacionados: o primeiro é auxiliar no diagnóstico da própria cardiomiopatia, e o segundo é avaliar o risco de desenvolvimento de taquicardia ventricular ou morte súbita. Blomström-Lundqvist et al.¹⁵ analisaram a duração do VM >120ms, LAS >40ms e RMS <25mV, todos com filtro de corte passa-alta em 25Hz e encontraram sensibilidade para diagnóstico de displasia de VD em 81%, 75% e 75%, respectivamente.

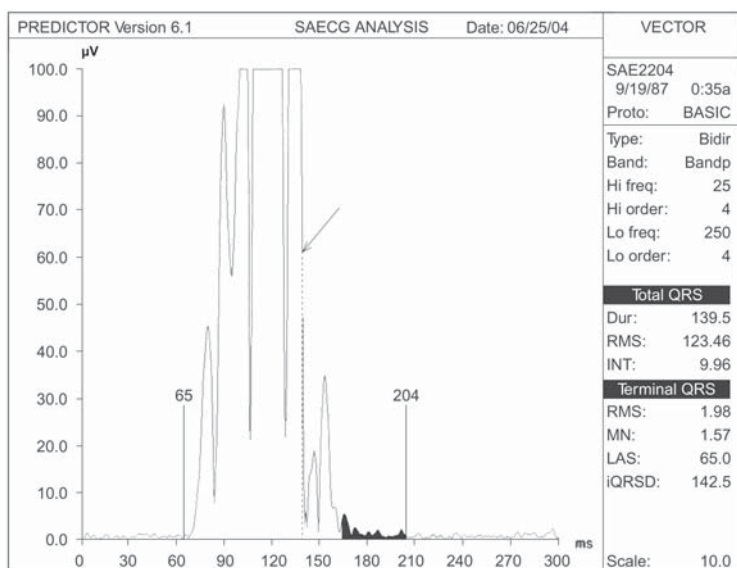
Kinoshita¹⁶ encontrou boa acurácia diagnóstica de displasia em todos os três parâmetros estudados: duração do VM, LAS e RMS, porém houve melhor sensibilidade para o diagnóstico com filtro de 25Hz em comparação ao de 40Hz (71% versus 64%). O autor define a duração do VM >120ms em filtro de 25Hz como o de melhor desempenho diagnóstico no domínio do tempo.

Por outro lado, quando o ECGAR é utilizado na displasia de VD para estratificar o risco de arritmias ventriculares sustentadas, resultado diferente tem sido encontrado em relação à importância dos parâmetros no domínio do tempo. Nava et al.¹⁷ estudaram 138 pacientes com displasia de VD, distribuídos em três grupos, conforme a extensão da doença segundo a dilatação do VD: leve (sem dilatação) moderada e grave. O ECGAR foi positivo para potenciais tardios em 32%, 78% e 94%, respectivamente. Cinquenta pacientes (36%) apresentaram taquicardia ventricular sustentada e seis desenvolveram fibrilação ventricular, sendo o ECGAR anormal em 72% e 71% dos casos, respectivamente. RMS e LAS, mas não a duração do QRS, identificaram os pacientes propensos ao desenvolvimento de taquicardia ventricular, sendo o parâmetro RMS em 25Hz o de melhor desempenho. A análise diagnóstica da displasia de VD pode ser melhorada acrescentando a análise no domínio da frequência. Na experiência do Serviço de Cardiologia do HUPE-UERJ, a avaliação da correlação espectral e a distribuição da frequência do sinal nos últimos 40ms do QRS tem auxiliado na acurácia diagnóstica, especialmente no critério especificidade.

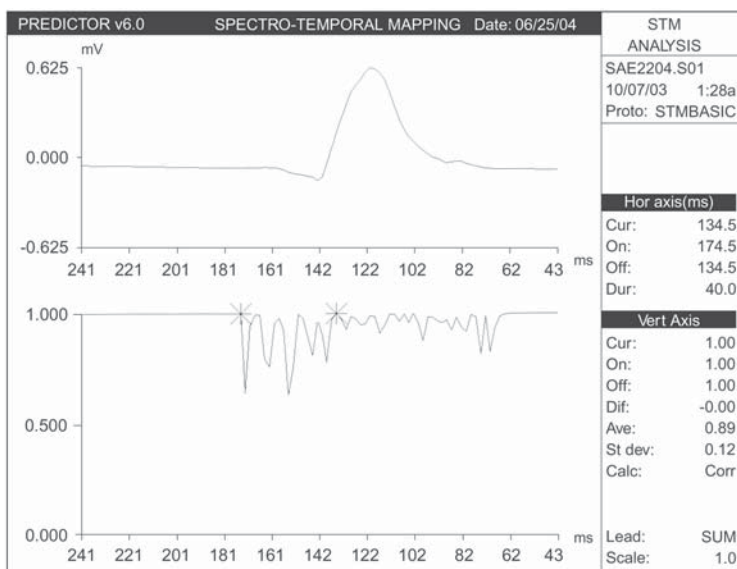
As Figuras 2 e 3 mostram dois casos avaliados no Serviço de Cardiologia do HUPE-UERJ: o primeiro (Figura 2) sendo paciente do sexo masculino, com 24 anos de idade e diagnóstico comprovado de displasia arritmogênica do VD e portador de cardioversor/desfibrilador implantável devido à taquicardia ventricular sustentada com síncope. O ECGAR no domínio do tempo com filtro bidirecional e corte passa-alta de 40Hz demonstrou ausência de potenciais tardios ventriculares (Figura 2A). No mesmo exame com filtro de 25Hz (Figura 2B), a duração do VM passa a ser 139ms, o RMS terminal de 1,98mV e LAS de 65ms. No domínio da frequência (Figura 2C), observa-se muito baixa correlação espectral intersegmentar nos últimos 40ms do QRS, denotando importante fragmentação da ativação elétrica ventricular nesta região. O segundo caso (Figura 3) refere-se a paciente com 19 anos de idade, do sexo feminino, que apresenta freqüentes extra-sístoles ventriculares do tipo "trato de saída do VD". O ECGAR com filtro BiSpec® (Figura 3A) mostra dois critérios para o diagnóstico de potenciais tardios: RMS40 de 15,7mV e LAS de 42,5ms. Análise com filtro bidirecional 25Hz (Figura 3B) revela os três parâmetros: duração, RMS e LAS normais. No domínio da frequência, a correlação espectral é normal ao longo de todo o QRS (Figura 3C).



A



B



C

Concluimos que o ECGAR é um método de interpretação qualitativa. Deve-se prestar atenção na duração do QRS não-filtrado, pois o QRS maior que 90ms diminui a especificidade da duração do VM. Casos em que apenas o RMS e LAS estejam alterados, torna-se necessária cautela na sua interpretação. Nestes casos, parece plausível observar os mesmos parâmetros em todos os níveis de banda passante: 25Hz, 40Hz e 80Hz, lembrando que o corte de 25Hz aumenta a especificidade e o de 80Hz a sensibilidade. A análise conjunta com o domínio da frequência permite aumentar a acurácia total do método. É interessante, a exemplo de outros métodos complementares, incluir no laudo final termos que definam o resultado em relação ao potencial de sensibilidade e especificidade dos valores encontrados.

Figura 2

ECGAR de paciente com 24 anos, sexo masculino, diagnóstico comprovado de displasia arritmogênica do ventrículo direito e portador de cardioversor/desfibrilador implantável.

Em 2A, análise no domínio do tempo com filtro bidirecional de 40Hz mostra duração do VM (107,5ms), RMS40 (44,38mV) e LAS (33ms) negativos para potenciais tardios ventriculares.

Em 2B, filtro com corte de 25HZ torna as três variáveis anormais: VM com duração de 139,5ms, RMS25 com 1,98mV e LAS com 65ms.

Em 2C, a correlação espectral intersegmentar apresenta baixo valor de média (0,89) e alto valor de desvio-padrão (0,12) na porção final do QRS, denotando fragmentação da ativação ventricular.

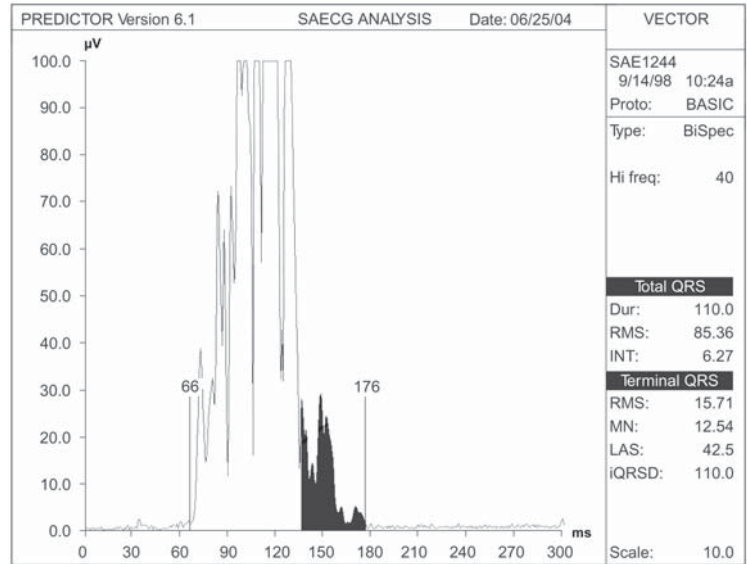
Figura 3

ECGAR de paciente com 19 anos, sexo feminino, apresentando freqüentes extra-sístoles ventriculares, com origem no trato de saída do ventrículo direito e sendo normais tanto o ecocardiograma como a ressonância magnética do coração.

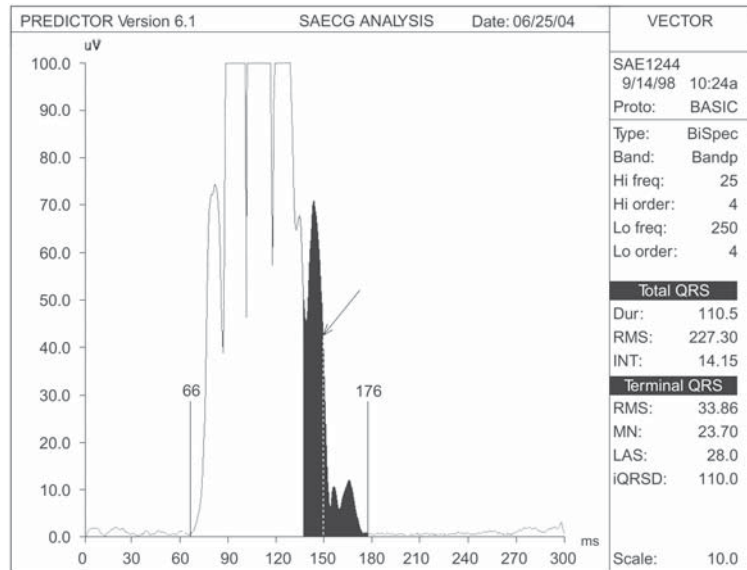
Em 3A, utilizando-se filtro BiSpec® observa-se anormalidades do RMS (15,7mV) e do LAS (42,5ms).

Em 3B, com filtro bidirecional 25HZ, os três parâmetros: duração do VM, RMS25 e LAS são normais, com respectivos valores de 110,5ms, 33,8mV e 28ms.

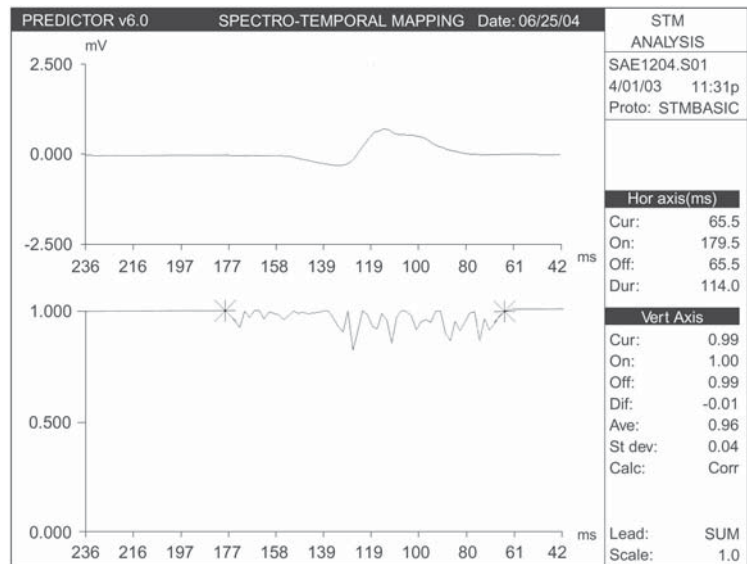
Em 3C, correlação intersegmentar no domínio da freqüência revela valores normais (média de 0,96 e desvio-padrão de 0,04) ao longo de toda a ativação ventricular.



A



B



C

Referências bibliográficas

1. Cain ME, Anderson JL, Arnsdorf MF, Mason JW, Scheinman MM, Waldo AL. Signal-Averaged Electrocardiography. ACC Expert Consensus Document. *J Am Coll Cardiol* 1996;27:238-49.
2. Bailey JJ, Berson AS, Handelsman H, Hodges M. Utility of current risk stratification tests for predicting major arrhythmic events after myocardial infarction. *J Am Coll Cardiol* 2001;38:1902-911.
3. Kuchar DL, Thorburn CW, Sammel NL. Signal-averaged electrocardiogram for evaluation of recurrent syncope. *Am J Cardiol* 1986;58:949-53.
4. Breithardt G, Schwartzmaier J, Borggreffe M, Haerten K, Seipel L. Prognostic significance of late ventricular potentials after acute myocardial infarction. *Eur Heart J* 1983;4:487-95.
5. Steinberg JS, Sciacca RR, Bigger Jr JT, Fleiss JL. Predicting arrhythmics events after acute myocardial infarction using the signal-averaged electrocardiogram. *Am J Cardiol* 1992;69:13-21.
6. Verzoni A, Romano S, Pozzoni L, Tarricone D, Sangiorgio S, Croce L. Prognostic significance and evolution of late potentials in the first year after myocardial infarction: a prospective study. *PACE* 1989;12:41-51.
7. Rodriguez LM, Krijne R, van den Dool A, Brugada P, Smeets J, Wellens HJ. Time course and prognostic significance of serial signal-averaged electrocardiograms after a first acute myocardial infarction. *Am J Cardiol* 1990;66:1199-202.
8. Nelson S, Meier M, Mehdirad AA, Love CJ, Schaal SF. Clinical significance of an equivocal signal-averaged electrocardiogram. *Am J Cardiol* 1997;79:1541-543.
9. El-Sherif N, Denes P, Katz R, Capone R, Mitchell B, Carlson M, Reynolds-Haertle R. Definition of the best prediction criteria of the time domain signal-averaged electrocardiogram for serious arrhythmic events in the postinfarction period. *J Am Coll Cardiol* 1995;25:908-14.
10. Lander P, Berbari EJ, Rajagopalan CV, Vatterott P, Lazzara R. Critical analysis of the signal-averaged electrocardiogram: improved identification of late potentials. *Circulation* 1993;87:105-117.
11. Okin P, Stein K, Lippman N, Lerman BB, Kligfield P. Performance of the signal-averaged electrocardiogram: relation to baseline QRS duration. *Am Heart J* 1995;129:932-40.
12. Vazquez R, Caref EB, Torres F, Reina M, Ortega F, El-Sherif N. Short-term reproducibility of time domain, spectral temporal mapping, and spectral turbulence analysis of the signal-averaged electrocardiogram in normal subjects and patients with acute myocardial infarction. *Am Heart J* 1995;130:1011-1019.
13. Goldberger JJ, Challapalli S, Waligora M, Kadish AH, Johnson DA, Ahmed MH, et al. Uncertainty principle of signal-averaged electrocardiography. *Circulation* 2000;101:2909-915.
14. Barbosa PRB, Barbosa EC, Bomfim AS, Ginefra P, Nadal J. Clinical assessment of the effect of digital filtering on the detection of ventricular late potentials. *Braz J Med Biol Res* 2002;35:1285-292.
15. Blomström-Lundqvist C, Hirsch I, Olsson B, Edvardsson N. Quantitative analysis of the signal-averaged QRS in patients with arrhythmogenic right ventricular dysplasia. *Eur Heart J* 1988;9:301-312.
16. Kinoshita O, Fontaine G, Rosas F, Elias J, Iwa T, Tonet J, et al. Time-and frequency-domain analyses of the signal-averaged ECG in patients with arrhythmogenic right ventricular dysplasia. *Circulation* 1995;91:715-21.
17. Nava A, Folino AF, Bauce B, Turrini P, Buja GF, Daliento L, et al. Signal-averaged electrocardiogram in patients with arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy and ventricular arrhythmias. *Eur Heart J* 2000;21:58-65.