

**Variabilidade da frequência cardíaca como ferramenta de
análise da função autonômica: revisão de literatura e
comparação do comportamento autonômico e
metabólico em recuperação pós-exercício**

Rosangela Akemi Hoshi

Presidente Prudente

2009

**Variabilidade da frequência cardíaca como ferramenta de
análise da função autonômica: revisão de literatura e
comparação do comportamento autonômico e
metabólico em recuperação pós-exercício**

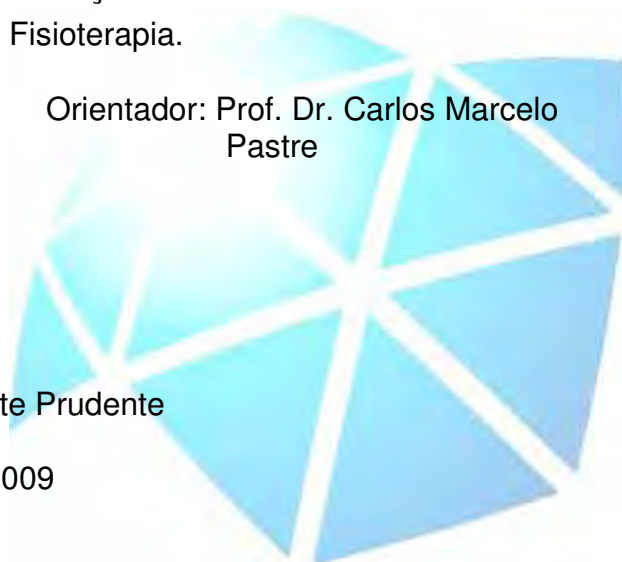
Rosangela Akemi Hoshi

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista – Unesp, para obtenção do Título de Mestre em Fisioterapia.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Marcelo Pastre

Presidente Prudente

2009



SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| Agradecimentos | 4 |
| Epígrafe | 6 |
| Apresentação | 7 |
| INTRODUÇÃO | 8 |
| Objetivos | 12 |
| ARTIGO I: "Noções básicas de variabilidade de frequência cardíaca e sua aplicabilidade clínica" | 13 |
| ARTIGO II: " Correlação entre variabilidade de frequência cardíaca e concentração sanguínea de lactato na recuperação pós-exercício" | 29 |
| CONCLUSÕES | 52 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 53 |
| Anexos | 57 |

Agradecimentos

Eu agradeço...

... primeiramente, a Deus, por todas as dádivas que me foram proporcionadas, por ter sido o amparo imediato nas horas de angústia...

... ao meu pai que, mesmo com todas as dificuldades, nunca deixou de me apoiar e dar o suporte que sempre precisei e, à minha mãe, pelo apoio e serenidade perante meus choros ao telefone, quando eu dizia não aguentar mais, me conduzindo ao pensamento mais sensato...

... às minhas irmãs, Kátia, Ana Cristina, Andreia e Maithe que, se não fosse pela ajuda de cada uma, da sua forma e possibilidade, não teria conseguido chegar a esta Universidade, muito menos, a mais esta conquista...

... aos meus cunhados, Mauro e Heraldo, que também à maneira de cada um, muito contribuíram para essa formação...

... às minhas “irmãs prudentinas”, pela compreensão e força. Mesmo distantes nunca deixaram de se preocupar e tentar fazer dos meus dias os melhores possíveis, como sempre fora durante os quatro anos que passamos juntas...

... ao grupo de pesquisa ao qual componho, pela cumplicidade e companheirismo, com cada integrante ciente de sua função e exercendo-a com responsabilidade... uma equipe competente que sempre está a postos para o que for preciso e que, com carinho e eficiência, as realiza...

... ao meu orientador, Marcelo, pela paciência, compreensão, atenção, presença, exigência e carinho, que sempre disponibilizou com seu jeito ímpar de ser. Foram 5 anos de convívio, nos quais pude crescer não somente cientificamente, mas também pessoalmente. Orientadores competentes que não faltam com seus alunos são materiais raros. Eu tive essa sorte! E espero que tenha conseguido aproveitar ao máximo essa oportunidade...

... ao professor Luiz Carlos, que também se enquadra na descrição de orientador extremamente competente e presente com seus alunos. Muito de minhas conquistas e conhecimentos provêm deste mestre que, com seu jeito “pai” de ser, muito ensinou e participou de minha formação pessoal e profissional...

...e a todos os amigos que sempre me atenderam com apoio e carinho, nesses dias que não foram nada fáceis!!!

A grandeza não consiste em receber honras, mas em merecê-las."

Aristóteles

Apresentação

Esta dissertação é composta de uma introdução e de dois artigos científicos, originados de pesquisas realizadas nos Laboratórios de Fisiologia do Estresse e Fisiologia do Exercício, dos Departamentos de Fisioterapia e Educação Física, respectivamente, da FCT/UNESP – Presidente Prudente.

Em consonância com as regras do Programa de Pós-Graduação em Fisioterapia, os artigos foram redigidos de acordo com as normas dos periódicos: Revista Brasileira de Cirurgia Cardiovascular (anexo I) e International Journal of Sports Medicine (anexo II).

Vanderlei LCM, Pastre CM, Hoshi RA, Carvalho TD, Godoy MF. Noções básicas de Variabilidade de Frequência Cardíaca e sua aplicabilidade clínica. Publicado na Revista Brasileira de Cirurgia Cardiovascular 2009; 24 (2): 205-217.

Hoshi RA, Vanderlei LCM, Godoy MF, Bastos FN, Balikian Jr P, Padovani CR, Pastre CM. Correlação entre Variabilidade da Frequência Cardíaca e concentração sanguínea de lactato na recuperação pós-exercício. Submetido à apreciação, visando à publicação na revista International Journal of Sports Medicine.

INTRODUÇÃO

A realização de exercícios físicos requer o envolvimento de diversos sistemas, desde o autonômico, por meio de impulsos nervosos aferentes e eferentes ^(1,2), até o metabólico, responsável pelas reações bioquímicas intracelulares ^(3,4), caracterizando um estado de estresse sobre o organismo. A reorganização destas funções é essencial para que a realização de novos estímulos se proceda com reduzidos riscos à saúde além de possibilitar melhora da performance ^(5,6).

O Sistema Nervoso Autônomo (SNA) responde ao exercício promovendo, dentre outros eventos, modificações no sistema cardiovascular, pois é o principal responsável pelas respostas cardíacas e vasomotoras exigidas pelo esforço, impondo ao coração maior capacidade de bombeamento sanguíneo e, aos vasos, dilatação e constrição para redirecionamento de fluxo ^(7,8). Estas condições são promovidas por alterações na atuação simpato-vagal, que consistem na inibição da modulação parassimpática e estimulação da atividade simpática ^(9,10). Cessada a atividade, a situação se inverte, envolvendo reativação vagal seguida por redução simpática, gradativamente restabelecendo a homeostase ^(11,12).

Um método utilizado para avaliar o comportamento autonômico é a Variabilidade de Frequência Cardíaca (VFC), definida como o conjunto de oscilações periódicas e não-periódicas, normais e esperadas, dos batimentos cardíacos. Caracterizada como uma ferramenta não-invasiva, simples e de fácil aplicação, fornece índices que representam a atuação dos ramos simpático e parassimpático do SNA sobre o coração ^(13,14), obtidos por métodos lineares, nos domínios do tempo e da frequência, e não-lineares, no domínio do caos.

No domínio do tempo, cada intervalo entre batimentos, chamado de intervalo RR, é medido durante determinado tempo e os índices são calculados, traduzindo as flutuações ao longo dos ciclos cardíacos. Em se tratando do domínio da frequência, a VFC sofre transformação em componentes oscilatórios fundamentais ⁽¹⁵⁾ e, no domínio do caos, a análise procede-se por métodos não-lineares, os quais possuem associação com o comportamento orgânico, que não obedece à linearidade ⁽¹⁶⁾.

No âmbito fisiológico, a análise da concentração de lactato sanguíneo é o método mais utilizado como marcador de fadiga ^(4,17). Durante o exercício de elevada intensidade, ocorre desequilíbrio na taxa de oxidação mitocondrial e o metabolismo energético passa de aeróbio para anaeróbio, elevando a produção de ácido lático ⁽¹⁸⁾. Variáveis lactacidêmicas, como pico de concentração, máxima fase estável e limiar ^(4,17,19), têm relação com a capacidade oxidativa, e podem ser associados ao tempo de remoção do lactato e, conseqüentemente, à recuperação orgânica ⁽²⁰⁾.

Ambos os sistemas, autonômico e metabólico, bem como seus marcadores, possuem relação conhecida durante a execução de exercícios, conforme verificado no estudo de Karapetian et al. ⁽²¹⁾. A ativação simpática promove aumento na liberação de catecolaminas, que estimulam a glicólise e a glicogenólise, cujo produto final, em condições de anaerobiose, é o lactato sanguíneo. A cascata de reações descrita permite estabelecer um parâmetro denominado limiar de VFC, o qual, segundo os autores, pode ser empregado para estimar os limiares ventilatório e de lactato.

Não existe, no entanto, registros sobre esta relação após a cessação do esforço, ou seja, durante a recuperação, processo fundamental para restaurar os

sistemas alterados pelo exercício. Quando respeitado adequadamente, o período de regeneração previne instalação de lesões associadas à fadiga e favorece os processos de supercompensação e de ressíntese dos substratos energéticos ⁽⁶⁾.

O entendimento sobre a dinâmica da recuperação contempla importante estratégia de treinamento, pois fornece informações que asseguram a prescrição de estímulos adequados e em momentos corretos, ou seja, quando o organismo já se encontra preparado para realizar nova atividade. Dessa maneira, evita-se a ocorrência de sobrecarga física, fadiga e maior propensão a comprometimentos músculo-esqueléticos ^(5,6).

Considerando os desequilíbrios orgânicos promovidos pelo exercício e a importância do período de recuperação para reverter tais condições, faz-se importante o estudo dos processos envolvidos na restauração, tanto autonômica quanto metabólica, uma vez que a integridade de ambos os sistemas é fundamental para um rendimento físico excelente.

A dosagem do lactato sanguíneo, embora seja mais eficiente para verificações das respostas metabólicas ao exercício a curto prazo ^(22, 23), merece ser acompanhada até sua remoção completa, fornecendo melhor compreensão sobre o tempo necessário para tal, após atividade. Em contrapartida, recomenda-se monitoração do comportamento da VFC por período mais prolongado, considerando a estabilidade do sinal elétrico emitido pelo coração ^(9,24,25) um fator relevante, para análises lineares.

Assim, considerando a relação entre os referidos marcadores, verificada durante o exercício, é pertinente que o mesmo seja avaliado em condições de recuperação, permitindo analisar o ritmo de restauração autonômica e fisiológica. A partir de estudos desta natureza, estímulos específicos e apropriados poderão

ser determinados, conforme o tempo necessário para restabelecer a função de cada sistema.

A presente pesquisa justifica-se, ainda, pela reduzida quantidade de elementos na literatura pertinente sobre a recuperação pós-exercício, verificada durante o processo de pesquisa bibliográfica nos bancos de dados MEDLINE (*Medical Literature, Analysis and Retrieval System Online*), SCIELO (*Scientific Electronic Library Online*) e LILACS (Literatura Latino-americana e do Caribe de Informação em Ciências da Saúde).

Na busca pelos termos lactato, variabilidade da frequência cardíaca, sistema nervoso autonômico e recuperação, individualmente e em cruzamentos, observou-se ocorrência de 157 artigos, especificamente relacionados ao exercício e/ou à recuperação, nos últimos cinco anos, dos quais nove abordaram a remoção do lactato, 12 se referiram à recuperação autonômica e apenas um estudou a associação entre recuperação da frequência cardíaca e lactacidemia. Não foram verificados artigos referentes à relação entre VFC e concentração de lactato no período pós-exercício.

Além disso, deve-se reiterar que os modelos de análise, a partir dos métodos de mensuração de lactato sanguíneo como ferramenta, são amplamente descritos, estabelecidos e há consenso sobre sua importância. Todavia, o mesmo não é verificado quanto à VFC, pois informações referentes aos dispositivos de mensuração, métodos de filtragem, aplicação e interpretação dos dados coletados, não apresentam descrição detalhada, sobretudo compilada em documento único, dificultando o estabelecimento de padronização de seu uso.

A partir do exposto, os objetivos determinados para a presente dissertação foram compilar informações acerca da VFC e sua aplicabilidade nas

condições de saúde e de doença e, analisar a recuperação pós-exercício a partir do SNA, por meio da VFC, comparando-o à concentração sanguínea de lactato.

Artigo de Revisão

Noções básicas de variabilidade da frequência cardíaca e sua aplicabilidade clínica

Basic notions of heart rate variability and its clinical applicability

Luiz Carlos Marques VANDERLEI¹, Carlos Marcelo PASTRE¹, Rosângela Akemi HOSHI², Tatiana Dias de CARVALHO², Moacir Fernandes de GODOY³

Páginas: 205 a 217

Descritores: Sistema nervoso autônomo. Frequência cardíaca. Sistema nervoso parassimpático. Sistema nervoso simpático.

Descriptors: Autonomic nervous system. Heart rate. Parasympathetic nervous system. Sympathetic nervous system.

[Como Educar](#) [PDF](#)
[citar](#) [Médica](#) [Português](#)
[este](#) [Continuada](#)
[Artigo](#)

Resumo:

O sistema nervoso autônomo (SNA) desempenha um papel importante na regulação dos processos fisiológicos do organismo humano tanto em condições normais quanto patológicas. Dentre as técnicas utilizadas para sua avaliação, a variabilidade da frequência cardíaca (VFC) tem emergido como uma medida simples e não-invasiva dos impulsos autonômicos, representando um dos mais promissores marcadores quantitativos do balanço autonômico. A VFC descreve as oscilações no intervalo entre batimentos cardíacos consecutivos (intervalos R-R), assim como oscilações entre frequências cardíacas instantâneas consecutivas. Trata-se de uma medida que pode ser utilizada para avaliar a modulação do SNA sob condições fisiológicas, tais como em situações de vigília e sono, diferentes posições do corpo, treinamento físico, e também em condições patológicas. Mudanças nos padrões da VFC fornecem um indicador sensível e antecipado de comprometimentos na saúde. Uma alta variabilidade na frequência cardíaca é sinal de boa adaptação, caracterizando um indivíduo saudável, com mecanismos autonômicos eficientes, enquanto que, baixa variabilidade é frequentemente um indicador de adaptação anormal e insuficiente do SNA, implicando a presença de mau funcionamento fisiológico no indivíduo. Diante da sua importância como um marcador que reflete a atividade do SNA sobre o nódulo sinusal e como uma ferramenta clínica para avaliar e identificar comprometimentos na saúde, este artigo revisa aspectos conceituais da VFC, dispositivos de mensuração, métodos de filtragem, índices utilizados para análise da VFC, limitações de utilização e aplicações clínicas da VFC.

Abstract:

Autonomic nervous system (ANS) plays an important role in the regulation of the physiological processes of the human organism during normal and pathological conditions. Among the techniques used in its evaluation, the heart rate variability (HRV) has arising as a simple and non-invasive measure of the autonomic impulses, representing one of the most promising quantitative markers of the autonomic balance. The HRV describes the oscillations in the interval between consecutive heart beats (RR interval), as well as the oscillations between consecutive instantaneous heart rates. It is a measure that can be used to assess the ANS modulation under physiological conditions, such as wakefulness and sleep conditions, different body positions, physical training and also pathological conditions. Changes in the HRV patterns provide a sensible and advanced indicator of health involvements. Higher HRV is a signal of good adaptation and characterizes a health person with efficient autonomic mechanisms, while lower HRV is frequently an indicator of abnormal and insufficient adaptation of the autonomic nervous system, provoking poor patient's physiological function. Because of its importance as a marker that reflects the ANS activity on the sinus node and as a clinical instrument to assess and identify health involvements, this study reviews conceptual aspects of the HRV, measurement devices, filtering methods, indexes used in the HRV analyses, limitations in the use and clinical applications of the HRV.

INTRODUÇÃO

O controle do sistema cardiovascular é realizado, em parte, pelo sistema nervoso autônomo (SNA), o qual fornece nervos aferentes e eferentes ao coração, na forma de terminações simpáticas por todo o miocárdio e parassimpáticas para o nódulo sinusal, o miocárdio atrial e o nódulo atrioventricular [1].

A influência do SNA sobre o coração é dependente de informações que partem, dentre outros, dos barorreceptores, quimioceptores, receptores atriais, receptores ventriculares, modificações do sistema respiratório, sistema vasomotor, sistema renina-angiotensina-aldosterona e sistema termorregulador [2,3].

Este controle neural está intimamente ligado à frequência cardíaca (FC) e atividade reflexa barorreceptora [1]. A partir das informações aferentes, por meio de uma complexa interação de estímulo e inibição, respostas das vias simpática e parassimpática são formuladas e modificam a FC, adaptando-a às necessidades de cada momento. O aumento da FC é consequência da maior ação da via simpática e da menor atividade parassimpática, ou seja, inibição vagal, enquanto que, a sua redução depende basicamente do predomínio da atividade vagal [1,4,5].

O coração não é um metrônomo e seus batimentos não possuem a regularidade de um relógio, portanto, alterações na FC, definidas como variabilidade da frequência cardíaca (VFC), são normais e esperadas e indicam a habilidade do coração em responder aos múltiplos estímulos fisiológicos e ambientais, dentre eles, respiração, exercício físico, estresse mental, alterações hemodinâmicas e metabólicas, sono e ortostatismo, bem como em compensar desordens induzidas por doenças [1,4,6-8].

De forma geral, a VFC descreve as oscilações dos intervalos entre batimentos cardíacos consecutivos (intervalos R-R), que estão relacionadas às influências do SNA sobre o nódulo sinusal, sendo uma medida não-invasiva, que pode ser utilizada para identificar fenômenos relacionados ao SNA em indivíduos saudáveis, atletas e portadores de doenças [1,9,10]. A Figura 1 mostra tacogramas de frequências obtidos a partir dos intervalos RR de um adulto jovem normal e de um recém-nascido normal. Observa-se que a VFC está bem menor no recém-nascido.

Fig. 1 - Tacograma de um adulto jovem normal (A) e de um recém-nascido normal (B). A variabilidade da frequência cardíaca no painel B está bem menor do que no painel A

A VFC vem sendo estudada há vários anos, sendo cada vez maior o interesse pela compreensão de seus mecanismos e de sua utilidade clínica em doenças. Historicamente, seu interesse clínico surgiu em 1965, quando Hon e Lee demonstraram uma aplicação clínica bem definida da VFC na área de monitorização do sofrimento fetal. Em 1977, Wolf et al. mostraram associação entre VFC diminuída e maior risco de mortalidade após infarto agudo do miocárdio e Kleiger et al., em 1987, confirmaram que a VFC era um potente e independente preditor de mortalidade após infarto agudo do miocárdio [11].

Mudanças nos padrões da VFC fornecem um indicador sensível e antecipado de comprometimentos na saúde. Alta VFC é sinal de boa adaptação, caracterizando um indivíduo saudável com mecanismos autonômicos eficientes. Inversamente, baixa VFC é frequentemente um indicador de adaptação anormal e insuficiente do SNA, o que pode indicar a presença de mau funcionamento fisiológico no indivíduo, necessitando de investigações adicionais de modo a encontrar um diagnóstico específico [10].

A ampla possibilidade de uso e a facilidade para aquisição de dados caracterizam esse recurso. Destaca-se também que a apresentação de informações atuais referentes à VFC como conceitos, modelos de análise, formas de interpretação de resultados e aplicabilidade clínica, constitui um auxílio tanto para pesquisadores, quanto para clínicos que atuam nas diversas áreas da saúde. Dessa forma, no sentido de inserir elementos na literatura referentes a uma técnica não-invasiva, de fácil utilização e abrangente, entendeu-se como adequado empreender investigação sobre o tema.

DISPOSITIVOS DE MENSURAÇÃO

A excitação cardíaca inicia-se com um impulso gerado no nódulo sinusal, o qual é distribuído pelos átrios, resultando na despolarização atrial, que é representada no eletrocardiograma (ECG) pela onda P. Este

impulso é conduzido aos ventrículos por meio do nódulo atrioventricular e distribuído pelas fibras de Purkinje, resultando na despolarização dos ventrículos, a qual no ECG é representada pelas ondas Q, R e S, formando o complexo QRS. A repolarização ventricular é representada pela onda T [12]. Os índices de VFC são obtidos pela análise dos intervalos entre as ondas R, as quais podem ser captadas por instrumentos como eletrocardiógrafos, conversores analógicos digitais e os cardiofrequencímetros, a partir de sensores externos colocados em pontos específicos do corpo [1,4].

Um dos conversores analógicos digitais disponíveis é o Powerlab, um instrumento usado para monitoração multimodal de biosinais, considerado o padrão-ouro para mensuração de ECG de alta fidelidade, cujos sinais captados são transferidos para um computador, salvos e analisados após filtragem [13].

O ECG e o conversor analógico digital utilizados para análise da VFC, além de apresentarem alto custo, dificultam a aplicabilidade em situações externas ao ambiente laboratorial, como em condições de treinamento físico [14-16].

Os cardiofrequencímetros solucionaram essas dificuldades, já que são mais acessíveis tanto em relação ao custo quanto à praticidade [17]. Um modelo com tais características é o frequencímetro Polar S810 que, segundo Kingsley et al. [15], apresentou boa acurácia nos registros em exercícios de baixa intensidade, quando comparado aos do eletrocardiograma ambulatorial, o que foi também observado por Gamelin et al. [14], em estudo comparando os dados obtidos pelo ECG e pelo Polar S810, tanto em situações de exercício quanto de repouso.

Neste dispositivo, uma cinta com eletrodos, posicionada no tórax do avaliado, capta os impulsos elétricos do coração e os transmite por um campo eletromagnético ao monitor. O sinal captado é enviado por uma interface ao *software* Polar Precision Performance. Neste equipamento, as unidades de tempo são fixadas em 1ms e as amostras dos intervalos RR são coletadas a uma frequência de 1000 Hz [1,18-21].

MÉTODOS DE FILTRAGEM

A presença de batimentos ectópicos prematuros ou artefatos interfere na análise da VFC, comprometendo a confiabilidade dos índices obtidos, se eles não forem removidos [21-23]. Os métodos de filtragem são capazes de detectar intervalos RR anormais e corrigi-los [24].

A maioria dos textos selecionados para elaboração deste manuscrito não aborda com detalhes os procedimentos adotados para filtragem. Contudo, apesar da escassez de informações, alguns autores descrevem a metodologia utilizada.

No estudo de Thuraisingham [22], o método adotado para remover os artefatos foi um filtro de rejeição de impulsos que se mostrou efetivo para esse fim. Já Godoy et al. [23] utilizaram o Polar S810 para a coleta dos intervalos RR e realizaram filtragem em duas etapas, uma digital por meio do próprio *software* do equipamento e outra manual, caracterizada pela inspeção visual dos intervalos RR e exclusão de intervalos anormais. Neste trabalho, somente séries com mais de 95% de batimentos sinusais foram incluídas no estudo.

ÍNDICES DE VARIABILIDADE DA FREQUÊNCIA CARDÍACA

Para análise da VFC, índices obtidos por meio de métodos lineares, no domínio do tempo e da frequência, e métodos não-lineares podem ser utilizados [1].

Métodos lineares

Os métodos lineares são divididos em dois tipos: análise no domínio do tempo, realizada por meio de índices estatísticos e geométricos, e análise no domínio da frequência.

Para a análise da VFC no domínio do tempo, assim denominada por expressar os resultados em unidade de tempo (milissegundos), mede-se cada intervalo RR normal (batimentos sinusais) durante determinado

intervalo de tempo e, a partir daí, com base em métodos estatísticos ou geométricos (média, desvio padrão e índices derivados do histograma ou do mapa de coordenadas cartesianas dos intervalos RR), calculam-se os índices tradutores de flutuações na duração dos ciclos cardíacos [9,25].

Os índices estatísticos, no domínio do tempo, obtidos pela determinação de intervalos RR correspondentes em qualquer ponto no tempo, são [1,10,26-29]:

- a) SDNN - Desvio padrão de todos os intervalos RR normais gravados em um intervalo de tempo, expresso em ms;
- b) SDANN - Representa o desvio padrão das médias dos intervalos RR normais, a cada 5 minutos, em um intervalo de tempo, expresso em ms;
- c) SDNNi - É a média do desvio padrão dos intervalos RR normais a cada 5 minutos, expresso em ms;
- d) rMSSD - É a raiz quadrada da média do quadrado das diferenças entre intervalos RR normais adjacentes, em um intervalo de tempo, expresso em ms;
- e) pNN50 - Representa a porcentagem dos intervalos RR adjacentes com diferença de duração maior que 50ms.

Os índices SDNN, SDANN e SDNNi são obtidos a partir de registros de longa duração e representam as atividades simpática e parassimpática, porém não permitem distinguir quando as alterações da VFC são devidas ao aumento do tônus simpático ou à retirada do tônus vagal [28,29]. Já os índices rMSSD e pNN50 representam a atividade parassimpática [1,10,26,27], pois são encontrados a partir da análise de intervalos RR adjacentes [25].

Outra possibilidade de processar intervalos RR no domínio do tempo é a partir de métodos geométricos, sendo o índice triangular e a plotagem de Lorenz (ou Plot de Poincaré) os mais conhecidos. Os métodos geométricos apresentam os intervalos RR em padrões geométricos e várias aproximações são usadas para derivar as medidas de VFC a partir delas [1,4].

O índice triangular é calculado a partir da construção de um histograma de densidade dos intervalos RR normais, o qual mostra, no eixo horizontal (eixo x), o comprimento dos intervalos RR e, no eixo vertical (eixo y), a frequência com que cada um deles ocorreu. A união dos pontos das colunas do histograma forma uma figura semelhante a um triângulo e a largura da base deste triângulo expressa a variabilidade dos intervalos RR. O índice triangular (correspondente à base do triângulo) pode ser calculado dividindo-se a área (corresponde ao número total de intervalos RR utilizados para construir a figura) e a altura (corresponde ao número de intervalos RR com frequência modal) do triângulo [4,25,30].

Este índice tem uma íntima correlação com o desvio padrão de todos os intervalos RR e não sofre a influência dos batimentos ectópicos e artefatos, pois os mesmos ficam fora do triângulo [4].

O plot de Poincaré é um método geométrico para análise da dinâmica da VFC, que representa uma série temporal dentro de um plano cartesiano no qual cada intervalo RR é correlacionado com o intervalo antecedente e definem um ponto no plot [17,31-34]. A Figura 2 mostra o plot de Poincaré de um adulto jovem normal e de um recém-nascido normal.

Fig. 2 - Gráfico de Poincaré de um adulto jovem normal (A) e de um recém-nascido normal (B). A dispersão tanto de curto (SD1) quanto de longo prazo (SD2) no painel B está menor do que no painel A

A análise do plot de Poincaré pode ser feita de forma qualitativa (visual), por meio da avaliação da figura formada pelo seu atrator, a qual é útil para mostrar o grau de complexidade dos intervalos RR [35], ou quantitativa, por meio do ajuste da elipse da figura formada pelo atrator, de onde se obtém três índices: SD1, SD2 e a razão SD1/SD2 [17].

O SD1 representa a dispersão dos pontos perpendiculares à linha de identidade e parece ser um índice de registro instantâneo da variabilidade batimento a batimento; o SD2 representa a dispersão dos pontos ao longo da linha de identidade e representa a VFC em registros de longa duração; a relação de ambos (SD1/SD2) mostra a razão entre as variações curta e longa dos intervalos RR [4,14].

A análise qualitativa (visual) do plot de Poincaré é feita por meio da análise das figuras formadas pelo atrator do plot, as quais foram descritas por Tulppo et al. [36] que as classificaram como:

- 1) Figura com característica de um cometa, na qual um aumento na dispersão dos intervalos RR batimento a batimento é observado com aumento nos intervalos RR, característica de um plot normal;
- 2) Figura com característica de um torpedo, com pequena dispersão global batimento a batimento (SD1) e sem aumento da dispersão dos intervalos RR a longo prazo;
- 3) Figura complexa ou parabólica, na qual duas ou mais extremidades distintas são separadas do corpo principal do plot, com pelo menos três pontos incluídos em cada extremidade.

Outro método linear é o domínio da frequência, sendo a densidade de potência espectral a mais utilizada atualmente, quando se trata de estudos com indivíduos em condições de repouso [17]. Exemplos da análise no domínio da frequência podem ser visualizados na Figura 3.

Fig. 3 - Análise espectral de frequências (Fast Fourier Transform) de um adulto jovem normal (A) e de um recém-nascido normal (B). O componente de alta frequência (HF) está proporcionalmente bem mais reduzido no recém-nascido (setas) assim como a potência total

Esta análise decompõe a VFC em componentes oscilatórios fundamentais, sendo que os principais são [4,7,23,29,37-42]:

- a) Componente de alta frequência (*High Frequency* - HF), com variação de 0,15 a 0,4Hz, que corresponde à modulação respiratória e é um indicador da atuação do nervo vago sobre o coração;
- b) Componente de baixa frequência (*Low Frequency* - LF), com variação entre 0,04 e 0,15Hz, que é decorrente da ação conjunta dos componentes vagal e simpático sobre o coração, com predominância do simpático;
- c) Componentes de muito baixa frequência (*Very Low Frequency* - VLF) e ultrabaixa frequência (*Ultra Low Frequency* - ULF) - Índices menos utilizados cuja explicação fisiológica não está bem estabelecida e parece estar relacionada ao sistema renina-angiotensina-aldosterona, à termorregulação e ao tônus vasomotor periférico [23,29].

A relação LF/HF reflete as alterações absolutas e relativas entre os componentes simpático e parassimpático do SNA, caracterizando o balanço simpato-vagal sobre o coração [29].

Para obtenção dos índices espectrais, o tacograma de frequência sofre processamento matemático, gerando um tacograma, gráfico que expressa a variação dos intervalos RR em função do tempo. O tacograma contém um sinal aparentemente periódico que oscila no tempo e que é processado por algoritmos matemáticos, como a transformada rápida de Fourier (FFT) ou modelos auto-regressivos (AR) [1].

O método FFT é utilizado para obter uma estimativa de potência espectral da VFC durante fases estacionárias do experimento com a finalidade de permitir comparações entre os resultados de estudos. Possibilita que o sinal do tacograma seja recuperado mesmo após a transformação pela FFT, o que demonstra a objetividade da técnica, uma vez que informações não são perdidas durante o processo. A facilidade de aplicação desse método e a boa apresentação gráfica são as principais razões para sua maior utilização [1].

No modelo AR, a estimativa dos parâmetros pode ser feita facilmente pela resolução de equações lineares. Dessa maneira, os componentes espectrais podem ser distinguidos independentemente de bandas de frequência pré-selecionadas e a potência contida nos picos pode ser calculada sem a necessidade de bandas espectrais pré-definidas [1,43].

A normalização dos dados da análise espectral pode ser utilizada para minimizar os efeitos das alterações da banda de VLF. Essa é determinada a partir da divisão da potência de um dado componente (LF ou HF) pelo espectro de potência total, subtraída do componente de VLF e multiplicada por 100 [9,44,45].

Para análise dos índices de VFC por meio de métodos lineares vários *softwares* podem ser utilizados, dentre eles o *software* HRV analysis [28], o qual pode ser obtido gratuitamente pela Internet.

Métodos não-lineares

O comportamento não-linear é o que predomina nos sistemas humanos, em razão de sua natureza dinâmica complexa, a qual não pode ser descrita adequadamente por métodos lineares. A teoria do Caos descreve elementos manifestando comportamentos que são extremamente sensíveis às condições iniciais, dificilmente se repetem, mas apesar de tudo são determinísticos [23].

As teorias dos sistemas não-lineares têm sido progressivamente aplicadas para interpretar, explicar e prever o comportamento dos fenômenos biológicos. Esses parâmetros têm se mostrado bons preditores de morbimortalidade no âmbito clínico, apesar da necessidade de aprofundamento científico, com amostras expressivas e acompanhamento prolongado. Tais estudos poderão ser úteis na investigação e no tratamento de cardiopatias [23].

Dentre os métodos não-lineares utilizados para análise da VFC, podemos citar: análise de flutuações depuradas de tendências, função de correlação, expoente de Hurst, dimensão fractal e o expoente de Lyapunov [4,23,29].

Os registros para análises dos índices de VFC por meio de métodos lineares podem ser obtidos em curtos períodos (2, 5, 15 minutos) ou em longos períodos (24 horas), o que é mais comum na prática clínica [25], sendo que um mínimo de 256 intervalos RR é recomendado para esta análise [7,9]. Em seus experimentos, para análise de índices lineares de VFC, Seiler et al. [18], Brown & Brown [46] e Parekh & Lee [47] descartaram períodos iniciais de captação, nos quais ocorrem muitas oscilações e o sistema não se encontra em estado de estabilidade.

Para análise dos índices no domínio do caos, um número maior de intervalos RR é recomendado. Godoy et al. [23] utilizaram uma quantidade de 1000 intervalos RR consecutivos para análise.

LIMITAÇÕES DE UTILIZAÇÃO

Além de fatores como batimentos ectópicos e artefatos [22], outras condições, como transplantes cardíacos, presença de arritmias e marcapassos, produzem intervalos RR inadequados para avaliação da VFC, limitando o uso dessa ferramenta nessas condições.

Nos pacientes transplantados, o controle do coração denervado é feito em função do retorno venoso, da estimulação de receptores atriais, do estiramento atrial e de hormônios e outras substâncias presentes no sistema circulatório [48-51], o que indica que a análise da VFC não representa a modulação do coração pelo SNA.

Os marcapassos cardíacos artificiais são dispositivos eletrônicos de estimulação multiprogramável capazes de substituir impulsos elétricos e/ou ritmos ectópicos, para se obter atividade elétrica cardíaca a mais fisiológica possível [52]. Uma vez que sujeitos portadores de marcapasso podem ter a sua frequência cardíaca modulada por estes equipamentos, a análise de VFC também não refletirá a modulação autônoma do coração, limitando seu uso nessa condição.

Condição também limitante para a análise da VFC é a presença de bloqueio atrioventricular, pois o impulso não é conduzido ao ventrículo de forma adequada, impossibilitando a análise dos intervalos RR [53].

APLICAÇÕES CLÍNICAS

Atualmente, os índices de VFC têm sido utilizados para compreensão de diversas condições, como: doença arterial coronariana [54-57], miocardiopatia [26,58], hipertensão arterial [29,59-61], infarto do miocárdio [62-64], morte súbita [65], doença pulmonar obstrutiva crônica [2,66,67], insuficiência renal [68], insuficiência cardíaca [69], diabetes [70], acidente vascular cerebral [71], doença de Alzheimer [72], leucemia [73], apnéia obstrutiva do sono [74], epilepsia [75], enxaqueca [76], entre outras.

A redução da VFC tem sido apontada como um forte indicador de risco relacionado a eventos adversos em indivíduos normais e em pacientes com um grande número de doenças, refletindo o papel vital que o SNA desempenha na manutenção da saúde [10].

Em doenças como hipertensão arterial [29,59-61], infarto agudo do miocárdio, insuficiência coronariana [29] e aterosclerose [56] os índices de VFC encontram-se reduzidos. Menezes Jr et al. [60] encontraram diminuição da VFC em hipertensos, quando comparados a normotensos, ao analisar os índices SDNN, RMSSD, pNN50, HF, LF, LF/HF, provavelmente por uma hiperatividade simpática. Diminuição da VFC pós-IAM também foi encontrada por diversos trabalhos, como apresentado por Pecyna [63] em artigo de revisão.

Na cardiomiopatia hipertrófica, supõe-se que a captação neuronal de norepinefrina esteja comprometida em função de uma diminuição da densidade de receptores beta [26]. Estudos utilizando índices de VFC em doenças cardiovasculares podem ser visualizados no Quadro 1.

A prática regular de atividade física tem sido referida como um fator de incremento no tônus vagal devido às adaptações fisiológicas ocorridas pelo aumento do trabalho cardíaco, uma vez que há uma redução da sensibilidade dos receptores beta [29]. Assim, a elevação da modulação parassimpática induz uma estabilidade elétrica do coração, ao passo que a atividade simpática elevada aumenta a vulnerabilidade do coração e o risco de eventos cardiovasculares [17].

Novais et al. [29], avaliando os índices RMSSD, VLF, LF, HF, não encontraram diferenças significantes durante o repouso entre homens saudáveis sedentários e pacientes com HA e IAM ativos, sugerindo efeito da atividade física sobre a modulação autonômica desses doentes. Tal efeito também foi proposto por Takahashi et al. [55], ao analisarem o índice RMSSD em repouso de coronariopatas ativos e indivíduos saudáveis, em que diferenças significantes também não foram encontradas.

Além disso, esses índices também permitem verificar a influência de fatores como idade [4,7,37,79,80], sexo [81-83] e exercício [17-19,29,38] sobre o controle autonômico. O Quadro 2 mostra estudos utilizando a VFC em diversas condições fisiológicas e patológicas.

Lopes et al. [79] e Pachal et al. [80] observaram que o processo de envelhecimento causa uma depleção do tônus vagal e conseqüente aumento da atividade simpática, portanto indivíduos mais velhos possuem uma VFC mais reduzida. Em 2006, Rajendra Acharya et al. [4] observaram que a VFC é menor com a idade e que a variação é maior em mulheres. Melo et al. [37], em estudo relacionando os efeitos da idade e exercício, mostraram que a prática de exercício pode atenuar esses efeitos.

Ribeiro et al. [82] e Mercurio et al. [83] propõem que depressão dos níveis hormonais de estrogênio, ocorrida durante a menopausa, pode ser a responsável pela redução da VFC em mulheres idosas. Contudo, em estudo feito por Neves et al. [81] foram observadas maior modulação vagal e menor simpática em mulheres, quando comparadas aos homens de mesma idade, sugerindo que diferenças relacionadas ao gênero não se devem apenas aos níveis hormonais de estrogênio.

Apesar da larga utilização da análise da VFC na compreensão dos fenômenos envolvidos com o SNA em condições normais e patológicas, estudos relacionados a sua utilização na prática clínica ainda são escassos. Contudo, alguns trabalhos têm demonstrado o grande potencial que a análise da VFC pode ter na prática clínica.

Godoy et al. [23], utilizando índices de VFC no domínio do caos, mostraram que estes índices podem ser utilizados para prever morbidade e mortalidade em pacientes submetidos a cirurgia de revascularização miocárdica. Pacientes com índices de VFC que mostraram redução no comportamento caótico apresentaram aumento nas taxas de morbidade e mortalidade. Os autores relatam que a análise de índices de VFC pode ser uma nova abordagem na prática clínica como ferramenta de prognóstico na avaliação pré-operatória de pacientes submetidos à cirurgia de revascularização miocárdica.

Meyerfeldt et al. [84] avaliaram se alterações da VFC poderiam servir como sinais indicativos precoces de taquicardia ventricular e prever taquicardia ventricular de baixa ou de alta frequência em pacientes com

cardioversores-desfibriladores implantáveis. Os autores analisaram séries temporais de intervalos RR armazenados no dispositivo e que haviam acontecido imediatamente antes do episódio de fibrilação e compararam a um período de controle sem taquiarritmia em 63 pacientes com insuficiência cardíaca congestiva crônica. A comparação destas séries mostrou que os pacientes apresentaram baixa VFC antes da ocorrência dos episódios de taquicardia ventricular, o que poderá permitir a construção de dispositivos com algoritmos para detecção precoce de arritmias.

Índices de VFC têm sido também utilizados como ferramenta de prognóstico para mortalidade entre pacientes com infarto agudo do miocárdio e função sistólica ventricular esquerda deprimida [85,86] e na caracterização de um grande número de condições mórbidas, sugerindo que a Variabilidade da Frequência Cardíaca possa ser um possível marcador da perda da homeostase.

CONCLUSÃO

A VFC vem ganhando importância atualmente como ferramenta de avaliação do SNA, o qual tem um importante papel na manutenção da homeostase. Sua utilização é diversificada e se firma, conforme o exposto, como preditor das funções internas do organismo, tanto em condições normais quanto patológicas. A ampla possibilidade de uso, o custo-benefício com a aplicação da técnica e a facilidade para aquisição de dados fazem da VFC uma opção interessante para interpretações do funcionamento do SNA e uma ferramenta clínica promissora para avaliar e identificar comprometimentos na saúde.

REFERÊNCIAS

1. Aubert AE, Seps B, Beckers F. Heart rate variability in athletes. *Sports Med.* 2003;33(12):889-919.
2. Paschoal MA, Petrelluzzi KFS, Gonçalves NVO. Estudo da variabilidade da frequência cardíaca em pacientes com doença pulmonar obstrutiva crônica. *Rev Ciênc Med.* 2002;11(1):27-37.
3. Cooke WH, Cox JF, Diedrich AM, Taylor JA, Beightol LA, Ames JE 4th, et al. Controlled breathing protocols probe human autonomic cardiovascular rhythms. *Am J Physiol.* 1998;274(2 Pt 2):H709-18.
4. Rajendra Acharya U, Paul Joseph K, Kannathal N, Lim CM, Suri JS. Heart rate variability: a review. *Med Bio Eng Comput.* 2006;44(12):1031-51.
5. Paschoal MA, Petrelluzzi KFS, Gonçalves NVO. Controle autonômico cardíaco durante a execução de atividade física dinâmica de baixa intensidade. *Rev Soc Cardiol.* 2003;13(5 supl A):1-11.
6. Santos MDB, Moraes FR, Marães VRFS, Sakabe DI, Takahashi ACM, Oliveira L, et al. Estudo da arritmia sinusal respiratória e da variabilidade da frequência cardíaca de homens jovens e de meia-idade. *Rev Soc Cardiol.* 2003;13(3 supl A):15-24.
7. Catai AM, Chacon-Mikahil MP, Martinelli FS, Forti VA, Silva E, Golfetti R, et al. Effects of aerobic exercise training on heart rate variability during wakefulness and sleep an cardiorespiratory responses of young an middle-aged healthy men. *Braz J Med Biol Res.* 2002;35(6):741-52.
8. Caruana-Montaldo B, Gleeson K, Zwillich CW. The control of breathing in clinical practice. *Chest.* 2000;117(1):205-25.
9. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. *Circulation.* 1996;93(5):1043-65.
10. Pumprla J, Howorka K, Groves D, Chester M, Nolan J. Functional assessment of heart rate variability: physiological basis and practical applications. *Int J Cardiol.* 2002;84(1):1-14.
11. Barros VCV, Brito MR. Estudo da variabilidade da frequência cardíaca no paciente após infarto agudo do miocárdio. *Rev Soc Mineira de Cardiol.* [Citado 2005 fev 02]; 5(1). Disponível em: <http://www.bibliomed.com.br/lib/showdoc.cfm?LibDocID=13320&ReturnCatID=14138&action=full>
12. James AF, Choisy SC, Hancox JC. Recent advances in understanding sex differences in cardiac repolarization. *Prog Biophys Mol Biol.* 2007;94(3):265-319.

13. Radespiel-Tröger M, Rauh R, Mahlke C, Gottschalk T, Muck-Weymann M. Agreement of two different methods for measurement of heart rate variability. *Clin Auton Res.* 2003;13(2):99-102.
14. Gamelin FX, Berthoin S, Bosquet L. Validity of the polar S810 heart rate monitor to measure R-R intervals at rest. *Med Sci Sports Exerc.* 2006;38(5):887-93.
15. Kingsley M, Lewis MJ, Marson RE. Comparison of polar 810s and an ambulatory ECG system for RR interval measurement during progressive exercise. *Int J Sports Med.* 2005;26(1):39-44.
16. Achten J, Jeukendrup AE. Heart rate monitoring: applications and limitations. *Sports Med.* 2003;33(7):518-38.
17. Brunetto AF, Roseguini BT, Silva BM, Hirai DM, Guedes DP. Limiar ventilatório e variabilidade de frequência cardíaca em adolescentes. *Rev Bras Med Esporte.* 2005;11(1):22-7.
18. Seiler S, Haugen O, Kuffel E. Autonomic recovery after exercise in trained athletes: intensity and duration effects. *Med Sci Sports Exerc.* 2007;39(8):1366-73.
19. Bosquet L, Gamelin FX, Berthoin S. Is aerobic endurance a determinant of cardiac autonomic regulation? *Eur J Appl Physiol.* 2007;100(3):363-9.
20. Goulopoulou S, Heffernan KS, Fernhall B, Yates G, Baxter-Jones AD, Unnithan VB. Heart rate variability during recovery from a Wingate test in adolescent males. *Med Sci Sports Exerc.* 2006;38(5):875-81.
21. Jurca R, Church TS, Morss GM, Jordan AN, Earnest CP. Eight weeks of moderate-intensity exercise training increases heart rate variability in sedentary postmenopausal women. *Am Heart J.* 2004;147(5):e21.
22. Thuraisingham RA. Preprocessing RR interval time series for heart rate variability analysis and estimates of standard deviation of RR intervals. *Comput Methods Programs Biomed.* 2006;83(1):78-82.
23. Godoy MF, Takakura IT, Correa PR. Relevância da análise do comportamento dinâmico não-linear (Teoria do Caos) como elemento prognóstico de morbidade e mortalidade em pacientes submetidos à cirurgia de revascularização miocárdica. *Arq Ciênc Saúde.* 2005;12(4):167-71.
24. Logier R, De Jonckheere J, Dassonneville A. An efficient algorithm for R-R intervals series filtering. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc.* 2004;6:3937-40.
25. Rassi Jr. A. Compreendendo melhor as medidas de análise da variabilidade da frequência cardíaca. *J Diag Cardiol.* 8 ed., 2000. [Citado 2005 fev 25]. Disponível em: www.cardios.com.br/jornal-1/tese%20completa.htm
26. Bittencourt MI, Barbosa PRB, Drumond Neto C, Bedirian R, Barbosa EC, Brasil F, et al. Avaliação da função autonômica na cardiomiopatia hipertrófica. *Arq Bras Cardiol.* 2005;85(6):388-96.
27. Ribeiro JP, Moraes Filho RS. Variabilidade da frequência cardíaca como instrumento de investigação do sistema nervoso autônomo. *Rev Bras Hipertens.* 2005;12(1):14-20.
28. Niskanen JP, Tarvainen MP, Ranta-Aho PO, Karjalainen PA. *software* for advanced HRV analysis. *Comput Methods Programs Biomed.* 2004;76(1):73-81.
29. Novais LD, Sakabe DI, Takahashi ACM, Gongora H, Taciro C, Martins LEB, et al. Avaliação da variabilidade da frequência cardíaca em repouso de homens saudáveis sedentários e de hipertensos e coronariopatas em treinamento físico. *Rev Bras Fisioter.* 2004;8(3):207-13.
30. Rocha RM, Albuquerque DC, Albanesi Filho FM. Variabilidade da frequência cardíaca e ritmo circadiano em pacientes com angina estável. *Rev Socerj.* 2005;18(4):429-42.
31. Smith AL, Reynolds KJ, Owen H. Correlated Poincaré indices for measuring heart rate variability. *Australas Phys Eng Sci Med.* 2007;30(4):336-41.
32. Lerma C, Infante O, Pérez-Grovas H, José MV. Poincaré plot indexes of heart rate variability capture dynamic adaptations after haemodialysis in chronic renal failure patients. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2003;23(2):72-80.
33. Mäkikallio TH, Tapanainen JM, Tulppo MP, Huikuri HV. Clinical applicability of heart rate variability analysis by methods based on nonlinear dynamics. *Card Electrophysiol Rev.* 2002;6(3):250-5.

34. Penttilä J, Helminen A, Jartti T, Kuusela T, Huikuri HV, Tulppo MP, et al. Time domain, geometrical and frequency domain analysis of cardiac vagal outflow: effects of various respiratory patterns. *Clin Physiol*. 2001;21(3):365-76.
35. De Vito G, Galloway SD, Nimmo MA, Maas P, McMurray JJ. Effects of central sympathetic inhibition on heart rate variability during steady-state exercise in healthy humans. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2002;22(1):32-8.
36. Tulppo MP, Mäkikallio TH, Seppänen T, Laukkanen RT, Huikuri HV. Vagal modulation of heart rate during exercise: effects of age and physical fitness. *Am J Physiol*. 1998;274(2 Pt 2):H424-9.
37. Melo RC, Santos MD, Silva E, Quitério RJ, Moreno MA, Reis MS, et al. Effects of age and physical activity on the autonomic control of heart rate in healthy men. *Braz J Med Biol Res*. 2005;38(9):1331-8.
38. Javorka M, Zila I, Balhárek T, Javorka K. Heart rate recovery after exercise: relations to heart rate variability and complexity. *Braz J Med Biol Res*. 2002;35(8):991-1000.
39. Chua KC, Chandran V, Acharya UR, Lim CM. Cardiac state diagnosis using higher order spectra of heart rate variability. *J Med Eng Technol*. 2008;32(2):145-55.
40. Martinelli FS, Chacon-Mikahil MP, Martins LE, Lima-Filho EC, Golfetti R, Paschoal MA, et al. Heart rate variability in athletes and nonathletes at rest and during head-up tilt. *Braz J Med Biol Res*. 2005;38(4):639-47.
41. Middleton N, De Vito G. Cardiovascular autonomic control in endurance-trained and sedentary young women. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2005;25(2):83-9.
42. Hedelin R, Bjerle P, Henriksson-Larsén K. Heart rate variability in athletes: relationship with central and peripheral performance. *Med Sci Sports Exerc*. 2001;33(8):1394-8.
43. Martinmäki K, Rusko H. Time-frequency analysis of heart rate variability during immediate recovery from low and high intensity exercise. *Eur J Appl Physiol*. 2008;102(3):353-60.
44. Malliani A, Pagani M, Lombardi F, Cerutti S. Cardiovascular neural regulation explored in the frequency domain. *Circulation*. 1991;84(2):482-92.
45. Pagani M, Lombardi F, Guzzetti S, Rimoldi O, Furlan R, Pizzinelli P, et al. Power spectral analysis of heart rate and arterial pressure variabilities as a marker of sympatho-vagal interaction in man and conscious dog. *Circulation*. 1986;59(2):178-93.
46. Brown SJ, Brown JA. Resting and postexercise cardiac autonomic control in trained masters athletes. *J Physiol Sci*. 2007;57(1):23-9.
47. Parekh A, Lee CM. Heart rate variability after isocaloric exercise bouts of different intensities. *Med Sci Sports Exerc*. 2005;37(4):599-605.
48. Guimarães GV, D'Avila VM, Chizzola PR, Bacal F, Stolf N, Bocchi EA. Reabilitação física no transplante de coração. *Rev Bras Med Esporte*. 2004;10(5):408-11.
49. Beckers F, Ramaekers D, Van Cleemput J, Droogné W, Vanhaecke J, Van de Werf F, et al. Association between restoration of autonomic modulation in the native sinus node and hemodynamic improvement after cardiac transplantation. *Transplantation*. 2002;73(10):1614-20.
50. Salles AF, Oliveira F^o JA. Adaptações ao exercício pós-transplante cardíaco. *Arq Bras Cardiol*. 2000;75(1):79-84.
51. Bacal F, Bocchi EA, Vieira MLC, Lopes N, Moreira LF, Fiorelli A, et al. Uso de marcapasso provisório e definitivo em pacientes submetidos a transplante cardíaco ortotópico. *Arq Bras Cardiol*. 2000;74(1):5-8.
52. Ramos G, Ramos Filho J, Rassi Júnior A, Pereira E, Gabriel Neto S, Chaves E. Marcapasso cardíaco artificial: considerações pré e per-operatórias. *Rev Bras Anestesiol*. 2003;53(6):854-62.
53. Hsiao HC, Chiu HW, Lee SC, Kao T, Chang HY, Kong CW. Esophageal PP intervals for analysis of short-term heart rate variability in patients with atrioventricular block before and after insertion of a temporary ventricular inhibited pacemaker. *Int J Cardiol*. 1998; 64(3):271-6.
54. Carney RM, Freedland KE, Stein PK, Miller GE, Steinmeyer B, Rich MW, et al. Heart rate variability and

markers of inflammation and coagulation in depressed patients with coronary heart disease. *J Psychosom Res.* 2007;62(4):463-7.

55. Takahashi ACM, Novais LD, Silva E, Sakabe DI, Oliveira L, Milan LA, et al. Avaliação do controle autonômico da frequência cardíaca e determinação do limiar de anaerobiose em homens saudáveis e coronariopatas. *Rev Bras Fisioter.* 2005;9(2):157-64.

56. Carnethon MR, Liao D, Evans GW, Cascio WE, Chambless LE, Heiss G. Correlates of the shift in heart rate variability with an active postural change in a health population sample: The Atherosclerosis Risk In Communities study. *Am Heart J.* 2002;143(5):808-13.

57. Carnethon MR, Liao D, Evans GW, Cascio WE, Chambless LE, Rosamond WD, et al. Does the cardiac autonomic response to postural change predict incident coronary heart disease and mortality? *Am J Epidemiol.* 2002;155(1):48-56.

58. Limongelli G, Miele T, Pacileo G, Di Salvo G, Calabro P, Ancona R, et al. Heart rate variability is a weak predictor of sudden death in children and young patients with hypertrophic cardiomyopathy. *Heart.* 2007;93(1):117-8.

59. Karas M, Larochelle P, LeBlanc RA, Dubé B, Nadeau R, Champlain J. Attenuation of autonomic nervous system functions in hypertensive patients at rest and during orthostatic stimulation. *J Clin Hypertens (Greenwich).* 2008;10(2):97-104.

60. Menezes Jr AS, Moreira HG, Daher MT. Análise da variabilidade da frequência cardíaca em pacientes hipertensos, antes e depois do tratamento com inibidores da enzima conversora da angiotensina II. *Arq Bras Cardiol.* 2004;83(2):165-8.

61. Terathongkum S, Pickler RH. Relationships among heart rate variability, hypertension, and relaxation techniques. *J Vasc Nurs.* 2004;22(3):78-82.

62. Larosa C, Sgueglia GA, Sestito A, Infusino F, Niccoli G, Lamendola P, et al. Predictors of impaired heart rate variability and clinical outcome in patients with acute myocardial infarction treated by primary angioplasty. *J Cardiovasc Med (Hagerstown).* 2008;9(1):76-80.

63. Pecyna MB. The level of intelligence and heart rate variability in men after myocardial infarction. *J Physiol Pharmacol.* 2006;57(suppl 4):283-7.

64. Reis AF, Bastos BG, Mesquita ET, Romeu Filho LJM, Nóbrega ACL. Disfunção parassimpática, variabilidade de frequência cardíaca e estimulação colinérgica após infarto agudo do miocárdio. *Arq Bras Cardiol.* 1998;70(3):193-7.

65. Kudaiberdieva G, Görenek B, Timuralp B. Heart rate variability as a predictor of sudden cardiac death. *Anadolu Kardiyol Derg.* 2007;7(suppl 1):68-70.

66. Pantoni CBF, Reis MS, Martins LEB, Catai AM, Costa D, Borgui-Silva A. Estudo da modulação autonômica da frequência cardíaca em repouso de pacientes idosos com doença pulmonar obstrutiva crônica. *Rev Bras Fisioter* 2007;11(1):35-41.

67. Sin DD, Wong E, Mayers I, Lien DC, Feeny D, Cheung H, et al. Effects of nocturnal noninvasive mechanical ventilation on heart rate variability patients with advanced COPD. *Chest.* 2007;131(1):156-63.

68. Furuland H, Linde T, Englund A, Wikström B. Heart rate variability is decreased in chronic kidney disease but may improve with hemoglobin normalization. *J Nephrol.* 2008;21(1):45-52.

69. Silva VJD, Januário EM. Variabilidade da frequência cardíaca e da pressão arterial na insuficiência cardíaca congestiva. *Rev Bras Hipertens.* 2005;12(1):21-6.

70. Javorka M, Trunkvalterova Z, Tonhajzerova I, Javorkova J, Javorka K, Baumert M. Short-term heart rate complexity is reduced in patients with type 1 diabetes mellitus. *Clin Neurophysiol.* 2008;119(5):1071-81.

71. Lakusic N, Mahovic D, Babic T. Gradual recovery of impaired cardiac autonomic balance within first six months after ischemic cerebral stroke. *Acta Neurol Belg.* 2005;105(1):39-42.

72. Zulli R, Nicosia F, Borroni B, Agosti C, Prometti P, Donati P, et al. QT dispersion and heart rate variability abnormalities in Alzheimer's disease and in mild cognitive impairment. *J Am Geriatr Soc.* 2005;53(12):2135-9.

73. Nevruz O, Yokusoglu M, Uzun M, Demirkol S, Avcu F, Baysan O, et al. Cardiac autonomic functions are

altered in patients with acute leukemia, assessed by heart rate variability. *Tohoku J Exp Med.* 2007;211(2):121-6.

74. Park DH, Shin CJ, Hong SC, Yu J, Ryu SH, Kim EJ, et al. Correlation between the severity of obstructive sleep apnea and heart rate variability indices. *J Korean Med Sci.* 2008;23(2):226-31.

75. El-Sayed HL, Kotby AA, Tomoum HY, El-Hadidi ES, El Behery SE, El-Ganzory AM. Non-invasive assessment of cardiorespiratory autonomic functions in children with epilepsy. *Acta Neurol Scand.* 2007;115(6):377-84.

76. Mosek A, Novak V, Opfer-Gehrking TL, Swanson JW, Low PA. Autonomic dysfunction in migraineurs. *Headache.* 1999;39(2):108-17.

77. Dishman RK, Nakamura Y, Garcia ME, Thompson RW, Dunn AL, Blair SN. Heart rate variability, train anxiety, and perceived stress among physically fit men and woman. *Int J Psychophysiol.* 2000;37(2):121-33.

78. Tulppo MP, Hautala AJ, Mäkikallio TH, Laukkanen RT, Nissilä S, Hughson RL, et al. Effects of aerobic training on heart rate dynamics in sedentary subjects. *J Appl Physiol.* 2003;95(1):364-72.

79. Lopes FL, Pereira FM, Reboredo M, Castro TM, Vianna JM, Novo Júnior JM, et al. Redução da variabilidade da frequência cardíaca em indivíduos de meia-idade e o efeito do treinamento de força. *Rev Bras Fisioter.* 2007;11(2):113-9.

80. Paschoal MA, Volanti VM, Pires CS, Fernandes FC. Variabilidade de frequência cardíaca em diferentes faixas etárias. *Rev Bras Fisioter.* 2006;10(4):413-9.

81. Neves VF, Silva de Sá MF, Gallo L Jr, Catai AM, Martins LE, Crescêncio JC, et al. Autonomic modulation of heart rate of young and postmenopausal women undergoing estrogen therapy. *Braz J Med Biol Res.* 2007;40(4):491-9.

82. Ribeiro TF, Azevedo GD, Crescêncio JC, Marães VR, Papa V, Catai AM, et al. Heart rate variability under resting conditions in postmenopausal and young women. *Braz J Med Biol Res.* 2001;34(7):871-7.

83. Mercurio G, Podda A, Pitzalis L, Zoncu S, Mascia M, Melis GB, et al. Evidence of a role of endogenous estrogen in the modulation of autonomic nervous system. *Am J Cardiol.* 2000;85(6):787-9.

84. Meyerfeldt U, Wessel N, Schutt H, Selbig D, Schumann A, Voss A, et al. Heart rate variability before the onset of ventricular tachycardia: differences between slow and fast arrhythmias. *Int J Cardiol.* 2002;84(2-3):141-51.

85. Huikuri HV, Mäkikallio TH, Peng CK, Goldberger AL, Hintze U, Moller M. Fractal correlation properties of R-R interval dynamics and mortality in patients with depressed left ventricular function after an acute myocardial infarction. *Circulation.* 2000;101(1):47-53.

86. Mäkikallio TH, Hoiber S, Kober L, Torp-Pedersen C, Peng CK, Goldberger AL, et al. Fractal analysis of heart rate dynamics as a predictor of mortality in patients with depressed left ventricular function after acute myocardial infarction. TRACE Investigators. TRAndolapril Cardiac Evaluation. *Am J Cardiol.* 1999;83(6):836-9.

1. Doutor, Professor Assistente Doutor da Faculdade de Ciências e Tecnologia - FCT/UNESP - Presidente Prudente - São Paulo, Departamento de Fisioterapia.

2. Graduação em Fisioterapia; Mestranda do Curso de Pós-Graduação Stricto Sensu em Fisioterapia - Faculdade de Ciências e Tecnologia - FCT/UNESP - Presidente Prudente - São Paulo.

3. Professor Livre Docente da Faculdade de Medicina de São José do Rio Preto - FAMERP - São José do Rio Preto - São Paulo, Departamento de Cardiologia e Cirurgia Cardiovascular.

Trabalho realizado na Faculdade de Ciências e Tecnologia - FCT/UNESP - Campus de Presidente Prudente, Presidente Prudente, SP, Brasil, e na Faculdade de Medicina de São José do Rio Preto, São José do Rio Preto, SP, Brasil.

Endereço para correspondência:
Luiz Carlos Marques Vanderlei
Rua Bela Vista, 822 - Cidade Jardim
Presidente Prudente, SP, Brasil. CEP 19023-440
E-mail: vanderle@fct.unesp.br

Artigo recebido em 12 de setembro de 2008
Artigo aprovado em 12 de maio de 2009

ARTIGO II

CORRELAÇÃO ENTRE VARIABILIDADE DA FREQUENCIA CARDÍACA E CONCENTRAÇÃO SANGUINEA DE LACTATO NA RECUPERAÇÃO PÓS-ESFORÇO

RESUMO

Introdução: Um adequado retorno às condições basais após a realização de exercícios é essencial na prescrição de treinamento físico e alguns métodos de avaliação podem ser empregados, como análise da concentração de lactato e da variabilidade da frequência cardíaca. **Objetivo:** Estudar a recuperação após exercício de alta intensidade a partir de valores de concentração de lactato sanguíneo e índices de variabilidade da frequência cardíaca, e analisar a correlação entre estas duas variáveis. **Métodos:** 20 sujeitos, classificados como fisicamente ativos foram induzidos à exaustão e, em seguida, submetidos à recuperação passiva por 120 minutos. A frequência cardíaca, batimento a batimento, foi registrada do momento basal ao fim do procedimento. Previamente ao exercício, e a cada 10 minutos da recuperação, foram realizadas coletas de amostras sanguíneas para verificação da lactacidemia. A variabilidade foi analisada nos mesmos momentos das coletas de lactato e os índices considerados foram: RMSSD, PNN50, LF, HF, LF/HF, SD1, SD2, RR, Det, Ent, Lmean, Lam e TT. Empregou-se a análise da correlação canônica, para verificar associação entre lactato e todos os índices de variabilidade da frequência cardíaca, variável denominada VFCc. Também foi aplicado o teste de Friedman, para análise não-paramétrica dos momentos em relação ao basal, complementado pelo teste de comparações múltiplas de Dunn. Considerou-se o nível de 95% de significância. **Resultados:** Constatou-se relação elevada e significativa entre lactato e VFCc ($r = 0,815$ e $p < 0,0001$). As variáveis apresentaram alteração significativa durante o esforço e retornaram aos níveis basais em tempos diferenciados. Aos 60 minutos, observou-se normalização

significante dos índices SD2 e LF/HF. Para o lactato e índice LF, o mesmo foi verificado aos 70 minutos. Os índices HF, RR, Det, Lmean, Ent, Lam e TT não apresentaram mais diferenças significantes em relação ao basal aos 80 minutos e, os índices RMSSD, pNN50 e SD1, aos 90. **Conclusões:** Existe relação entre concentração de lactato sanguíneo e comportamento da variabilidade da frequência cardíaca, na recuperação pós-esforço, e há a necessidade de um período mínimo de, em média, 70 minutos para remoção de lactato e 90 minutos para recuperação do Sistema Nervoso Autônomo após exercício de elevada intensidade.

Palavras-chave: Sistema Nervoso Autônomo, restauração de função fisiológica, metabolismo anaeróbio.

INTRODUÇÃO

O processo de recuperação após esforço é de fundamental importância no âmbito do treinamento e, quando respeitado adequadamente, permite que estímulos sejam dados em momentos corretos, favorecendo não só os processos de supercompensação e de ressíntese dos substratos energéticos, mas também a redução dos riscos de lesões relacionados à instalação de fadiga [6, 35].

A concentração de lactato sanguíneo é um método muito utilizado em trabalhos de campo, como em treinamentos de variadas modalidades esportivas. Os resultados obtidos a partir desta técnica, como características referentes ao pico de concentração, à máxima fase estável e ao limiar, têm relação com a capacidade oxidativa e podem ser associados ao tempo de remoção do lactato e,

conseqüentemente, à recuperação orgânica [7, 9, 21, 33].

Além de modificações no marcador descrito, o exercício físico de alta intensidade promove, também, alterações no funcionamento do sistema nervoso autônomo (SNA). O monitoramento destas alterações parece adequado, já que o balanço entre os sistemas simpático e parassimpático determina o controle de várias funções internas do organismo [23]. Tal avaliação pode ser feita por meio do estudo de índices de variabilidade da frequência cardíaca (VFC) [1, 2, 30].

Apesar de apontar alterações e condições de recuperação em universos diferentes, parece haver alguma relação entre os dois marcadores biológicos mencionados, lactato e VFC. Sobre o tema, Karapetian et al. [18] demonstraram que durante um exercício incremental, a ferramenta de avaliação autonômica pode ser utilizada para estimar o limiar de lactato, pois verificaram um ponto de deflexão dos intervalos RR, definido como limiar de VFC, que coincidiu com o limiar lactacidêmico.

Contudo, no levantamento bibliográfico realizado para elaboração deste estudo, não foram observadas publicações referentes à relação entre tais marcadores, especificamente no processo de recuperação. Dessa forma, um estudo das duas variáveis em conjunto, e a interpretação biológica da resposta de recuperação frente ao esforço, pode acrescentar novos elementos às ciências do esporte.

Assim, os objetivos do presente estudo foi observar a recuperação após exercício de alta intensidade a partir de valores de concentração de lactato no sangue e índices de VFC, e analisar a correlação entre estas duas variáveis.

MÉTODOS

Casuística e critérios de inclusão e exclusão

A amostra do estudo foi composta por 20 voluntários, do sexo masculino, com média de idade de $22 \pm 1,2$ ano, $72,8 \pm 8,4$ kg e $1,80 \pm 0,10$ m, classificados como fisicamente ativos, por meio do International Physical Activity Questionnaire – IPAQ [11]. No teste de captação máxima de oxigênio, obtiveram consumo máximo ($VO_{2máx}$) de $55,85 \pm 4,75$ ml.kg⁻¹min⁻¹ e atingiram a velocidade máxima ($VVO_{2máx}$) $15,6 \pm 0,88$ Km/h. Adotou-se como critérios de exclusão as seguintes características: tabagismo, uso de medicamentos que influenciam a atividade autonômica do coração, alcoolismo e presença de doenças cardiovasculares, metabólicas ou endócrinas conhecidas.

A presente investigação foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Ciências e Tecnologia, Campus de Presidente Prudente da Universidade Estadual Paulista. Os participantes foram devidamente informados sobre os procedimentos e objetivos do estudo e, após concordância, assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido, passando a fazer parte efetivamente do mesmo.

Desenho do Ensaio

O procedimento para obtenção dos dados da pesquisa realizou-se em dois dias, com 24 horas de intervalo entre ambos. No primeiro dia, foram feitas as avaliações das condições físicas dos participantes e dos parâmetros físicos e funcionais para prescrição da atividade. No segundo dia, foi executado o ensaio,

propriamente dito, caracterizado pelo protocolo de exercício e a avaliação da recuperação a partir dos dois métodos propostos.

Todos os procedimentos foram realizados no Laboratório de Fisiologia do Exercício - LAFE da Faculdade de Ciências e Tecnologia – FCT/UNESP, com temperatura (entre 21 e 23°) e umidade controladas (entre 40 e 60%). Permitiu-se apenas a circulação de pessoas relacionadas ao experimento durante os processos de coleta de dados.

Determinação do $VO_{2máx}$ e $VVO_{2máx}$

Previamente ao primeiro dia de coleta, os voluntários foram orientados a consumir refeição leve até, no máximo, duas horas antes do teste e evitar esforços físicos vigorosos. Ao chegar ao laboratório, foram registradas as seguintes informações: nome, idade, sexo e nível de atividade física.

Num segundo momento, mensurou-se estatura, por meio de um estadiômetro *Sanny* (American Medical do Brasil, São Paulo, Brasil), e peso, em uma balança digital *TIN 00139 MAXIMA* (Plenna Especialidades, São Paulo, Brasil), ambos sem sapatos e com roupa de banho. Em seguida, foi explicado aos participantes todo o procedimento de coleta de dados, realizado de forma individual.

Terminada esta fase os voluntários se encaminharam à esteira ergométrica *Super ATL* (Inbrasport, Rio Grande do Sul, Brasil) e executaram cinco minutos de aquecimento a 8 km/h, cujo objetivo era preparar o organismo para o intenso esforço que realizaria posteriormente. Em seguida, por cinco minutos permaneceram na posição sentada para uma pausa passiva, enquanto os

parâmetros cardiorrespiratórios se estabilizavam [13]. Após os dois primeiros minutos deste repouso, a máscara *Hans Rudolph 7400* (Hans Rudolph Inc, Estados Unidos) de captação de gases foi posicionada no rosto do participante, certificando-se da adequada vedação da mesma, para evitar troca de gases com o meio externo.

O teste para determinação do $VO_{2máx}$ foi realizado utilizando-se a base do protocolo descrito por Harling et al [13]. Os voluntários se posicionaram em ortostatismo sobre a esteira por alguns instantes, para estabilização dos valores e, em seguida, iniciou-se o teste de esforço físico máximo. A inclinação foi fixada a 1% e a velocidade de partida foi de 10 km/h, sendo que, a cada minuto, ocorreu o incremento de 1 km/h até a exaustão voluntária. Outro critério de interrupção proposto foi a presença de alterações clínicas, como aumento excessivo da frequência cardíaca, tontura, náusea, entre outras, que pudessem impedir a continuidade do teste. Contudo, não houve, neste ensaio, tais intercorrências.

O consumo de oxigênio (VO_2) foi mensurado durante toda avaliação pelo analisador de gases metabólicos *VO₂₀₀₀* (MedGraphics, Minnessota, Estados Unidos). A partir do gás expirado, a dosagem de O_2 e CO_2 pôde ser mensurada a cada 10 segundos, utilizando-se a câmara de mistura e analisadores (Oxygen Analyser OM-11 e Carbon Dioxide analyser LB-2 respectivamente) e os dados obtidos foram registrados pelo software *AeroGraph*.

Interrompido o teste mediante exaustão, foram registrados os valores de $VO_{2máx}$ e $VVO_{2máx}$ para posterior aplicação no protocolo de exaustão. Os participantes foram então solicitados a retornar no dia seguinte e orientados a não consumir bebida alcoólica ou cafeína e não realizar atividades físicas moderadas ou vigorosas, neste intervalo temporal entre os procedimentos.

Teste de exaustão e coleta de variáveis biológicas

No segundo dia de ensaio, os voluntários foram informados a respeito dos procedimentos vigentes e permitiram o posicionamento da cinta de captação do cardiófrequencímetro *Polar Electro Oy S810i* (Polar, Kempele, Finlândia), equipamento previamente validado para captação da frequência cardíaca batimento a batimento, e que possibilita a utilização dos seus dados para análise da VFC [26,34].

Inicialmente, permaneceram na posição supina por dez minutos, em repouso e com respiração espontânea, para captação das variáveis em condição basal. Ao final deste período, definido como basal, foi coletado 25 µl de sangue arterializado do lóbulo da orelha esquerda, em capilares heparinizados [28], e depositados em tubos de polietileno tipo ependorff (1,5 mL) contendo 50 µl de fluoreto de sódio (NaF – 1%), para posterior análise lactacidêmica em lactímetro *YSI 1500* (Yellow Springs Instruments, Ohio, Estados Unidos), devidamente calibrado [22].

Previamente ao procedimento de indução ao estresse físico proposto, os participantes realizaram aquecimento e pausa passiva, idênticos aos do dia anterior. Terminado o período de repouso e certificadas todas as condições de teste, os voluntários dirigiram-se à esteira ergométrica, onde permaneceram por alguns instantes na posição ortostática até estabilização dos parâmetros. Foi, então, dado início à manobra de exaustão, que consistiu na execução de corrida contínua e com 1% de inclinação, em intensidade constante, correspondente à $VVO_{2máx}$ até a exaustão. Incentivo verbal foi empregado pelo avaliador, com a

finalidade de obter um esforço físico mais próximo do máximo [13]. Não foi permitido segurar nas barras lateral ou frontal da esteira, para que não houvesse qualquer tipo de auxílio externo durante o esforço.

Imediatamente após o término da corrida, foi retirada a máscara e os voluntários se posicionaram em decúbito dorsal, permanecendo por 120 minutos contínuos em recuperação passiva. A cada dez minutos deste período, foram coletadas amostras sanguíneas (T1 a T12), para análise da concentração de lactato.

A frequência cardíaca, captada batimento a batimento à frequência de 1000HZ, foi registrada pelo cardiofrequencímetro durante todo o procedimento experimental. Os dados obtidos, após serem transferidos ao computador, foram submetidos a uma filtragem digital, realizada pelo *software* do próprio dispositivo, o *Polar Precision Performance*, versão 3.0. Este é capaz de identificar e corrigir batimentos ectópicos ocasionais (irregularidades no ritmo cardíaco, envolvendo extrassístoles e consecutiva pausa compensatória) [8]. Somente séries com mais de 95% de batimentos sinusais foram incluídas no estudo.

A partir disto, 13 períodos com cerca de 300 batimentos foram selecionados para uma segunda etapa de filtragem, caracterizada pela inspeção visual dos intervalos RR e exclusão de intervalos anormais [10]. Por fim, batimentos excedentes ao número mínimo de 256, preconizado pelo Task Force [30], foram excluídos do final do trecho selecionado.

O primeiro momento de análise (basal), foi obtido do final da série captada previamente à indução ao estresse e, os 12 demais (T1 a T12), a cada dez minutos durante os 120 de recuperação. Destaca-se que as coletas de lactato e

as análises de VFC foram realizadas em momentos coincidentes, possibilitando a comparação de ambas as variáveis.

Descrição dos índices de VFC

A análise da VFC foi realizada por métodos lineares e não-lineares, nos domínios do tempo, frequência e caos. Por meio da análise no domínio do tempo, que utiliza métodos estatísticos para obtenção dos valores, foram considerados os seguintes índices: RMSSD (raiz quadrada da média do quadrado das diferenças entre intervalos R-R normais adjacentes, em um intervalo de tempo, expresso em ms) e pNN50 (porcentagem dos intervalos RR adjacentes com diferença de duração maior que 50ms) [30].

No domínio da frequência, foram analisados os componentes de baixa frequência (LF – 0,04 a 0,15 Hz) e alta frequência (HF – 0,15 a 0,4 Hz), além da relação LF/HF. A análise espectral foi calculada usando o algoritmo da Transformada Rápida de Fourier [2, 30].

Os índices no domínio do caos foram obtidos por meio do Plot de Poincaré, com os índices SD1 (dispersão dos pontos perpendiculares ao componente atrator) e SD2 (dispersão dos pontos ao longo da linha de identidade) [23], e do Recurrence Plot, utilizando os índices Taxa de Recorrência (RR – porcentagem de pontos recorrentes no período) [20], Determinismo (Det – percentual de pontos recorrentes que formam linhas diagonais), Entropia (Ent – distribuição do comprimento da linha diagonal) [20, 29], Lmean (comprimento médio das linhas verticais) [29], Laminaridade (Lam – porcentagem de pontos recorrentes formando

linhas verticais) e Trapping Time (TT – comprimento médio das linhas verticais) [15].

Forma de Análise dos Dados

O estudo da associação entre o lactato e o conjunto de variáveis que compõem a VFC, denominado variável VFC canônica (VFCc), foi realizado a partir da construção das funções canônicas, cujos resultados dos coeficientes e cargas das funções elegidas obedeceram aos seguintes critérios: i) o nível de significância estatística da função; ii) magnitude da correlação canônica (maior que 0,70); iii) medida do percentual total, explicado pela informação retida na variância do conjunto de dados (coeficiente de determinação canônica) [14].

A análise da recuperação pós-exercício dos participantes nos diferentes momentos de observação de cada índice de VFC e lactato, considerando a não aderência dos dados ao modelo gaussiano, foi realizada a partir da técnica de análise de variância não-paramétrica para o modelo de medidas repetidas (teste de Friedman), complementada com o teste de comparações múltiplas de Dunn, envolvendo os contrastes entre os níveis de observação em relação ao momento basal [36].

Considerou-se significativo o valor de $p < 0,05$ para todas as discussões do presente estudo.

RESULTADOS

Na tabela 1 encontram-se as medidas de associação e coeficientes da correlação canônica e cargas canônicas entre o lactato e a VFCc. Verifica-se correlação elevada e significativa entre os dois grupos de variáveis, lactato e VFCc ($R = 0,815$ e $p < 0,001$). A partir das cargas canônicas, observa-se maior contribuição dos índices SD2, Lam, Ent, TT, HF, LF/HF, Lmean e LF no processo de construção da função canônica VFCc, enquanto que os índices Det, pNN50, RR e RMSSD, apresentam menor contribuição relativa. A partir das informações sobre a carga canônica, pode-se observar contraste dos índices SD2, Ent, LF/HF, LMean e Lam em relação aos índices HF, LF e TT.

Tabela 1. Medidas de associação e coeficientes da correlação canônica e cargas canônicas entre lactato e índices de VFC.

| Variável | Coefficiente canônico | Carga Canônica |
|-----------------|------------------------------|-----------------------|
| Lactato | -1,243 | |
| RMSSD | 0,003 | 0,444 |
| pNN50 | -0,224 | -0,218 |

| | | |
|--|--------|--------|
| LF | 0,001 | -0,527 |
| HF | 0,061 | -0,838 |
| LF/HF | -0,048 | -0,683 |
| SD1 | 0,115 | -0,448 |
| SD2 | -0,068 | -0,999 |
| RR | -0,71 | 0,320 |
| Det | 0,248 | -0,060 |
| Lmean | -0,441 | 0,650 |
| Ent | -0,375 | 0,914 |
| Lam | -0,153 | 0,995 |
| TT | 0,045 | 0,910 |
| Coeficiente de Correlação Canônica (R) | | 0,815* |
| Coeficiente de Determinação Canônica | | 66,42% |

RMSSD: raiz quadrada da média do quadrado das diferenças entre intervalos R-R normais adjacentes; **pNN50**: porcentagem dos intervalos RR adjacentes com diferença de duração maior que 50ms; **SD1**: desvio-padrão da variabilidade instantânea batimento-a-batimento; **SD2**: desvio-padrão a longo prazo de intervalos R-R contínuos; **LF**: componente de baixa frequência - low frequency; **HF**: componente de alta frequência - high frequency; **RR**: taxa de recorrência; **Det**: determinismo; **Lmean**: comprimento médio das linhas verticais; **Ent**: entropia; **Lam**: laminaridade; **TT**: *trapping time*; * $p < 0,0001$

As medidas descritivas dos valores de lactato e dos índices de VFC, segundo o momento de análise podem ser visibilizadas na tabela 2. Observa-se que, durante o período completo de análise das variáveis pós-exercício, há recuperação de todos os índices. Não são observadas diferenças estatísticas em relação ao basal nos índices SD2 e LF/HF aos 60 minutos. Os valores de lactato e LF não diferem em relação ao repouso aos 70 minutos após a cessação do esforço. Posteriormente, aos 80 minutos, nota-se o mesmo para HF, RR, Det,

Lmean, Ent, Lam e TT e, por fim, aos 90, os demais índices, RMSSD, pNN50 e SD1 passam também a não apresentar diferença significativa em relação ao momento basal.

RMSS - raiz quadrada média do quadrado das diferenças entre intervalos R-R normais adjacentes; **PNN5** - porcentagem dos intervalos R-R normais adjacentes com diferença menor que 50ms; **SD1** - desvio padrão do da variabilidade instantânea batimento-a-batimento; **SD2** - desvio padrão longo prazo de intervalos R-R contínuos; **LF** - componente de baixa frequência - low frequency; **HF** - componente de alta frequência - high frequency;

DISCUSSÃO

Foi observada existência de relação elevada e significativa entre concentração de lactato sanguíneo e a variável VFCc. Os dados permitem considerar SD2, Lam, Ent, TT, HF, LF/HF, Lmean e LF como os índices mais contributivos dentro da VFCc, devido aos seus valores de carga canônica.

A maioria dos índices apontados pelas cargas canônicas mais elevadas é analisada no domínio do caos (Lam, Ent, TT, Lmean e SD2). Isso pode sugerir que, os métodos não lineares são mais sensíveis para análise da VFC na recuperação pós-exercício. Neste contexto, Thiel et al. [32] descrevem os métodos não lineares como os mais adequados para analisar sinais elétricos não-estacionários e, Acharya et al. [1] mencionam a importância do domínio do caos, para análise da VFC, por representar a dinâmica das complexas interações em sistemas orgânicos.

Sobre o processo de recuperação, no âmbito metabólico, observa-se que ocorre restauração significativa dos valores de concentração de lactato no período compreendido entre 61 e 70 minutos após o término do exercício. Resultados semelhantes foram verificados por Burnler et al. [4], cujos achados demonstram rápido declínio lactacidêmico na primeira hora após a atividade, porém com manutenção de valores estatisticamente superiores aos de pré-exercício.

Em relação aos índices de VFC analisados, observa-se que LF/HF e SD2 apresentam recuperação significativa, acima de 50 minutos após o exercício. O primeiro caracteriza o balanço simpato-vagal sobre o coração [24] e, no estudo de Casties et al. [5], atingiu valores que não diferiam do basal aos 40 minutos da recuperação, após ter sofrido redução durante o exercício. Os valores de SD2,

que representam a modulação simpática e parassimpática [23], acompanharam a dinâmica de recuperação do índice LF/HF, já que o aumento da variabilidade global depende da restauração da condição simpato-vagal.

Os valores de LF indicam recuperação significativa no período compreendido entre 61 e 70 minutos do fim do exercício, como também observado, e já descrito, sobre o lactato sanguíneo. Este índice de VFC reflete, segundo Javorka et al. [16], a atividade simpática predominantemente. Tal achado pode estar relacionado à integração fisiológica e autonômica destacada por Ba et al. [3], que mencionam o lactato como estimulante do sistema simpático, atribuindo à lactacidemia aumentada o retardo na recuperação do SNA.

Os índices, HF, RR, Det, Lmean, Ent, Lam e TT, se recuperam no período entre 71 e 80 minutos. O HF, que representa a modulação parassimpática, demonstra recuperação da atividade deste ramo do SNA, inibido durante a realização do exercício [16]. Tal condição também é descrita por Terziotti et al. [31], que sugerem restabelecimento do controle autonômico uma hora após o esforço. Ocorre, no entanto, que os autores utilizaram intensidades inferiores à empregada no presente estudo, podendo ser este o motivo da diferença no tempo de recuperação.

A observação dos índices não lineares durante o período de recuperação, após esforço de elevada intensidade, permite constatar perda da complexidade do SNA. O processo de recuperação deste sistema ocorre de maneira gradual, retornando a valores que não diferem significativamente em relação ao basal entre 71 e 80 minutos pós-exercício.

Heffernan et al. [12] sugerem que a retirada vagal é mais importante para

a modulação não-linear que o tônus simpático. Porém, deve-se atentar ao fato de que os índices analisados no domínio do caos não permitem distinção exata da contribuição dos ramos autonômicos sobre as flutuações não-lineares, como se observa nos métodos lineares.

Ainda sobre o domínio do caos, no estudo de Casties et al. [5], foi verificado que a dinâmica dos batimentos cardíacos se encontrou desorganizada no início da recuperação. Os autores explicam que o momento pós-esforço de elevada intensidade envolve o restabelecimento do controle vagal associada à hiperpnéia residual, presente em decorrência da eliminação do lactato após o exercício, atribuindo a estes eventos a manutenção de valores elevados nos índices não-lineares durante a recuperação.

No período entre 81 e 90 minutos após o exercício, os índices RMSSD, pNN50 e SD1, apresentam recuperação significativa. Estes são representantes da modulação vagal [2, 16] e coincidem no padrão de comportamento, com redução no pós-exercício, e no intervalo de tempo até a recuperação. Tais achados confirmam e complementam os resultados de Javorka et al. [16], devido ao tempo de monitoração pós-exercício. Os autores, que observaram o comportamento dos índices RMSSD e pNN50, após exercício a 70% da potência máxima, também verificaram redução nos valores após o esforço e constataram que 30 minutos de recuperação, observados em seu estudo, não foram suficientes para restabelecimento da função parassimpática.

De maneira geral, observa-se que após 80 minutos de recuperação, todos os índices de VFC se apresentaram restaurados, porém com valores ainda acima dos encontrados em condições basais. Ao final dos 120 minutos de

recuperação, todas as variáveis analisadas atingiriam valores medianos próximos aos de pré-exercício.

Sobre a relevância da pesquisa, ressalta-se que a partir da busca bibliográfica feita para realização deste estudo, não foi verificado acompanhamento autonômico tão detalhado ao longo de duas horas após exercício físico. A maior parte dos registros analisou apenas respostas imediatas, por um período de 5 a 30 minutos [16, 17, 19, 24, 25], enquanto que Terziotti et al. [31] e Seiler et al. [27] monitoraram a VFC durante 180 e 240 minutos, respectivamente. No entanto, nestes estudos, os intervalos entre as análises foram maiores. Terziotti et al. [31] analisaram momentos com até 120 minutos de intervalos e Seiler et al. [27] variaram de 10 a 60 minutos entre uma mensuração e outra.

Sobre o aspecto metodológico, deve-se enfatizar que, embora todos os voluntários tenham sido classificados como fisicamente ativos, a partir do questionário de atividade física (IPAQ), não foi possível garantir a especificidade das atividades que os voluntários realizavam, caracterizando uma limitação, visto que o nível e o tipo de atividade física praticada exercem influência sobre o SNA [19, 27]. Assim, sugere-se este ensaio para amostras que tenham rotinas de atividades semelhantes.

Por fim, pode-se concluir que há relação entre concentração de lactato sanguíneo e comportamento da VFC na recuperação pós-esforço, e que há a necessidade de um período mínimo de, em média, 70 minutos para remoção de lactato e 90 minutos para restauração do SNA após exercício de elevada intensidade. Tais achados permitem apontar, como perspectivas futuras, a exploração da VFC como ferramenta complementar no âmbito da prescrição de

exercício físico, incluindo o treinamento esportivo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 Acharya UR, Fausta O, Kannathala N, Chuaa T, Laxminarayanb S. Non-linear analysis of EEG signals at various sleep stages. *Comput Methods Programs Biomed* 2005; 80: 37-45
- 2 Aubert AE, Seps B, Beckers F. Heart rate variability in athletes. *Sports Med* 2003; 33: 889-919
- 3 Ba A, Delliaux S, Bregeon F, Levy S, Jammes Y. Post-exercise heart rate recovery in healthy, obeses, and COPD subjects: relationships with blood lactic acid and PaO₂ levels. *Clin Res Cardiol* 2009;98(1):52-8.
- 4 Burnley M, Doust JH, Jones AM. Time required for the restoration of normal heavy exercise VO₂ kinetics following prior heavy exercise. *J Appl Physiol* 2006; 101: 1320-1327
- 5 Casties JF, Mottet T, Le Gallais D. Non-Linear Analyses of Heart Rate Variability During Heavy Exercise and Recovery in Cyclists. *Int J Sports Med* 2006; 27: 780–785
- 6 Coffey V, Leveritt M, Gill N. Effect Of recovery modality on 4-hour repeated treadmill running performance and changes in physiological variables. *J Sci Med Sport* 2004; 7: 1-10
- 7 Dekerle J, Baron B, Dupont L, Vanvelcenaher J, Pelayo P. Maximal lactate steady state, respiratory compensation threshold and critical power. *Eur J Appl Physiol* 2003; 89: 281-288

- 8 Gamelin FX, Baquet G, Berthoin S, Bosquet L. Validity of the polar S810 to measure R-R intervals in children. *Int J Sports Med* 2008; 29: 134-8
- 9 Glaister M. Multiple Sprint Work physiological Responses, Mechanisms of Fatigue and the Influence of Aerobic Fitness. *Sports Med* 2005; 35 (9): 757-777
- 10 Godoy MF, Takakura IT, Correa PR. Relevância da análise do comportamento dinâmico não-linear (Teoria do Caos) como elemento prognóstico de morbidade e mortalidade em pacientes submetidos à cirurgia de revascularização miocárdica. *Arq Ciênc Saúde* 2005; 12: 167-71
- 11 Hagstroömer M, Oja P, Sjöström M. The International Physical Activity Questionnaire (IPAQ): a study of concurrent and construct validity. *Public Health Nutr* 2007; 9: 755–762
- 12 Harling SA, Tong RJ, Mickleborough TD. The oxygen uptake response running to exhaustion at peak treadmill speed. *Med Sci Sports Exerc* 2003; 35: 663-8
- 13 Heffernan KS, Fahs CA, Shinsako KK, Jae SY, Fernhall B. Heart rate recovery and heart rate complexity following resistance exercise training and detraining in young men. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 2007; 293: H3180-H3186
- 14 Hotelling H. Relations between two sets of variables. *Biometrika* 1936; 28: 321-377
- 15 Javorka M, Trunkvalterova Z, Tonhajzerova I, Lazarova Z, Javorkova J, Javorka K. Recurrences in heart rate dynamics are changed in patients with diabetes mellitus. *Clin Physiol Funct Imaging* 2008; 28: 326-331

- 16 Javorka M, Zila I, Balhárek T, Javorka K. Heart rate recovery after exercise: relations to heart rate variability and complexity. *Braz J Med Biol Res* 2002; 35: 991-1000
- 17 Kaikkonen P, Nummela A, Rusko H. Heart rate variability dynamics during early recovery after different endurance exercises. *Eur J Appl Physiol* 2007; 102: 79-86
- 18 Karapetian GK, Engels HJ, Gretebeck RJ. Use of Heart Rate Variability to estimate LT and VT. *Int J Sports Med* 2008; 29: 652-657
- 19 Martinmäki K, Rusko H. Time-frequency analysis of heart rate variability during immediate recovery from low and high intensity exercise. *Eur J Appl Physiol* 2008; 102: 353-60
- 20 Marwan N, Wessel N, Meyerfeldt U, Schirdewan A, Kurths J. Recurrence-plot-based measures of complexity and their application to heart-rate-variability data. *Phys Rev E* 2002; 66: 1-8
- 21 Messonnier L, Freund H, Denis C, Féasson L, Lacour JR. Effects of Training on Lactate Kinetics Parameters and their Influence on Short High-Intensity Exercise Performance. *Int J Sports Med* 2006; 27: 60–66
- 22 Monedero J, Donne B. Effect of recovery interventions on lactate removal and subsequent performance. *Int J Sports Med* 2000; 21: 593-97
- 23 Mouro L, Bouhaddi M, Perrey S, Rouillon JD, Regnard J. Quantitative Poincaré plot analysis of heart rate variability: effect of endurance training. *Eur J Appl Physiol* 2004; 91: 79–87
- 24 Parekh A, Lee CM. Heart Rate Variability after Isocaloric Exercise Bouts of Different Intensities. *Med Sci Sports Exerc* 2005; 37: 599-605

- 25 Pierpont GL, Stolpman DR, Gornick CC. Heart rate recovery post-exercise as an index of parasympathetic activity. *J Auton Nerv Syst* 2000; 80: 169-174
- 26 Porto LGG, Junqueira Júnior LF. Comparison of Time-Domain Short-Term Heart Interval Variability Analysis Using a Wrist-Worn Heart Rate Monitor and the Conventional Electrocardiogram. *PACE* 2009; 32: 43–51
- 27 Seiler S, Haugen O, Kuffel E. Autonomic Recovery after Exercise in Trained Athletes: Intensity and Duration Effects. *Med Sci Sports Exer* 2007; 39: 1366-1373
- 28 Siegler JC, Keatley S, Midgley AW, Nevill AI, McNaughton LR. Pre-Exercise Alkalosis and Acid-Base Recovery. *Int J Sports Med* 2008; 29: 545–551
- 29 Sun R, Wang Y. Predicting termination of atrial fibrillation based on the structure and quantification of the recurrence plot. *Med Eng Phys* 2008; 34: 1105-1111
- 30 Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology, Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. *Circulation* 1996; 93: 1043-1065
- 31 Terziotti P, Schena F, Gulli G, Cevese A. Post-exercise recovery of autonomic cardiovascular control: a study by spectrum and cross-spectrum analysis in humans. *Eur J Physiol* 2001; 84: 187-194
- 32 Thiel M, Romano MC, Kurths J. How much information is contained in a recurrence plot?. *Phys Lett A* 2004; 334: 343-349
- 33 Tomlin DL, Wenger HA. The relationship between aerobic fitness and recovery from high intensity intermittent exercise. *Sports Med* 2001; 31: 1-11.

- 34 Vanderlei LCM, Silva RA, Pastre CM, Azevedo FM, Godoy MF. Comparison of the Polar S810i monitor and the ECG for the analysis of heart rate variability in the time and frequency domains. *Braz J Med Biol Res* 2008; 41: 854-9
- 35 Winsley RJ, Baterby GL, Cockle HC. Heart Rate Variability Assessment of Overreaching in Active and Sedentary females. *Int J Sports Med* 2005; 26: 768-73
- 36 Zar JH (ed). *Biostatistical analysis*. New Jersey: Prentice-Hall, 1999: 663

CONCLUSÕES

Conclui-se, a partir do proposto que o estudo da VFC é uma importante ferramenta para explorar o comportamento autonômico. Em síntese, descreve-se a ampla possibilidade de uso, o custo-benefício com a aplicação da técnica e a facilidade para aquisição de dados como pontos positivos para sua utilização e que, dentre as diversas situações de uso, pode-se relacionar sua aplicação a condições de exercício. Especificamente sobre a recuperação pós-exercício, identifica-se relação entre concentração de lactato sanguíneo e comportamento da VFC e, ainda neste âmbito, que há a necessidade de um período mínimo de, em média, 60 minutos para remoção de lactato e 70 minutos para recuperação do Sistema Nervoso Autônomo após exercício de elevada intensidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 Martinmäki K, Rusko H. Time-frequency analysis of heart rate variability during immediate recovery from low and high intensity exercise. *Eur J Appl Physiol* 2008; 102(3): 353-60.
- 2 Hautala A, et al. Changes in cardiac autonomic regulation after prolonged maximal exercise. *Clin Physiol* 2001; 21(2): 238-245.
- 3 Gladden LB. Lactate metabolism: a new paradigm for the third millennium. *J Physiol* 2004; 558(1): 5-30.
- 4 Glaister M. Multiple Sprint Work Physiological Responses, Mechanisms of Fatigue and the Influence of Aerobic Fitness. *Sports Med* 2005; 35 (9): 757-77.
- 5 Winsley RJ, Baterby GL, Cockle HC. Heart Rate Variability Assessment of Overreaching in Active and Sedentary females. *Int J Sports Med* 2005; 26: 768-73.
- 6 Coffey V, Leveritt M, Gill N. Effect Of recovery modality on 4-hour repeated treadmill running performance and changes in physiological variables. *J Sci Med Sport* 2004;7(1):1-10.
- 7 Aubert AE, Seps B, Beckers F. Heart rate variability in athletes. *Sports Med* 2003; 33(12): 889-919.
- 8 Fazan Jr. Salgado HC. Estudo de variabilidade de parâmetros cardiovasculares como ferramenta para avaliação da modulação simpática cardiovascular. *Rev Bras Hipertens* 2005; 12(4): 242-244.

- 9 Mourot L, Bouhaddi M, Perrey S, Rouillon JD, Regnard J. Quantitative Poincaré plot analysis of heart rate variability: effect of endurance training. *Eur J Appl Physiol* 2004; 91: 79–87.
- 10 Javorka M, Zila I, Balhárek T, Javorka K. Heart rate recovery after exercise: relations to heart rate variability and complexity. *Braz J Med Biol Res* 2002; 35: 991-1000
- 11 Ba A, Delliaux S, Bregeon F, Levy S, Jammes Y. Post-exercise heart rate recovery in healthy, obese, and COPD subjects: relationships with blood lactic acid and PaO₂ levels. *Clin Res Cardiol* 2009;98(1):52-8.
- 12 Goldberger JJ, Le FK, Lahiri M, Kannankeril PJ, Ng J, Kadish AH. Assessment of parasympathetic reactivation after exercise. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 2006; 290: H2446–H2452.
- 13 Vanderlei LCM, Silva RA, Pastre CM, Azevedo FM, Godoy MF. Comparison of the Polar S810i monitor and the ECG for the analysis of heart rate variability in the time and frequency domains. *Braz J Med Biol Res* 2008; 41(10): 854-9.
- 14 Gamelin FX, Baquet G, Berthoin S, Bosquet L. Validity of the polar S810 to measure R-R intervals in children. *Int J Sports Med*. 2008;29(2):134-8.
- 15 Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology, Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. *Circulation* 1996; 93: 1043–1065.
- 16 Godoy MF, Takakura IT, Correa PR. Relevância da análise do comportamento dinâmico não-linear (Teoria do Caos) como elemento

- prognóstico de morbidade e mortalidade em pacientes submetidos à cirurgia de revascularização miocárdica. *Arq Ciênc Saúde* 2005; 12(4): 167-71.
- 17 Messonnier L, Freund H, Denis C, Féasson L, Lacour JR. Effects of Training on Lactate Kinetics Parameters and their Influence on Short High-Intensity Exercise Performance. *Int J Sports Med* 2006; 27: 60–66.
- 18 Cairns SP, Lactic Acid and Exercise Performance. Culprit or Friend? *Sports Med* 2006; 36 (4): 279-29.
- 19 Dekerle J, Baron B, Dupont L, Vanvelcenaher J, Pelayo P. Maximal lactate steady state, respiratory compensation threshold and critical power. *Eur J Appl Physiol* 2003; 89: 281-288.
- 20 Tomlin DL, Wenger HA. The relationship between aerobic fitness and recovery from high intensity intermittent exercise. *Sports Med* 2001; 31: 1-11.
- 21 Karapetian GK, Engels HJ, Gretebeck RJ. Use of Heart Rate Variability to estimate LT and VT. *Int J Sports Med* 2008; 29: 652-657.
- 22 Chiappa GR., Roseguini BT, Alves CN, Ferlin EL, Neder JA, Ribeiro JP. Blood Lactate during Recovery from Intense Exercise: Impact of Inspiratory Loading. *Med Sci Sports Exerc* 2008; 40 (1): 111-116.
- 23 Gmada N, Bouhel E, Mrizak I, Debabi H, Ben-Jabrallah M, Tabka Z et al. Effect of combined active recovery from supramaximal exercise on blood lactate disappearance in trained and untrained man. *Int J Spots Med* 2005; 26: 874-879.
- 24 Seiler S, Haugen O, Kuffel E. Autonomic Recovery after Exercise in Trained Athletes: Intensity and Duration Effects. *Med Sci Sports Exer* 2007; 39: 1366-1373.

- 25 Terziotti P, Schena F, Gulli G, Cevese A. Post-exercise recovery of autonomic cardiovascular control: a study by spectrum and cross-spectrum analysis in humans. *Eur J Physiol* 2001; 84: 187-194.

Anexo I

Instruções aos autores – Revista Brasileira de Cirurgia Cardiovascular



INSTRUÇÕES AOS AUTORES

- _ Informações aos Autores
- _ Informações Gerais
- _ Seções do Manuscrito
- Informações aos Autores

ISSN 0102-7638 versão
impressa
ISSN 1678-9741 versão online

Os trabalhos enviados para publicação na Revista Brasileira de Cirurgia Cardiovascular – Brazilian Journal of Cardiovascular Surgery – devem versar sobre temas relacionados à cirurgia cardiovascular e áreas afins. Todas as contribuições científicas são revisadas pelo Editor, Editores Associados, Membros do Conselho Editorial e Revisores Convidados e envolvem as seções de Artigos Originais, Editoriais, Revisões, Atualizações, Relatos de Casos, "Como-eu-Faço", Comunicações Breves, Notas Prévias, Experiência de Serviço, Correlação Clínico-Cirúrgica, Trabalho Experimental e Cartas ao Editor. A aceitação será feita baseada na originalidade, significância e contribuição científica. Todos os artigos, cartas e comunicações deverão ser encaminhados ao endereço acima.

Os manuscritos devem ser enviados eletronicamente, em disquete, compact disk (CD) ou via Internet, para o endereço acima, ou para o e-mail revista@sbccv.org.br, não esquecendo de colocar no campo Assunto (Subject) o nome do artigo. Os textos devem ser editados em Word e os gráficos, fotos, tabelas e ilustrações devem estar após o texto ou em arquivos separados. Figuras devem ter extensão jpeg e resolução mínima de 300dpi. Também cópias impressas do texto e ilustrações podem ser anexadas em eventual correspondência.

Todos os artigos devem vir acompanhados por uma Carta de Submissão, indicando a Seção em que o artigo deva ser incluído (vide lista acima), declaração do autor e dos co-autores de que todos estão de acordo com o conteúdo expresso no trabalho, explicitando presença ou não de conflito de interesse e a inexistência de problema ético relacionado. Esta Carta deve ser obrigatoriamente enviada por fax (17-210-7045) ou correio. Para artigos com Publicação Duplicada, ver tópico específico.

Norma: A Revista Brasileira de Cirurgia Cardiovascular – Brazilian Journal of Cardiovascular Surgery adota as normas de Vancouver - Uniform Requirements for Manuscripts Submitted to Biomedical Journals, organizadas

pelo International Committee of Medical Journal Editors – "Vancouver Group". (www.icmje.org)

Avaliação pelos pares (peer review): Todos os trabalhos enviados à **Revista Brasileira de Cirurgia Cardiovascular** serão submetidos à avaliação dos pares (peer review) por pelo menos três revisores selecionados entre os Editores Associados e os membros do Conselho Editorial. Os revisores responderão a um questionário no qual farão a classificação do manuscrito, sua apreciação rigorosa em todos os itens que devem compor um trabalho científico, dando uma nota para cada um dos itens do questionário. Ao final farão comentários gerais sobre o trabalho e informarão se o mesmo deve ser publicado, corrigido segundo as recomendações ou rejeitado definitivamente. De posse destes dados, o Editor tomará a decisão final. Em caso de discrepâncias entre os avaliadores, poderá ser solicitada uma nova opinião para melhor julgamento. Quando forem sugeridas modificações, as mesmas serão encaminhadas ao autor principal e em seguida aos revisores para estes verificarem se as exigências foram satisfeitas. Após a editoração os manuscritos serão enviados ao autor para que o mesmo verifique se o mesmo não contém erros. Todo o processo será realizado por via eletrônica e em cada fase serão exigidos prazos rigorosos de execução. Em caso de atraso, um novo avaliador será escolhido, o mesmo acontecendo se algum dele se recusar a analisar o trabalho.

Em casos excepcionais, quando o assunto do manuscrito assim o exigir, o Editor poderá solicitar a colaboração de um profissional que não conste da relação os Editores Associados e Conselho Editorial para fazer a avaliação.

Idioma: Os artigos devem ser redigidos em português (com a ortografia vigente) e em inglês. Para os trabalhos que não possuem versão em inglês ou que esta seja julgada inadequada pelo Conselho Editorial, a revista providenciará a tradução com ônus para o(s) autor(es). A versão em inglês será publicada na íntegra no site da Scielo (www.scielo.br) permanecendo "online" à disposição da comunidade internacional, com links específicos no site da nossa sociedade, aqui no Brasil e no nosso site, que está hospedado na CTSNET (www.ctsnet.org) nos Estados Unidos da América do Norte.

Pesquisa com seres humanos e animais: Os autores precisam citar no item Método que a pesquisa foi aprovada pelo Comissão de Ética em Pesquisa de sua Instituição, em consoante à Declaração de Helsinki – ver endereço eletrônico <http://www.ufrgs.br/HCPA/gppg/helsin5.htm>. Nos trabalhos experimentais envolvendo animais, as normas estabelecidas no "Guide for the Care and Use of Laboratory Animals" (Institute of Laboratory Animal Resources, National Academy of Sciences, Washington, D.C., 1996) e os Princípios éticos na experimentação animal do Colégio Brasileiro de Experimentação Animal (COBEA) devem ser respeitados (www.meusite.com.br/COBEA/etica.htm).

Informações Gerais

Os artigos devem ser redigidos em processador de textos Word 97 ou superior (A 4); corpo 12; espaço 1,5; fonte Times New Roman; paginados e conter, sucessivamente:

Versão em português

- a) título em português e inglês;
- b) nome completo dos autores; Instituição ou Serviço onde foi realizado o trabalho
- c) Resumo em português e inglês (máximo de 250 palavras, cada. Cem, cada, nos Relatos de Caso e "Como eu Faço");
- d) Introdução;
- e) Método;
- f) Resultados;
- g) Comentários;
- h) Agradecimentos;
- i) Referências;
- j) Legendas das ilustrações
- k) Tabelas

Seções do manuscrito

Primeira página

Deve conter o título do trabalho de maneira concisa e descritiva, em português e inglês, o nome completo dos autores e o nome e endereço da instituição onde o trabalho foi elaborado. A seguir o nome do autor correspondente, juntamente com o endereço, telefone, fax e e-mail. Se o trabalho foi apresentado em congresso, deve ser mencionado o nome do congresso, local e data da apresentação. Deve ser incluída a contagem de palavras. A contagem eletrônica de palavras deve incluir a página inicial, resumo, texto, referências e legenda de figuras.

Segunda Página - Resumo

O resumo deve ser estruturado em quatro seções: Objetivo, Método, Resultados e Conclusão(ões).

Devem ser evitadas abreviações. O número máximo de palavras deve seguir as recomendações da tabela. Nos Relatos de Casos e Como-eu- Faço o resumo deve ser não-estruturado(informativo ou livre).

Também devem ser incluídos de 3 a 5 descritores (palavras-chave), assim como a respectiva tradução para os Key-words (descriptors). Esses descritores podem ser consultados no endereço eletrônico: <http://decs.bvs.br>, que contém termos em português, espanhol e inglês ou www.nlm.nih.gov/mesh, para termos somente em inglês.

Texto

Deve ser dividido em Introdução, Métodos, Resultados e Discussão. As Referências devem ser citadas numericamente, por ordem de aparecimento no texto, entre colchetes. Se forem citadas mais de duas Referências em seqüência, apenas a primeira e a última devem ser digitadas, sendo separadas por um traço (Exemplo: [6-9]). Em caso de citação alternada, todas as referências devem ser

digitadas, separadas por vírgula (Exemplo: [6,7,9]).As abreviações devem ser definidas na primeira aparição no texto.

Agradecimentos

Devem vir após o texto.

Referências

De acordo com as Normas de Vancouver, as referências devem ser numeradas seqüencialmente conforme aparição no texto. As referências não podem ter o parágrafo justificado, e sim alinhado à esquerda. Comunicações pessoais e dados não publicados não devem ser incluídos na lista de referências, mas apenas mencionados no texto e em nota de rodapé na página em que é mencionado. Citar todos os autores da obra se forem seis ou menos ou apenas os seis primeiros seguidos de et al. Se forem mais de seis. As abreviações das revistas devem estar em conformidade com o Index Medicus/ MEDLINE. Exemplos:

Artigo de Revista

1. Sader AA, Carneiro JJ, Vicente WVA, Rodrigues AJ, Sader SL. Implante subvalvar do anel da prótese no tratamento cirúrgico dos aneurismas da aorta ascendente. Rev Bras Cir Cardiovasc 1997;12:248-53.

Instituição como Autor

The Cardiac Society of Australia and New Zealand. Clinical exercise stress testing. Safety and performance guidelines. Med J Aust 1996;116:41-2.

Sem indicação de autoria

Cancer in South Africa. [editorial]. S Af Med j 1994;84-15.

Capítulo de Livro

1. Mylek WY. Endothelium and its properties. In: Clark BL Jr, editor. New frontiers in surgery. New York: McGraw-Hill; 1998. p.55-64.

Livro

1. Nunes EJ, Gomes SC. Cirurgia das cardiopatias congênitas. 2a ed. São Paulo: Sarvier; 1961. p.701.

Tese

1. Brasil LA. Uso da metilprednisolona como inibidor da resposta inflamatória sistêmica induzida pela circulação extracorpórea [Tese de doutorado]. São Paulo: Universidade Federal de São Paulo, Escola Paulista de Medicina, 1999. 122p. A EPM virou Universidade em 20 de dezembro 1994, de lá para cá se faz necessário colocar Unifesp e EPM.

Eventos

Silva JH. Preparo intestinal transoperatório. In: 45° Congresso Brasileiro de Atualização em Coloproctologia; 1995; São Paulo. Anais. São Paulo: Sociedade Brasileira de Coloproctologia; 1995. p.27-9.

Minna JD. Recent advances for potential clinical importance in the biology of lung cancer. In: Annual Meeting of the American Medical Association for Cancer Research; 1984 Sep 6-10. Proceedings. Toronto: AMA; 1984;25:293-4.

Material eletrônico

Artigo de revista

Morse SS. Factors in the emergence of infectious diseases. Emerg Infect Dis [serial online] 1995 Jan-Mar [cited 1996 Jun 5]; 1(1):[24 screens]. Available from: URL: <http://www.cdc.gov/ncidod/EID/eid.htm>

Livros

Tichenor WS. Sinusitis: treatment plan that works for asthma and allergies too [monograph online]. New York: Health On the Net Foundation; 1996. [cited 1999 May 27]. Available from: URL: <http://www.sinuses.com>

Capítulo de livro

Tichenor WS. Persistent sinusitis after surgery. In: Tichenor WS. Sinusitis: treatment plan that works for asthma and allergies too [monograph online]. New York: Health On the Net Foundation; 1996. [cited 1999 May 27]. Available from: URL: <http://www.sinuses.com/postsurg.htm>

Tese

Lourenço LG. Relação entre a contagem de microdensidade vascular tumoral e o prognóstico do adenocarcinoma gástrico operado [tese online]. São Paulo: Universidade Federal de São Paulo; 1999. [citado 1999 Jun 10]. Disponível em: URL: <http://www.epm.br/cirurgia/gastro/laercio>

Eventos

Barata RB. Epidemiologia no século XXI: perspectivas para o Brasil. In: 4° Congresso Brasileiro de Epidemiologia [online].; 1998 Ago 1-5; Rio de Janeiro. Anais eletrônicos. Rio de Janeiro: ABRASCO; 1998. [citado 1999 Jan 17]. Disponível em : URL: <http://www.abrasco.com.br/epirio98>

Legendas das Figuras

Devem ser formatadas em espaço duplo, estar em páginas numeradas e separadas, ordenadas após as Referências, uma página para cada legenda. As abreviações usadas nas figuras devem ser explicitadas nas legendas.

Tabelas e Figuras

Devem ser numeradas por ordem de aparecimento no texto, conter um título e estar em páginas separadas. As tabelas não devem conter dados redundantes já citados no texto. Devem ser abertas nos lados e com fundo totalmente branco. Abreviações usadas nas tabelas devem ser explicadas na legenda em ordem alfabética (veja exemplo abaixo).

As tabelas e figuras somente serão publicadas em cores se o autor concordar em arcar com os custos de impressão das páginas coloridas. Os manuscritos passam a ser propriedade da Revista Brasileira de Cirurgia Cardiovascular – Brazilian Journal of Cardiovascular Surgery – não podendo ser reproduzidos sem consentimento por escrito do Editor. Os trabalhos aprovados e publicados na RBCCV não serão devolvidos aos autores. Aqueles não aprovados serão sistematicamente devolvidos.

Para a reprodução de qualquer material já previamente publicado ou disponível na mídia eletrônica (incluindo tabelas, ilustrações ou fotografias), deve ser anexada carta com permissão por escrito do Editor ou do detentor do copyright.

Artigos Duplicados

A convenção de Vancouver estabelece que artigos duplicados, no mesmo ou outro idioma, especialmente em países diferentes, podem ser justificáveis e mesmo benéficos. Assim, artigos publicados por autores brasileiros em revistas científicas de outros países poderão ser aceitos, se o editor considerar a relevância e a necessidade. Em nota de rodapé na primeira página da segunda versão deverá informar aos leitores, pesquisadores que o artigo foi publicado integralmente ou em parte e apresentar a referência da primeira publicação. A nota deve conter "Este artigo está baseado em estudo previamente publicado em (título da revista com referência completa)".

Limites por tipo de artigo

Visando racionalizar o espaço da revista e permitir maior número de artigos por edição, devem ser observados os critérios abaixo delineados por tipo de publicação. A contagem eletrônica de palavras deve incluir a página inicial, resumo, texto, referências e legenda de figuras. Os títulos têm limite de 100 caracteres (contando-se os espaços) para os artigos originais e de 80 caracteres (contando-se os espaços) para as demais categorias.

Verifique antes de enviar o trabalho

- Carta de submissão indicando a categoria do manuscrito;

- Declaração do autor e co-autores de que concordam com o conteúdo do manuscrito;
- Pesquisa aprovada pelo Comitê de Ética da Instituição;
- Manuscrito redigido em processador de texto Word 97 ou superior (formatado para A 4); corpo 12; espaço 1,5; fonte Time News Roman; paginado;
- Manuscrito dentro dos limites adotados pela RBCCV para a sua categoria

© 2009 Revista Brasileira de Cirurgia Cardiovascular
 Av. Juscelino Kubitschek de Oliveira, 1505
 15091-450 São José do Rio Preto SP Brasil
 Tel./Fax: +55 17 210-7000
revista@sbccv.com.br

Anexo II

Instruções aos autores – International Journal of Sports Medicine

Info

Scope of the Journal

The *International Journal of Sports Medicine* (IJSM) provides a forum for the publication of papers dealing with basic or applied information that will advance the field of sports medicine and exercise science. The following sections define the scope of the journal: training & testing; orthopedics & biomechanics; clinical sciences; nutrition; behavioral sciences; physiology & biochemistry; immunology.

General Policy

The journal publishes original papers, reviews, short communications and letters to the Editors. Manuscripts submitted to the journal must contain novel data on theoretical or experimental research or on practical applications in the field of sports medicine and exercise science. No substantial part of the submission

(if possible). Review articles should not exceed 30000 characters, including references. Review articles are considered by the Editors and expert reviewers before a final decision regarding publication is made.

Rapid communications: Short manuscripts containing results of unusual scientific interest and importance, requiring rapid publication.

Papers submitted for this accelerated process must require little or no revision. Accompanying the submission should be a letter from the authors stating why they feel the paper should be published as a rapid communication. The manuscripts must not exceed four journal pages (2500 words including figures, tables and references). The format is the same as for full papers. For articles submitted as Rapid Communications every effort will be made to make a decision within three weeks and publish it within two or three months. Manuscripts rejected as Rapid Communications are eligible for resubmission as regular articles.

Letters to the Editor are welcome and will be published if appropriate. Letters (maximum length 700 words) relating to material previously published in *IJSM* should be submitted within 6 months after publication of the material the letter is referring to. Such letters will be sent to the corresponding author for comment within six weeks. The original letter and any reply will be published concurrently. Letters to the Editor are excluded from online submission and should be sent to the Editorial

mission). Abbreviations should not be used in the abstract.

Introduction: Should be comprehensible to the general reader. Give a clear statement of the purpose of the paper and provide relevant context to support the basis for the paper and the significance of the work. Do not exhaustively review the literature.

Materials & Methods: Provide sufficient information in the text or by reference to other work to permit the submitted work to be repeated without the need to communicate with the authors. Relevant validity and reliability data should be provided for critical methods. State the type of statistical tests used. Include the number of observations and the statistical findings when appropriate. Parametric and non-parametric statistics must be used as appropriate.

Results: Should be presented precisely and should not contain material that is appropriate in the discussion. Units, quantities, and formulas should be expressed according to the *Système Internationale* (SI units). All measurements should be given in metric units.

Discussion: Emphasize the new and important aspects of the study and conclusions derived from the study.

Acknowledgements: Financial support should be stated.

References: References should be cited in the text by number and compiled alphabetically at the end of the article and numbered accord-

Continuation from inside front cover

Chapter of a book:

¹ Zancetti A, Baccelli G, Guazzi M, Mancía G. The effect of sleep on experimental hypertension. In: Onesti G, Kim KE, Moyer JH (eds). Hypertension: Mechanisms and Management. New York: Grune & Stratton, 1973: 133–140

Figures: Figures, illustrations, or half-tones should be used when findings are best visually communicated. The use of photographs or equipment and experimental subjects should be avoided; good line drawings are more informative. Abbreviations used in the figure must be explained in the legend. Reference to the figure should be made in the text. Figures, illustrations or half-tones must be sharp and high-contrast. Uniform typographical setup (font style & size, line thickness) of all figures in a paper is highly desirable. Images should be provided as .tif or .jpg files in a resolution of 300 dpi. Color figures, illustrations or half-tones will not be published unless the author requires color in the publication. In this case the author will be charged with the additional cost of printing.

Tables: Tables should be used to communicate information that is hard to present visually. Results whose interpretation is more easily comprehended by knowing the means and SEM (or SD) may be presented in a table(s). Tables should be self-explanatory and bear a short title. Table legends should be typed on

Uploading Files on Submission

For submission of all manuscripts, follow the instructions of the online submission system at <http://mc.manuscriptcentral.com/IJSM>. Before submission, keep ready full metadata of the manuscript (title, full names referenced by Arabic superscripts with affiliation and addresses of all authors, and also, the complete list of references, footnotes, figure legends, and tables). **The author submitting the manuscript will be corresponding author.**

Upload as many files as needed for your manuscript. **If you have updated a file, please delete the original version and upload the revised file.** If you are submitting a revision, please include only the latest set of files. All files will be combined into a single PDF document for the peer review process.

When uploading your manuscript, you are required to select the **File designation:**

Main document. The main document should be in Word format. It should not include any figures or tables.

Figures and tables. Each one should be uploaded separately. Images should be uploaded as .tif or .jpg files in a resolution of 300 dpi. Tables should be uploaded either as word or excel files. When uploading, a form appears requesting the following information:

- **File tags:** Please enter the figure/table number e.g. Figure 1 a, Table 1
- **Caption/legend:** Please enter the figure/table number plus legend

Please do not upload PDFs! To designate the order in which your files appear, use the drop-downs in the “order” column.

Galley Proofs and Proof-reading

A pdf file of the galley proofs will be sent via e-mail to the corresponding author for proof reading. Proof reading is for typesetting errors only. At this stage the manuscript cannot be changed. The galley proofs should be returned to the appropriate address within 48 hours so the publication of the submission is not delayed.

Page Charge

Together with the galley proofs, if the manuscript is more than three printed pages, the corresponding author will be asked by the publisher to submit a check or purchase order to pay the cost of publication. Up to three printed pages of publication are without charge to the corresponding author. Each printed page beginning with the fourth printed page will carry a page charge of EUR 160.– (including 16% VAT).

Reprints

The authors will receive 25 reprints free of charge. An order form for reprints will be sent to the authors enabling further reprints to be ordered at prices indicated on materials contained with the galley proofs.