

Análise de Registros Eletrocardiográficos Associados ao Infarto Agudo do Miocárdio

Analysis of Electrocardiographic Recordings Associated with Acute Myocardial Infarction

Paulo Henrique Garcia Mansur¹, Lacordaire Kemel Pimenta Cury¹, João Batista Destro-Filho², Elmiro Santos Resende², José Paulo Breda Destro³, Luana Michelli de Oliveira², Diego Carvalho Gomes de Moraes², Geraldo Rubens Ramos de Freitas², Lucila Soares da Silva Rocha²
Centro de Ensino Superior de Catalão (Cesuc)¹, Universidade Federal de Uberlândia (UFU)² e CTAI/EAV/EIN-A³, Catalão, GO - Uberlândia, MG - São José dos Campos, SP

OBJETIVO

Avaliar correlações entre as variações do eletrocardiograma (ECG) e o infarto agudo do miocárdio.

MÉTODOS

Uso de *software* de baixo custo para digitalização de ECG impressos e/ou em formato “pdf”. Cálculo de área do segmento ST e das amplitudes dos pontos J e Y

RESULTADOS

A amplitude do ponto Y possui máxima correlação com a concentração da enzima troponina. O supradesnivelamento do segmento ST não se constitui bom indicador estatístico da gravidade do infarto. Existe uma forte correlação negativa entre a amplitude do ponto J e a quantidade de íons magnésio, mas nenhuma correlação estatística com os íons sódio ou cálcio. Os dois métodos de cálculo da área do segmento ST (contagem de *pixels* e interpolação) não mostraram diferenças significativas nos resultados.

CONCLUSÃO

O *software* utilizado mostrou-se viável do ponto de vista econômico e funcional. A amplitude do ponto Y é um marcador sensível à ocorrência do infarto, tendo cálculo mais simples e menos sujeito a erros do que o cálculo da área de supradesnivelamento do segmento ST.

PALAVRAS-CHAVE

Infarto agudo do miocárdio, telemedicina, eletrocardiograma.

OBJECTIVE

Evaluate correlations between variations in electrocardiogram (ECG) recordings and acute myocardial infarction.

METHODS

Use of a low-cost software to digitalize printed and/or “pdf” file format ECG recordings. Calculation of ST-segment area and amplitudes of the J and Y points.

RESULTS

The amplitude of the Y point holds maximum correlation with troponin concentration. ST-segment elevation is not a good statistical indicator of myocardial infarction severity. There is a strong negative correlation between the amplitude of the J point and the amount of magnesium ions, but no statistical correlation with sodium or calcium ions. Neither method for calculating the ST-segment area (pixel counts and interpolation) indicated any significant differences in the results.

CONCLUSION

The software used proved to be functional and cost-effective. Y point amplitude is a sensitive marker of myocardial infarction, and is also a calculation method both simpler to use and less subject to error than the calculation of the ST-segment elevation area.

KEY WORDS

Acute myocardial infarction, telemedicine, electrocardiogram.

O infarto agudo do miocárdio (IAM) é causado pela interrupção de fluxo sanguíneo nas artérias coronárias. O diagnóstico precoce é fator fundamental para a redução da mortalidade e das possíveis seqüelas para o paciente.

Um dos exames mais precisos para esse diagnóstico é o eletrocardiograma (ECG), efetuado através de um aparelho que mede os impulsos elétricos do músculo cardíaco, fornecendo um traçado característico que permite a identificação de eventuais cardiopatias. Atualmente esse aparelho pode ser encontrado nas unidades de atendimento, porém sua interpretação depende de especialistas, que muitas vezes não se encontram presentes no momento do exame. Nesses casos, já existe a possibilidade de transmissão remota dos sinais captados pelo ECG para outras unidades, onde esse profissional possa recebê-los e interpretá-los em tempo real. Esse recurso é facilitado pelos aparelhos de ECG digitais, cujas saídas já estão preparadas para tratamento informatizado. Entretanto, ainda existem inúmeros aparelhos analógicos, que geram exames impressos em tiras de papel, inviabilizando o atendimento remoto.

O Hospital das Clínicas da Universidade Federal de Uberlândia (HCU) possui uma equipe altamente qualificada para o atendimento de emergências cardíacas. Entretanto, como em diversas outras unidades de ensino superior no país, muitos de seus equipamentos não foram atualizados com o tempo. Ainda há diversos aparelhos de ECG analógicos cujos exames são registrados em papel para posterior análise. Se esses resultados pudessem ser armazenados em computador, a análise e o arquivamento seriam sensivelmente otimizados, trazendo resultados positivos tanto pela redução de custos quanto pela agilidade no atendimento dos pacientes.

Os principais trabalhos publicados na literatura se dedicam a coleta, transmissão e análise de sinais ECG a partir de equipamentos digitais¹⁻⁷. Exceto pelo artigo de Kao e cols.⁸, não foi encontrado nenhum outro estudo significativo que tratasse diretamente do sinal impresso em papel, ou sobre sua captura e digitalização para posterior análise. Mesmo esse autor, entretanto, desenvolveu uma metodologia apenas até a etapa de digitalização da imagem, sem aprofundar a possibilidade de análise do gráfico digitalizado, como ferramenta auxiliar para o diagnóstico de possíveis cardiopatias.

O ECG e o infarto agudo do miocárdio - À medida que o impulso elétrico gerado pelas células cardíacas percorre o coração, correntes elétricas se disseminam para os tecidos que o cercam, e pequenas frações emergem para a superfície do organismo, gerando um campo elétrico em toda a superfície corporal. Como mencionado por Guyton & Hall⁹, se forem distribuídos eletrodos sobre a pele em pontos opostos do coração, e, como os líquidos corporais são bons condutores, as flutuações de potencial que representam a soma algébrica dos potenciais de ação das fibras miocárdicas podem ser registradas. Esse registro, realizado através de um amplificador apropriado, é denominado eletrocardiograma (fig.1).

As ondas registradas no ECG são identificadas pelas letras P a T, representando cada fase do ciclo cardíaco. Para fins de análise, as ondas podem ser consideradas individualmente ou em grupos, denominados segmentos ou complexos.

O segmento ST começa no ponto J, ponto no qual termina a inscrição do complexo QRS, apresentando concavidade para cima em uma situação normal (fig. 2). Já o seu final não é bem definido, por continuar insensivelmente com o ramo ascendente da onda T. O sinal mais precoce de infarto agudo do miocárdio é um aplanamento do segmento ST, ou seja, seria a perda da discreta concavidade que existe normalmente na ascensão do segmento ST com duração transitória.

Instalada a fase superaguda, é regra habitual a presença do bloqueio de injúria, que se associa ao supradesnivelamento de ST e aumento na amplitude da onda T. O segmento ST desnivela-se, inicialmente, com concavidade para cima, e onda T positiva. Esse momento representa a pior fase da evolução em razão da maior possibilidade de ocorrer fibrilação ventricular (fig. 3).

A idéia de se correlacionar as variações do segmento ST ao infarto agudo do miocárdio (IAM) data da década de 1970¹⁰. Posteriormente, uma correlação interessante foi encontrada por Schweitzer¹¹, consistindo na elevação do

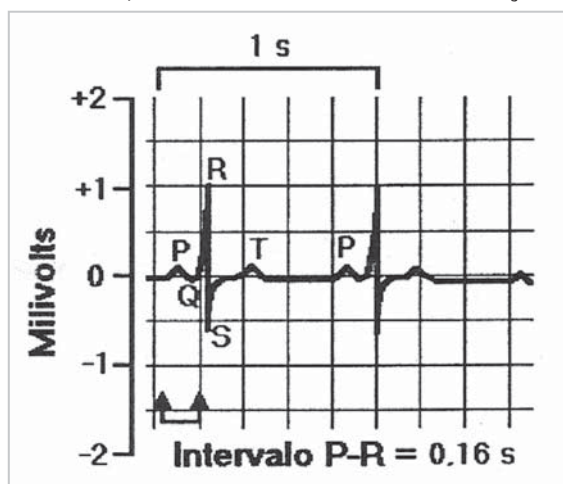


Fig. 1 - Registro de um eletrocardiograma normal⁹.

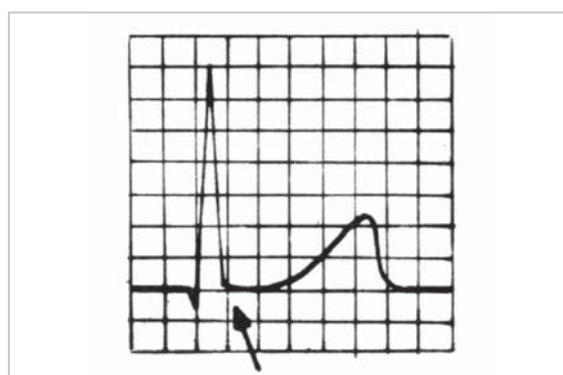


Fig. 2 - O segmento ST normal. A seta indica o ponto J.

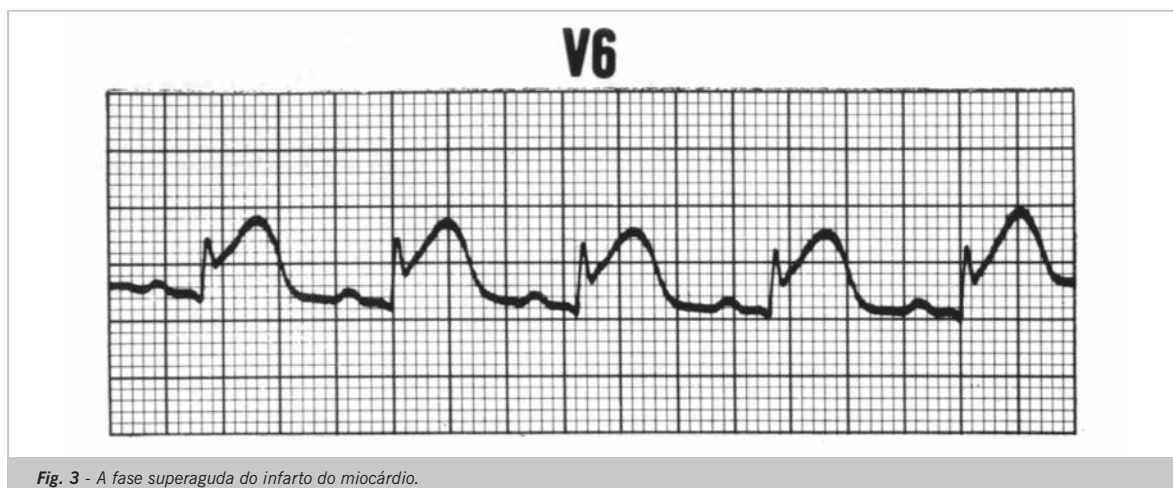


Fig. 3 - A fase superaguda do infarto do miocárdio.

segmento ST associada à maior eficiência de tratamentos de trombólise por estreptoquinase. O autor concluiu, em seu trabalho, que quanto maior o número de derivações com elevação do ST, maior a eficácia do tratamento, aumentando assim a chance de reperfusão coronária nos pacientes infartados.

Cerca de 50% dos pacientes com infarto não apresentam elevação do segmento ST no primeiro ECG. Exames seriados reduzem o erro de diagnóstico para 10% a 20%¹². No ECG de doze derivações, a elevação do segmento ST associada com dor torácica possui especificidade de 91% e sensibilidade de 46% para o diagnóstico de IAM¹³.

Nas síndromes coronarianas agudas podem aparecer três tipos de alterações no ECG¹⁴: onda Q anormal: a anormalidade se verifica quando a onda Q é maior do que um terço do complexo QRS, indicando que há uma área miocárdica que está eletricamente inativa, ou seja, infartada; onda T invertida; elevação do segmento ST: também chamada de “supradesnivelamento” do ST. Aparece quando o infarto está acontecendo.

Segundo a Sociedade Brasileira de Cardiologia¹⁵ há uma seqüência de eventos eletrocardiográficos que se seguem a uma oclusão da artéria coronária: 1) minutos iniciais: ondas T amplas, positivas, pontiagudas e de base simétrica, com elevação $\geq 0,1$ mV; 2) após 20 minutos: supradesnivelamento do segmento ST, que morfológicamente tende a ser convexo; 3) horas após: aparecimento de ondas Q patológicas e corte nas ondas R; 4) após alguns dias: retorno do segmento ST à linha de base, onda T negativa, profunda e simétrica. Se o supradesnivelamento do segmento ST permanecer após seis semanas do evento agudo, pode haver a presença de aneurisma ventricular; 5) meses após o evento agudo: eventual positivação da onda T.

Apesar de indicativo importante, o supradesnivelamento do segmento ST pode também ser causado por outras doenças, como pericardite, hipotermia, bloqueio do ramo esquerdo, repolarização precoce ou estimulação cardíaca artificial¹⁵.

O objetivo deste trabalho foi realizar um primeiro passo para permitir o processamento de registros ECG analógicos, de forma a desenvolver uma metodologia para facilitar sua interpretação, contribuindo assim para o futuro desenvolvimento de técnicas de diagnóstico automático.

O presente estudo enfoca a determinação da área do supradesnivelamento do segmento ST, bem como a amplitude do ponto J (que delimita o início do supradesnivelamento) e a amplitude do ponto Y (que se inicia 40 milissegundos após a ocorrência do ponto J).

MÉTODOS

Dados usados para correlação entre o supra ST e IAM - Coleta de dados junto ao Hospital de Clínicas de Uberlândia HCU/UFU - Foram selecionados 120 prontuários de pacientes que sofreram infarto agudo do miocárdio, internados no HCU/UFU no período de 1/1/2004 a 31/12/2004. Essa amostra passou por nova seleção, baseada nos critérios que seguem, que determinam o perfil exigido pelo estudo para este trabalho:

- (C1) Diagnóstico de internação: infarto agudo transmural da parede anterior do miocárdio.
- (C2) Primeiro ECG após a manifestação do infarto: deve ter sido realizado em, no máximo, seis horas após a ocorrência do infarto, sinalizado necessariamente por precordialgia.
- (C3) Variações presentes no segmento ST dos ECG: foram selecionados apenas os pacientes cujos ECG continham supradesnivelamento do segmento ST em qualquer uma das derivações, excetuando-se a VR, pois essa não é utilizada na verificação de supradesnivelamento de ST pelo fato de ser invertida.
- (C4) Variação da quantidade de enzimas Troponina e CK-mb, presentes no tecido cardíaco: deve ser bastante elevada, tipicamente maior que 500 nanogramas/decilitro.

A seleção de prontuários também se baseou nos seguintes critérios de exclusão:

- (C5) Infarto agudo causado por bloqueio completo de qualquer ramo (esquerdo ou direito).

- (C6) Infarto agudo causado por bloqueio atrioventricular total.

Foram encontrados quinze prontuários que atendiam essas exigências.

Uma vez completada a etapa de seleção de prontuários, procedeu-se à coleta de dados com base em um formulário com dados do paciente, características do infarto (derivações acometidas, tempo desde os primeiros sintomas, medicação etc). Esse último foi preenchido para todos os quinze pacientes, e todos os registros ECG de cada um desses também foram separados para análise.

Coleta de dados junto ao Instituto de Telemedicina do Brasil (ITMS- Brasil -Registros de ECG de vinte pacientes acometidos de infarto agudo do miocárdio foram selecionados de um banco de dados eletrônico, contendo arquivos no formato “.pdf” associados ao registro digital de ECG, enviados remotamente à central da ITMS-Brasil por via telefônica. Todos os registros continham traços de supradesnívelamento do segmento ST, e os critérios de seleção utilizados foram semelhantes aos critérios descritos no subitem anterior. Todavia, não foram coletados os dados do formulário.

O software de digitalização – Eletrocheckup - O software Eletrocheckup foi desenvolvido como alternativa de baixo custo para a digitalização de exames ECG impressos por equipamentos analógicos ou em formato “.pdf”, a partir de ECG digitais¹⁶.

Cálculos de área e dos pontos J e Y - A morfologia do gráfico ECG permite a fácil identificação das ondas componentes a partir da análise da matriz digital de valores, considerando-se o eixo X como o intervalo de tempo decorrido. Identificadas as coordenadas do ponto inicial, e se fazendo uma varredura das amplitudes presentes na matriz de dados, os valores (ou tensões elétricas) tendem a ser crescentes. Quando houver uma inversão dessa tendência, o ponto imediatamente anterior é tratado como ponto P, e os valores continuam decrescendo. Ao se localizar nova inversão dessa tendência, encontra-se o ponto Q, e assim sucessivamente.

O ponto J é definido como o final do complexo QRS e início da onda T; situa-se no nível da linha de base para um ECG normal. Após o ponto que identifica a onda S, os valores passam a ser linearmente crescentes. O ponto J pode ser identificado por comparação desses valores com a linha de base¹⁷.

Já o ponto Y está localizado a 40 milissegundos após o ponto J. Sua amplitude pode ser obtida fazendo-se uma análise dos pontos do ECG situados logo após o ponto J.

Para se identificar o valor do ponto J, localiza-se primeiramente o ponto R, a partir do qual se faz uma varredura na horizontal do eixo y, até se encontrar o ponto em que o gráfico ECG muda sua declividade (derivada de primeira ordem). Esse ponto corresponde ao ponto J, no caso de registro ECG para o qual foi diagnosticado infarto

agudo do miocárdio. Já o ponto Y é determinado quando se faz uma varredura na horizontal do eixo Y, no instante de tempo 40 ms após a ocorrência do ponto J.

Para cálculo de área foram usados os seguintes métodos: *Método 1 – Contagem de pixels* - O primeiro método utilizado no cálculo consiste na realização da contagem de pixels. As imagens gráficas digitalizadas são compostas por pontos, que observados a distância ficam invisíveis, gerando a impressão óptica de linhas, preenchimentos sólidos etc. A unidade de medida que representa a densidade de pontos por polegada, denominada “resolução”, é dada em *pixels*. Portanto, quando se diz que a “resolução” de uma imagem é de 300 *pixels* (também denominado dpi – *dot per inch* – ou pontos por polegada), o significado é que essa imagem possui 300 pontos em cada polegada linear, seja na vertical, seja na horizontal.

O papel de registro habitual do eletrocardiograma é quadriculado, sendo de 1 milímetro a distância entre cada dois traços horizontais ou verticais. Assim, a menor unidade de área já determinada no papel corresponde a um pequeno quadrado de 1 mm de lado (fig.4)¹⁸.

Utiliza-se uma resolução onde cada quadrado de 1 mm contém 10 *pixels*, tanto na vertical quanto na horizontal, resultando numa área formada por 100 *pixels*. Identifica-se o ponto inicial e final no trecho do traçado eletrocardiográfico que interessa para o cálculo, traça-se uma linha imaginária na vertical do ponto inicial e uma linha imaginária na horizontal do ponto final, e assim fica delimitada a área desejada. A partir da área demarcada, faz-se a contagem de *pixels*, e ao se somar todos eles obtemos o valor da área (fig. 5).

Método 2 – Integração tradicional - Para a estimação da área através do segundo método, novamente identificamos o ponto inicial e o ponto final do traçado eletrocardiográfico que interessa para o cálculo. Cria-se uma linha imaginária na vertical do ponto inicial e na horizontal do ponto final. Depois, essa última é subdividida em pequenas áreas retangulares formadas por pontos que foram selecionados ao longo do traçado. Ao final, fazemos a soma total das pequenas áreas (figs. 6 e 7).

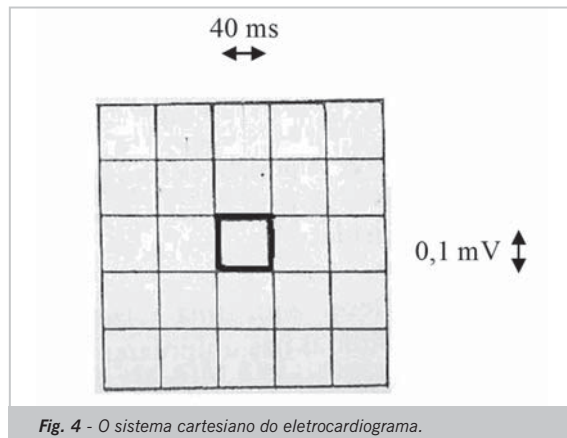


Fig. 4 - O sistema cartesiano do eletrocardiograma.

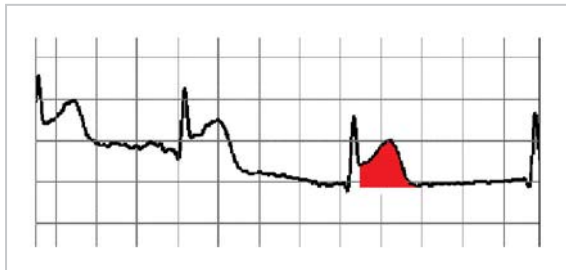


Fig. 5 - Área selecionada no ECG para cálculo em pixels.

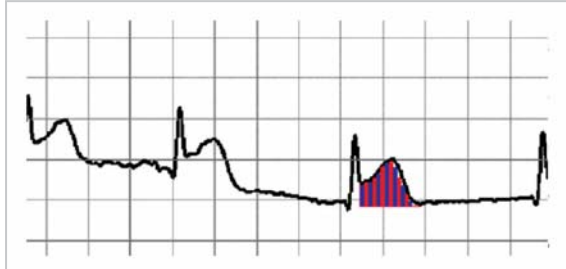


Fig. 6 - Área selecionada no ECG para cálculo usando interpolação.

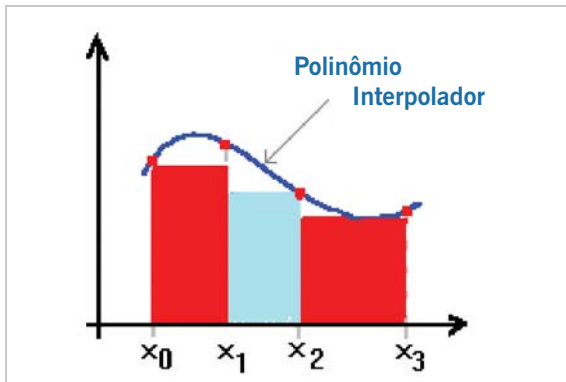


Fig. 7 - Interpolação em quatro pontos.

Para a escolha dos pontos, usamos a técnica de interpolação, que consiste em determinar um polinômio que assume valores conhecidos em certos pontos denominados nós de interpolação, a serem escolhidos adequadamente. De um modo geral, o conjunto das funções interpoladoras é determinado por um número finito de parâmetros. No caso dos polinômios, esses parâmetros são os seus coeficientes, que deverão ser iguais ao número de condições impostas, ou seja, ao número de nós, para que haja apenas uma solução.

RESULTADOS

Comparação entre os métodos de cálculo de área
- Para o cálculo das áreas, utilizamos arquivos de ECG com extensão “.pdf”, fornecidos pela ITMS-Brasil.

Pelos dois métodos, obtivemos resultados que podem ser observados na tabela 1. Após a estimação da área, o erro entre as áreas obtidas pelos dois métodos discutidos é calculado pela seguinte fórmula:

$$Erro = A1 - A2 \quad (1)$$

onde A1 é a área calculada pelo método 1 e A2 é a área calculada pelo método 2. Outras grandezas da tabela 1 são descritas logo a seguir.

$$V = \sum_{i=1}^n (A_i - VM)^2 / n \quad (2)$$

onde V é a variância; n é a quantidade de paciente; A_i é a área do supra-DST associado ao paciente i; e VM é o valor médio de A_i.

$$VN = V / E[x^2] \quad (3)$$

$$E[x^2] = \sum_{i=1}^n A_i^2 / n \quad (4)$$

onde VN é a variância normalizada.

O cálculo do valor médio dos erros especificados na tabela 1 permite concluir que ambos os métodos geram resultados semelhantes. Ao mesmo tempo, dado que os valores da variância dos erros associados às diversas derivações são pequenos, ambos os métodos são robustos relativamente ao tipo de derivação cardíaca considerada.

Conseqüentemente, os métodos têm desempenho próximo. Tendo em vista que o método 1 é mais eficiente do ponto de vista computacional, ele foi utilizado nas análises subseqüentes deste trabalho.

Cálculo da correlação entre o supradesnivelamento do segmento ST e o infarto agudo do miocárdio - Para a realização dos cálculos, foram utilizados ECG do HCU/UFU, com o objetivo de estudar a correlação estatística entre dois conjuntos das variáveis X e Z, definidas logo a seguir.

$$X = \{A, H_j, H_y\} \quad (5)$$

onde:

X = Sigla representando o conjunto de variáveis associadas a características do segmento ST do ECG; A = Área do supradesnivelamento do segmento ST [mV.ms]; H_j = Altura do ponto J do ECG [mV]; H_y = Altura do ponto Y do ECG [mV].

Para cada paciente considerado, escolheu-se como

Tabela 1 - Cálculo da área do segmento ST para ECG digital (mV.ms)

Pacientes	Derivação aVf			Derivação II			Derivação III		
	Método 1	Método 2	Erro	Método 1	Método 2	Erro	Método 1	Método 2	Erro
1	87,48	85,80	1,68	92,04	90,52	1,52	66,88	66,96	-0,08
2	79,68	78,68	1,00	75,96	74,76	1,20	71,88	70,68	1,20
3	76,48	75,80	0,68	80,20	79,56	0,64	83,64	82,92	0,72
4	16,20	15,80	0,40	24,60	24,56	0,04	35,72	35,52	0,20
5	14,80	14,56	0,24	31,20	31,12	0,08	5,40	5,36	0,04
6	6,04	6,00	0,04	10,52	10,48	0,04	15,48	14,92	0,56
7	11,56	11,32	0,24	28,20	27,92	0,28	15,88	15,44	0,44
8	63,24	63,28	-0,04	26,72	26,60	0,12	151,32	151,04	0,28
9	159,36	158,16	1,20	139,12	138,20	0,92	167,60	166,00	1,60
10	29,52	29,16	0,36	41,64	41,24	0,40	17,48	17,16	0,32
11	62,00	61,68	0,32	1,32	1,16	0,16	189,68	189,00	0,68
12	360,08	354,68	5,40	346,04	343,68	2,36	385,40	379,48	5,92
13	169,28	168,92	0,36	38,64	38,56	0,08	295,24	295,48	-0,24
14	179,28	177,44	1,84	125,52	124,12	1,40	231,24	229,20	2,04
15	236,48	236,20	0,28	191,08	191,12	-0,04	267,36	266,60	0,76
16	61,60	61,40	0,20	69,80	69,68	0,12	55,28	55,24	0,04
17	56,68	56,64	0,04	21,96	21,92	0,04	131,08	130,92	0,16
18	95,64	95,60	0,04	52,92	52,84	0,08	186,60	186,56	0,04
Valor Médio (VM)	98,08	97,28	0,79	77,64	77,11	0,52	131,84	131,03	0,82
Variância (V)	7.999,88	7.831,40	1,54	6.562,39	6.483,86	0,44	11.585,09	11.410,28	1,87
Variância Normalizada (VN)	0,45	0,45	0,71	0,52	0,52	0,61	0,40	0,40	0,74

ECG característico do infarto o primeiro registro tomado seis horas após a primeira manifestação do IAM. Esse ECG corresponde, em geral, à primeira mensuração realizada na Sala de Emergência do Pronto-Socorro do HCU/UFU. Todavia, tendo em vista as freqüentes ilegibilidades associadas ao deterioramento da impressão gráfica do registro analógico do ECG, o ECG característico nem sempre correspondeu à primeira mensuração, e, nesse caso, ele foi escolhido como o primeiro ECG cronologicamente mais legível da série de registros realizados na Sala de Emergência.

De posse do ECG característico de cada paciente, foram demarcados os pontos de início e de fim do supradesnívelamento do segmento ST, sempre considerando três derivações para cada ECG. As grandezas A, Hj e Hy foram estimadas para cada uma das três derivações de cada ECG característico. Finalmente, os valores finais característicos da área do supra-DST, amplitude do ponto J e amplitude do ponto Y associadas a cada paciente correspondem a uma média aritmética envolvendo todos os respectivos valores de A, Hj e Hy, considerando as três derivações de cada ECG característico.

Os valores característicos das grandezas X de cada paciente, obtidos através dos ECG coletados pelo formulário, estão apresentados na tabela 2.

Define-se agora o outro conjunto de variáveis.

$$Z = \{Tr, Ck, k, Na, Ca, Mg, Gl, VF, Le\}$$

onde: Z = Sigla representando o conjunto de variáveis associadas a exames clínicos realizados em amostras de sangue de pacientes acometidos por infarto agudo do miocárdio. Tr = Concentração da enzima troponina [nanograma/decilitro]. CK = Concentração da enzima CK-mb [unidade/litro]. K = Concentração do íon potássio [miliequivalente/litro]. Na = Concentração do íon sódio [miliequivalente/litro]. Ca = Concentração do íon cálcio [miliequivalente/litro]. Mg = Concentração do íon magnésio [miliequivalente/litro]. Gl = Glicemia [miligramas/decilitro]. VF = Vaso fechado (VF = 1) ou não (VF = 0). Variável binária. Le = Porcentagem de lesão [%].

Observações importantes: 1) tendo em vista a variabilidade do nível de concentração de enzimas troponina e CK-mb, escolheu-se como valor característico de cada paciente a concentração de amplitude máxima, fornecida pelo respectivo formulário de coleta de dados; 2) em termos das concentrações iônicas (K, Na, Ca e Mg) e da glicemia, escolheu-se como valor característico de cada paciente a primeira quantidade que aparece anotada no formulário. Tal quantidade representa a primeira medida tomada da grandeza em questão, logo após a ocorrência do IAM; 3) as variáveis vaso fechado (VF) e porcentagem de Lesão (Le) são obtidas a partir do formulário, ou seja, a partir dos dados de cateterismo. Se a lesão é considerada leve, atribui-se o valor 50% para Le; se a lesão for moderada, 70%; e, finalmente, se a lesão for severa, atribuem-se 90% para Le. Todavia, caso o formulário de coleta de dados do paciente apresente a medida de

porcentagem de obstrução do vaso FE, então esse último valor é atribuído à variável Le, independentemente dos dados de cateterismo.

Os valores característicos das grandezas Z de cada paciente, obtidos através dos dados coletados no formulário, estão apresentados na tabela 2. Os valores em branco não puderam ser obtidos a partir dos prontuários analisados.

Calcularam-se os coeficientes de correlação entre X e Z, com base nas seguintes fórmulas:

$$CC(X,Z) = E\{(X - X(VM)) * (Z - Z(VM))\} / (\sqrt{X(V)} * \sqrt{Z(V)}) \quad (6)$$

onde $CC(X,Z)$ é a coeficiente de correlação.

$$X(VM) = \sum_{i=1}^n X_i / n \quad (7)$$

$$X(V) = \sum_{i=1}^n (X_i - X(VM))^2 / n \quad (8)$$

onde X(VM) é o valor médio de X (Área, Hj e altura Hy), Z(VM) é o valor médio de Z (Troponina, CK-mb, K⁺, Na⁺ Ca⁺, Mg⁺⁺, Glicemia, Vaso Fechado e % lesão), X_i (Área, Hj e Hy) é o valor correspondente do paciente i, Z_i (Troponina, CK-mb, K⁺, Na⁺, Ca⁺, Mg⁺⁺, Glicemia, Vaso Fechado e % lesão) é o valor correspondente do paciente i, e n é o número de pacientes (no caso, n = 15).

DISCUSSÃO

Antes de discutir os resultados da tabela 3, deve-se destacar que esses coeficientes de correlação não levam em conta o erro alfa, associado ao conceito de significância, o que limita a precisão estatística dos resultados. Além disso, a quantidade de pacientes considerada (quinze ao total) também permite questionar a representatividade estatística dos resultados. Deve-se destacar também que os registros analisados não correspondem todos ao primeiro ECG realizado seis horas após a ocorrência do IAM.

Levando em conta essas limitações, os resultados da tabela 3 permitem estabelecer as seguintes conclusões e questionamentos:

- (C1) A amplitude do ponto Y (Hy) possui máxima correlação com a concentração da enzima troponina, constituindo-se portanto em um indicador de lesão cardíaca devido ao IAM. Todavia, na literatura médica¹⁸⁻²⁰, a amplitude do ponto Y é mais sensível e específica para o diagnóstico de isquemia crônica. Fisiologicamente, pode ser considerado um marcador importante na avaliação da gravidade do IAM, visto que pode indicar maior comprometimento do funcionamento da bomba de sódio-potássio associada aos cardiomiócitos, em decorrência da gravidade da necrose do tecido.
- (C2) O supradesnivelamento do segmento ST, denotado pelo valor da grandeza A, não se constitui em bom indicador estatístico da gravidade do infarto, tendo alta correlação apenas com a quantidade de íons potássio. O fato da correlação entre esse último e a área do ST ser negativa permite questionar o que ocorre na membrana dos cardiomiócitos durante a repolarização.
- (C3) Não se observou correlação significativa entre a concentração de enzimas troponina, CK-MB, bem como da porcentagem de lesão (Le) e a área de

Tabela 2 - Grandezas características de cada paciente e respectivo valor médio (VM)

Pacientes	A	Hj	Hy	Tr	Ck	K	Na	Ca	Mg	Gl	Cateterismo V F Le	
1	7,779	0,106	0,130	4,760	606,800	4,500	142,800	8,700	1,200	140,000	1	90
2	2,629	0,034	0,043	1,400	1194,000	4,700	131,600		3,400		0	90
3	2,812	0,055	0,064	2,490	306,500	5,000	139,000	8,400	2,200	224,500	1	52
4	2,110	0,031	0,024	2,200	191,600	4,400	137,400	8,800	1,900	135,000	1	45
5	5,904	0,043	0,084	5,500	198,000	4,100	139,000	8,400	1,920	143,000	1	90
6	7,651	0,066	0,465	35,200	252,700	4,400	136,200	7,200		132,100	1	90
7	5,370	0,073	0,088	3,400	125,600	4,000	137,300	8,900		123,800	0	90
8	8,827	0,108	0,131	15,750	892,000	4,500	137,100		2,400	291,000		
9	6,392	0,068	0,086	4,160	95,000	4,800	138,100	9,300	2,300		1	90
10	19,523	0,308	0,285		561,400	3,600	141,700	8,300	1,200		1	90
11	66,860	0,187	0,337	9,790	287,200	3,700	133,500	8,900	1,900	91,900	0	90
12	59,815	0,214	0,461		1555,000	4,300	140,000			97,100		
13	35,857	0,221	0,264		210,000	4,500	132,000	9,200	1,900	109,000		60
14	58,018	0,199	0,319		198,500	3,200	132,400	8,600	1,700		0	50
15	26,516	0,362	0,240	8,790	73,100	5,400	136,900	8,400	1,700			
Valor Médio (VM)	21,071	0,138	0,201	8,495	449,827	4,340	137,000	8,592	1,977	161,940	0,636	77,250

A - área de supradesnivelamento do ST; Hj - altura do ponto J; Hy - altura do ponto Y; Tr - concentração de troponina; Ck - concentração de CK-mb; K - potássio; Na - sódio; Ca - cálcio; Mg - magnésio; Gl - glicemia; VF - vaso fechado; Le - porcentagem de lesão.

Tabela 3 - Estimação da variância (V)

Y \ X	A	Hj	Hy
Tr	0.120	0.119	1,000
Ck	0.448	-0.351	-0.414
K	-0.841	-0.164	-0.583
Na	-0.530	0.003	-0.167
Ca	0.277	0.023	-0.671
Mg	-0.402	-0.809	-0.535
Gl	-0.634	-0.233	-0.577
VF	-0.722	-0.162	-0.389
Le	-0.337	0.479	0.168

A - área de supradesnivelamento do ST; Hj - altura do ponto J; Hy - altura do ponto Y; Tr - concentração de troponina; Ck - concentração de CK-mb; K - potássio; Na - sódio; Ca - cálcio; Mg - magnésio; Gl - glicemia; VF - vaso fechado; Le - porcentagem de lesão.

supradesnivelamento do segmento ST (A). Isso pode ser explicado pelo fato de o tratamento trombolítico ter desobstruído o vaso ou pelo fato de a onda associada à necrose celular ter sido pequena.

- (C4) Contrariamente ao esperado, existe uma correlação negativa razoavelmente elevada entre o fechamento do vaso (VF) e o supradesnivelamento ST (A). Isso poderia ser explicado pelo fato do cateterismo ter sido realizado tardiamente.

- (C5) Existe uma forte correlação negativa entre a amplitude do ponto J e a quantidade de íons magnésio, o que permite levantar o questionamento sobre o efeito dos íons magnésio sobre o potencial de ação cardíaco. Ao mesmo tempo, não existe praticamente nenhuma correlação estatística entre a amplitude do ponto J e a concentração de íons sódio e cálcio. De fato, esse último não participa dos mecanismos de troca iônica durante essa fase do potencial de ação cardíaco.

Apesar das limitações impostas pela pequena amostragem de dados disponível para testes, a análise realizada permitiu identificar que a amplitude do ponto Y é um marcador sensível à ocorrência do infarto. Além disso, o cálculo associado a essa variável é mais simples e menos sujeito a erros do que a determinação da área de supradesnivelamento do segmento ST, comumente relatada na literatura como indicador do IAM.

Esses resultados alcançados permitem estabelecer os seguintes eixos concretos para a continuidade do trabalho até aqui desenvolvido.

- Aprofundamento da busca de marcadores estatísticos para se identificar (e possivelmente também prever) a ocorrência do IAM, através, por exemplo, da transformada Wavelet e da predição linear.
- Refinamento do estudo clínico conduzido, pela

utilização de uma quantidade maior de pacientes, bem como pelo uso de ferramentas estatísticas mais apuradas, que permitam uma melhor precisão no cálculo das correlações.

- Aprofundamento das questões e discussões fisiológicas levantadas ao final da análise dos resultados, em termos da literatura na área médica e biológica.

O trabalho realizado por Hermida e cols.²¹, com 103 pacientes, no *Hospital Amiens-Picardie*, na França, demonstrou que a elevação do ponto J também é um forte indicador da síndrome de Brugada. A análise dos ECG foi feita em pacientes com suspeita clínica da síndrome. Os resultados demonstraram uma elevação > 0,16mV na derivação -2V, com especificidade e preditividade positiva de 100%, sensibilidade de 40% e preditividade negativa de 28%.

Já o trabalho de Kaluzay e cols.²² realizou uma comparação da análise computadorizada de ECG de pacientes com diagnóstico de IAM e análise dos mesmos exames feita manualmente, com auxílio de uma lupa, após a ampliação gráfica realizada por computador. O estudo foi feito em 85 ECG retirados aleatoriamente do estudo ENTIRE-TIMI-23. Os exames ECG foram escaneados a 203 dpi e ampliados graficamente. Foi feita uma linha vertical perpendicular no ponto J (ou em 3, 6 ou 12 pontos J de registros consecutivos). Foi também traçada uma linha perpendicular 20 ms após o ponto J. O sinal de calibragem e as intersecções do segmento ST com as linhas traçadas foram marcados para cada derivação. Essa metodologia foi feita graficamente no computador e manualmente com o uso de uma lente. Os resultados foram lançados num BD.

Os resultados demonstraram que as elevações do segmento ST 20 ms após o ponto J são maiores do que no próprio ponto J para todas as localizações do infarto. Apesar de não ser esse o propósito do estudo, as análises computadorizadas demonstraram ser mais acuradas do que as análises feitas manualmente pelos profissionais, apresentando um índice de confiabilidade de 0,991 (95% CI 0,990–0,992) para a análise manual contra 0,995 (95% CI 0,995–0,996) para a análise feita por *software*.

Agradecimentos

Aos Drs. Sílvio Alessi e André Navarro, do Instituto de Telemedicina do Brasil (ITMS). Ao Prof. Dr. Wilson Felipe Pereira (Instituto de Ciências Biomédicas – ICBIM/UFU).

Potencial Conflito de Interesses

Declaro não haver conflitos de interesses pertinentes.

REFERÊNCIAS

1. Garcia J, Martinez I, Sörnmo L. Remote Processing Server for ECG-Based Clinical Diagnosis Support. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*. 2002; 4: 277-84.
2. Lehtinen R, Vántinen H, Sievänen H, Malmivuo J. A computer program for comprehensive ST-segment depression/heart rate analysis of the exercise ECG test. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*. 1996; 50: 63-71.
3. Anagnostaki AP, Pavlopoulos SA. Novel Codification Scheme Based on the "VITAL" and "DICOM" Standards for Telemedicine Applications. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*. 2002; 12 (149): 1399-411.

4. Chen W, Hsieh L, Yuan S. High performance data compression method with pattern matching for biomedical ECG and arterial pulse waveforms. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*. 2004; 74: 11-27.
5. Rajoub BA. An Efficient Coding Algorithm for the Compression of ECG Signals Using the Wavelet Transform. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*. 2002; 4(49): 355-62.
6. Dutt DN, Krishnan SM, Srinivasan NA. Dynamic nonlinear time domain model for reconstruction and compression of cardiovascular signals with application to telemedicine. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*. 2003; 33: 45-63.
7. Istepanian RS, Petrosian AA. Optimal Zone Wavelet-Based ECG Data Compression for a Mobile Telecardiology System. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*. 2000; 3(4): 200-11.
8. Kao T, Len-Jon H, Yui-Han L, Tzong-Huei L, Chia-Hung H. Computer analysis of the electrocardiograms from ECG paper recordings. In: *Proceedings of the 23rd Annual International Conference of the IEEE*, October 2001, Istanbul, Turkey, 4: 3232-4.
9. Guyton AC, Hall JE. *Tratado de Fisiologia Médica*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 1997.
10. Madias JE. Use of pre-cordial ST-segment mapping. *Am Heart J*. 1978; 1(95): 96-101.
11. Schweitzer P. The electrocardiographic diagnosis of acute myocardial infarction in the thrombolytic era. *Curriculum Cardiol*. 1990; 3(119): 642-53.
12. Porto C. *Infarto Agudo do Miocárdio*. Secretaria Estadual de Saúde; Maceió, AL, 2003.
13. Mano R. *Manuais de Cardiologia. Infarto Agudo do Miocárdio*. Rio de Janeiro: [s.n.], 2004.
14. Marques IR. Síndromes Coronárias Agudas. *CardioSite*. 01 abr. 2004. Disponível em <<http://www.unifesp.br/denf/NIEn/CARDIOSITE/sindromes.htm>>. Acesso em 20/05/2005.
15. Sociedade Brasileira de Cardiologia (SBC). *O Eletrocardiograma no infarto agudo do miocárdio*. Grupo de Estudos de Eletrocardiografia, 2004. Disponível em <<http://departamentos.cardiol.br/eletoc/publicacoes/curso/007.asp>>. Acesso em 25/05/2005.
16. Cury LKP. *Proposta de um software para análise automática de registros eletrocardiográficos (ECG)*. (Tese). Uberlândia, MG: Universidade Federal de Uberlândia (UFU), 2005.
17. Feldman J, Goldwasser P. Eletrocardiograma: recomendações para a sua interpretação. *Rev SOCERJ*. 2004; 4(17): 251-6.
18. Carneiro EF. *O Eletrocardiograma: 10 Anos Depois*. 5ª ed. Rio de Janeiro: Enéas Ferreira Carneiro; 1997.
19. Gomes OM, Gomes ES, Faraj M. Myocardium stress diskinesia disease. *Brazilian J Cardiovasc Surg*. 2004; 4(19): 378-85.
20. Chalela WA, Mansur AP, Aldrighi JM. Avaliação diagnóstica não-invasiva de dor torácica em mulheres. *Arq Bras Cardiol*. 2001; 76: 535-9.
21. Hermida JS, Denjoy I, Jarry G, Jandaud S, Bertrand C, Delonca J. Electrocardiographic predictors of Brugada type response during Na channel blockade challenge. *Europace*. 2005; 7: 447-53.
22. Kaluzay J, Vandenberghe K, Fontaine D, et al. Importance of measurements at or after the J-point for evaluation of ST-segment deviation and resolution during treatment for acute myocardial infarction. *Intern J Cardiol*. 2005; 98: 431-7.