

# **Universidade Federal de Pelotas**

**Instituto de Biologia - Departamento de Fisiologia e Farmacologia**

## **Fisiologia II**

### **Aula Prática: Eletrocardiograma em Foco**

#### **Material Complementar: Resumo Teórico**

**Professor: Paulo Cavalheiro Schenkel**

**Alunos: Arthur de Farias Betemps da Silva**

**Peterson Aniceto Osório**

**Pietro Emerim Moretto**

**Renan Terra de Oliveira**

**Samuel Bossler Chagas**

**Pelotas, Julho de 2023**

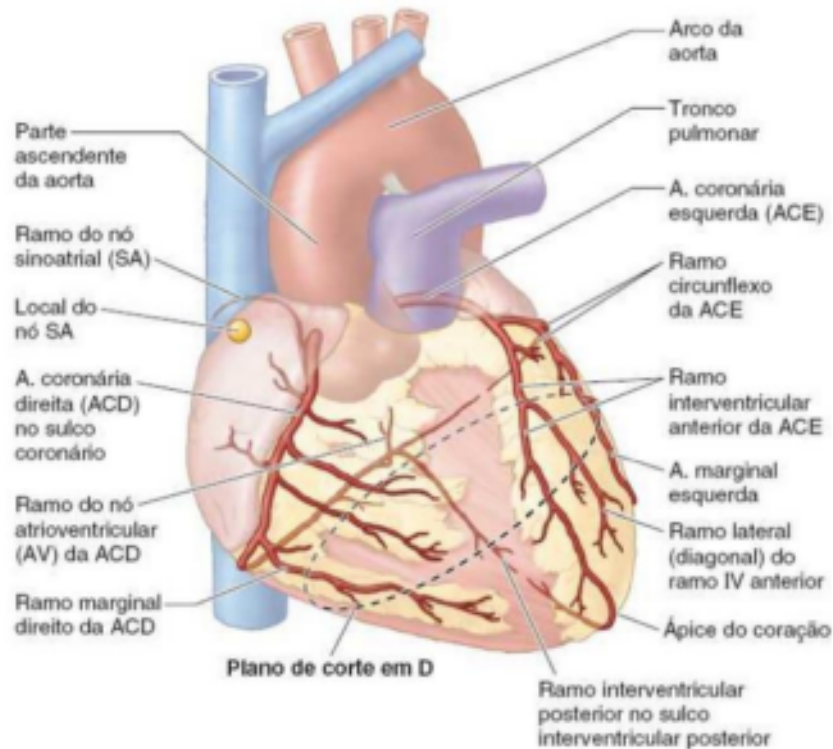
## **Conteúdo Base e Anexos**

### **1.1– Sistema de condução cardíaco e noções de anatomia cardíaca**

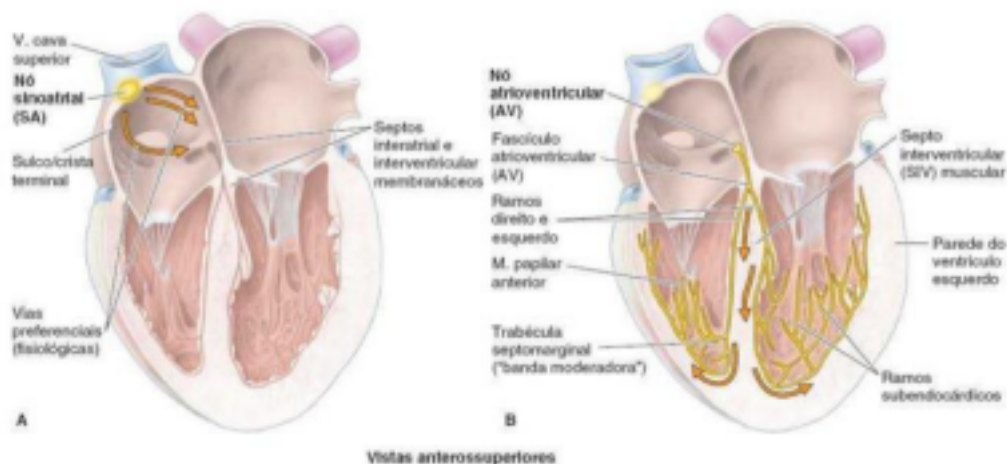
O coração, desde os primórdios do estudo anatômico, tem sido objeto de fascínio para aqueles que buscavam compreendê-lo. Esse órgão vital consiste em uma bomba dividida em duas metades, direita e esquerda, por um septo longitudinal orientado obliquamente. Cada metade contém duas câmaras: um átrio que recebe sangue das veias e um ventrículo que impulsiona o sangue para o interior das artérias. Em geral, os átrios enviam o sangue para os ventrículos quando contraídos, e estes, por sua vez, impulsionam o sangue para fora do coração. O ventrículo direito envia o sangue para a circulação pulmonar, onde ocorrem as trocas gasosas, enquanto o ventrículo esquerdo envia o sangue para a circulação sistêmica, irrigando os tecidos do corpo e mantendo a nutrição e a homeostasia. Os átrios e ventrículos são separados por válvulas que impedem o refluxo sanguíneo e asseguram o bom funcionamento da bomba.

O coração está predominantemente localizado no lado esquerdo do plano mediano e apresenta um ápice formado pela parte ínfero-lateral do ventrículo esquerdo projetado para frente e para baixo e uma base, que consiste em um quadrilátero oposto ao ápice, formado pelo átrio esquerdo, uma pequena parte do átrio direito e as partes proximais das grandes veias, voltado em direção posterior. No indivíduo vivo, seu maior eixo se dirige de trás para a frente, da direita para a esquerda e de cima para baixo, como indicado pela posição dos eletrodos usados para uma análise mais precisa da atividade cardíaca.

Outra relação anatômica fundamental para a melhor compreensão clínica do eletrocardiograma é a vascularização arterial do coração. A irrigação do coração tem origem em duas artérias, a coronária esquerda e a coronária direita. A coronária direita corre no sulco coronário, uma depressão entre os átrios e ventrículos, para a parte posterior do coração. No seu trajeto, ela dá um ramo para o nó sinusal, uma importante estrutura do sistema de condução que será discutida adiante. À medida que a coronária direita prossegue, ela dá ramos adicionais para o átrio e ventrículo direito até atingir o sulco interventricular posterior, onde fornece vários ramos, um dos quais é o ramo interventricular posterior, fundamental para a irrigação da parede posterior do coração. Já a artéria coronária esquerda é responsável pela irrigação da parede anterior do coração através da artéria interventricular anterior, um de seus principais ramos. O entendimento geral dessa circulação permite identificar, por meio do eletrocardiograma, quais estruturas vasculares podem ter sido danificadas em situações de infarto.

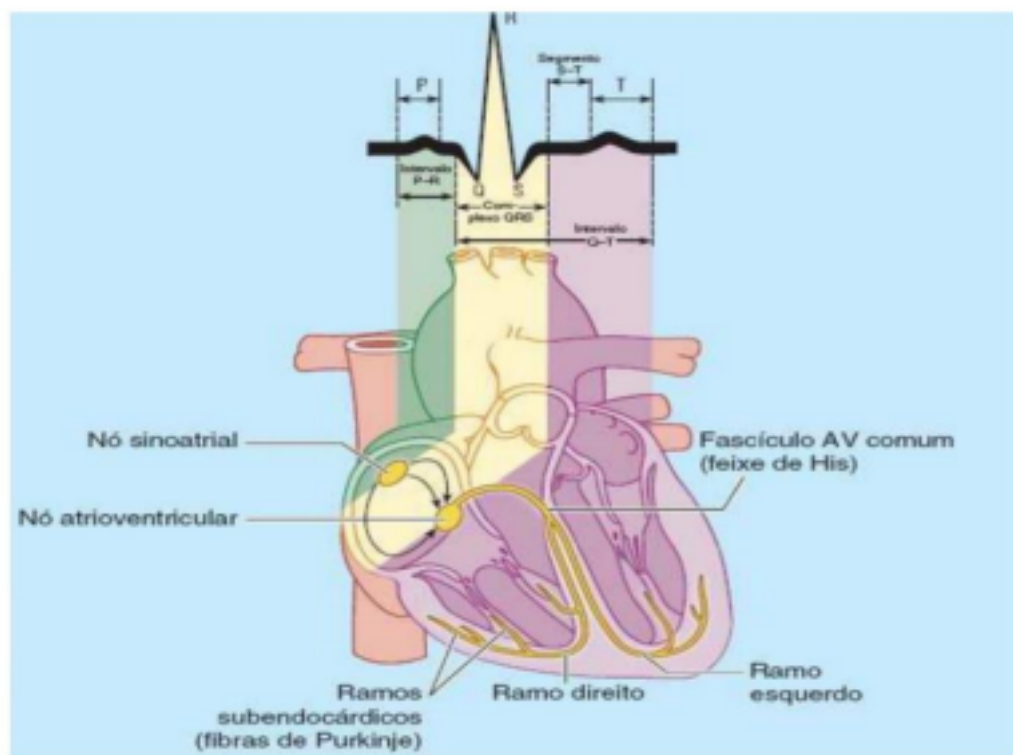


Ademais, uma das características mais surpreendentes desse órgão é a sua capacidade de autonomia. Em alguns rituais de civilizações ameríndias, o coração era retirado do corpo e ainda continuava a se contrair, como se a alma do guerreiro e a sua força pudessem ser palpadas ao vislumbre sobre a excitação rítmica do coração. Contudo, atualmente, temos uma melhor compreensão a respeito da característica autônoma da contração desse órgão, sendo coordenada pela presença de um sistema de condução elétrico. O sistema de condução elétrica do coração é composto por várias estruturas, dentre elas podemos citar o nó sinoatrial, o nó atrioventricular, o feixe de His, os ramos direito e esquerdo e as fibras de Purkinje. Essas estruturas trabalham juntas para gerar e propagar os impulsos elétricos que controlam a contração do coração.



Vistas anterossuperiores

O nó sinoatrial (SA) é conhecido como marca-passo natural do coração. Ele está localizado na parede superior do átrio direito e é responsável por gerar o impulso elétrico que inicia cada batimento cardíaco, propagando-se rapidamente pelas células musculares atriais e realizando a sua contração. O impulso elétrico então chega no nó atrioventricular (AV), localizado na parede inferior do átrio direito. O nó AV retarda o impulso para permitir que as células musculares do átrio terminem a sua contração, essa retardação é importante para garantir uma sincronia adequada entre as contrações dos átrios e dos ventrículos, permitindo que o sangue seja bombeado de forma eficiente pelo coração. Fisiologicamente, esse acontecimento durante a propagação dos impulsos elétricos é explicado pelo nó AV ser uma área de tecido especializado que possui uma velocidade de condução mais lenta que a das células musculares. Em seguida, o impulso elétrico é conduzido pelos feixes de His, que se ramificam em ramos direito e esquerdo. Os ramos direito e esquerdo irão se estender pelo septo interventricular e se ramificam em fibras de Purkinje, essas estruturas transmitem rapidamente o impulso elétrico para as células musculares dos ventrículos, fazendo com que eles se contraiam e promovam a circulação do sangue para o resto do corpo. O sistema de condução do coração desempenha um papel fundamental na geração, propagação e compreensão do sinal elétrico registrado eletrocardiograma (ECG). Para exemplificar a importância do conhecimento do sistema de condução, podemos utilizar o momento em que ocorre o retardo na condução, promovido pelo nó AV, que é eletricamente registrado no ECG como intervalo PR, assim podemos observar que qualquer anormalidade nesse intervalo pode levar a distúrbios de condução, como o bloqueio atrioventricular (BAV).



## **1.2 – Características do ECG normal**

O registro normal do ECG deve ser composto por uma onda P (despolarização atrial), um complexo QRS (despolarização ventricular) e uma onda T (repolarização ventricular). A repolarização atrial não é visualizável no ECG, pois está “mascarada” pelo complexo QRS.

Além disso, a frequência cardíaca deve estar entre 50 e 100 batimentos por minuto e o eixo cardíaco deve estar entre -30º e +90º (entre aVL e +90º), normalmente mais próximo de +60º (DII).

Utiliza-se a derivação DII como padrão para a análise do eletrocardiograma (eletrodo positivo na perna, eletrodo negativo no braço direito e eletrodo neutro no braço esquerdo).

- A onda P, como parâmetro inicial da análise do eletrocardiograma, ocorre a partir da despolarização do nódulo sinoatrial, o que resulta em uma deflexão positiva no registro; essa despolarização rumo em direção ao nódulo atrioventricular, gerando um vetor resultante para a esquerda;
- O complexo QRS é composto por 3 componentes e significa a despolarização ventricular; o ponto Q é uma deflexão negativa, que possui ocorrência após a onda P, e representa a despolarização desigual do septo interventricular (esquerda -> direita); o ponto R sucede o ponto Q, como uma deflexão positiva, e significa a despolarização que as fibras de Purkinje conduzem pelo miocárdio, sendo o vetor final desse segmento do eletrocardiograma uma deflexão positiva, pois a massa cardíaca do ventrículo esquerdo é maior que a do ventrículo direito; por fim, o ponto S sucede o ponto R, como uma deflexão negativa, sendo tal deflexão nesse sentido porque a despolarização ventricular termina no ponto direito das câmaras cardíacas ventriculares, resultando em um pequeno vetor resultante para a direita;
- A onda T é o último parâmetro da análise do eletrocardiograma, sucedendo o complexo QRS e sendo uma deflexão positiva no gráfico. Tal deflexão segue nesse sentido, pois o vetor resultante da despolarização segue pelo septo interventricular de forma ascendente para o lado direito; embora vá em direção ao eletrodo negativo, a deflexão é positiva pois se trata de uma repolarização.

## **1.3 – Derivações do ECG**

Uma derivação no Eletrocardiograma (ECG) é uma maneira de medir a atividade elétrica do coração em uma determinada posição. Durante o exame, eletrodos são colocados em pontos específicos do corpo do paciente, e a diferença de potencial elétrico entre eles é medida. Essa diferença de potencial é registrada como uma curva no gráfico do ECG, que representa a atividade elétrica do coração em tempo real.

Existem diferentes tipos de derivações no ECG, que correspondem a diferentes posições dos eletrodos no corpo do paciente. As derivações padrão incluem as derivações de membros, que são obtidas colocando os eletrodos nos braços e nas pernas do paciente, e as derivações precordiais, que são obtidas colocando os eletrodos no tórax do paciente em locais específicos.

As derivações precordiais são obtidas colocando os eletrodos no tórax do paciente, em locais específicos. Essas derivações são importantes para avaliar a atividade elétrica do coração em diferentes partes do ventrículo esquerdo. As derivações precordiais incluem as derivações V1, V2, V3, V4, V5 e V6, e cada uma delas contempla uma área específica do coração.

Além das derivações precordiais, existem também as derivações de membros, que incluem as derivações D1, D2 e D3. A derivação D1 é obtida colocando um eletrodo no braço esquerdo e outro no braço direito, e contempla a atividade elétrica na parte anterior do coração. A derivação D2 é obtida colocando um eletrodo no braço direito e outro na perna esquerda, e contempla a atividade elétrica na parte inferior do coração. A derivação D3 é obtida colocando um eletrodo no braço esquerdo e outro na perna esquerda, e contempla a atividade elétrica na parte lateral esquerda do coração.

As derivações do ECG são importantes para avaliar a atividade elétrica do coração em diferentes posições e ângulos, permitindo um diagnóstico mais preciso de condições cardíacas, como arritmias e infartos. Cada derivação registra a atividade elétrica do coração em uma área específica, o que permite aos médicos avaliar a função elétrica do coração como um todo e identificar possíveis problemas.

#### **1.4 – Eixo elétrico e frequência cardíaca**

##### **Eixo Elétrico:**

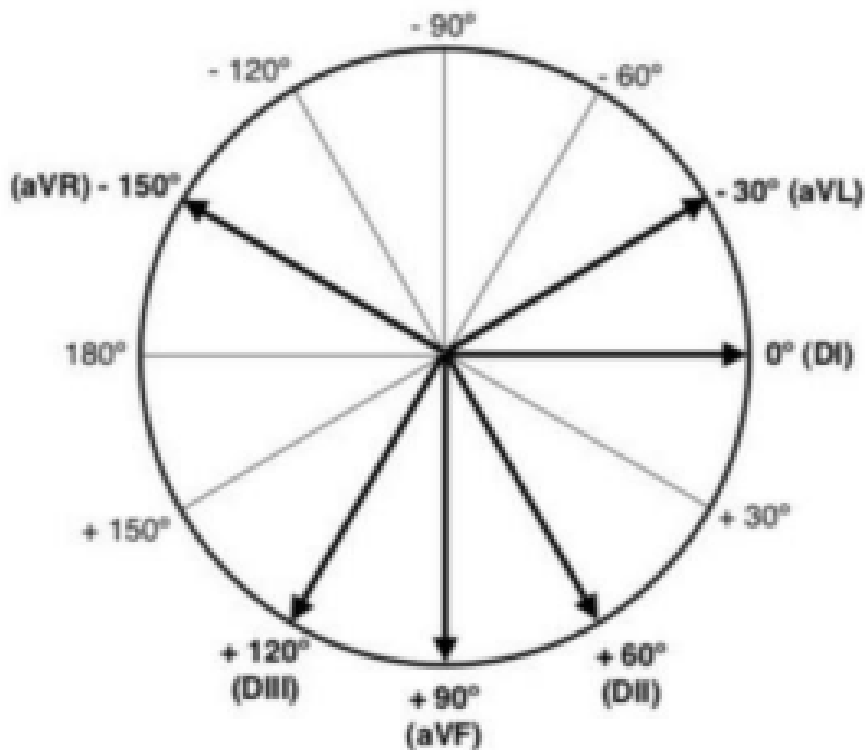
Uma das principais informações obtidas a partir do ECG é o eixo elétrico cardíaco, que representa a direção em que a atividade elétrica está se propagando no coração. O eixo elétrico é determinado pela soma vetorial dos impulsos elétricos gerados pelas células cardíacas, e sua análise pode fornecer informações valiosas sobre a saúde do coração e possíveis anormalidades.

Pode-se representar uma força graficamente como um vetor: um segmento de reta no plano cartesiano que apresenta direção, sentido e magnitude.

Os impulsos elétricos são forças e, portanto, podem ser representados vetorialmente.

Com base nos impulsos avaliados pelas diferentes derivações do ECG, pode-se efetuar

a soma vetorial e obter o vetor médio, ou eixo elétrico cardíaco. O eixo é expresso em graus, com base em um plano imaginário que compreende as derivações periféricas.



O eixo elétrico pode ser classificado como:

- Normal ( $-30^{\circ}$  a  $+90^{\circ}$ );
- Desviado à esquerda ( $-30^{\circ}$  a  $-90^{\circ}$ );
- Desviado à direita ( $+90^{\circ}$  a  $180^{\circ}$ );
- Eixo com desvio extremo ( $-90^{\circ}$  a  $180^{\circ}$ );

Existem diversos métodos para a determinação do eixo elétrico cardíaco, com maior ou menor precisão. Um método simples para determinar a presença de desvio consiste na análise de DI e aVF.

1. Se o QRS é positivo em DI e aVF, o eixo é normal.
2. Se o QRS é negativo em ambas as derivações, o eixo tem um desvio extremo.
3. Se em DI é negativo e em aVF é positivo, o eixo tem um desvio à direita.
4. Se o QRS é positivo em DI e negativo em aVF, é necessário avaliar a derivação D2

**4a.** Se é positivo em D2, o eixo é normal.

**4b.** Se é negativo em D2, o eixo tem um desvio à esquerda.

Um outro método bastante eficaz consiste em identificar a derivação em que o complexo QRS é isodifásico, isto é, quando o tamanho das ondas R e S são iguais. Uma vez identificado o QRS isodifásico, procura-se a derivação perpendicular. Se o QRS nesta derivação é positivo, a direção do eixo é esta. Se o QRS for negativo, o eixo está na direção oposta.

Exemplo: Se o QRS é isodifásico em aVL, localiza-se DII (perpendicular a aVL). Se o QRS é positivo em DII, então o eixo elétrico está em sua direção, localizado entre aVL e DII, portanto classificado como normal.

É importante ressaltar que o eixo elétrico cardíaco é apenas uma ferramenta diagnóstica e que outros exames e avaliações clínicas são necessários para confirmar uma possível anormalidade cardíaca.

### **Frequência Cardíaca:**

Além do eixo elétrico, outra informação importante pode ser obtida a partir do eletrocardiograma: a frequência cardíaca. A frequência cardíaca é o número de contrações por minuto e, em um adulto jovem saudável, está entre 60 e 100 batimentos por minuto. Para calcular a frequência cardíaca no ECG, deve-se medir a distância entre 2 ondas R consecutivas. Sabendo o comprimento de cada “quadrado” do ECG, tem-se a frequência. Como o padrão para o ECG é um quadrado grande cujo lado representa 0,2s, dividido em 5 quadrados pequenos de lado 0,04s, podemos estabelecer fórmulas simples para efetuar o cálculo da frequência de forma rápida:

- Frequência =  $300/\text{número de quadrados grandes (entre duas ondas R)}$ ;
- Frequência =  $1500/\text{número de quadrados pequenos (entre duas ondas R)}$ ;

## **5 – Utilidade clínica do ECG**

O ECG é uma ferramenta com enorme poder clínico, principalmente pela extraordinária



gama de situações nas quais oferece informações úteis de uma maneira rápida e minimamente invasiva. É revolucionário imaginar que, se bem aplicado, um simples exame pode ter um impacto extremamente significativo na expectativa de vida de incontáveis indivíduos de forma extremamente segura e corriqueira, ao identificar possíveis desequilíbrios cardíacos que, se não tratados, levariam ao óbito. Uma breve análise em um ECG pode identificar uma arritmia potencialmente fatal, diagnosticar um infarto do miocárdio em evolução, apontar um bloqueio atrioventricular, ou apenas fornecer uma medida de garantia a uma pessoa que deseja iniciar um programa de exercícios. Entretanto, o ECG é apenas um instrumento, isso significa que sua efetividade depende diretamente do domínio intelectual do profissional que o aplica. Metaforicamente, colocar os melhores pincéis nas mãos de um indivíduo sem conhecimento e prática não é o suficiente para a execução de uma tela como a Mona Lisa, de Leonardo da Vinci.

Dessa forma, após compreender os fundamentos anatômicos e elétricos do coração, é importante reconhecer algumas anormalidades frequentes na clínica médica.

### **Isquemia e infarto agudo do miocárdio**

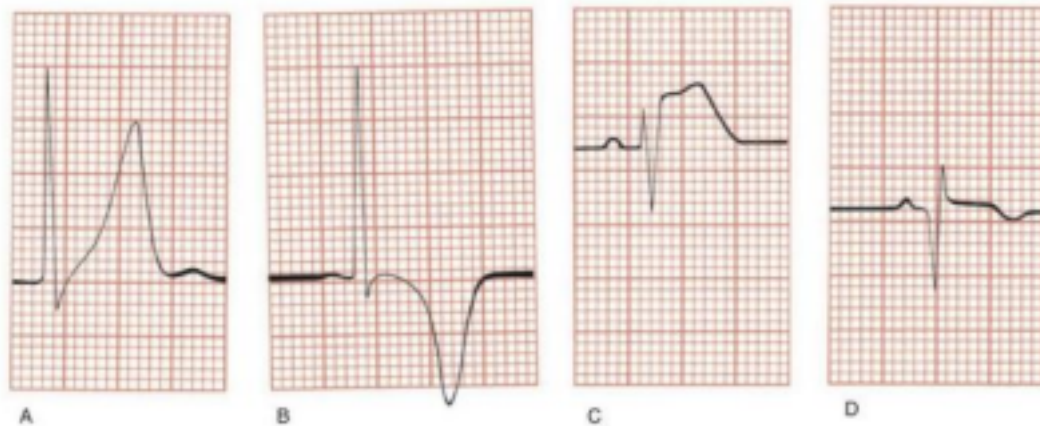
O infarto do miocárdio ocorre quando uma das artérias coronárias se torna totalmente ocluída. A região do miocárdio irrigada por aquela artéria coronária específica perde o seu suprimento sanguíneo e, privada de oxigênio e nutrientes, morre. A patogênese em quase todos os casos é o estreitamento progressivo das artérias coronárias por aterosclerose, um acúmulo de gorduras, colesterol e outras substâncias nas paredes das artérias e dentro delas. A oclusão total, que precipita o infarto, geralmente é devida a uma trombose sobreposta ou espasmo da artéria coronária.

O diagnóstico de um infarto do miocárdio é obtido a partir de três fatores que corroboram entre si a hipótese: a história do paciente e exame físico; determinação das enzimas cardíacas; o ECG. Contudo, iremos nos ater especificamente apenas nas variações do ECG.

Na maioria dos infartos, o ECG revelará o diagnóstico correto pois as alterações eletrocardiográficas acompanham o infarto do miocárdio. Entretanto, o ECG inicial nem sempre pode ser diagnóstico, e a evolução das alterações eletrocardiográficas varia de pessoa para pessoa; assim, é necessário obter eletrocardiogramas seriados quando o paciente é admitido ao hospital.

Durante um infarto agudo do miocárdio, o ECG evolui por três estágios:

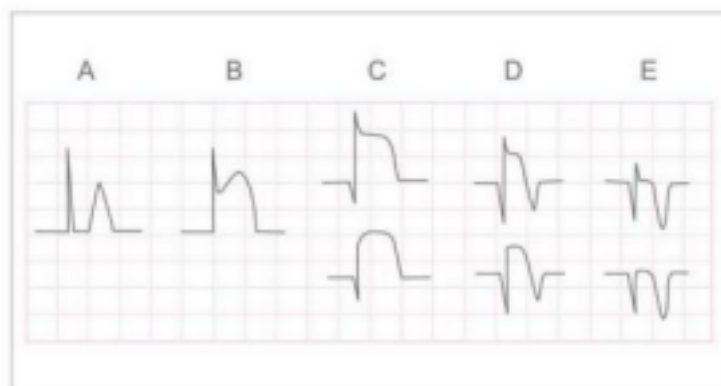
1. A onda T se torna apiculada seguida por uma inversão (A e B a seguir);
2. O segmento ST se eleva (C);
3. Novas ondas Q aparecem (D);



(A) Onda T apiculada. (B) Inversão da onda T. (C) Elevação do segmento ST. (D) Formação de uma nova onda Q.

De forma prática, em um infarto de miocárdio, agudamente, a onda T se torna apiculada e depois se inverte. As alterações da onda T refletem a isquemia miocárdica. Se ocorrer um infarto verdadeiro, a onda T permanece invertida por meses ou anos. O segmento ST, também de forma aguda, se eleva e se mescla com a onda T. A elevação do segmento ST reflete a lesão miocárdica. Se ocorrer um infarto, em geral o segmento ST retorna à linha de base dentro de algumas horas. Por fim, novas ondas Q aparecem dentro de horas ou dias. Elas significam infarto do miocárdio. Na maioria dos casos, elas persistem por toda a vida do paciente.

Embora o ECG geralmente evolua por esses três estágios durante um infarto agudo, qualquer uma dessas alterações pode estar presente sem qualquer uma das outras. Assim, por exemplo, não é incomum ver elevação do segmento ST sem inversão de onda T. Além disso, muitos infartos do miocárdio não geram ondas Q.



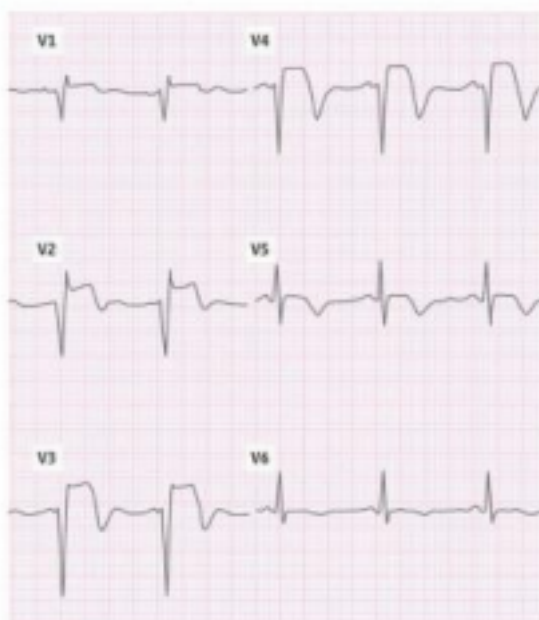
**Figura 4.8** Evolução das alterações do ECG no IAM:

- A** – ondas T hiperagudas (primeiros minutos);
- B** – supradesnível do ponto J e do segmento ST (mais ou menos 30 minutos);
- C** – surgimento de ondas Q (aproximadamente 6 horas);
- D** – inversão da onda T (cerca de 24 horas);
- E** – regressão do supradesnívelamento (pouco menos de 1 semana).

A onda Q aumenta a partir de 6 horas de evolução, enquanto o supradesnívelamento de ST diminui progressivamente; a onda T, muito ampla e positiva no início, torna-se achatada e depois negativa, e a profundidade aumenta.



**Figura 4.6** Ondas T de grande amplitude e supradesnívelamento de ST em ECG de paciente com dor precordial há cerca de 1 hora.

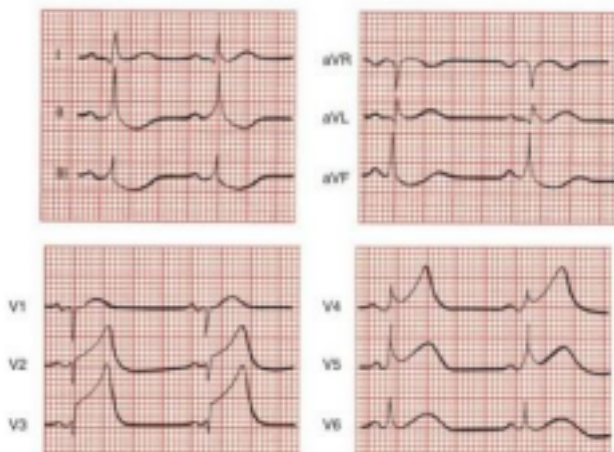


**Figura 4.7** Ondas T negativas, supradesnívelamento do segmento ST em regressão e ondas Q. ECG de IAM com mais de 24 horas de evolução.

Joan L. é uma executiva de 62 anos de idade. Ela está em uma importante viagem de negócios e passa a noite em um hotel na cidade. Pela manhã, ela acorda com falta de ar e uma forte opressão torácica que se irradia para o queixo e braço esquerdo. Ela levanta da cama e toma Pepto-Bismol, mas a dor não desaparece. Sentindo-se tonta e com náuseas, ela se senta e liga para a recepção. Seus sintomas são relatados pelo telefone ao médico do hotel que imediatamente solicita uma ambulância para levá-la a uma unidade de emergência. Ela chega ao hospital apenas 2 horas após o início dos sintomas, que continuam sem ceder apesar dos três comprimidos de nitroglicerina sublinguais administrados durante a viagem de ambulância.

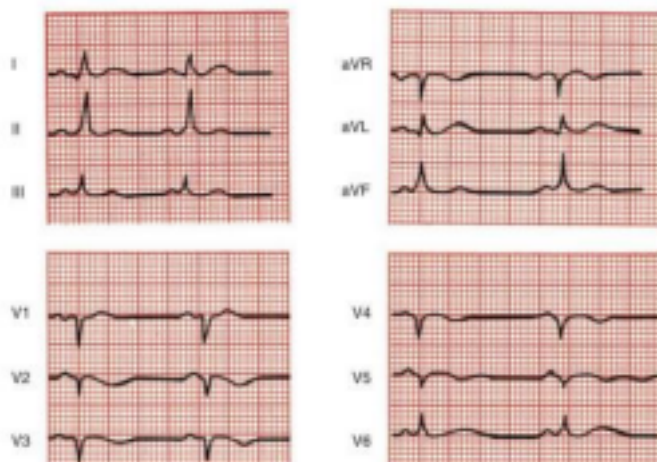
Na unidade de emergência, o ECG de 12 derivações revela o que segue.

Ela está tendo um infarto? Caso positivo, você pode dizer se é agudo e qual região do coração está sendo afetada?



O ECG mostra elevação do segmento ST nas derivações V2 à V5. Não há ondas Q. Joan está na vigência de um infarto agudo do miocárdio de parede anterior.

Na manhã seguinte, o ECG de Joan está conforme a imagem a seguir. O que mudou?

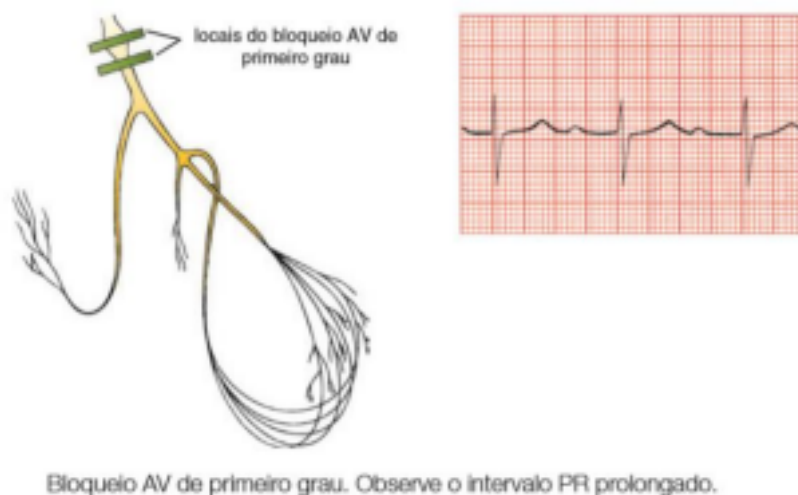


O ECG de Joan mostra que toda a ectopia ventricular foi suprimida. Ela também mostra novas ondas Q nas derivações anteriores, consistentes com uma evolução completa de um infarto anterior.

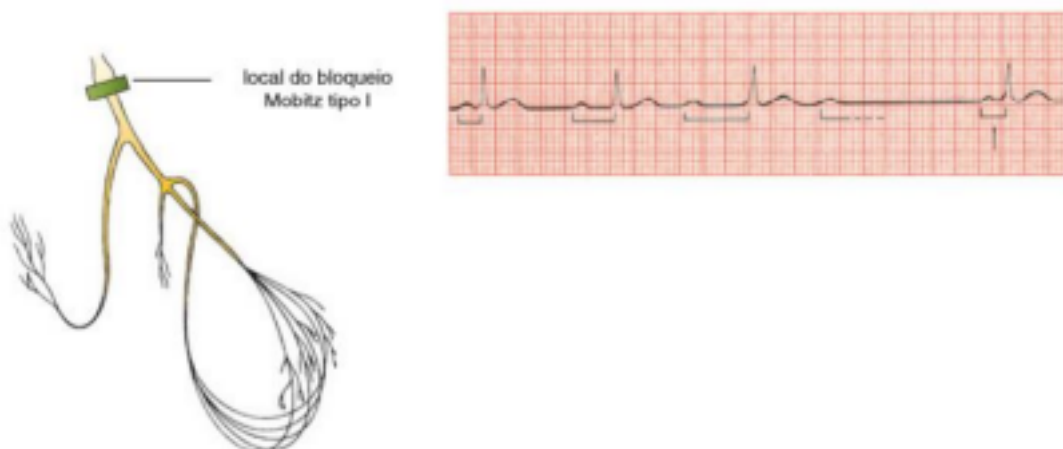
## **Bloqueio Atrioventricular (BAV)**

É um bloqueio de natureza elétrica em qualquer ponto de condução entre o nó sinoatrial e as fibras de Purkinje, logo pode ocorrer no nó atrioventricular e no feixe de His. Os bloqueios AV ocorrem em 3 variedades: *bloqueios de primeiro grau, segundo grau e terceiro grau, diagnosticados por meio de análise eletrocardiográfica entre as ondas P e o complexo QRS.*

Primeiro Grau - é caracterizado por um retardo prolongado na condução do nó AV ou do feixe de His, não sendo fisiologicamente um bloqueio, visto que todo impulso retardado nessas estruturas será conduzido para os ventrículos. Em meios eletrocardiográficos, o retardo normal do nó AV ou do feixe de His é representado pelo segmento PR, havendo no bloqueio AV de 1º Grau um prolongamento desse segmento e a onda do complexo QRS o sucedendo. Essa condição é comumente encontrada em corações normais, porém pode ser precursora de doenças degenerativas do sistema de condução ou de miocardites transitórias.

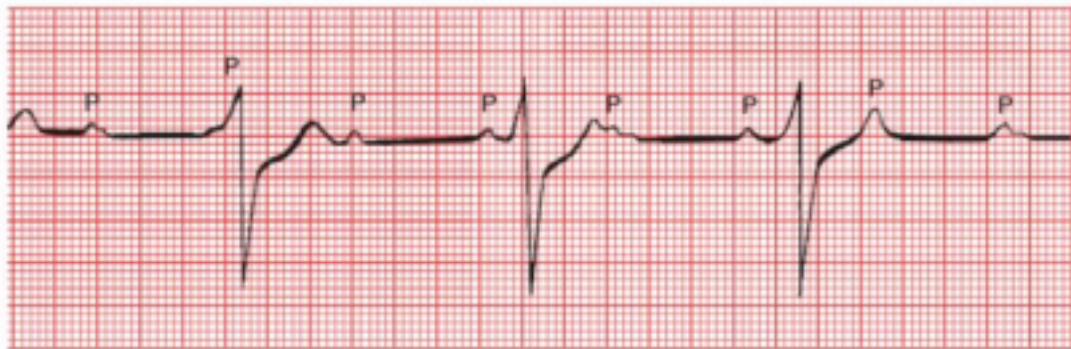


Segundo Grau - nesta situação nem todo impulso atrial propagado passará do nó AV para os ventrículos. Com algumas ondas P não conduzindo para os ventrículos, a sua proporção com o complexo QRS será maior que 1:1.





Terceiro Grau - quadro mais intenso de bloqueio AV, em que nenhum impulso atrial passa pelo nó AV para ativar os ventrículos, assim os ventrículos respondem a essa situação gerando um ritmo de escape. Dessa forma, nos bloqueios de 3º Grau, ou bloqueios AV totais, os átrios e ventrículos se contraem em ritmos distintos por não haver mais relação um com o outro. Havendo, no ECG, a presença da onda P e do complexo QRS é constante, mas sem relações entre elas, havendo o complexo QRS uma apresentação larga que indica a sua origem ventricular.



Bloqueio AV de terceiro grau. As ondas P aparecem em intervalos regulares, assim como os complexos QRS, mas não há nenhuma relação entre eles. Os complexos QRS são largos, indicando uma origem ventricular.