

Avaliação da Dinâmica do Acoplamento da Condução Atrioventricular à Variação dos Intervalos RR em Atletas e Indivíduos Sedentários

Assessing Dynamic Atrioventricular Conduction Time to RR-interval Coupling in Athletes and Sedentary Subjects

Paulo Roberto Benchimol-Barbosa,^{1,2}  Olivassé Nasario-Junior,² Jurandir Nadal²

Hospital Universitário Pedro Ernesto,¹ Coordenação Clínica, Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia,² Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Resumo

Fundamento: O tempo de condução atrioventricular (TCAV) é influenciado pelo estímulo autonômico e sujeito a remodelação fisiológica.

Objetivo: Avaliar a variabilidade da TCAV batimento-a-batimento e o intervalo RR em atletas e indivíduos sedentários saudáveis.

Métodos: Vinte adultos, incluindo 10 indivíduos sedentários saudáveis (controles) e 10 corredores de elite de longa distância (atletas), com idade, peso e altura ajustados foram submetidos à avaliação do equivalente metabólico máximo (MET) e registro de ECG em repouso supino de 15 minutos sete dias depois. O intervalo entre os picos da onda P e da onda R definiu o TCAV. Foram calculadas a média (M) e o desvio padrão (DP) de intervalos RR consecutivos (RR) e TCAV acoplados, bem como as linhas de regressão de RR vs. TCAV (RR-TCAV). A condução AV concordante foi definida como o *slope* RR-AVCT positivo e, caso contrário, discordante. Um modelo de regressão linear multivariada foi desenvolvido para explicar o MET com base nos parâmetros de variabilidade do TCAV e intervalo RR. Nível de significância: 5%.

Resultados: Nos atletas, os valores de M-RR e DP-RR foram maiores que nos controles, enquanto M-TCAV e DP-TCAV não foram. Os *slopes* RR-TCAV foram, respectivamente, $0,038 \pm 0,022$ e $0,0034 \pm 0,017$ ($p < 0,05$). Utilizando um valor de corte de 0,0044 (AUC $0,92 \pm 0,07$; $p < 0,001$), o *slope* RR-TCAV mostrou 100% de especificidade e 80% de sensibilidade. Em um modelo multivariado, o *slope* DP-RR e RR-TCAV foram variáveis explicativas independentes do MET (razão F: 17,2; $p < 0,001$), apresentando especificidade de 100% e sensibilidade de 90% (AUC: $0,99 \pm 0,02$; $p < 0,001$).

Conclusão: Em corredores de elite, o acoplamento dinâmico de TCAV para intervalo RR apresenta condução AV discordante espontânea, caracterizada por *slope* na linha de regressão TCAV negativa vs. intervalo RR. O desvio padrão dos intervalos RR e o *slope* da linha de regressão do TCAV vs. intervalo RR são variáveis explicativas independentes do MET. (Arq Bras Cardiol. 2020; 115(1):71-77)

Palavras-chave: Atletas; Adultos; Treinamento de Resistência; Aptidão Física; Remodelação Ventricular; Sedentarismo; Eletrocardiografia/métodos; Ventrículos do Coração; Função Ventricular.

Abstract

Background: Atrioventricular conduction time (AVCT) is influenced by autonomic input and subject to physiological remodeling.

Objective: To evaluate beat-by-beat AVCT and RR-interval variability in athletes and healthy sedentary subjects.

Methods: Twenty adults, including 10 healthy sedentary (Controls) and 10 elite long-distance runners (Athletes), age, weight and height-adjusted, underwent maximal metabolic equivalent (MET) assessment, and 15-min supine resting ECG recording seven days later. The interval between P-wave and R-wave peaks defined the AVCT. Mean (M) and standard deviation (SD) of consecutive RR-intervals (RR) and coupled AVCT were calculated, as well as regression lines of RR vs. AVCT (RR-AVCT). Concordant AV conduction was defined as positive RR-AVCT slope and discordant otherwise. A multivariate linear regression model was developed to explain MET based on AVCT and RR-interval variability parameters. Significance-level: 5%.

Results: In Athletes, M-RR and SD-RR values were higher than in Controls, whereas M-AVCT and SD-AVCT were not. RR-AVCT slopes were, respectively, 0.038 ± 0.022 and 0.0034 ± 0.017 ($p < 0.05$). Using a cut-off value of 0.0044 (AUC 0.92 ± 0.07 ; $p < 0.001$), RR-AVCT slope showed 100% specificity and 80% sensitivity. In a multivariate model, SD-RR and RR-AVCT slope were independent explanatory variables of MET (F-ratio: 17.2; $p < 0.001$), showing 100% specificity and 90% sensitivity (AUC 0.99 ± 0.02 ; $p < 0.001$).

Correspondência: Paulo Roberto Benchimol-Barbosa •

Hospital Universitário Pedro Ernesto – Boulevard Vinte e Oito de setembro, 77, Gabinete da Direção Geral, Térreo. CEP 20551-030, Rio de Janeiro, RJ – Brasil

E-mail: ecgar@yahoo.com, benchimol@globo.com

Artigo recebido em 30/04/2019, revisado em 02/07/2019, aceito em 01/08/2019

DOI: <https://doi.org/10.36660/abc.20190281>

Conclusion: In elite runners, AVCT to RR-interval dynamic coupling shows spontaneous discordant AV conduction, characterized by negative AVCT vs. RR-interval regression line slope. RR-intervals standard deviation and AVCT vs. RR-interval regression line slope are independent explanatory variables of MET. (Arq Bras Cardiol. 2020; 115(1):71-77)

Keywords: Athletes; Adults; Resistance Training; Physical Fitness; Ventricular Remodeling; Sedentarism; Electrocardiography/methods; Heart Ventricles; Ventricular Function.

Full texts in English - <http://www.arquivosonline.com.br>

Introdução

A adaptação cardíaca secundária à aptidão física se reflete na remodelação mecânica, elétrica e autonômica do coração, como consequência de repetidas atividades de alta demanda. Atletas bem treinados costumam apresentar discreto ganho de massa ventricular, aumento da amplitude da onda do ECG, repolarização precoce, redução da frequência cardíaca em repouso e aumento da variabilidade da frequência cardíaca, relacionados ao status de condicionamento.¹⁻⁷

Particularmente, a maior parte do remodelamento autonômico do coração em atletas bem condicionados é consequência do aumento do tônus vagal e redução da estimulação simpática sobre os nós sinusal e atrioventricular (AV).^{1,6} Embora o aumento do tônus vagal possa ser detectado diretamente pela medida da frequência cardíaca em repouso, diferenciar os efeitos do aumento da atividade parassimpática sobre o nó sinusal daqueles sobre o nó AV ao ECG de superfície pode não ser tão simples.

Frequentemente, atletas de alta demanda apresentam remodelamento do nó AV, caracterizado por vários graus de bloqueio de condução AV, ritmo atrial ou juncional baixo não-sinusal e, mais raramente, bloqueio AV completo.⁸⁻¹⁰ Esses distúrbios da condução AV dependem do status do condicionamento físico e estão relacionados não apenas ao aumento da atividade parassimpática sobre o nó AV, mas também ao remodelamento secundário das fibras do nó AV e ao acoplamento célula a célula.¹¹⁻¹³

Embora os distúrbios da condução AV tenham sido documentados repetidamente em atletas, a adaptação dinâmica da condução AV ao ciclo cardíaco nessa população ainda precisa de esclarecimentos. Na população geral, a duração AV varia dinamicamente de acordo com a duração do intervalo RR, caracterizando um efeito semelhante a uma sanfona. Entretanto, em atletas, o remodelamento autonômico pode influenciar a adaptação dinâmica da condução AV ao intervalo RR, expressa em um comportamento paradoxal da condução AV em resposta a variações dos intervalos RR ao longo do tempo.

O presente estudo avaliou as variabilidades do tempo de condução AV (TCAV) batimento por batimento e do intervalo RR em corredores de elite e indivíduos sedentários saudáveis, em repouso, com o objetivo de avaliar o efeito do status da aptidão física na duração do acoplamento espontâneo de TCAV ao intervalo RR.

Métodos

Informações detalhadas sobre o protocolo do estudo, aprovação do Comitê de Ética e aquisição de dados do ECG

foram descritas em outro artigo.⁶ O presente estudo analisou dados brutos de ECG de alta resolução do banco de dados de ECG do Programa de Engenharia Biomédica, utilizando uma nova técnica para extração do tempo de condução atrioventricular e intervalos RR.¹⁴ O procedimento de amostragem de dados foi descrito em outro artigo.⁶

A população do estudo foi composta por 20 voluntários divididos em dois grupos: 'Atleta', composto por dez corredores de elite de longa distância ($\geq 16,0$ equivalentes metabólicos máximos [MET]) calculados como o consumo máximo de oxigênio obtido durante o teste de estresse dividido por $3,5 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, [média \pm DP] $19,5 \pm 1,3$ MET; idade $25,1 \pm 7,1$ anos) e 'Controle', constituído por dez voluntários sedentários saudáveis do sexo masculino ($\leq 11,5$ MET; $8,7 \pm 1,9$ MET; idade $29,0 \pm 5,4$ anos). Vale ressaltar que o termo 'MET' é empregado ao longo do texto como o equivalente metabólico máximo alcançado durante o teste de estresse. O programa de treinamento dos atletas consistiu em seis a oito sessões de treinamento / semana; 90 a 120 min / sessão; 90 a 110 km / semana. A detecção das ondas e do ponto fiducial foi realizada no ECG realizado com derivações XYZ de Frank modificadas em posição supina em repouso, usando filtro passa-baixa a 15 Hz (Butterworth, 4ª ordem). Para a análise da duração do intervalo RR, artefatos e batimentos ectópicos foram adequadamente excluídos.^{15,16}

A distância entre o pico da onda P e o pico da onda R em batimentos normais definiu o intervalo PR-pico e foi utilizada para analisar a adaptação instantânea do TCAV ao ciclo cardíaco.¹⁴ O acoplamento PR-pico a intervalos RR foi avaliado batimento a batimento durante todo o registro do ECG, utilizando a derivação que mostra a onda P mais alta, geralmente a derivação Y. O intervalo RR foi avaliado como o tempo entre os picos das ondas R de dois batimentos normais consecutivos. O intervalo PR-pico foi avaliado imediatamente antes do segundo batimento do respectivo intervalo RR. Para cada indivíduo, foi calculada a média (M) e o desvio padrão (DP) de todos os intervalos RR normais consecutivos (M-RR e DP-RR) e o respectivo intervalo PR-pico (M-TCAV e DP-TCAV). Os intervalos PR-pico foram correlacionados com os respectivos intervalos RR e o slope (inclinação) das linhas de regressão foi calculado ($\text{RR-TCAV}_{\text{slope}}$).

Análise Estatística

As variáveis foram expressas como média \pm DP ou mediana e variação interquartil, quando apropriado. A normalidade dos dados foi avaliada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, e todas as variáveis analisadas tiveram sua premissa de normalidade aceita. As variáveis foram comparadas entre os grupos usando o teste *t* de Student não pareado. Para avaliar os melhores

valores de corte, as curvas ROC foram calculadas a partir do *slope* das linhas de regressão (TCAV vs. intervalo RR) em ambos os grupos. Um modelo de regressão linear multivariada foi desenvolvido para explicar o MET com base em parâmetros significativos de TCAV e intervalo RR. O coeficiente de correlação de Pearson *r* foi testado quanto à significância (o nível de significância adotado foi de 5%). Uma condução AV concordante foi arbitrariamente definida quando TCAV e intervalo RR aumentam e diminuem na mesma direção, em ciclos cardíacos consecutivos e, de outro modo, foi discordante. O TCAV foi avaliado como intervalo de PR pico.

O procedimento de reamostragem *bootstrap* foi empregado em duas abordagens complementares para investigar a validade o modelo multivariado. Na primeira abordagem, 1.100 repetições com substituição foram realizadas em toda a amostra de ambos os grupos para avaliar estimativas médias e DP de variáveis independentes. Em uma segunda abordagem, os dois grupos foram divididos em um grupo de teste, composto por 67% dos indivíduos de cada grupo, e um grupo de validação, com os 33% restantes. O MET estimado pelo modelo multivariado foi utilizado para classificar Controles e Atletas em todos os conjuntos de procedimentos de *bootstrap*. Os sinais brutos de ECG foram processados utilizando programas personalizados, escritos na linguagem Matlab R2007a (The MathWorks, Inc). A análise estatística foi realizada utilizando o MS-Excel 360 (Microsoft Corporation) e Medcalc versão 11 (Medcalc Software bvba). O nível de significância adotado na análise estatística foi de 5%.

Resultados

Os atletas apresentaram valores de M-RR e DP-RR significativamente maiores que os controles, embora sem diferenças significativas entre os valores de M-TCAV e DP-TCAV (Tabela 1). Exemplos de indivíduos dos grupos Controle (a) e Atletas (b) são apresentados na Figura 1, onde são apresentadas as linhas de regressão e os respectivos gráficos de dispersão de TCAV vs. intervalos RR. O RR-TCAV_{slope} foi positivo nos Controles (Figura 1-a) e negativo nos Atletas (Figura 1-b). No geral, a comparação dos *slopes* RR-TCAV entre Controles e Atletas resultou em diferenças significativas entre os grupos (Tabela 1).

As variáveis que apresentaram diferenças significativas entre os grupos foram inseridas em um modelo de regressão linear multivariada, considerando MET como variável dependente, e utilizadas no procedimento *bootstrap*. DP-RR ($p = 0,0099$) e RR-TCAV_{slope} ($p = 0,006$) foram variáveis explicativas independentes do MET, mostrando especificidade de 90%, sensibilidade de 100% e exatidão total de 95% (Tabela 2). A estatística-C média nos grupos de teste e validação foi, respectivamente, $0,97 \pm 0,06$ e $0,87 \pm 0,13$; $p < 0,001$ para ambos. A análise de regressão linear multivariada e os respectivos resultados dos procedimentos de *bootstrap* estão resumidos na Tabela 2.

Os valores de RR-TCAV_{slope} para cada grupo, incluindo faixa interquartil e intervalos de confiança (IC) de 95%, são mostrados na figura 2-a. A sensibilidade, a especificidade e a exatidão total foram calculadas utilizando-se o valor de corte ideal apresentado na tabela 1 e exibido como inserção. Para enfatizar a associação entre condução discordante

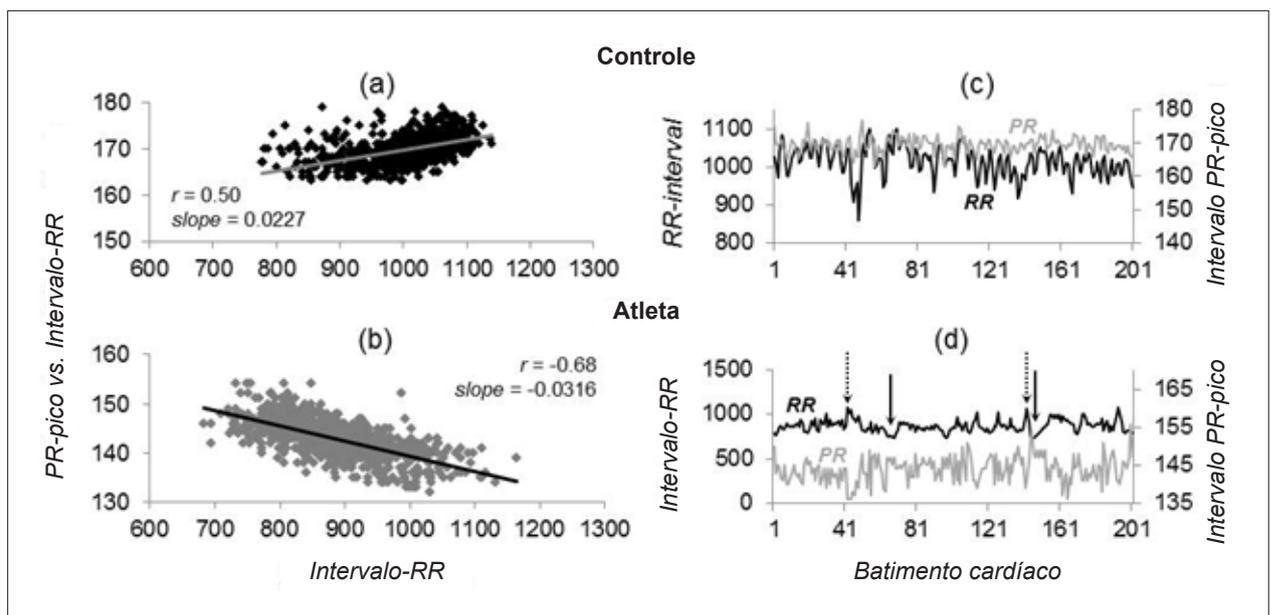


Figura 1 – Gráfico de dispersão e linha de regressão do intervalo RR batimento a batimento em função do respectivo intervalo PR-pico de um indivíduo Controle de 30 anos (a) e um Atleta de 19 anos de idade (b). Duzentas seqüências de batimentos cardíacos das respectivas séries de intervalos de pico RR e PR são mostradas em (c) e (d). Em (a), o intervalo PR-pico aumenta à medida que o intervalo RR aumenta (*slope* positivo: 0,0227; $r = 0,50$; $p < 0,01$), claramente observado em (c) (condição concordante espontânea). Por outro lado, em (b), o intervalo PR-pico diminui à medida que o intervalo RR aumenta (*slope* negativo: -0,0316; $r = -0,68$; $p < 0,01$). Em (d), observe períodos de variação recíproca nos intervalos de pico RR e PR (condução discordante espontânea): o intervalo de pico PR diminui à medida que o intervalo RR aumenta (seta pontilhada) e o intervalo PR-pico aumenta à medida que o intervalo RR diminui (condução decremental, seta sólida) (consulte o texto para mais detalhes).

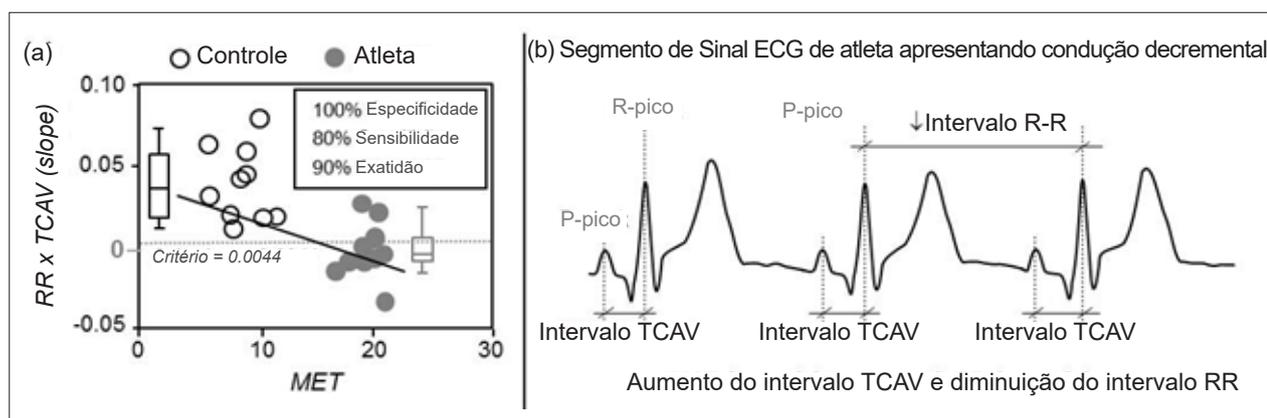


Figura 2 – (a) Valores do slope da linha de regressão do TCAV combinado vs. intervalos RR médios ($RR-TCAV_{slope}$) em função do consumo de VO_2 expresso como equivalente metabólico máximo (MET) alcançado durante o teste de estresse e o respectivo gráfico boxplot. Observe que o $RR-TCAV_{slope}$ tende a ser mais negativo à medida que o status do condicionamento físico aumenta (pontos cinzas), em comparação com indivíduos sedentários (pontos brancos). Gráficos boxplot mostrando mediana, intervalo interquartil e intervalos de confiança de 95% são mostrados nas proximidades dos respectivos pontos do grupo. Os valores de especificidade, sensibilidade e exatidão foram calculados utilizando-se o $RR-TCAV_{slope} = 0,0044$ como critério de corte. (b) Ilustração do segmento de ECG de atleta de 19 anos, representando uma sequência de batimentos sinusais normais, mostrando o alongamento do TCAV à medida que o intervalo RR diminui, indicando condução AV decremental. Observe os picos de onda P e onda R tomados como pontos fiduciais para avaliação do intervalo PR-pico. O TCAV foi avaliado como intervalo de PR-pico. TCAV - tempo de condução atrioventricular (veja o texto para maiores detalhes).

Tabela 1 – Análises univariadas das variáveis estudadas (média ± DP)

	M-RR	DP-RR	M-TCAV	DP-TCAV	$RR-TCAV_{slope}$
Grupo Controle (média ± DP)	853,9 ± 94,0	44,5 ± 10,1	134,0 ± 17,7	2,8 ± 1,1	0,0376 ± 0,0219
Grupo Atleta (média ± DP)	1079,1 ± 207,9	76,4 ± 21,0	143,3 ± 27,6	3,8 ± 2,2	-0,0034 ± 0,0172
Nível de Significância p	0,0084	0,0008	0,3820	0,2032	0,002
Estatísticas ROC					
Área sob a curva ROC (AUC)	0,89	0,9	0,56	0,61	0,92
Erro Padrão	0,07	0,08	0,14	0,14	0,06
Intervalo de Confiança de 95%	0,67–0,98	0,68–0,98	0,32–0,78	0,37–0,82	0,71–0,99
Estatística z	5,5	5,2	0,4	0,8	6,7
Nível de Significância p (área = 0.5)	< 0,0001	< 0,0001	0,6721	0,4177	< 0,0001
Valor de corte	917,3	60,9	124,1	3,8	0,0044
Especificidade	80%	100%	40%	50%	100%
Sensibilidade	80%	80%	90%	80%	80%
Exatidão	80%	90%	65%	65%	90%

M-RR: média de todos os intervalos RR normais; DP-RR: desvio-padrão de todos os intervalos RR normais; M-TCAV: média dos intervalos de PR-pico correspondentes aos intervalos RR normais; DP-TCAV: desvio padrão dos intervalos PR-pico respectivos aos intervalos RR normais; $RR-TCAV_{slope}$: slope da linha de regressão linear entre os intervalos de PR-pico e o respectivo intervalo RR

espontânea e status físico, uma linha de regressão de $RR-TCAV_{slope}$ vs. MET é apresentada na figura 2-a. Ela mostra correlação significativa ($r = -0,70$; $p < 0,05$) e slope negativo, demonstrando que o $RR-TCAV_{slope}$ diminui à medida que o MET aumenta. Um exemplo de uma curta sequência de batimentos sinusais mostrando condução decremental espontânea, registrada durante o repouso em posição supina em um atleta de 19 anos (MET 16,8 METs) é mostrado na Figura 2-b.

Discussão

A condução átrio-ventricular é o determinante mais importante da duração do intervalo PR, que sofre flutuações dinâmicas, dependendo dos estados autonômicos e de saúde, idade, FC instantânea, medicamentos, postura e frequência respiratória.¹⁷ A avaliação do intervalo PR utilizando as abordagens de início de onda P de ou pico de onda P como pontos fiduciais demonstraram fornecer resultados concisos e precisos e, portanto, ambos são apropriados para avaliar as variações de TCAV inter-batimentos.¹⁴⁻¹⁷

Tabela 2 – Modelo explicativo multivariável do consumo máximo de VO_2 ; 1.100 resultados do procedimento de reamostragem de *bootstrap* e validação interna do modelo explicativo multivariável de consumo máximo de VO_2 usando o ‘Teste’ *bootstrap* 2: 1 vs. resultados do procedimento ‘Validação’

Variáveis do Modelo	Modelo multivariado		Procedimento de bootstrap		Teste de bootstrap -validação	
	Coefficientes \pm	p	Coefficientes \pm	p	Coefficientes \pm	p
Slope PR a RR (15 Hz)	-100,36 \pm 31,97	0,006	-105,76 \pm 33,93	0,0009	-101,42 \pm 29,39	0,0003
DP-RR	0,115 \pm 0,040	0,0099	0,115 \pm 0,041	0,003	0,115 \pm 0,036	0,0007
Constante	8,88		8,75 \pm 3,22	0,003	8,85 \pm 2,83	0,0009
Estatísticas ROC					Grupo Teste	Grupo Validação
Área sob a curva ROC (AUC)	0,99		0,99		0,97	0,87
Erro Padrão	0,02		0,02		0,06	0,13
Intervalo de Confiança de 95%	0,94–1,00		0,94–1,00		0,85–1,00	0,61–1,00
Estatística z	42,1		42,1		16,7	6,5
Nível de Significância p (área = 0,5)	< 0,001		< 0,001		< 0,001	< 0,001
Valor de corte	12,3		12,0		14,2	
Especificidade	90%		90%		90,2%	81,0%
Sensibilidade	100%		100%		96,7%	80,4%
Exatidão total	95%		95%		93,4%	80,7%

* Procedimento de bootstrap realizado sem restituição. O modelo explicativo multivariado foi calculado no grupo Teste e validado no grupo Validação; \pm = (média \pm DP).

No presente estudo, corredores de longa distância altamente treinados e indivíduos sedentários saudáveis tiveram sua potência aeróbica máxima avaliada e a variabilidade do TCAV acoplado ao intervalo RR anterior avaliada no ECG em repouso na posição supina. Foi levantada a hipótese de que, em repouso, a condução AV seria afetada pela remodelação AV induzida por treinamento avançado, fazendo com que o acoplamento do TCAV ao intervalo RR se comportasse de maneira diferente à condição sedentária. Em um modelo linear, o acoplamento de TCAV ao intervalo RR mostrou um *slope* médio negativo da linha de regressão no grupo Atleta e, inversamente, um *slope* médio positivo no grupo Controle, indicando que a remodelação do nó AV devido ao treinamento induz a um padrão decremental de condução. Uma medida potencialmente distinta da aptidão física, o *slope* de regressão do TCAV para o intervalo RR identificou corretamente 90% do status de aptidão física de todos os indivíduos. Embora a identificação de condução decremental em atletas seja um achado comum, que seja de nosso conhecimento, a aplicação de uma modelagem linear para quantificar TCAV e sua relação com o intervalo RR em atletas altamente treinados ainda não foi relatada.

Estudos anteriores demonstraram uma alta prevalência de bloqueio AV 2º grau Mobitz I em corredores de longa distância em repouso.⁸⁻¹⁰ No presente estudo, a ocorrência de alongamento espontâneo do intervalo PR-pico relacionado ao encurtamento do intervalo RR foi um achado importante, tornando o *slope* médio negativo no grupo Atletas (Figura 2b). Ao contrário desses estudos, nenhuma onda P bloqueada foi encontrada após uma revisão cuidadosa dos sinais. Episódios espontâneos de condução decremental foram frequentes no grupo de Atletas (57,9% do tempo agregado de registro no

ECG de Atletas) e raros no grupo Controle (7,9% do tempo agregado de registro no ECG dos Controles). Além disso, quando o *slope* de regressão de TCAV vs. intervalo RR foi plotado contra MET, observou-se que quanto maior o MET, mais negativo era o $RR-TCAV_{slope}$, mostrando que a condução AV decremental espontânea se torna mais frequente à medida que o status do condicionamento físico melhora (Figura 2a). Destaca-se que a condução decremental foi mais frequentemente observada quando o intervalo RR foi superior a 1.022,0 ms. A redução do intervalo PR-pico relacionada ao aumento do intervalo RR também foi observada nos atletas (Figura 1d). Uma possível explicação para esse último achado é a ocorrência comum de atividade de estimulação espontânea para-sinusal induzida vagalmente.

Foi demonstrado que o ECG de repouso de atletas de resistência pode mostrar características distintas de indivíduos sedentários saudáveis demograficamente equivalentes, tendo semelhanças com aquelas observadas em idosos e / ou pacientes com doença cardiovascular.¹⁸ Entretanto, em atletas, as anormalidades da condução AV têm sido relacionadas a maior atividade parassimpática, diferentemente dos idosos.¹⁹ Estudos atuais têm demonstrado que o treinamento atlético pode induzir adaptações fisiológicas intrínsecas no sistema de condução, contribuindo para a maior prevalência de anormalidades na condução AV.¹¹⁻¹³ Os mecanismos fisiológicos pelos quais o treinamento de resistência induz essas alterações intrínsecas no sistema de condução cardíaca apresentam entendimento limitado e podem ser multifatoriais, mas alterações anatômicas, como dilatação atrial e ventricular, demonstraram a criação de um remodelamento mecânico-elétrico necessário para causar adaptações eletrofisiológicas AV intrínsecas.^{7,11}

As limitações do presente estudo incluem o tamanho da amostra de dois grupos distintos em relação ao status de condicionamento físico. Os sinais brutos do ECG foram obtidos no banco de dados de ECG disponível no Programa de Engenharia Biomédica (amostra de conveniência). O intervalo Pico-P ao Pico-R foi utilizado como substituto da medida convencional do intervalo PR. Embora tenha sido demonstrado que o intervalo Pico-P ao Pico-R adequadamente descreve a dinamicidade do intervalo PR, a real duração do intervalo PR pode ser maior do que a observada no presente estudo. Observou-se que tanto a M-TCAV quanto o DP-TCAV foram maiores nos atletas quando comparados aos controles, embora a significância estatística não tenha sido alcançada. A explicação para esse achado pode ser dupla: i) embora se esperasse que a variabilidade do TCAV fosse maior entre os atletas, nenhum bloqueio Mobitz I verdadeiro foi observado após uma cuidadosa revisão do sinal. Isso indica que era esperado que a variabilidade do TCAV aumentasse até um certo limite e ii) o tamanho da amostra atual foi projetado para determinar diferenças relacionadas à energia total da ativação ventricular⁶, limitando assim seu poder estatístico para detectar a variação do TCAV entre os grupos. Os indivíduos foram mantidos em repouso em posição supina por 10 minutos antes da aquisição do ECG, com o objetivo de impedir que o efeito da memória ortostática na condução AV influenciasse a condução AV na dinamicidade do acoplamento ao intervalo RR, em um ambiente com temperatura controlada e isolado acusticamente. No entanto, não se pode excluir completamente o fato de que algum efeito de memória ortostática ainda pudesse estar presente. Neste estudo, observou-se a ocorrência de aumento espontâneo do intervalo PR-pico à medida que o intervalo RR diminuiu e vice-versa. Esse fenômeno foi interpretado como uma manifestação de condução decremental durante o trânsito da frente de onda da ativação cardíaca através do nó AV. No entanto, devido à natureza deste estudo, nenhum teste eletrofisiológico invasivo foi realizado para melhor caracterizar a condução decremental ou a atividade de estimulação parasinusal. Ainda é necessário investigar o potencial impacto dos achados atuais em contextos clínicos, como um marcador para taquiarritmias supraventriculares, particularmente a arritmia reentrante do nó AV e fibrilação atrial.

Conclusão

O nó atrioventricular apresenta remodelação fisiológica substancial em corredores de longa distância de elite, caracterizada por condução AV decremental espontânea

em repouso na posição supina, raramente observada em indivíduos sedentários saudáveis nas mesmas condições de repouso. O *slope* da linha de regressão linear do acoplamento PR-pico ao intervalo RR é uma variável explicativa forte e independente do equivalente metabólico máximo alcançado durante o teste de estresse nessa população.

Agradecimento

Agradecemos a Dr. Moacir Marocolo que realizou o recrutamento dos sujeitos do estudo e a captação dos sinais de ECG, que foram incluídos no banco de dados de ECG do Programa de Engenharia Biomédica. A captação dos sinais de ECG foi realizada com a participação e sob orientação presencial do Dr. Paulo Roberto Benchimol-Barbosa.

Contribuição dos autores

Concepção e desenho da pesquisa: Benchimol-Barbosa PR, Nasario-Junior O, Nadal J. Obtenção de dados: Benchimol-Barbosa PR. Análise e interpretação dos dados: Benchimol-Barbosa PR, Nasario-Junior O, Nadal J. Análise estatística: Benchimol-Barbosa PR, Nadal J. Obtenção de financiamento: Nadal J. Redação do manuscrito: Benchimol-Barbosa PR, Nasario-Junior O, Nadal J. Revisão crítica do manuscrito quanto ao conteúdo intelectual importante: Benchimol-Barbosa PR, Nasario-Junior O, Nadal J.

Potencial Conflito de Interesse

Declaro não haver conflito de interesses pertinentes.

Fontes de Financiamento

O presente estudo foi financiado por FINEP, CNPq e CAPES.

Vinculação Acadêmica

Não há vinculação deste estudo a programas de pós-graduação.

Aprovação ética e consentimento informado

Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética do Instituto Nacional de Cardiologia sob o número de protocolo 0026/20.02.04. Todos os procedimentos envolvidos nesse estudo estão de acordo com a Declaração de Helsinki de 1975, atualizada em 2013. O consentimento informado foi obtido de todos os participantes incluídos no estudo.

Errata

Ahead of Print

No artigo original publicado em ahead of print com o título "Avaliação do Tempo de Condução Atrioventricular Dinâmica para Acoplamento ao Intervalo RR em Atletas e Indivíduos Sedentários", com número de DOI: <https://doi.org/10.36660/abc.20190281>, publicado no periódico Arquivos Brasileiros de Cardiologia, considerar correto o título "Avaliação da Dinâmica do Acoplamento da Condução Atrioventricular à Variação dos Intervalos RR em Atletas e Indivíduos Sedentários".

Referências

1. Melanson EL, Freedson PS. The effect of endurance training on resting heart rate variability in sedentary adult males. *Eur J Appl Physiol.* 2001;85(5):442-9.
2. wasaki K, Zhang R, Zuckerman JH, Levine BD. Dose-response relationship of the cardiovascular adaptation to endurance training in healthy adults: how much training for what benefit? *J Appl Physiol.* 2003;95(4):1575-83.
3. Haigney MC, Zareba W, Gentlesk PJ, Goldstein RE, Illovsky M, McNitt S, et al. QT interval variability and spontaneous ventricular tachycardia or fibrillation in the Multicenter Automatic Defibrillator Implantation Trial (MADIT) II patients. *J Am Coll Cardiol.* 2004;44(7):1481-7.
4. Maskhulia L, Chabashvili N, Akhalkatsi V, Chutkerashvili T. Left ventricular morphological changes due to vigorous physical activity in highly trained football players and wrestlers: relationship with aerobic capacity. *Georgian Med News.* 2006;133:68-71.
5. Atchley AE Jr, Douglas PS. Left ventricular hypertrophy in athletes: morphologic features and clinical correlates. *Cardiol Clin.* 2007;25(3):371-82.
6. Marocolo M, Nadal J, Benchimol-Barbosa PR. The effect of an aerobic training program on the electrical remodeling of heart high-frequency components of the signal-averaged electrocardiogram is a predictor of the maximal aerobic power. *Braz J Med Biol Res.* 2007;40(2):199-208.
7. Barbosa EC, Bomfim Ade S, Benchimol-Barbosa PR, Ginefra P. Ionic mechanisms and vectorial model of early repolarization pattern in the surface electrocardiogram of the athlete. *Ann Noninvasive Electrocardiol.* 2008;13(3):301-7.
8. Hanne-Paparo N, Kellermann JJ. Long-term Holter ECG monitoring of athletes. *Med Sci Sports Exerc.* 1981;13(5):294-8.
9. Vitasalo MT, Kala R, Eisalo A. Ambulatory electrocardiographic recording in endurance athletes. *Br Heart J.* 1982;47(3):213-20.
10. Barold SS. Type I Wenckebach second-degree AV block: A matter of definition. *Clin Cardiol.* 2018;41(3):282-4.
11. Stein R, Moraes RS, Cavalcanti AV, Ferlin EL, Zimmerman LI, Ribeiro JP. Atrial automaticity and atrioventricular conduction in athletes: contribution of autonomic regulation. *Eur J Appl Physiol.* 2000;82(1-2):155-7.
12. Stein R, Medeiros CM, Rosito GA, Zimmerman LI, Ribeiro JP. Intrinsic sinus and atrioventricular node electrophysiologic adaptations in endurance athletes. *J Am Coll Cardiol.* 2002;39(6):1033-8.
13. Santos M, Pinheiro-Vieira A, Hipólito-Reis A. Bradycardia in the athlete: don't always blame the autonomic system! *Europace.* 2013;15(11):1650.
14. Nasario-Junior O, Benchimol-Barbosa PR, Pedrosa RC, Nadal J. Validity of P-peak to R-peak interval compared to classical PR-interval to assess dynamic beat-to-beat AV conduction variability on surface electrocardiogram. *Biomed Phys Eng Express.* 2018;4(3):035037.
15. Nasario-Junior O, Benchimol-Barbosa PR, Nadal J. Refining the deceleration capacity index in phase-rectified signal averaging to assess physical conditioning level. *J Electrocardiol.* 2014;47(3):306-10.
16. Nasario-Junior O, Benchimol-Barbosa PR, Pedrosa RC, Nadal J. Assessment of autonomic function by phase rectification of RR interval histogram analysis in Chagas disease. *Arq Bras Cardiol.* 2015;104(6):450-5.
17. Forester J, Bo H, Sleigh J, Wand Henderson JD. Variability of R-R, P wave-to-R wave, and R wave-to-T wave intervals. *Am J Physiol.* 1997;273(6):H2857-60.
18. Zehender M, Meinertz T, Keul J, Just H. ECG variants and cardiac arrhythmias in athletes: clinical relevance and prognostic importance. *Am Heart J.* 1990;119(6):1378-90.
19. Drezner JA, Fischbach P, Froelicher V, Marek J, Pelliccia A, Prutkin JM, et al. Normal electrocardiographic findings: recognising physiological adaptations in athletes. *Br J Sports Med.* 2013;47(3):125-36.

