

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA
PROGRAMA DE RESIDÊNCIA EM MEDICINA VETERINÁRIA - CLÍNICAS MÉDICA E CIRÚRGICA DE
PEQUENOS ANIMAIS

ANDERSON PRADO DUZANSKI

**Relevância clínica e competência na interpretação do
eletrocardiograma por profissionais de saúde:
uma revisão narrativa**

São Paulo

2023

ANDERSON PRADO DUZANSKI

**Relevância clínica e competência na interpretação do
eletrocardiograma por profissionais de saúde:
uma revisão narrativa**

Monografia apresentada à Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo como exigência parcial para conclusão do Programa de Residência em Área Profissional em Medicina Veterinária (MEC) - Clínicas Médica e Cirúrgica de Pequenos Animais.

Área de concentração: Clínica Médica de Pequenos Animais.

Orientadora: Profa. Dra. Denise Saretta Schwartz.

São Paulo

2023

Nome: DUZANSKI, Anderson Prado

Título: **Relevância clínica e competência na interpretação do eletrocardiograma por profissionais de saúde: uma revisão narrativa**

Data: 16/01/2023

Banca examinadora

| | |
|-------------|-------|
| Prof. Dr. | _____ |
| Instituição | _____ |
| Julgamento | _____ |

| | |
|-------------|-------|
| Prof. Dr. | _____ |
| Instituição | _____ |
| Julgamento | _____ |

| | |
|-------------|-------|
| Prof. Dr. | _____ |
| Instituição | _____ |
| Julgamento | _____ |

São Paulo, 16 de janeiro de 2023.

RESUMO

DUZANSKI, AP. **Relevância clínica e competência na interpretação do eletrocardiograma por profissionais de saúde: uma revisão narrativa.** 2023. f.38. Trabalho de Conclusão do Programa **(Residência na Saúde em Medicina Veterinária - Clínicas Médica e Cirúrgica de Pequenos Animais)** - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2023.

Muitos estudantes e profissionais de saúde carecem de confiança e não se sentem seguros em interpretar ECG. A busca por competência na interpretação de ECG é criticamente importante no currículo de graduação e pós-graduação de profissionais de saúde, sendo uma área do treinamento profissional que pode, potencialmente, fundamentar decisões clínicas e melhorar o prognóstico do paciente. Esse estudo propôs discutir a forma como a educação formal do ECG tem sido oferecida, no empenho de colaborar no diagnóstico de pontos críticos da formação profissional e no encontro de estratégias didáticas mais adequadas ao ensino do ECG. Constatou-se que, embora o ECG seja uma das ferramentas diagnósticas mais poderosas da prática médica, ele parece não estar sendo utilizado em todo o seu potencial diagnóstico devido a carência na formação profissional. Há, no entanto, evidência limitada na literatura sobre a educação necessária para a aquisição e subsequente manutenção das habilidades de interpretação de ECG. Entende-se que uma revisão do processo de ensino-aprendizagem do ECG se faz necessário para um desenvolvimento curricular baseado em resultados.

Palavras-chave: ECG, arritmias, profissionais de saúde, interpretação de ECG.

ABSTRACT

DUZANSKI, AP. **Clinical relevance and competence in electrocardiogram interpretation by health professionals: a narrative review**. 2023. f.38. Undergraduate thesis (**Residence in Veterinary Medicine - Small Animal Medical and Surgical Clinics**) - Faculty of Veterinary Medicine and Animal Science, University of São Paulo, São Paulo, 2023.

Many students and healthcare professionals lack confidence and feel unsure about interpreting ECGs. The pursuit of competence in ECG interpretation is extremely important in the undergraduate and graduate curriculum of healthcare professionals, being an area of professional training that can potentially inform clinical decisions and improve patient prognosis. Thus, this study proposed to discuss how formal ECG education has been offered, in the effort to collaborate in the diagnosis of critical points in professional training and in finding the most appropriate didactic strategies for teaching ECG. It was found that, although the ECG is one of the most powerful diagnostic tools in medical practice, it seems not to be used to its full diagnostic potential due to lack of professional training. There is, however, limited evidence in the literature about the education required for the acquisition and subsequent maintenance of ECG interpretation skills. It is understood that a review of the ECG teaching-learning process is necessary for a curriculum development based on results.

Keywords: ECG, arrhythmias, healthcare professionals, ECG interpretation.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Willem Einthoven (1860-1927)..... | 14 |
| Figura 2 - Registro obtido pelo eletrômetro capilar de Lippman por Waller (acima), traçado com o eletrômetro capilar usando correção matemática realizada por Einthoven, usando a terminologia P, Q, R, S e T (registro intermediário) e registro de um dos primeiros eletrocardiogramas registrados com o galvanômetro de corda publicado em 1902 por Einthoven (abaixo)..... | 16 |
| Figura 3 - Derivações bipolar e unipolar dos membros no plano frontal (derivações I, II, III, aVR, aVL, aVF) e das derivações precordiais (derivações V1, V2, V3, V4, V5, V6) no plano horizontal (ou transversal)..... | 16 |
| Figura 4 - Sequência de condução do impulso elétrico e ativação da câmara cardíaca em relação ao ECG. AV, Atrioventricular; AE, átrio esquerdo; LBB, ramo esquerdo do feixe de His; LV, ventrículo esquerdo; RA, átrio direito; RBB, ramo direito do feixe de His, RV ventrículo direito; SA, sinoatrial..... | 17 |
| Figura 5 - Triângulo de Einthoven. Projeção do vetor cardíaco nos eixos formados pelas derivações bipolares dos membros. RS: membro superior direito; LS: membro superior esquerdo; LI: membro inferior esquerdo; I: derivação I; II: derivação II e III: derivação III..... | 20 |
| Figura 6 - Classificação dos mecanismos das arritmias..... | 23 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 1 - Marcos clinicamente pertinentes no desenvolvimento do ECG..... | 13 |
| Quadro 2 - Resumo das formas de onda do ECG..... | 18 |
| Quadro 3 - Indicações clínicas para uso de ECG..... | 21 |
| Quadro 4 - Diferentes formatos de ensino de ECG na graduação e pós-graduação de cursos da área da saúde..... | 28 |

SUMÁRIO

| | | |
|------------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 10 |
| 2 | MATERIAIS E MÉTODOS..... | 11 |
| 3 | REVISÃO DE LITERATURA..... | 12 |
| 3.1 | Uma breve história..... | 12 |
| 3.2 | Anatomia e eletrofisiologia cardíaca | 16 |
| 3.3 | ECG e perspectiva clínica | 19 |
| 3.4 | Arritmias | 22 |
| 3.5 | Competência na interpretação do ECG | 24 |
| 3.6 | Ensino e aprendizagem de ECG | 27 |
| 4. | CONCLUSÃO..... | 31 |
| 5. | REFERENCIAS | 32 |

JUSTIFICATIVA

Na prática clínica, profissionais de saúde de diferentes especialidades tomam decisões importantes sobre condutas diagnósticas e intervenções terapêuticas na gestão do cuidado e segurança do paciente. O eletrocardiograma (ECG) é usado no diagnóstico, na tomada de decisões de gerenciamento de risco e na avaliação de resposta à terapia e, apesar de seu extenso uso na prática clínica, erros e discordâncias constantes entre profissionais de saúde levantam sérias preocupações e são motivos de ampla discussão na literatura.

Muitos são os estudantes e profissionais de saúde que carecem de confiança e não conseguem interpretar com precisão o ECG básico. Embora o estudo do ECG seja um componente fundamental de ensino-aprendizagem no currículo profissional de cursos de graduação e pós-graduação de área da saúde, o ensino consistente de ECG tem se mostrado um grande desafio e o estabelecimento e a adesão a métodos padrão baseados em evidências endossados por instituições de ensino ainda pode ser um longo caminho a percorrer.

Numa era de educação e práticas de ensino baseadas em evidências, o presente estudo pretende por meio de uma revisão das evidências sobre a habilidade de interpretação de ECG entre estudantes e profissionais de saúde, colaborar com a literatura oportunizando o diagnóstico de pontos críticos da formação e buscando encontrar as estratégias didáticas mais adequadas ao ensino do ECG que promovam aprimoramento profissional.

1 INTRODUÇÃO

Definido como um registro da atividade elétrica do coração plotada em função do tempo, o eletrocardiograma (ECG) permaneceu como pedra angular na prática médica por quase um século e, ainda hoje, continua figurando entre as ferramentas diagnósticas mais valiosas da prática médica.¹ Cem anos de progresso levaram à sua forma atual de 12 derivações, com utilidade clínica atualmente para diversos ambientes de saúde, especialmente hospitais e unidades de terapia intensiva.²⁻³

Um ECG fornece uma medida da frequência e do ritmo do coração. Seu registro fornece uma orientação valiosa na avaliação e monitoramento de doenças cardiovasculares como arritmias, isquemias e cardiomiopatias. O ECG também pode ajudar no diagnóstico de distúrbios eletrolíticos. O diagnóstico de arritmias é totalmente baseado em um registro de ECG. Ambas medicinas humana e veterinária são beneficiadas com seu uso clínico, que tem implicações importantes para a tomada de decisões médicas.⁴

A interpretação do ECG é tradicionalmente ensinada como parte do currículo de profissionais de saúde. Porém, a literatura mostra que muitos estudantes e profissionais de saúde carecem de confiança e não se sentem seguros em interpretar ECG. Estudos abrangentes demonstram baixa precisão nas interpretações de ECG entre estudantes de medicina,⁵⁻⁶ residentes em programas de área da saúde,⁷⁻⁸ e profissionais de saúde incluindo médicos, médicos-veterinários e enfermeiros,⁹⁻¹⁰ persistindo muitas vezes mesmo após intervenções educativas.¹¹

Essa constatação preocupante levou o *American College of Cardiology* (ACC) e a *American Heart Association* (AHA) a publicarem diretrizes baseadas em consenso para atingir a competência clínica.¹² Apesar dos esforços, mesmo padrões quantitativos rígidos e uma proposta de abordagem de ensino baseada em estrutura analítica não são suportadas pela literatura baseada em evidência,

que mostra grande variação no formato de ensino e competência insatisfatória entre os profissionais de saúde.⁵⁻¹¹

Relatórios globais apontam a doença cardíaca como grave problema de saúde pública e causa comum de morte em todo o mundo.¹⁴ As arritmias são a principal causa de morte súbita cardíaca.¹² Também na medicina veterinária, a doença cardíaca é causa comum de morbidade e mortalidade,¹⁰ sendo imperativo que profissionais de saúde que trabalham em ambientes onde a interpretação do ECG pode alterar o manejo do paciente devam buscar qualificação para interpretá-lo.²⁻⁸

A busca por competência na interpretação de ECG é essencial no currículo de graduação e pós-graduação de profissionais de saúde, sendo uma área do treinamento profissional que pode, potencialmente, fundamentar decisões clínicas e melhorar o prognóstico do paciente. Não se espera, é claro, que todo profissional da saúde incluindo médico, médico-veterinário e enfermeiro, seja um perito em interpretar ECG. Mas, ao se formar, os estudantes devem ser encorajados a adquirir habilidades básicas para permitir o reconhecimento de eventos clínicos potencialmente fatais ao paciente.

Assim, neste estudo, buscou-se fornecer evidências de estudos revisados por pares que mediram a habilidade e o desempenho na interpretação do ECG por estudantes e profissionais de saúde com ou sem o auxílio de um cenário clínico contextualizado para contribuir na busca de estratégias para melhorias no ensino do ECG.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

As bases de dados PubMed (MEDLINE), Scopus, EMBASE, Science Direct (Elsevier), SciELO e LILACS (BIREME) foram utilizadas como fontes de estudo de busca eletrônica. Não foram adicionados filtros para limitações, incluindo idioma ou ano de publicação. Mediante a seleção dos

artigos nas bases de dados, foram considerados elegíveis os artigos revisados por pares incluindo treinamento, competência e resultados de interpretação de ECG por estudantes e profissionais de área da saúde.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Uma breve história

Por necessidade, esta é uma breve revisão destacando o progresso no desenvolvimento do ECG clínico e enfocando alguns dos principais pesquisadores que tornaram esse progresso possível (Quadro 1).

A eletrofisiologia surgiu e desenvolveu-se ao longo do século XIX. Em 1842, o físico italiano Carlo Matteucci, utilizando coração de sapo, demonstrou que uma corrente elétrica acompanhava cada contração cardíaca. Pouco tempo depois, o fisiologista alemão DuBois-Reymond, considerado fundador da eletrofisiologia, descreveu o potencial de ação e confirmou a descoberta de Matteucci.¹⁵ As primeiras tentativas de registrar a atividade elétrica do coração humano e do cão foram realizadas com um eletrômetro capilar de mercúrio por Waller em 1887.¹⁶ Ele usou o eletrômetro capilar de Lippmann e embora tenha contribuído de forma decisiva para o desenvolvimento da eletrocardiografia, Waller não acreditava na aplicabilidade clínica da eletrocardiografia, concluindo que as dificuldades técnicas a impossibilitava.¹⁵

Tempos mais tarde, a aquisição da atividade elétrica do coração e o registro desta atividade para interpretação foi conquistada pelo fisiologista holandês Willem Einthoven (Figura 1). Sua engenhosidade em corrigir matematicamente traçados de eletrômetro capilar o levou a invenção do galvanômetro de corda, um dispositivo capaz de medir e gravar com precisão os sinais de ECG. Einthoven permitiu que a eletrocardiografia surgisse como um campo de valor prático da medicina;

reuniu importantes informações sobre padrões de ECG e propagou as suas vantagens clínicas por toda a comunidade médica. Por seu trabalho, recebeu, em 1924, o Prêmio Nobel de Fisiologia e Medicina.¹⁶

Quadro 1 - Marcos clinicamente pertinentes no desenvolvimento do ECG.

- Em 1616, Harvey descobriu que a circulação sanguínea se deve ao batimento cardíaco. Mais tarde foi reconhecido que o batimento cardíaco era um processo elétrico.
- Em 1887, Augustus Desire Waller registrou as mudanças elétricas do ser humano coração pela primeira vez, usando o eletrômetro capilar.
- Em 1895, Einthoven cunhou os termos P, Q, R, S e T para as curvas do eletrocardiograma.
- Por volta de 1901, Einthoven inventou o eletrocardiograma de 3 derivações baseado em galvanômetro de corda (máquina para traçados precisos da atividade elétrica cardíaca).
- Em 1908, o eletrocardiograma foi introduzido nos Estados Unidos.
- Em 1909, Waller relatou a atividade elétrica do coração canino com o galvanômetro de corda de Einthoven. Ele usou o termo eletrocardiograma pela primeira vez. A aplicação clínica da eletrocardiografia em cães foi iniciada por Norr em 1922.
- Em 1924, Einthoven ganhou o Prêmio Nobel de fisiologia e medicina por sua extraordinária contribuição médica.
- Durante 1934–1938, Wilson inventou as derivações precordiais terminais centrais.
- Em 1954, a American Heart Association padronizou o ECG de 12 derivações.
- O eletrocardiograma de cães recebeu maior atenção em 1949.

Fonte: Varshney, 2020.¹⁷

O primeiro sistema de eletrodos desenvolvido por Einthoven utilizava três eletrodos bipolares posicionados nos membros do paciente de forma a formar um triângulo equilátero, (triângulo de Einthoven) e deu origem ao registro eletrocardiográfico composto por cinco ondas sucessivas que ele mesmo denominou P, Q, R, S e T (Figura 2). O motivo da escolha das letras P, Q, R, S, T por

Einthoven não foi por ele explicado, porém, reflete a tradição matemática que remonta ao século XVII com o filósofo e matemático René Descartes.¹⁵ Além disso, Einthoven introduziu o conceito de vetor cardíaco e defendeu seu uso clínico na distinção entre hipertrofias e mudanças na posição do coração.¹⁸⁻²⁰

Figura 1- Willem Einthoven (1860-1927).



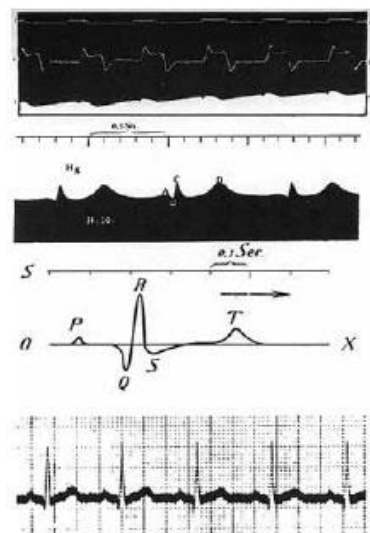
Fonte: Salam, 2019.²⁰

A criação de Einthoven foi levada adiante por muitos cientistas e contribuiu para inaugurar uma nova era na Medicina. Thomas Lewis, considerado sucessor de Einthoven, dedicou-se até 1920 ao estudo das arritmias e fez valorosas contribuições médicas. Ele expôs, em seu livro *Clinical Disorders of the Heart Beat*, os termos "marca-passo", contrações prematuras", taquicardia paroxística", fibrilação atrial", além de agrupar as arritmias em seis grupos: arritmia sinusal, bloqueio, contração prematura, taquicardia paroxística, fibrilação atrial e alternância de pulso.¹⁵⁻¹⁶

Até 1920, Einthoven e Lewis dominaram os primeiros anos da eletrocardiografia e o estudo das arritmias. O período seguinte foi fortemente influenciado por pesquisadores como Wilson e Goldberg, que descreveram as derivações unipolares torácicas (V1 a V6) e versões aumentadas de membros (aVL, aVR, aVF), respectivamente. Em 1934, Wilson desenvolveu o conceito de derivações unipolares a partir de um eletrodo explorador e um indiferente (terminal central de Wilson). A

criação deste conceito foi primordial para o desenvolvimento e utilidade clínica das derivações precordiais (torácicas) e, em 1938, a American Heart Association (ASH) publicou suas recomendações para registro das derivações precordiais (V1 a V6), e a localização do eletrodo explorador.¹⁸⁻²¹

Figura 2 - Registro obtido pelo eletrômetro capilar de Lippman por Waller (acima), traçado com o eletrômetro capilar usando correção matemática realizada por Einthoven, usando a terminologia P, Q, R, S e T (registro intermediário) e registro de um dos primeiros eletrocardiogramas registrados com o galvanômetro de corda publicado em 1902 por Einthoven (abaixo).

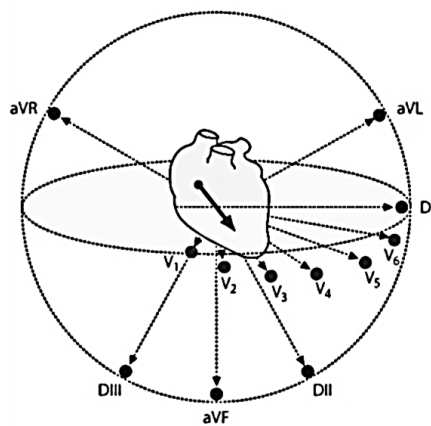


Fonte: Giffoni e Torres, 2009.²¹

Assim, o ECG de 12 derivações como é conhecido hoje contém as três derivações de membros bipolares introduzidas por Einthoven (DI, DII e DIII), as três derivações de membros unipolares aumentadas de Goldberg (aVL, aVR, aVF) e as seis derivações precordiais unipolares de Wilson (V1–V6) (Figura 3).^{3,22} Desde a época de Einthoven, o uso e a aplicação do ECG cresceram, tornando-se parte integrante da avaliação e tratamento de pacientes com queixas cardíacas.

Certamente, isso não poderia ter acontecido sem o trabalho visionário e dedicado de cientistas como Einthoven, Wilson e Goldberg.

Figura 3 - Derivações bipolar e unipolar dos membros no plano frontal (derivações I, II, III, aVR, aVL, aVF) e das derivações precordiais (derivações V1, V2, V3, V4, V5, V6) no plano horizontal (ou transversal).



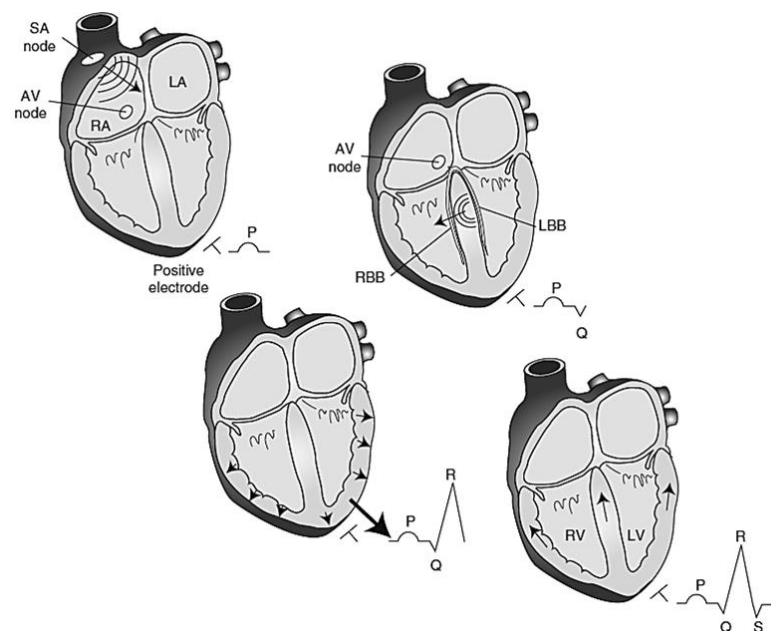
Fonte: Santili et al. (2018).²²

3.2 Anatomia e eletrofisiologia cardíaca

Uma compreensão básica da anatomia e fisiologia cardíaca é essencial para a compreensão dos achados de ECG. O coração é um órgão muscular composto por quatro câmaras com dois átrios (direito e esquerdo) que se abrem nos ventrículos direito e esquerdo através das válvulas tricúspide e mitral, respectivamente. Uma parede de músculo chamada septo separa as quatro câmaras. O coração recebe sangue não oxigenado de todo o corpo através das veias cavas superior e inferior, que entram primeiro no átrio direito. Após, passa pelo ventrículo direito e depois para os pulmões através das artérias pulmonares direita e esquerda, onde é oxigenado. O sangue oxigenado dos pulmões segue em direção ao átrio esquerdo pelas veias pulmonares direita e esquerda e, depois disso, é bombeado pelo ventrículo esquerdo para a aorta e o resto do corpo.²³

O coração pode ser considerado uma bomba dupla, conduzindo o sangue por circuitos pulmonares e sistêmicos dispostos em série, cuja atividade mecânica é orientada pelo sistema de condução elétrica. Embora a bomba direita seja um sistema de baixa pressão devido à pouca resistência pulmonar, a bomba esquerda é um sistema de alta pressão, necessário para superar a resistência vascular periférica. O tempo e a coordenação da contração muscular no coração adulto são coordenados pelo nodo sinoatrial (marca-passo), nodo atrioventricular, feixe de His e fibras de Purkinje (Figura 4).^{22,24}

Figura 4 - Sequência de condução do impulso elétrico e ativação da câmara cardíaca em relação ao ECG. AV, Atrioventricular; AE, átrio esquerdo; LBB, ramo esquerdo do feixe de His; LV, ventrículo esquerdo; RA, átrio direito; RBB, ramo direito do feixe de His, RV ventrículo direito; SA, sinoatrial.



Fonte: Smith et al. (2016).²⁴

Para cada ciclo cardíaco, um impulso do nodo sinoatrial, localizado no átrio direito, é rapidamente propagado através do miocárdio atrial, com consequente despolarização dos átrios. A

despolarização dos átrios resulta na *onda P* e contração atrial. Após gerado, o impulso é conduzido para o nó átrio ventricular (AV), próximo ao septo intraventricular. A atividade elétrica dos átrios é isolada dos ventrículos pelo esqueleto cardíaco fibroso, que força toda a atividade elétrica a seguir para os ventrículos através do nó AV. A condução nesse segmento é lenta, permitindo que a contração atrial seja concluída antes que ocorra a despolarização ventricular. Ao sair do nó AV, a velocidade de condução aumenta significativamente, e o impulso é rapidamente espalhado por células de condução especializadas através do feixe de His e termina em uma rede de fibras denominada sistema de Purkinje, que resulta na despolarização rápida e quase simultânea dos ventrículos, representada no *complexo QRS*. A repolarização ventricular segue-se rapidamente à despolarização e resulta na onda T (Quadro 2).²²⁻²⁵

As formas de ondas produzidas durante um registro de ECG refletem porções específicas da atividade elétrica do coração e uma curva típica de ECG mostra, portanto, cinco deflexões denominadas P, Q, R, S e T, que dividem os eventos do ciclo cardíaco em diástole e sístole. A diástole representa o enchimento ventricular e a sístole representa a contração e ejeção ventricular.

Quadro 2 - Resumo das formas de onda do ECG.

- Onda P representa a despolarização atrial
- Onda Q é a primeira deflexão negativa que representa a despolarização do septo ventricular
- Onda R é a primeira deflexão positiva que representa despolarização ventricular precoce
- Onda S é a próxima deflexão negativa que representa a despolarização ventricular tardia
- Onda T representa a repolarização ventricular

Fonte: Santili et al. (2018).²²

A capacidade das células de gerar e propagar energia elétrica está ligada à presença e movimento de íons (Na^+ , Ca^{2+} e K^+) entre os dois lados da membrana celular. A bomba de sódio-

potássio é amplamente reconhecida como o principal mecanismo de transporte de íons ativos através da membrana celular do tecido cardíaco, sendo responsável pela criação e manutenção dos gradientes iônicos de sódio e potássio, decisivos para a eletrofisiologia cardíaca.²⁴

3.3 ECG e perspectiva clínica

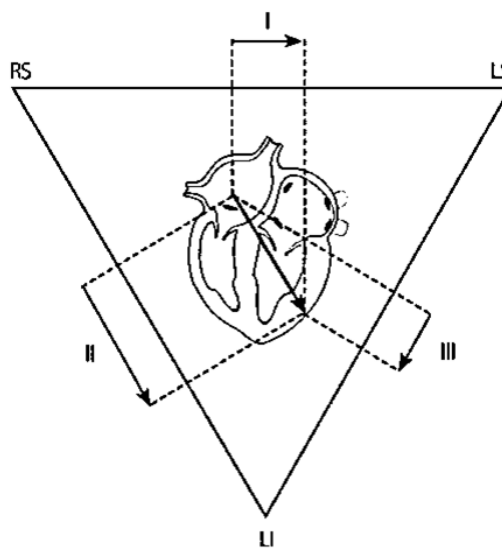
O ECG fornece informações referentes apenas à atividade elétrica, não mecânica, do coração. Assim, o diagnóstico das arritmias cardíacas e a elucidação dos seus mecanismos dependem, exclusivamente, de um ECG. Essa ferramenta de diagnóstico centenária renasce à medida que novas tecnologias e utilidade clínica surgem. Desde o primeiro sistema de registro de ECG de Einthoven até agora, o registro de ECG passou por uma enorme transformação de um sistema totalmente analógico para gravadores totalmente computadorizados.³

O ECG é uma ferramenta diagnóstica essencial de triagem e diagnóstico usado para identificar anormalidades cardiovasculares, bem como emergências cardíacas. Sua utilidade clínica não se limita apenas à detecção de arritmias, mas se estende ao diagnóstico indireto de doença cardíaca estrutural (dilatação atrial e hipertrofia ventricular) e processos inflamatórios, como a pericardite.^{17,22} Seu uso é ainda importante na avaliação e tratamento de uma série de doenças cardiovasculares, assim como condições não cardíacas, incluindo distúrbios eletrolíticos e doenças pulmonares.⁴

O ECG registra potenciais elétricos gerados pelo músculo cardíaco durante os ciclos cardíacos. Esses potenciais são detectados na superfície do corpo por meio de eletrodos fixados em locais padronizados nos membros e tórax. Os sinais elétricos são amplificados pelo eletrocardiógrafo e exibidos em papel gráfico em voltagem e tempo. As derivações dos membros são definidas como RS: membro superior direito; LS: membro superior esquerdo; LI: membro inferior esquerdo. A saída de cada par de eletrodos é chamada de derivação e numerada com os

algarismos romanos I, II e III. As derivações dos membros formam o triângulo de Einthoven (Figura 5). Cada derivação olha para o coração de um ângulo diferente dentro do plano frontal do indivíduo.²²

Figura 5 - Triângulo de Einthoven. Projeção do vetor cardíaco nos eixos formados pelas derivações bipolares dos membros. RS: membro superior direito; LS: membro superior esquerdo; LI: membro inferior esquerdo; I: derivação I; II: derivação II e III: derivação III.



Fonte: Santilli et al. (2018).²²

Existem seis derivações de membros que representam a despolarização cardíaca no plano frontal. As derivações I, II e III são chamadas derivações de membros bipolares porque registram a atividade elétrica entre dois eletrodos de membros. Usando os mesmos eletrodos das derivações I, II e III, as derivações unipolares dos membros também medem a atividade elétrica entre dois terminais, mas o eletrodo de registro é sempre positivo e o terminal negativo (chamado de terminal central de Wilson). Esses eletrodos de membros unipolares visualizam o coração de diferentes ângulos (ou vetores) porque o eletrodo negativo é zerado, permitindo que o eletrodo positivo se torne o eletrodo “explorador”. Esses eletrodos de membros são nomeados após seu eletrodo

positivo, localizado no lado esquerdo braço (aVL), o braço direito (aVR) e o pé esquerdo (aVF), onde “aV” representa tensão aumentada. Juntamente com as derivações I, II e III, as derivações aumentadas dos membros aVR, aVL e aVF formam a base do sistema de referência hexaxial (I, II, III, aVR, aVL, aVF) (Figura 3) que é usado para calcular o eixo elétrico do coração.^{22,24}

As derivações do tórax exibem a atividade elétrica do coração no plano transversal. Isso complementa as informações sobre os campos elétricos obtidos do plano frontal (derivações dos membros). As derivações do tórax são denominadas derivações V. São unipolares com o eletrodo explorador positivo colocado no tórax (precórdio) junto com terminal central de Wilson usado para o eletrodo negativo. Os eletrodos das derivações torácicas são colocados diretamente no tórax.³ Assim, usando um ECG de 12 derivações com eletrodos colocados corretamente, todo o coração é coberto em um espaço tridimensional, permitindo avaliação de características importantes como frequência cardíaca, ritmo, eixo elétrico, morfologia de onda (localização e amplitude) e critérios para sugerir aumento do coração (Quadro 3).¹⁷

Quadro 3 - Indicações clínicas para uso de ECG.

- Documentar arritmias detectadas pela ausculta.
- Avaliar um paciente apresentando síncope (desmaio) ou fraqueza episódica.
- Monitoramento da frequência cardíaca e do ritmo durante a anestesia.
- Frequência cardíaca e monitoramento do ritmo em pacientes criticamente enfermos.
- Monitoramento de alterações na frequência e no ritmo após o uso de medicamentos.
- Avaliação das alterações na morfologia do ECG e frequência cardíaca devido a desequilíbrios eletrolíticos associados a doença extracardíaca ou toxicidade de drogas.
- Detecção de doença pericárdica.
- Identificar distúrbios de condução ou deslocamentos de eixo associada à hipertrofia ou dilatação miocárdica.
- Registro ambulatorial de ECG (Holter) para monitoramento de arritmias intermitentes.

Fonte: Varshney, 2020.¹⁷

3.4 Arritmias

É fundamental para análise e interpretação do ECG determinar a frequência cardíaca, o ritmo, se esse é regular ou irregular, e a magnitude das deflexões que serão positiva ou negativa dependendo do sentido da corrente de despolarização (ou repolarização) em relação ao eletrodo que faz o registro. O ritmo sinusal, conforme visto anteriormente, é gerado no nó SA, conduzido e desacelerado ao passar pelo nó AV. Em seguida é conduzido através do feixe de His para os ramos esquerdo e direito e, finalmente, para as fibras de Purkinje. Logo, qualquer desvio dessa via de condução pode resultar em arritmia.

Segundo Nattel (2002)²⁶ existem muitos fatores que isoladamente, ou em conjunto, podem influenciar a atividade elétrica cardíaca, incluindo alterações eletrofisiológicas a níveis celular ou tecidual cardíaco. Em geral, os sinais e sintomas de arritmias em seres humanos incluem ansiedade, palpitações, tonturas, síncope, fadigas, intolerância ao exercício, dispnéia, convulsões e insuficiência cardíaca congestiva. A maioria desses sinais estão presentes em cães e gatos.²⁴

Uma arritmia cardíaca é definida como uma variação da frequência cardíaca normal e/ou ritmo, sendo amplamente categorizada em bradiarritmias e taquiarritmias com base na frequência cardíaca. Elas são ainda divididas de acordo com a origem, formas de condução e síndromes associadas. Pacientes com arritmia podem apresentar um amplo espectro de apresentação clínica, desde totalmente assintomáticos até parada cardíaca súbita. Existem vários tipos de arritmias, variando de batimentos prematuros menos prejudiciais a bloqueio de condução sinoatrial ou atrioventricular e arritmia sustentada, como a fibrilação atrial. Qualquer arritmia que afete a onda P representa alterações na condução atrial. Qualquer arritmia que afete o complexo QRS representa alterações na condução ventricular.²⁷ A Figura 6 mostra a classificação dos mecanismos de arritmia conforme proposta por Hoffman e Rosen (1981).²⁸

Figura 6 - Classificação dos mecanismos das arritmias.

| Abnormal impulse generation | Abnormal impulse conduction | Simultaneous abnormalities of impulse generation and conduction |
|--|--|--|
| A. Normal automatic mechanism 1. Abnormal rate a. Tachycardia b. Bradycardia 2. Abnormal rhythm a. Premature impulses b. Delayed impulses c. Absent impulses B. Abnormal automatic mechanism 1. Phase 4 depolarization at low membrane potential 2. Oscillatory depolarizations at low membrane potential preceding upstroke C. Triggered activity 1. Early after depolarizations 2. Delayed after depolarizations 3. Oscillatory depolarizations at low membrane potentials following action | A. Slowing and block 1. Sinoatrial block 2. Atrioventricular block 3. His bundle block 4. Bundle branch block B. Unidirectional block and re-entry 1. Random re-entry a. Atrial muscle b. Ventricular muscle 2. Ordered re-entry b. AV node and junction c. His-Purkinje system d. Purkinje fibre-muscle junction e. Abnormal AV connection (WPW) 3. Summation and inhibition C. Conduction block and reflection | A. Phase 4 depolarization and impaired conduction 1. Specialized cardiac fibres B. Parasystole |

Fonte: Hoffman e Rosen, 1981.²⁸

A base fisiopatológica das arritmias é complexa e ainda não totalmente compreendida. As arritmias envolvendo os átrios são categorizadas como supraventriculares. As arritmias envolvendo os ventrículos são denominadas ventriculares. As arritmias podem ser divididas entre aquelas causadas por formação anormal de impulsos e aquelas causadas por condução anormal. Alguns pacientes podem apresentar ambas. Em geral, as bradiarritmias ou taquiarritmias ocorrem devido a alterações em propriedades elétricas importantes do miocárdio, incluindo formação de impulsos, condução e repolarização. No coração, o nodo sinusal atua como marca-passo, gerando impulsos elétricos. Outras regiões do coração também têm atividade de marca-passo, mas são suprimidas fisiologicamente pelo nodo sinusal. A função alterada do canal iônico pode aumentar a função do

marca-passo, um processo denominado automaticidade aumentada, levando a arritmias. Como o nodo sinusal é altamente innervado pelo sistema nervoso autônomo, alterações no tônus autonômico também podem afetar a automaticidade, levando a taquicardia ou bradicardia sinusal.²⁸⁻³⁰

Outro mecanismo descrito de arritmia é a reentrada, que pode ocorrer quando o período refratário é encurtado. A velocidade de condução retardada também pode permitir a reentrada porque as células são excitáveis novamente quando o impulso retardado chega.²⁹ Alterações estruturais, como dilatação e fibrose, estendem as vias de condução, retardam a condução e criam barreiras à condução, favorecendo a iniciação e a manutenção dos circuitos de reentrada. No miocárdio saudável, a repolarização é razoavelmente homogênea; entretanto, na doença, os processos de remodelação podem causar heterogeneidade eletrofisiológica dentro do miocárdio, causando diferenças de repolarização. Essa dispersão da repolarização tem sido descrita como um mecanismo potencial subjacente às arritmias.³⁰

3.5 Competência na interpretação de ECG

A competência na interpretação de ECG é uma importante área do treinamento clínico de graduação e pós-graduação na área de saúde que ajuda no diagnóstico rápido de doenças potencialmente fatais. Arritmias são relatadas como importantes questões de saúde pública.¹⁵⁻¹⁶ Contudo, a funcionalidade clínica de um ECG, depende da familiaridade e habilidade do profissional para registrar e interpretar o teste corretamente.⁶

Embora seja difícil estimar com precisão o número real geral de eventos clínicos adversos devido à interpretação incorreta do ECG, Mele et al. (2008)³¹ afirmaram que 10.000 mortes anuais apenas nos EUA seria um número conservador. Além de aumentar os custos de saúde tanto para hospitais quanto para pacientes, erros de interpretações de ECG podem levar a decisões clínicas com desfechos adversos ao paciente.⁶

A transição do ECG analógico para digitais permitiu a análise computadorizada de ECG, que assumiu um papel maior na interpretação diagnóstica, afetando a exigência de competência humana.³¹⁻³² Lee et al. (1987)³³ em um estudo multicêntrico observaram que cerca de 50% dos infartos agudos do miocárdio não diagnosticados em uma sala de emergência poderiam ter sido identificados por meio de competência no ECG. Anh et al., (2006)³⁴ mostraram que o ECG de 382 pacientes havia sido interpretado incorretamente pela interpretação computadorizada do ECG e, destes, a interpretação incorreta não foi identificada pelo profissional solicitante em 92 casos, levando à prescrição de terapia incorreta. Adicionalmente, Bogun et al. (2004)³⁵ relataram tratamento inadequado em 24% dos pacientes, cujo ECG foi interpretado exclusivamente por um software de computador.

Apesar de servir como um dos testes diagnósticos mais importantes, o ECG é um dos mais mal interpretados na prática clínica. Embora se espere que os profissionais de saúde possuam um nível básico de conhecimento em ECG após a conclusão da educação formal, poucos atingem a competência de interpretação. Na verdade, a competência tornou-se cada vez mais incomum, inclusive entre profissionais treinados e experientes. Infelizmente, tornou-se prática comum para os profissionais atribuir totalmente a responsabilidade da interpretação a algoritmos de ECG computadorizados.³⁶

A interpretação computadorizada do ECG tem sido um caminho natural que surge à medida do avanço tecnológico. Contudo, as leituras automatizadas ainda não são 100% precisas.³⁴ Inúmeros estudos atestam limitações significativas e imprecisões nas interpretações por software. Apesar das tentativas de melhorar a precisão diagnóstica através de algoritmos computacionais, a interpretação final do ECG ainda depende impreterivelmente da competência do profissional. Ao longo dos anos os profissionais de saúde estão se tornando mais dependentes da interpretação computadorizada do ECG para auxiliar na tomada de decisões clínicas e isso infelizmente tem levado à redução da qualidade do ensino sobre ECG, reduzindo a competência a uma pequena minoria de profissionais

altamente qualificados, de modo que a habilidade de interpretação ECG possa vir a se tornar uma arte perdida.³⁷

Existem desafios significativos em matéria de formação profissional. A literatura é unânime ao levantar sérias preocupações com a carência de competência e confiança na interpretação do ECG por profissionais de saúde. Deficiências importantes na capacidade de ler um ECG foram observadas em um estudo entre alunos do último ano de medicina e médicos residentes.⁷ Amini et al. (2022)⁶ descreveram que 78% da amostra avaliada, incluindo estudantes e profissionais de saúde, não souberam detectar um ritmo sinusal normal. Hellemans et al. (2021)¹⁰ mostraram recentemente que médicos-veterinários não-cardiologistas, frequentemente, não têm ou não usam ECG na prática clínica devido à inabilidade de interpretação. Muitas outras evidências mostram que a competência de interpretação de ECG entre profissionais da saúde é insatisfatória.⁵

Hurst (2000)³⁸ abordou evidências consideráveis indicando que a interpretação do ECG está se deteriorando. O autor cita que uma compreensão insuficiente da eletrocardiografia espacial (vetorcardiografia) é um elemento-chave para explicar grande parte das falhas de interpretação. Em vez de focar o aprendizado em conceitos de vetores para entender as forças elétricas responsáveis para a forma dos complexos, que é demorado e cognitivamente desafiador, práticas tradicionais de ensino de interpretação de ECG concentram-se na memorização de ritmos e padrões morfológicos de ECG. A proficiência na interpretação de ECG não é uma habilidade universal, e as barreiras para alcançar a fluência em ECG podem estar enraizadas em níveis diferentes de currículos profissionais.³⁶ Também não está claro se o mau desempenho na interpretação do ECG em nível de pós-graduação resulta de uma falha em alcançar um nível adequado durante a graduação ou é indicativo de falhas no ensino além da graduação.³⁴

Essas entre outras razões talvez possam ajudar a entender o motivo de levar muitos profissionais a confiar na interpretação computadorizada do ECG, em vez de suas próprias habilidades. A interpretação do ECG é um resultado de aprendizagem nos currículos de estudantes e

profissionais de saúde e discutir a forma como a educação formal do ECG tem sido oferecida é salutar. Certamente, a “ferramenta” mais importante é o profissional de saúde bem formado e atencioso avaliando cuidadosamente o principal interessado nesse processo: o paciente.

3.6 Ensino e aprendizagem de ECG

O desenvolvimento de habilidades clínicas é um dos objetivos na formação dos currículos de profissionais de saúde. Estas refletem uma adequada compreensão de quadros clínicos dos pacientes, bem como sua correlação com as ferramentas diagnósticas. Com efeito, a competência na interpretação de ECG nasce de uma combinação de conhecimento clínico e prática disciplinada. Muitos alunos iniciantes na aprendizagem do ECG lutam para relacionar os achados do ECG ao quadro clínico do paciente. Quando eles falham em fazer essas conexões, naturalmente é esperada uma compreensão limitada e uma má retenção do conhecimento.³⁶

Contudo, ainda não há método padrão estabelecido para ensinar ou relatar achados de ECG baseados em evidências.³² A abordagem clássica do ensino de ECG, por exemplo, engloba o uso de materiais educacionais não digitais (livros didáticos ou modelos) e interações presenciais (aulas teóricas e práticas). Tradicionalmente, a base metodológica de ensino incorpora, principalmente, o uso de uma estrutura analítica através de variáveis-chave a serem consideradas, incluindo avaliação da frequência cardíaca, ritmo cardíaco, desvio do eixo cardíaco e o cálculo dos intervalos de tempo.³⁹⁻⁴⁰

Embora o ECG seja uma habilidade cognitiva desafiadora para o aluno, talvez seja mais difícil ainda de ensiná-lo. De fato, definir etapas para aquisição de competência na interpretação de ECG não é uma tarefa fácil. Para determinar a metodologia que melhor ensine a habilidade de interpretação de ECG, muitos estudos têm abordado essa questão comparando técnicas de ensino,

incluindo aprendizagem autodirigida, incluindo tutoriais e *e-learning*, formatos baseados em palestras ou oficinas e treinamento de pares em pequenos grupos (Quadro 4).^{32,38-42}

Quadro 4 - Diferentes formatos de ensino de ECG na graduação e pós-graduação de cursos da área da saúde.

| | |
|--|---|
| Aprendizagem autodirigida | Os alunos podem progredir no seu próprio tempo e no seu próprio ritmo Dependente do envolvimento do aluno |
| Ensino baseado em workshop | Interativo (professor x aluno) Baseado em atividades, contrasta com métodos de ensino passivo Pode ser adaptado ao nível e compreensão do aluno Complementa outros métodos |
| Ensino baseado em sala de aula | Padroniza o conteúdo para todos os alunos Baixa grau de adaptabilidade Pode ser difícil avaliar o engajamento |
| Aprendizagem baseada em <i>e-learning</i> | Acessível no próprio tempo e ritmo dos alunos Interativo e envolvente Limitado na capacidade de fornecer feedback |
| Método de ensino contrastivo | Dependente da exposição a padrões específicos Incentiva o aluno a comparar as diferenças no ECG Pode facilitar o reconhecimento de padrões e permitir diagnóstico preciso |
| Ensino não contrastivo | Ensina diferentes diagnósticos de ECG individualmente e sequencialmente Abordagem lógica e sistemática Pode ser menos eficaz |

A Declaração de Competência Clínica em Eletrocardiografia do ACC e da AHA declarou que um mínimo de 500 ECGs são necessários dentro de um período de 12 meses para atingir a competência de interpretação, com um mínimo de 100 ECGs anualmente para manter as habilidades de interpretação. Mais recentemente, a declaração de treinamento da força-tarefa intitulada *Treinamento em Eletrocardiografia, Eletrocardiografia Ambulatorial e Teste de Exercício* sugeriu que

a interpretação de aproximadamente 3.000 a 3.500 ECGs em até 36 meses deve fornecer experiência suficiente para adquirir competência nesta habilidade clínica.⁴³

Contudo, há ampla evidência de que a competência de interpretação de ECG permanece insatisfatória entre profissionais de saúde e que dificilmente um único formato de ensino possa atender ao amplo escopo de aplicações clínicas dos diferentes profissionais de saúde que usam ECG.⁵⁻¹⁰

Fundamental para abordar a falta de competência em ECG é o estabelecimento de um currículo com métodos baseados em evidência mutuamente acordado entre instituições de ensino. Segundo Viljoen et al. (2021)⁵ a avaliação de necessidades para determinar o que esperar que os profissionais de saúde recém-formados saibam é muito importante. Resultados de avaliação de necessidades servem para informar os envolvidos com o projeto curricular sobre conhecimentos essenciais que os estudantes precisam adquirir durante a graduação. Ainda segundo os autores, na ausência de consenso entre especialistas, o conteúdo curricular está sujeito à opinião de cada educador e isso pode levar a inconsistências nas recomendações curriculares entre as instituições de ensino.

Hurst (2000)³⁸ identificaram que a confiança excessiva na memorização de formas de onda de ECG juntamente a uma compreensão insuficiente da eletrocardiografia são elementos-chave para explicar a interpretação de ECG de baixa precisão. O ensino do ECG poderia ser baseado na avaliação objetiva e na documentação das habilidades de interpretação em um contexto clínico, em vez da conclusão de um número mínimo estabelecido de interpretações.⁹ Enquanto o ensino formal de ECG é predeterminado e previsível, o aprendizado de ECG baseado em encontros reais com pacientes foi proposto como oportunista e imprevisível.⁵

A necessidade de treinamento de ECG clinicamente contextualizado foi sugerida como um formato de ensino promissor.⁵ Esta observação é consistente com relatos anteriores de que estudantes fazem diagnósticos de ECG mais precisos quando o contexto clínico é conhecido. Em

áreas da medicina, como a radiologia, por exemplo, onde os estímulos visuais são fundamentais para o processo de diagnóstico, foi demonstrado que conhecer o contexto clínico esteve associado a uma maior precisão diagnóstica.⁴⁴

Segundo Hatala et al. (2003)⁴⁵ o emprego de métodos contrastivos (exposição a padrões específicos) no ensino do ECG também parece ser uma estratégia instrucional mais eficaz do que uma abordagem não contrastiva. Adicionalmente, um ensino misto que consiste em formatos didáticos e de aprendizagem avaliados por meio de avaliação somativa também é sugerido. A avaliação somativa em detrimento da avaliação formativa parece ser um fator para estimular a aprendizagem.³⁹

A importância da educação digital como complemento na formação dos profissionais de saúde tem sido palco de recentes debates e reformas no ensino. A utilização de meios tecnológicos na educação em saúde fornece aos educadores um universo vasto métodos de ensino e novas formas para expandir o conhecimento do aluno. Educadores são convidados a encontrar uma abordagem educacional que ajude a garantir um ensino significativo e a educação contemporânea está apostando no uso de técnicas de ensino à distância para complementar o ensino tradicional.

O e-learning surgiu recentemente como um formato educacional promissor. Fóruns de módulos on-line estão sendo cada vez mais usados como complemento à didática e ao treinamento profissional em ambientes de aprendizagem combinada.⁴⁶ Estudos utilizando *e-learning* mostraram taxas de retenção aprimoradas.¹¹ Há uma grande quantidade de escopo virtual para currículo educacional disponível para apoiar a aprendizagem no ECG. Os ambientes virtuais integram informação, sob a forma de texto e multimídia (ex: lustrações, animações e vídeos). Eles podem incluir componentes assíncronos (interação entre aluno e professor não acontece em tempo real,) e síncronos (interação entre aluno e professor em tempo real).⁴⁷

Há um esforço dos setores educacionais para desenvolver ambientes de *e-learning* baseados em dados para a educação. Ambientes de *e-learning* que levam em consideração as

interações e o nível de desempenho de cada aluno podem antecipar quais tipos de conteúdo e recursos atendem às necessidades do aluno, aumentando potencialmente a eficácia e a eficiência do aprendizado. Embora esses formatos de ensino sejam ainda incipientes e estejam em fase de construção, há evidências de que o ensino híbrido combinando palestras presenciais e *e-learning* pode ser favorável na aquisição da competência em ECG.⁴⁸⁻⁴⁹ Assim, uma combinação integrada de métodos de aprendizagem em ECG tem sido atualmente proposta para superar a carência profissional.⁵

Ainda que nenhum método isolado seja apontado como superior, as habilidades de interpretação de ECG recém-adquiridas devem ser continuamente reforçadas para que haja verdadeira retenção de conteúdo. Educadores não são apenas desafiados a fornecerem métodos de ensino eficazes, mas também de encontrar uma abordagem educacional que ajude a garantir progresso significativo no aprendizado.³⁶ Conforme observado por Viljoen et al. (2021),⁵ é importante consolidar o conhecimento e as habilidades de ECG durante a graduação, pois geralmente há pouco treinamento formal depois que os alunos se formam.

Deve-se reconhecer que a habilidade em interpretar ECG pode ser perdida em função do tempo sem contato com esta prática, sendo uma causa potencial para a rápida degradação do conhecimento e habilidades profissionais aprendidas. Assim, as habilidades de interpretação de ECG devem ser continuamente fortalecidas para preservar o conteúdo.

4 CONCLUSÃO

Apesar da diversidade de metodologias no ensino formal de ECG, ainda não existe um método ideal padronizado baseado em evidências para melhorar o resultado de aprendizagem entre os vários níveis da formação de alunos e profissionais de saúde e discutir a proposta atual de ensino de ECG é essencial para o desenvolvimento curricular.

5 REFERÊNCIAS

- 1 Sattar, Chhabra L. Electrocardiogram. In: StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2022.

- 2 Reichlin T, Abächerli R, Twerenbold R, Kühne M, Schaer B, Müller C, et al. Advanced ECG in 2016: is there more than just a tracing? Swiss Med Wkly. 2016;146:w14303.

- 3 McStay S. Recording a 12-lead electrocardiogram (ECG). Br J Nurs. 2019;28(12):756-60.

- 4 Stracina T; Ronzhina M, Redina R, Novakova M. Golden Standard or Obsolete Method? Review of ECG Applications in Clinical and Experimental Context. Front Physiol. 2022;13:867033.

- 5 Viljoen AC, Millar RS, Manning K, Hoevelmann J, Burch VC. Clinically contextualised ECG interpretation: the impact of prior clinical exposure and case vignettes on ECG diagnostic accuracy. BMC Medical Education. 2021;21(1):417.

- 6 Amini K, Mirzaei A, Hosseini M, Zandian H, Azizpour I, Haghi Y. Assessment of electrocardiogram interpretation competency among healthcare professionals and students of Ardabil University of Medical Sciences: a multidisciplinary study. BMC Med Educ. 2022;22(1):448.

- 7 Berger JS, Eisen L, Nozad V, D'Angelo J, Calderon Y, Brown DL. et al. Competency in electrocardiogram interpretation among internal medicine and emergency medicine residents. Am J Med. 2005;118(8):873-80.

- 8 Eslava D, Dhillon S, Berger J, Homel P, Bergmann S. Interpretation of electrocardiograms by first-year residents: the need for change. *J Electrocardiol.* 2009;42(6):693-97.
- 9 Salerno SM, Alguire PC, Waxman HS. Training and competency evaluation for interpretation of 12-lead electrocardiograms: recommendations from the American College of Physicians. *Am Coll Physicians J.* 2003;138:747–50.
- 10 Hellemans A, Schittekatte M, Covents M, Smets P. Diagnosis and management of arrhythmias in dogs: A cross-sectional online survey among Flemish veterinary practitioners. *Vet Rec Open.* 2022;9:e35.
- 11 Cook DA, Oh J, Pusic MV. Accuracy of Physicians' Electrocardiogram Interpretations: A Systematic Review and Meta-analysis. *JAMA Intern Med.* 2020 Nov 1;180(11):1461-1471.
- 12 Kligfield P, Gettes LS, Bailey JJ, Childers R, Deal BJ, Hancock EW. Recommendations for the standardization and interpretation of the electrocardiogram. Part I: the electrocardiogram and its technology. A scientific statement from the American Heart Association Electrocardiography and Arrhythmias Committee, Council on Clinical Cardiology; the American College of Cardiology Foundation; and the Heart Rhythm Society. *J Am Coll Cardiol.* 2007;49:1109–27.
- 13 Antiperovitch P, Zareba W, Steinberg JS, Bacharova L, Tereshchenko LG, Farre J. Proposed In-Training Electrocardiogram Interpretation Competencies for Undergraduate and Postgraduate Trainees. *J Hosp Med.* 2018 Mar 1;13(3):185-193.

- 14 Timmis A, Vardas P, Townsend N, Torbica A, Katus H, Smedt D. et al. European Society of Cardiology: cardiovascular disease statistics 2021. *Eur Heart J*.2022;43(8):716-799.
- 15 Fye WB. A history of the origin, evolution, and impact of electrocardiography. *Am J Cardiol*. 1994; 73(13):937-49.
- 16 Alghatrif M, Lindsay J. A brief review: history to understand fundamentals of electrocardiography *J Community Hosp Intern Med Perspect*. 2012; 2(1).
- 17 Varshney JP. *Electrocardiography in Veterinary Medicine*, Springer: Singapore; 2020. 320 p.
- 18 Kligfield P. The centennial of the Einthoven electrocardiogram. *J Electrocardiol* 2002; 35:123–9
- 19 Fisch C. Centennial of the string galvanometer and the electrocardiogram. *J Am Coll Cardiol*. 2000;36(6):1737-45.
- 20 Salam AM. The Invention of Electrocardiography Machine. *Heart Views*. 2019;20(4):181-183.
- 21 Giffoni TG, Torres RM. Breve história da eletrocardiografia. *Rev Med Minas Gerais*. 2010; 20(2): 263-70.
- 22 Santilli R, Moïse NS, Pariaut R, Perego M. *Electrocardiographic of dog and cat: diagnosis of arrhythmias*. Milano: Edra; 2018. 360 p.

- 23 Sylva M, Van den Hoff MJB, Moorman AFM. Development of the human heart. *Am J Med Genet Part A* 164A:1347–71.
- 24 Smith FWK, Tilley LP, Oyama MA, Sleeper MM. *Manual of canine and feline cardiology*. 5. ed. Missouri: Elsevier; 2016. 472 p.
- 25 Padala SK, Cabrera JA, Ellenbogen KA. Anatomy of the cardiac conduction system. *Pacing Clin Electrophysiol*. 2021;44(1):15-25.
- 26 Nattel, S. New ideas about atrial fibrillation 50 years on. *Nature*. 2002;415, 219–26.
- 27 Clauss S, Christina Bleyer C, Schüttler D, Tomsits P, Renner S, Klymiuk N. Animal models of arrhythmia: classic electrophysiology to genetically modified large animals. *Nat Rev Cardiol*. 2019;16(8):457-75
- 28 Hoffman BF, Rosen MR. Cellular mechanisms for cardiac arrhythmias. *Cir Res*. 1981; 49:1-15.
- 29 Tomaselli, G. F. et al. Sudden cardiac death in heart failure. The role of abnormal repolarization. *Circulation*. 1994; 90;2534.
- 30 Osadchii OE. Role of abnormal repolarization in the mechanism of cardiac arrhythmia. *Acta Physiol (Oxf)*. 2017 Jul;220 Suppl 712:1-71.
- 31 Mele PF, The ECG. Dilemma: guidelines on improving interpretation. *J Healthc Risk Manag* 2008;28(2):27–31.

32 Fent G, Gosai J, Purva M. Teaching the interpretation of electrocardiograms: which method is best? *J Electrocardiol.* 2015;48:190–3.

33 Lee TH, Rouan GW, Weisberg MC, Brand DA, Acampora D, Stasiulewicz C, et al. Clinical characteristics and natural history of patients with acute myocardial infarction sent home from the emergency room. *The American Journal of Cardiology* 1987;60:219–24.

34 Anh D, Krishnan D, Bogun F. Accuracy of electrocardiogram interpretation by cardiologists in the setting of incorrect computer analysis. *J Electrocardiol.* 2006 Jul;39(3):343–5.

35 Bogun F, Anh D, Kalahasty G, Wissner E, Serhal CB, Bazzi R, et al. Misdiagnosis of atrial fibrillation and its clinical consequences. *Am J Med.* 2004;117(9):636–42.

36 Kashou A, May A, Desimone C, Noseworthy The essential skill of ECG interpretation: How do we define and improve competency? *Postgrad Med J.* 2020;96(1133):125–27.

37 Rafie N, Kashou AH, Noseworthy PA. ECG Interpretation: Clinical Relevance, Challenges, and *Advances Hearts.* 2021;2(4):505–13.

38 Hurst JW. Methods used to interpret the 12-lead electrocardiogram: pattern memorization versus the use of vector concepts. *Clin Cardiol.* 2000;23:4–13.

39 Breen CJ, Zhu T, Bond R, Finlay D, Clifford G. The evaluation of an open-source online training system for teaching 12 lead electrocardiographic interpretation. *J Electrocardiol.* 2016;49(3):454–61.

40 Mahler SA, Wolcott CJ, Swoboda CK, Wang H, Arnold TC. Techniques for teaching electrocardiogram interpretation: self-directed learning is less effective than a workshop or lecture. *Med Educ* 2011;45(4):347–53.

41 Montassier E, Hardouin J-B, Segard J, Batard E, Potel G, Planchon B, et al. eLearning versus lecture-based courses in ECG interpretation for undergraduate medical students: a randomized noninferiority study. *European Journal of Emergency Medicine*. 2016;23(2):108-13.

42 Fontaine G, Cossette S, Maheu-Cadotte M, Mailhot T, Deschênes M, Mathieu-Dupuis G. Efficacy of adaptive e-learning for health professionals and students: a systematic review and meta-analysis. *BMJ Open* 2019 Aug 28;9(8):e025252.

43 Hancock EW, Deal BJ, Mirvis DM, Okin P, Kligfield P, Gettes LS. AHA/ACCF/HRS recommendations for the standardization and interpretation of the electrocardiogram. Part V: electrocardiogram changes associated with cardiac chamber hypertrophy: a scientific statement from the American Heart Association Electrocardiography and Arrhythmias Committee, Council on Clinical Cardiology; the American College of Cardiology Foundation; and the Heart Rhythm Society. *J Am Coll Cardiol*. 2009;53: 992–1002.

44 Norman GR, Brooks LR, Coblenz CL, Babcock CJ. The correlation of feature identification and category judgments in diagnostic radiology. *Mem Cognit*. 1992;20(4):344-55

45 Hatala RM, Brooks LR, Norman GR. Practice makes perfect: the critical role of mixed practice in the acquisition of ECG interpretation skills. *Adv Health Sci Educ* 2003;8:17–26.

46 Pontes PAI, Chaves RO, Castro RC, Souza EF, Seruffo MCR, Francês CRL. Educational Software Applied in Teaching Electrocardiogram: A Systematic Review. Biomed Res Int. 2018;2018:8203875.

47 Fontaine G, Cossette S, Maheu-Cadotte M, Mailhot T, Deschênes M, Mathieu-Dupuis G. Efficacy of adaptive e-learning for health professionals and students: a systematic review and meta-analysis. BMJ Open 2019 Aug 28;9(8):e025252.

48 Morton CE, Saleh SN, Smith SF, Hemani A, Ameen A, Bennie TD, et al. Blended learning: how can we optimise undergraduate student engagement? BMC Med Educ. 2016;16:195.

49 Akgun T, Karabay CY, Kocabay G, Kalayci A, Oduncu V, Guler A, et al. Learning electrocardiogram on YouTube: how useful is it? Journal of electrocardiology. 2014;47(1):113-7.