

Universidade Federal de Juiz de Fora  
Pós-Graduação Stricto Senso em Educação Física  
Mestrado em Aspectos Biodinâmicos do Movimento Humano

Tiago Peçanha de Oliveira

**RECUPERAÇÃO AUTONÔMICA CARDÍACA: INFLUÊNCIA DO TREINAMENTO  
FÍSICO, DA INTENSIDADE DO EXERCÍCIO E PROPOSIÇÃO DE UM MÉTODO  
PARA O ESTUDO DA REATIVAÇÃO VAGAL PLENA PÓS-EXERCÍCIO**

Juiz de Fora  
2012

TIAGO PEÇANHA DE OLIVEIRA

**RECUPERAÇÃO AUTÔNOMICA CARDÍACA: INFLUÊNCIA DO TREINAMENTO FÍSICO, DA INTENSIDADE DO EXERCÍCIO E PROPOSIÇÃO DE UM MÉTODO PARA O ESTUDO DA REATIVAÇÃO VAGAL PLENA PÓS-EXERCÍCIO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao programa de pós-graduação em Educação Física da Universidade Federal de Juiz de Fora em associação com a Universidade Federal de Viçosa, área de concentração: Aspectos Biodinâmicos do Movimento Humano, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Roberto Perrout de Lima

JUIZ DE FORA  
2012

Oliveira, Tiago Peçanha de.

Recuperação Autonômica Cardíaca: Influência do Treinamento Físico, da Intensidade do Exercício e Proposição de um Método para o Estudo da Reativação Vagal Plena Pós-Exercício / Tiago Peçanha de Oliveira.  
– 2012.

109 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Educação Física)-Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2011.

1. Educação Física. 2. Exercício Físico. 3. Frequência Cardíaca. I. Título.

*À minha família, que sempre esteve ao meu lado, nos bons e maus momentos, e que me deu todo o apoio emocional e financeiro. Este trabalho é nosso. Muito obrigado.*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por me fazer acreditar que a estrada vai além do que se vê.

Aos meus pais, Adriana e Sérgio, e à minha irmã, Paula, por serem exemplos de conduta pessoal e profissional e por sempre me estimularem a pensar, contestar e estudar.

Aos meus demais familiares pela preocupação constante com minha formação. Ao meu orientador, Jorge, por todo o suporte e por me mostrar todos os dias que simplicidade, humildade e alegria são grandes qualidades.

À professora Lílian Silva, por ter acreditado em mim, desde sempre, e por ter contribuído de maneira significativa para este trabalho.

Aos professores Cláudia Forjaz e Fábio Nakamura, por aceitarem fazer parte da minha banca.

Aos meus estimados voluntários, por fazerem parte desta pesquisa.

Aos professores Mateus Laterza, Débora Moreira, Henrique Mansur, Maurício Bara e Maria Eliza Ferreira, por terem me estimulado, desde a graduação a buscar o conhecimento.

Aos professores Fernando Nogueira e Olivasse de Oliveira pela grande ajuda no processamento dos sinais; à amiga Rafaela Villanova, pelo auxílio na tradução dos textos para a língua inglesa e ao amigo Joilson Meneguci pela ajuda na formatação final.

Aos professores Rogério Baumgratz, Maycon Reboredo, por me permitirem a utilização do Holter e à amiga Marilene, por me ensinar a utilizar este aparelho.

A FAPEMIG, pela bolsa de estudos.

Ao Grupo de Estudos de Adaptações Autonômicas ao Exercício Físico (GEAEX), pelas discussões semanais que certamente contribuíram para este trabalho.

Aos amigos e parceiros deste trabalho, Eliza Coelho, Rhenan Ferreira e Ísis Cotta, pela prazerosa companhia diária e troca de informações. Considerem-se autores desta dissertação.

Aos grandes amigos Marcelle Ribeiro, Antônio Ferreira Júnior, Isabelle Freitas, Phelipe de Castro, Leonardo Pertence, Gabriela Trevizani, Raphael Mattos, Emílio Garcia, Marco Antônio Rocha, Enéas Filho e Marcelo Barros, por me tornarem uma pessoa melhor e por torcerem pelo meu sucesso. Obrigado por serem meus amigos.

Aos demais amigos do mestrado, da faculdade e da vida, por contribuírem  
significativamente para o meu crescimento.

Enfim, a todos aqueles que me ajudaram direta ou indiretamente, desde o início de  
minha formação, até a data de hoje.

Muito obrigado!

*“A maioria das idéias fundamentais da ciência são essencialmente sensíveis e, regra geral, podem ser expressas em linguagem compreensível a todos”*

*(Albert Einstein)*

*“Que ninguém se engane, só se consegue a simplicidade através de muito trabalho”.*  
*(Clarice Lispector)*



## RESUMO

O exercício físico promove uma série de alterações fisiológicas no organismo, provocando, reflexamente, retirada do tônus vagal e elevação da ativação simpática para o coração. Este conjunto de respostas está por trás da elevação da frequência cardíaca (FC) que ocorre em qualquer tipo de exercício físico. Logo após o término do exercício, a FC cai exponencialmente, e esta queda é mediada, predominantemente, pela reativação vagal. Na medida em que a recuperação prossegue, a queda da FC é gradual e sustentada. Nesta fase, além da reativação vagal, há também a retirada do tônus simpático. A investigação da magnitude da recuperação da frequência cardíaca pós-exercício, portanto, é uma forma de avaliar a integridade autonômica cardiovascular. Recentemente, estudos têm proposto métodos adequados para a avaliação da Variabilidade da Frequência Cardíaca (VFC) no período da recuperação pós-exercício. Esta ferramenta permite um entendimento complementar dos processos relacionados à recuperação autonômica cardíaca e, por conta disso, possui potencial relevância clínica. A presente dissertação centrou-se no estudo da recuperação autonômica cardíaca pós-exercício. No primeiro estudo, propusemos um método de identificação do tempo necessário para a reativação vagal plena pós-exercício e verificamos a influência do nível de treinamento físico neste tempo. Participaram deste estudo 18 indivíduos jovens, divididos em um grupo de “baixo nível de treinamento físico” e outro de “alto nível de treinamento físico”. Foi observada reativação vagal plena mais rápida no segundo grupo. O segundo estudo propôs um novo método de identificação do tempo necessário para a reativação vagal plena; verificou a influência da intensidade do exercício físico neste tempo e; comparou os resultados obtidos por este novo método com os obtidos pelo método proposto no primeiro estudo. Participaram deste estudo 10 indivíduos jovens e sedentários. A reativação vagal plena foi mais lenta após o exercício intenso em comparação ao exercício moderado, independente do método utilizado. No entanto, houve diferença no tempo da reativação vagal plena entre os métodos utilizados e são necessários mais estudos para definir qual o melhor método. No terceiro estudo verificamos a influência da intensidade do exercício no comportamento de 24 horas da frequência cardíaca e da Variabilidade da Frequência Cardíaca Pós-Exercício. Dividimos as 24 horas pós-exercício em: período de laboratório, com duração de 1 hora e; período ambulatorial, com duração

de 23 horas. Observamos maiores valores de FC e menores valores de VFC, durante a primeira hora da recuperação, após o exercício intenso, em comparação ao exercício moderado; e menores valores do índice HF, no período do sono, após o exercício intenso, em comparação ao exercício moderado e à linha de base. Conclui-se, após todos os trabalhos desta dissertação, que o nível de treinamento físico e a intensidade do exercício físico exercem influência sobre a recuperação autonômica cardíaca e que o método de identificação da reativação vagal plena parece ser adequado para avaliação do impacto do exercício sobre a modulação vagal cardíaca pós-exercício. A avaliação da VFC no período do sono também se mostrou interessante e deve ser melhor investigada para posterior aplicação prática.

Palavras-chave: Frequência Cardíaca, Sistema Nervoso Parassimpático, Exercício

## ABSTRACT

The physical exercise promotes a series of physiologic changes in the human organism, causing, reflexly, vagal tone withdrawal and rising of the sympathetic activation to the heart. This set of responses is behind the heart rate (HR) rising, that occurs in any type of physical exercise. Immediately after the exercise end, the HR goes down exponentially, and this fall is mediated, predominantly, by the vagal reactivation. According as the recovery continues, the fall of the HR is gradual and sustained. At this phase, further the vagal reactivation, there is also the sympathetic tonus withdrawal. The investigation of the post-exercise recovery heart rate magnitude, so, is a way to assess the autonomic cardiovascular integrity. Recently, studies have proposed adequate methods to assess the Heart Rate Variability in the post-exercise recovery period. This appliance allows a complementary understanding of the cardiac autonomic recovery related procedures, and because of that, has potential clinical relevance. The present thesis focused on the study of the post-exercise autonomic cardiac recovery. In the first study, we proposed a identification method of the time required to the post-exercise full vagal reactivation and it was verified the influence of the training level at this time. 18 young subjects participated in the study; they were divided into a group of "low training level" and other group of "high training level", there was observed faster full vagal reactivation in the second group. In the second study, we proposed a new identification method of the time required to the post-exercise full vagal reactivation, the influence of the physical exercise at this time was verified and the results of the new method were compared to the ones of the first study method. 10 young and sedentary subjects participated in this study. The full vagal reactivation was slower after the intense exercise compared to the moderate exercise, independent of the method used. However, there was difference in the full vagal reactivation time between the methods used and more studies are necessary to define what is the best method. In the third study we verified the influence of the physical exercise intensity in the 24 hours heart rate and the post-exercise heart rate variability behavior. We divided the 24 hours into: lab period, with 1 hour of duration and; ambulatory period, with 23 hours of duration. We observed higher values of HR and lower values of HRV, during the recovery first hour, after intense exercise, compared to the moderate exercise; and lower HF-HRV values, at sleep period, after intense exercise, compared to the moderate exercise

and baseline. In conclusion, the physical training level and the physical exercise intensity influence the cardiac autonomic recovery and the identification of full vagal reactivation method can be appropriate to assess the exercise impact on the post-exercise cardiac vagal modulation. The assess of the HRV in the sleep period also seemed to be interesting and have to be better investigated to subsequent practical application.

Keywords: Heart Rate, Parasympathetic Nervous System, Exercise

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### 1 INTRODUÇÃO – CONTEXTUALIZAÇÃO

<b>Figura 1</b> - Comportamento da FC no exercício físico e determinantes autonômicos envolvidos .....	19
<b>Figura 2</b> - Comportamento da FC de recuperação e determinantes autonômicos envolvidos .....	19
<b>Figura 3</b> - Comportamento da Frequência Cardíaca no Período de Recuperação – Integração Autonômica e Influência dos Mecanismos de Controle Cardiovascular .....	23
<b>Figura 4</b> - Métodos de Análise da Frequência Cardíaca de Recuperação Pós-Exercício .....	24
<b>Figura 5</b> - Análise Hipotética do Domínio da Frequência .....	26
<b>Figura 6</b> - Componentes espectrais da análise no domínio da frequência, da variabilidade da frequência cardíaca .....	26
<b>Figura 7</b> - Período Estável da Recuperação Autonômica Cardíaca – Análise Tradicional da VFC .....	28
<b>Figura 8</b> - Análise “Time-Varying” da Variabilidade da Frequência Cardíaca, na Recuperação Pós-Exercício .....	29
<b>Figura 9</b> - Mapa tempo-frequência da Variabilidade da Frequência Cardíaca, na Recuperação Pós-Exercício .....	31
<b>Figura 10</b> - Janela de Exposição a Riscos Cardiovasculares .....	32

### 2 DESENVOLVIMENTO

#### 2.1 – ARTIGO 1: Influence of Physical Training on Postexercise Full Vagal Reactivation

<b>Figura 1</b> - Full Vagal Reactivation identification. The Full Vagal Reactivation Point is considered the moment when recovery RMSSD reached baseline values .....	43
<b>Figura 2</b> - RMSSD of the high and low physical training groups at rest and at post-exercise recovery .....	45
<b>Figura 3</b> - Comparison of individual full vagal point reactivation between the groups .....	46

#### 2.2 – ARTIGO 2: Influência da Intensidade do Exercício Físico na Reativação Vagal Plena Pós-Exercício

<b>Figura 1</b> - Protocolo Experimental .....	57
<b>Figura 2</b> - Determinação da reativação vagal plena - O momento, em minutos, no qual a VFC atinge a faixa de tolerância, determinada a partir do CV (%) da VFC re repouso, é considerado a reativação vagal plena .....	60
<b>Figura 3</b> - A) Valores de RMSSD30s no repouso e no período de 60 minutos de recuperação, após os exercícios de moderada intensidade (MI) e alta intensidade (AI). B) Valores de HF no período de repouso e durante 50 minutos de recuperação após os exercícios de moderada intensidade (MI) e alta intensidade (AI). As barras de erro foram omitidas para permitir uma melhor visualização do gráfico .....	62

**Figura 4** - RVP após as sessões de moderada (MI) e alta intensidade (AI) identificada pelos dois métodos utilizados no presente estudo (RMSSD30s e HF). (†) Diferença estatisticamente significativa ..... 62

**Figura 5** - Correlação entre a RVP calculada pelos índices RMSSD30s e HF (n = 20) ..... 63

### **2.3 – ARTIGO 3 - Influência da Intensidade do Exercício Físico na Recuperação Autônoma Cardíaca de 24 Horas**

**Figura 1** - Protocolo Experimental ..... 73

**Figura 2** - Valores de frequência cardíaca de repouso e durante o primeiro minuto da recuperação (A), do 2º ao 10º minuto da recuperação (B) e do 10º ao 50º minuto da recuperação (C), após os exercícios de moderada (MI) e alta intensidade (AI) ..... 79

**Figura 3** - Mapa tempo-frequência, gerado no período de 50 minutos de recuperação, após os exercícios de moderada intensidade (MI; lado esquerdo) e alta intensidade (AI; lado direito) em um indivíduo representativo ..... 80

**Figura 4** - Valores de HF (A) e LF (B) no repouso e nos 10 primeiros minutos de recuperação, na fase de laboratório ..... 80

**Figura 5** - Valores de HF (A) e LF (B) no repouso e do 10º ao 50º minuto de recuperação, na fase de laboratório ..... 81

**Figura 6** - Comportamento da FC na fase ambulatorial após os exercícios MI e AI em relação à linha de base ..... 82

**Figura 7** - Comportamento da banda HF na fase ambulatorial após os exercícios MI e AI em relação à linha de base ..... 82

**Figura 8** - Comportamento da banda LF na fase ambulatorial após os exercícios MI e AI em relação à linha de base ..... 83

## LISTA DE TABELAS

### 1 INTRODUÇÃO – CONTEXTUALIZAÇÃO

<b>Tabela 1</b> - Significado Fisiológico dos Índices de Variabilidade da Frequência Cardíaca no Domínio do Tempo e no Domínio da Frequência .....	27
--	----

### 2 DESENVOLVIMENTO

#### 2.1 – ARTIGO 1: Influence of Physical Training on Postexercise Full Vagal Reactivation

<b>Tabela 1</b> - Sample Characterization .....	44
---	----

<b>Tabela 2</b> - Recovery HRV at the frequency domain of the high and low physical training groups, at rest and slow phase of post-exercise recovery .....	45
---	----

#### 2.2 – ARTIGO 2: Influência da Intensidade do Exercício Físico na Reativação Vagal Plena Pós-Exercício

<b>Tabela 1</b> - Caracterização da Amostra .....	61
---	----

#### 2.3 – ARTIGO 3 - Influência da Intensidade do Exercício Físico na Recuperação Autônoma Cardíaca de 24 Horas

<b>Tabela 1</b> - Caracterização da Amostra .....	77
---	----

<b>Tabela 2</b> - FC e VFC nas condições “vigília” e “sono”, na Linha de Base e após os exercícios MI e AI .....	84
--	----

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO – CONTEXTUALIZAÇÃO .....</b>	<b>18</b>
<b>2 DESENVOLVIMENTO .....</b>	<b>37</b>
<b>2.1 ARTIGO 1 - INFLUENCE OF PHYSICAL TRAINING ON POSTEXERCISE FULL VAGAL REACTIVATION .....</b>	<b>37</b>
▪ Resumo .....	37
▪ Abstract .....	38
▪ Introdução .....	39
▪ Métodos .....	40
▪ Resultados .....	44
▪ Discussão .....	46
▪ Conclusão .....	51
<b>2.2 ARTIGO 2 - INFLUENCIA DA INTENSIDADE DO EXERCÍCIO FÍSICO NA REATIVAÇÃO VAGAL PLENA PÓS-EXERCÍCIO .....</b>	<b>52</b>
▪ Resumo .....	52
▪ Abstract .....	53
▪ Introdução .....	54
▪ Métodos .....	55
▪ Resultados .....	60
▪ Discussão .....	63
▪ Conclusão .....	68
<b>2.3 ARTIGO 3 - INFLUÊNCIA DA INTENSIDADE DO EXERCÍCIO FÍSICO NA RECUPERAÇÃO AUTÔNOMICA CARDÍACA DE 24 HORAS .....</b>	<b>69</b>
▪ Resumo .....	69
▪ Abstract .....	70
▪ Introdução .....	71
▪ Métodos .....	72
▪ Resultados .....	76
▪ Discussão .....	84
▪ Conclusão .....	90
<b>3 CONCLUSÃO - CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>91</b>
<b>4 ELEMENTOS PÓS-TEXTUAIS .....</b>	<b>93</b>
<b>4.1 ANEXOS</b>	
▪ Anexo 1: Termo de Consentimento Livre e Esclarecido .....	93
▪ Anexo 2: Aprovação do Comitê de Ética da Universidade Federal de Juiz de Fora .....	96
▪ Anexo 3: Questionário de Baecke .....	97
<b>5 REFERÊNCIAS .....</b>	<b>100</b>



## 1 INTRODUÇÃO – CONTEXTUALIZAÇÃO

O ritmo cardíaco é regulado extrinsecamente pelas fibras nervosas parassimpáticas (vagais) e simpáticas do sistema nervoso autônomo (SNA) (ROSENWINKEL, BLOOMFIELD *et al.*, 2001). As primeiras liberam acetilcolina na junção neuro-efetora cardíaca, produzindo redução na frequência de despolarização do nódulo sinusal, lentificando a frequência cardíaca (FC) (JENSEN-URSTAD, SALTIN *et al.*, 1997; CHALLAPALLI, KADISH *et al.*, 1999). As fibras simpáticas, por sua vez, produzem elevação da FC por meio da liberação de noradrenalina que, em contato com receptores  $\beta$ -adrenérgicos, aumentam o ritmo de despolarização do marcapasso sinusal (KAMOSINSKA, NOWICKI *et al.*, 1989).

O comportamento da FC de repouso ( $FC_{rep}$ ) e durante o exercício físico ( $FC_{ex}$ ) tem sido amplamente estudado pela literatura (KAMATH, FALLEN *et al.*, 1991; TULPPO, MÄKIKALLIO *et al.*, 1998). No repouso, a atividade vagal é predominante, produzindo manutenção do ritmo cardíaco em níveis inferiores ao ritmo natural de disparo do nódulo sinoatrial (JOSE, 1966; JENSEN-URSTAD, SALTIN *et al.*, 1997). No início do exercício ou durante exercícios físicos de intensidade leve, o principal mecanismo associado à elevação da FC é a diminuição da atividade vagal, denominada retirada vagal (EKBLÖM e HERMANSEN, 1968; NOBREGA e ARAUJO, 1993). Na medida em que aumenta a intensidade do exercício, maiores incrementos da FC são conseguidos por meio do aumento da atividade simpática sobre o coração, denominada entrada simpática (O'HAGAN, CASEY *et al.*, 1997; KAMIYA, MICHIKAMI *et al.*, 2000) (Figura 1).

Dada a facilidade de mensuração, a  $FC_{rep}$  e a  $FC_{ex}$  têm sido amplamente utilizadas para avaliação da resposta autonômica cardiovascular ao exercício físico (KARVONEN e VUORIMAA, 1988; ARENA, MYERS *et al.*, 2010). Tais índices possuem valor prognóstico significativo (JOUVEN, EMPANA *et al.*, 2005) e também podem ser utilizados por treinadores e fisiologistas do exercício para controle do treinamento físico (KARVONEN e VUORIMAA, 1988).

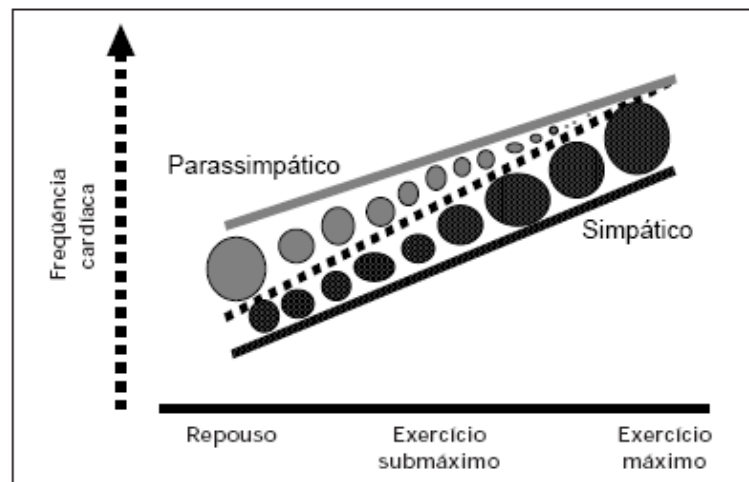


Figura 1 – Comportamento da FC no exercício físico e determinantes autonômicos envolvidos (Fonte: Almeida e Araújo, 2003).

### 1.1 RECUPERAÇÃO AUTONÔMICA CARDÍACA

Recentemente, as pesquisas científicas também têm dado atenção ao comportamento das variáveis autonômicas pós-exercício (HAUTALA, TULPPO *et al.*, 2001; BUCHHEIT e GINDRE, 2006; TULPPO, KIVINIEMI *et al.*, 2011). Imediatamente após o término do exercício físico, a FC cai de maneira (mono)exponencial, diminuindo progressivamente o débito cardíaco até o seu nível de repouso (PERINI, ORIZIO *et al.*, 1989; IMAI, SATO *et al.*, 1994; PIERPONT, STOLPMAN *et al.*, 2000). A queda da FC pós-exercício ( $FC_{rec}$ ) é controlada pelo SNA, por meio da soma integrada de reativação do tônus vagal e retirada do tônus simpático (PERINI, ORIZIO *et al.*, 1989; IMAI, SATO *et al.*, 1994) (Figura 2).

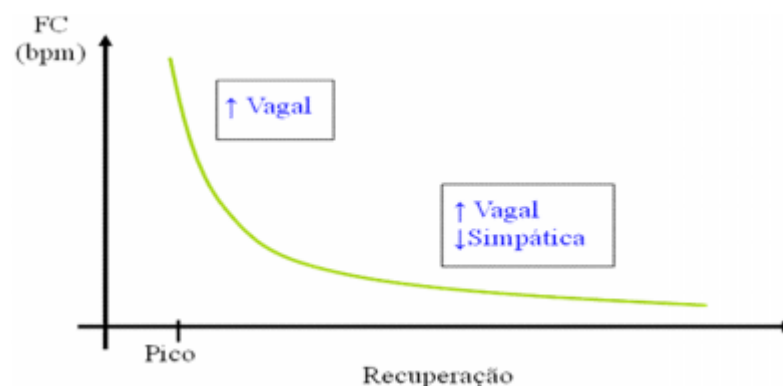


Figura 2 – Comportamento da FC de recuperação e determinantes autonômicos envolvidos.

### 1.1.1 Fases da Recuperação Autonômica Cardíaca

De acordo com o ritmo de queda da FC e com a atuação dos mecanismos autonômicos, a recuperação autonômica cardíaca pode ser dividida em duas fases: (1) fase rápida da recuperação autonômica cardíaca e (2) fase lenta da recuperação autonômica cardíaca (PERINI, ORIZIO *et al.*, 1989; IMAI, SATO *et al.*, 1994; COOTE, 2010). Cada uma dessas fases possui ações distintas dos mecanismos de regulação cardiovascular, produzindo queda da FC (Figura 3).

#### 1.1.1.1 Fase Rápida da Recuperação Autonômica Cardíaca

Logo após o término do exercício físico, a FC cai de maneira significativa e imediata (Figura 3) (PERINI, ORIZIO *et al.*, 1989; IMAI, SATO *et al.*, 1994). Tal queda, entretanto, é praticamente abolida após a administração de atropina (bloqueador parassimpático) durante o exercício (IMAI, SATO *et al.*, 1994). Por conta disso, a  $FC_{rec}$  medida nos primeiros instantes pós-exercício é uma forma eficiente de avaliação da reativação vagal cardíaca (IMAI, SATO *et al.*, 1994; BUCHHEIT e GINDRE, 2006). Em relação ao comportamento dos mecanismos de controle cardiovascular, nesta fase, a literatura tem demonstrado que a cessação dos inputs oriundos do comando central e dos mecanorreceptores presentes na musculatura esquelética permite a reativação do tônus vagal, produzindo queda rápida da FC (BULL, DAVIES *et al.*, 1989; CARTER, WATENPAUGH *et al.*, 1999; OGOH, WASMUND *et al.*, 2002). Isto pode ser comprovado pelos estudos de Carter, Watenpaugh *et al.*, (1999) e Bull, Davies *et al.*, (1989). No primeiro estudo, imediatamente após o exercício físico, o protocolo de recuperação ativa (manutenção da ação de comando central e mecanorreceptores no período pós-exercício) produziu menor queda da FC do que o protocolo de recuperação passiva (movimento realizado por outra pessoa, manutenção apenas da ação dos mecanorreceptores), indicando que a cessação dos estímulos oriundos do córtex cerebral (comando central) é determinante na queda inicial da FC. Já o estudo de Bull, Davies *et al.*, (1989), demonstrou que a realização de contrações isométricas involuntárias (sem participação do comando central, apenas de mecanorreceptores e metaborreceptores), produz elevação da FC e que, após o término deste estímulo,

mesmo com manutenção da oclusão arterial (forma de manter a atuação dos metaborreceptores para determinar os efeitos dos mecanorreceptores na recuperação), há queda significativa da FC, indicando que a cessação dos estímulos oriundos da ação dos mecanorreceptores também parece contribuir significativamente para recuperação da FC logo após o término do exercício físico.

### 1.1.1.2 Fase Lenta da Recuperação Autonômica Cardíaca

Na medida em que a recuperação prossegue, há remoção dos metabólitos produzidos pela contração muscular (lactato, H<sup>+</sup>, ADP, P<sub>i</sub>.) e das catecolaminas circulantes, retorno do pH sanguíneo à sua condição basal e normalização da temperatura corporal (PERINI, ORIZIO *et al.*, 1989; BUCHHEIT, LAURSEN *et al.*, 2007; COOTE, 2010). A regularização desses fatores permite a diminuição da ação de quimiorreceptores, de metaborreceptores musculares e de termorreceptores (GUJIC, LAUDE *et al.*, 2007; NIEMELA, KIVINIEMI *et al.*, 2008; COOTE, 2010; GONZALEZ-ALONSO, 2012). Tais respostas produzem queda lenta e sustentada da FC, mediada pela soma integrada de reativação parassimpática e retirada simpática sobre o coração (COOTE, 2010) (Figura 3).

Em relação à influência da ação dos quimiorreceptores na FC<sub>rec</sub>, estudo de Gujic, Laude *et al.*, (2007) demonstrou que um protocolo de exercício isométrico em condição de hipoxia produz recuperação mais lenta da FC do que o mesmo exercício realizado em condição de normoxia, evidenciando o papel chave que o restabelecimento das concentrações de oxigênio e dióxido de carbono têm na FC<sub>rec</sub> (Figura 3).

Ainda não está claro qual o papel dos metaborreceptores na recuperação da FC<sub>rec</sub>. Estudo de Bull, Davies *et al.*, (1989) observou queda similar da FC nas condições com ou sem oclusão arterial, fato este que nos leva a crer que a diminuição da estimulação de metaborreceptores possui papel insignificante sobre a FC<sub>rec</sub>. Entretanto, sabe-se que a ação dos metaborreceptores está intimamente associada ao reajuste barorreflexo que ocorre durante o exercício físico (SALAMERCADO, ICHINOSE *et al.*, 2007; NIEMELA, KIVINIEMI *et al.*, 2008). Estudos indicam que o aumento na concentração de metabólitos, na musculatura esquelética, produz estimulação dos metaborreceptores, elevando a atividade simpática e o ponto de ação dos barorreceptores. Esse reajuste no barorreflexo

permite que a FC se eleve concomitantemente à elevação da pressão arterial (SALA-MERCADO, ICHINOSE *et al.*, 2007). Após o término do exercício físico, a atividade dos barorreceptores retorna gradativamente ao seu nível de repouso. Sabe-se que a recuperação do barorreflexo pós-exercício é mais lenta após o exercício intenso, com alta participação anaeróbia (BUCHHEIT, LAURSEN *et al.*, 2007; NIEWIADOMSKI, GASIOROWSKA *et al.*, 2007; GLADWELL, SANDERCOCK *et al.*, 2010). A alta produção de metabólitos, típica desse exercício, associada à ativação simpática persistente estariam por trás do atraso no retorno da ação desse sistema e, possivelmente, possuiriam influência no retardo da  $FC_{rec}$ . Mais estudos, no entanto, são necessários no intuito de identificar as relações existentes entre a  $FC_{rec}$ , a produção de metabólitos, a atividade simpática e a recuperação do barorreflexo.

Outro fator que merece destaque na fase lenta da recuperação autonômica cardíaca é o restabelecimento da temperatura corporal. O aumento da temperatura corporal, inerente ao exercício físico, estimula receptores cutâneos sensíveis ao aumento da temperatura, gerando uma resposta simpática para o coração, elevando a FC (ROWELL, MURRAY *et al.*, 1969; ROWELL, 1983). Além disso, há vasodilatação da árvore vascular cutânea e estimulação da perda de calor por evaporação (suor) (ROWELL, MURRAY *et al.*, 1969; ROWELL, 1983). Após o exercício, à medida que a atividade metabólica diminui, os sistemas de resfriamento do organismo produzem redução da temperatura cutânea, diminuindo, assim, a ativação simpática e, conseqüentemente, a FC (Figura 3).

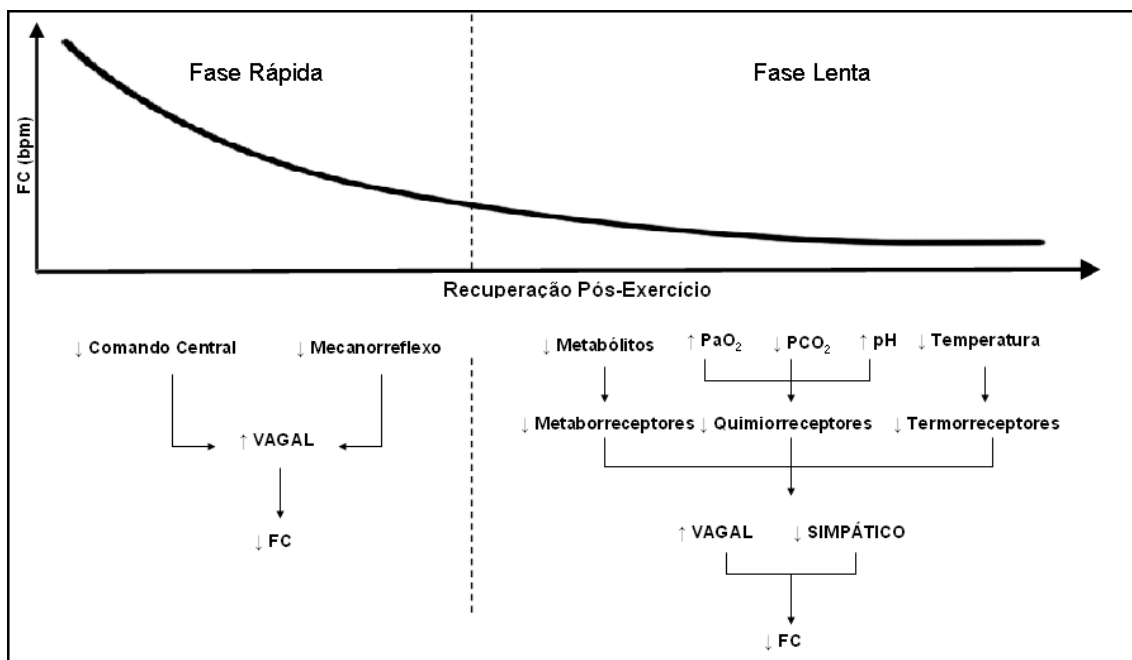


Figura 3 – Comportamento da Frequência Cardíaca no Período de Recuperação – Integração Autônoma e Influência dos Mecanismos de Controle Cardiovascular.

## 1.1.2 Métodos de Análise da Recuperação Autônoma Cardíaca

### 1.1.2.1 Recuperação da Frequência Cardíaca

A  $FC_{rec}$  tem sido medida de diversas formas. A mais conhecida é por meio da quantificação da diferença absoluta entre a FC no pico do exercício e a FC após um período fixo de recuperação (COLE, BLACKSTONE *et al.*, 1999; OSTOJIC, STOJANOVIC *et al.*, 2011). A maioria dos estudos utiliza um intervalo entre 30 segundos e 2 minutos para o cálculo deste índice ( $\Delta 30s$ ,  $\Delta 60s$  e  $\Delta 120s$ ). Entretanto, ajustes exponenciais ou logaritmos também têm sido propostos (PERINI, ORIZIO *et al.*, 1989; IMAI, SATO *et al.*, 1994; BUCHHEIT e GINDRE, 2006). Nesse sentido, outros dois índices comumente usados são: T30, que representa a recíproca negativa da inclinação da reta de regressão dos logaritmos naturais da FC correspondente a cada intervalo R-R do décimo ao quadragésimo segundo de recuperação (IMAI, SATO *et al.*, 1994) e;  $HRR\tau$ , calculado pela constante de tempo de decaimento da FC, após ajuste exponencial (PERINI, ORIZIO *et al.*, 1989; PIERPONT, STOLPMAN *et al.*, 2000). Já que a queda da FC imediatamente após o exercício pode ser atribuída, de maneira quase que exclusiva, à reativação

parassimpática (IMAI, SATO *et al.*, 1994; PIERPONT, STOLPMAN *et al.*, 2000), os índices de recuperação da FC de curta duração ( $\Delta 30s$ ,  $\Delta 60s$  e  $T30$ ) podem ser considerados marcadores da reativação vagal pós-exercício (BUCHHEIT, PAPELIER *et al.*, 2007). Já o índice  $HRR\tau$ , por avaliar todo o período de recuperação da FC pós-exercício, tem sido considerado um marcador de avaliação da reativação vagal e da retirada simpática pós-exercício (BUCHHEIT, PAPELIER *et al.*, 2007) (Figura 4).

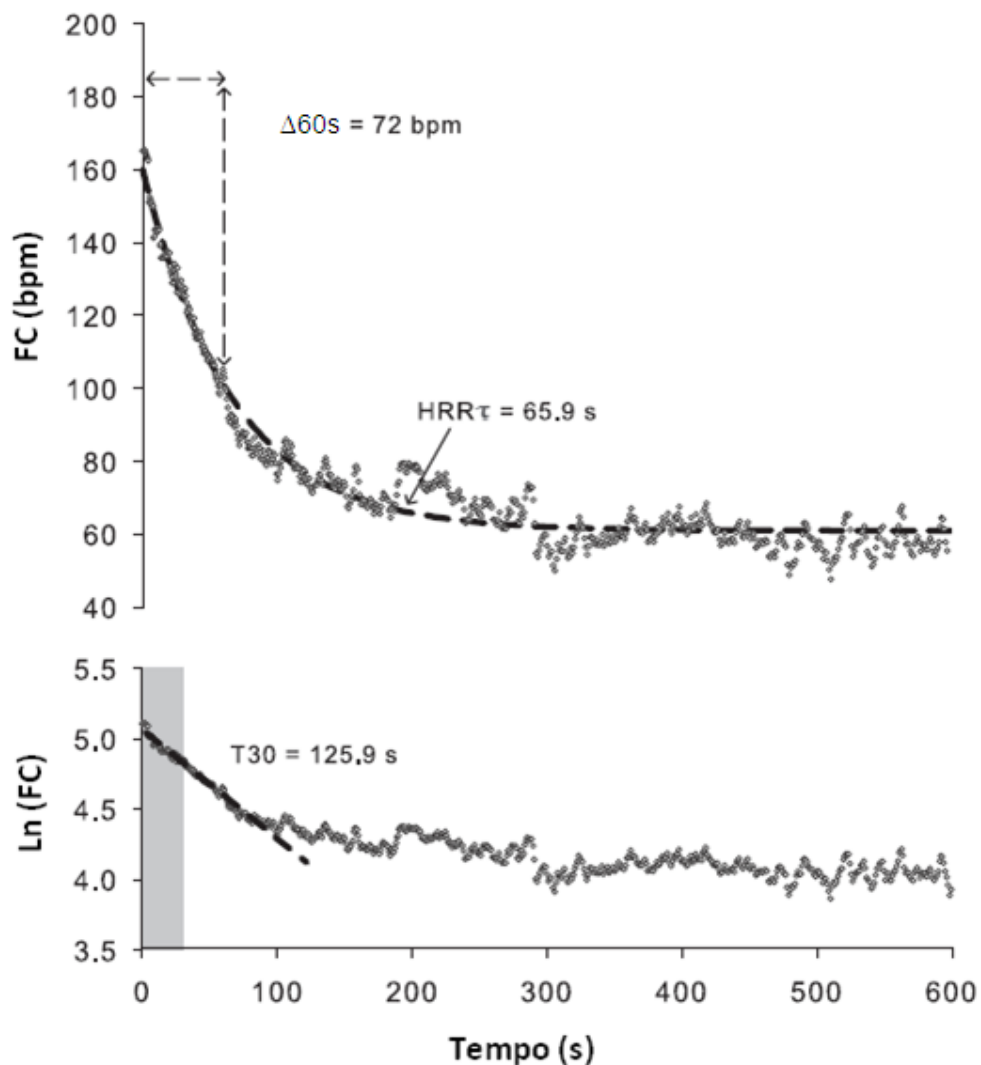


Figura 4 – Métodos de Análise da Frequência Cardíaca de Recuperação Pós-Exercício. (Fonte: adaptado de Buchheit, Papelier *et al.*, 2007).

### 1.1.2.2 Variabilidade da Frequência Cardíaca

Outra forma de avaliação da atuação autonômica sobre o coração é o estudo da Variabilidade da Frequência Cardíaca (VFC) (TASK-FORCE, 1996). A VFC - variação que ocorre entre batimentos cardíacos de origem sinusal sucessivos - é uma ferramenta não-invasiva de avaliação da modulação autonômica cardíaca, mais especificamente da influência integrada das alças simpática e parassimpática, do SNA, sobre o ritmo cardíaco (TASK-FORCE, 1996).

Os métodos lineares de análise da VFC se dividem em dois domínios: domínio do tempo (DT) e domínio da frequência (DF). A análise da VFC no DT envolve a utilização de índices estatísticos (média e medidas de dispersão) para quantificação da variação na série temporal de intervalos RR (iRR) de origem sinusal (iNN). No DT, os índices mais utilizados são: SDNN (desvio padrão dos iNN), RMSSD (raiz quadrada média da diferença entre os iNN sucessivos) e pNN50 (porcentagem dos iNN sucessivos cuja diferença entre os mesmos é maior do que 50 ms). A análise da VFC no DF, por sua vez, utiliza-se da quantificação da densidade espectral de potência, por meio de algoritmos matemáticos específicos, para decomposição da VFC (sinal complexo) em componentes oscilatórios fundamentais (sinais simples; Figura 5), com frequências definidas. No DF, os seguintes índices são calculados: HF (componente de alta frequência; 0,15-0,4 Hz), LF (componente de baixa frequência; 0,03-0,15 Hz), VLF (componente de muito baixa frequência; 0,004-0,03 Hz) e PT (potência total do espectro;  $\leq 0,4$  Hz) (Figura 6). Os índices HF e LF também podem ser quantificados em forma de razão (LF/HF) ou em unidades normalizadas ( $HF_{nu}$  e  $LF_{nu}$ ). Os significados fisiológicos de cada índice no DT e DF seguem detalhados na Tabela 1.



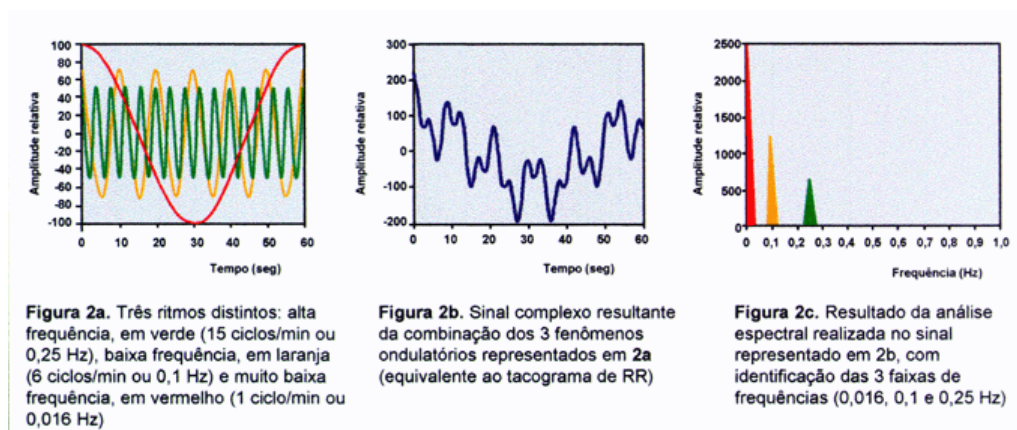


Figura 5 – Análise Hipotética do Domínio da Frequência

(Fonte: [www.cardios.com.br/Jornais/jornal-20/metodos%20diagnosticos.htm](http://www.cardios.com.br/Jornais/jornal-20/metodos%20diagnosticos.htm))

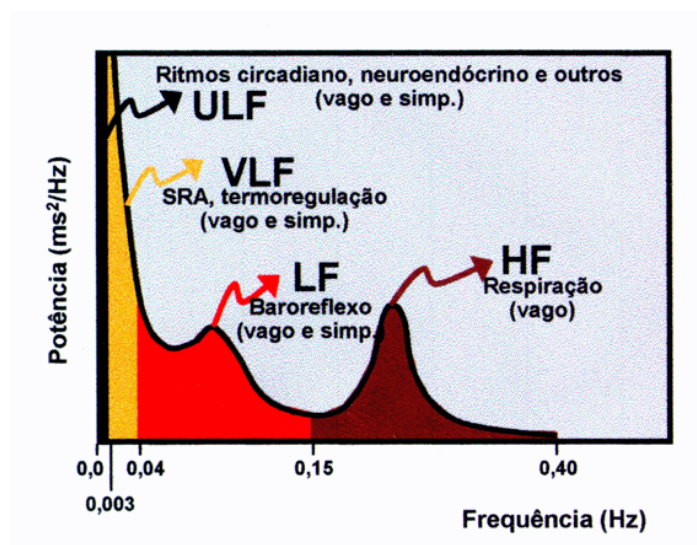


Figura 6 – Componentes espectrais da análise no domínio da frequência, da variabilidade da frequência cardíaca.

(Fonte: [www.cardios.com.br/Jornais/jornal-20/metodos%20diagnosticos.htm](http://www.cardios.com.br/Jornais/jornal-20/metodos%20diagnosticos.htm))

Tabela 1 - Significado Fisiológico dos Índices de Variabilidade da Frequência Cardíaca no Domínio do Tempo e no Domínio da Frequência (TASK-FORCE, 1996).

Índices (DT)	Significado Fisiológico
SDNN (ms)	Reflete a variação global dos iNN, produzida pela modulação vagal e pela modulação simpática cardíaca.
RMSSD (ms)	Reflete as variações batimento a batimento dos iNN, produzidas predominantemente pela modulação vagal cardíaca.
pNN50 (%)	Reflete as variações batimento a batimento dos iNN, produzidas predominantemente pela modulação vagal cardíaca.
Índices (DF)	
PT (ms <sup>2</sup> )	Reflete a variação em todas as faixas de frequência, sendo influenciada pela modulação vagal e pela modulação simpática cardíaca.
HF (ms <sup>2</sup> )	Reflete as variações batimento a batimento dos iNN de alta frequência, coordenadas com o ritmo respiratório e produzidas predominantemente pela modulação vagal cardíaca.
HF(nu)	Quantifica a variação relativa no componente HF em relação à PT, retirando-se a influência da banda VLF. Reflete a modulação vagal cardíaca.
LF (ms <sup>2</sup> )	Reflete as variações dos iNN de baixa frequência, influenciadas pela ação dos barorreceptores e produzidas pela ação conjunta das alças simpática e vagal.
LF(nu)	Quantifica a variação relativa no componente LF em relação à PT, retirando-se a influência da banda VLF. Há controvérsia em relação ao significado fisiológico desse índice, mas é comumente associado à modulação simpática cardíaca.
LF/HF	Quantifica a relação entre as variações existentes nos componentes de baixa e alta frequência. Reflete o balanço simpato-vagal cardíaco.
VLF (ms <sup>2</sup> )	Reflete as variações dos iNN de muito baixa frequência, provavelmente influenciadas por sistemas hormonais e modificação na temperatura corporal e produzidas pela ação conjunta das alças simpática e vagal.

Quanto à duração do sinal coletado, a VFC pode ser analisada em períodos de curta e longa-duração. A análise de curta duração é realizada em períodos de 5 minutos, sob condições fisiologicamente estáveis e controladas. Geralmente é realizada por meio de um eletrocardiograma e uma placa analógico/digital ou de um cardiófrequencímetro capaz de registrar a FC batimento a batimento e de softwares específicos. A análise de longa duração, por sua vez, é realizada em períodos de 24 horas, em situações do cotidiano do indivíduo, geralmente por um monitor Holter. Independentemente do período utilizado, a maioria dos estudos analisa a VFC em condições de estabilidade da FC (KAMATH, FALLEN *et al.*, 1991; MELANSON, 2000; YAMAMOTO, MIYACHI *et al.*, 2001; GUERRA, 2009). Isto ocorre porque os índices clássicos de análise da VFC apresentados na Tabela 1 pressupõem a estacionaridade do sinal de iRR (TASK-FORCE, 1996). Por conta disso, a análise da VFC na recuperação pós-exercício (VFC<sub>rec</sub>) classicamente tem se dado apenas no período estável da recuperação, excluindo-se o período imediatamente após o exercício físico (TERZIOTTI, SCHENA *et al.*, 2001; YAMAMOTO, MIYACHI *et al.*, 2001; FIGUEROA, BAYNARD *et al.*, 2007; SEILER, HAUGEN *et al.*, 2007) (Figura 7).



Figura 7 – Período Estável da Recuperação Autonômica Cardíaca – Análise Tradicional da VFC. (Fonte: adaptado de Barak, Jakovljevic *et al.*, 2010).

Recentemente, formas adequadas de análise da VFC para períodos não-estacionários, tais como no período imediatamente após o término do exercício têm sido propostas e utilizadas. Dentre estas, destacam-se a análise “*Time-Varying*” da VFC de recuperação (RMSSD30s) (GOLDBERGER, LE *et al.*, 2006; BUCHHEIT, LAURSEN *et al.*, 2007) e a análise tempo-frequência da VFC (MAINARDI, BIANCHI *et al.*, 2002; MARTINMAKI e RUSKO, 2008).

### 1.1.2.2.1 Análise “Time-Varying” da Variabilidade da Frequência Cardíaca – RMSSD30s

Goldberger, Le *et al.*, (2006), em um estudo com bloqueio farmacológico, observaram que a curva de iRR pós-exercício pode ser dividida em pequenos trechos estáveis, nos quais a VFC calculada para cada trecho possui alta correlação com a atividade parassimpática (Figura 8). A partir desta constatação, tais autores propuseram o cálculo do índice RMSSD, em janelas de 30 segundos (RMSSD30s) para a análise da reativação vagal pós-exercício.

A partir disto, diversos estudos têm utilizado o índice RMSSD30s, e observado que a reativação vagal pós-exercício está acelerada após um programa de treinamento físico (BUCHHEIT, MILLET *et al.*, 2008), em indivíduos aerobicamente treinados (GUERRA, 2009) e após a ingestão (OLIVEIRA, FERREIRA *et al.*, 2011) ou imersão hídrica (AL HADDAD, H., LAURSEN, P. B. *et al.*, 2010). Há também evidências contundentes que indicam que exercícios de intensidade máxima ou supramáxima atrasam a reativação vagal pós-exercício (BUCHHEIT, LAURSEN *et al.*, 2007; BUCHHEIT, PAPELIER *et al.*, 2007).

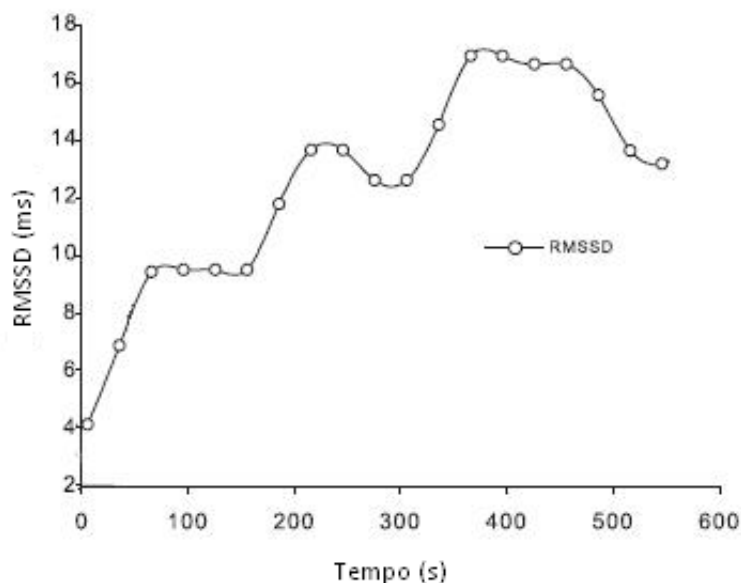


Figura 8 – Análise “Time-Varying” da Variabilidade da Frequência Cardíaca, na Recuperação Pós-Exercício. Fonte: (adaptado de Buchheit, Laursen *et al.*, 2007).

### 1.1.2.2 Análise Tempo-Frequência da Variabilidade da Frequência Cardíaca

Uma das formas clássicas de estimativa do espectro de potência, para análise da VFC no DF, é a baseada no algoritmo matemático denominado transformada rápida de Fourier (FFT). Este método, considerado não-paramétrico, resulta em um gráfico com picos discretos e densidade espectral média de potência para cada componente específico de frequência. Deve-se destacar, no entanto, que a FFT só pode ser utilizada durante fases estacionárias do sinal de iRR, o que impede a utilização deste método para análise da VFC nos primeiros instantes da recuperação pós-exercício (TASK-FORCE, 1996).

O método “*Short-time Fourier Transform*” (STFT) é uma extensão da FFT e foi proposto para a análise das modificações dinâmicas da VFC em períodos não-estacionários (MAINARDI, BIANCHI *et al.*, 2002). Este método calcula a VFC de maneira contínua e instantânea, a partir da quantificação da densidade espectral de potência das bandas de alta e baixa frequência (HF e LF), em pequenos trechos do sinal, produzindo um gráfico 3D, denominado mapa tempo-frequência (Figura 9). O mapa tempo-freqüência é uma projeção tridimensional, na qual as abscissas representam respectivamente, os instantes de tempo e a freqüência dos componentes do segmento analisado; e a ordenada, a amplitude de energia correspondente (AKAY e IEEE ENGINEERING IN MEDICINE AND BIOLOGY SOCIETY., 1998) (Figura 9). O método STFT tem sido utilizado para avaliação da VFC em diversas situações dinâmicas, dentre elas a recuperação pós-exercício (KAIKKONEN, NUMMELA *et al.*, 2007; MARTINMAKI e RUSKO, 2008; KAIKKONEN, HYNYNEN *et al.*, 2010). Kaikkonen, Nummela *et al.*, (2007) avaliaram a  $VFC_{rec}$ , por meio da análise tempo-frequência, após exercícios de endurance de diferentes volumes e intensidades, e observaram que após o exercício de alta intensidade a  $VFC_{rec}$  está diminuída, se comparada aos exercícios de moderada e baixa intensidade, mesmo quando realizados em alto volume. De maneira semelhante, Martinmaki e Rusko (2008) observaram que a VFC está diminuída, durante o exercício intenso, e no período de recuperação deste mesmo exercício, se comparada ao exercício de intensidade leve.

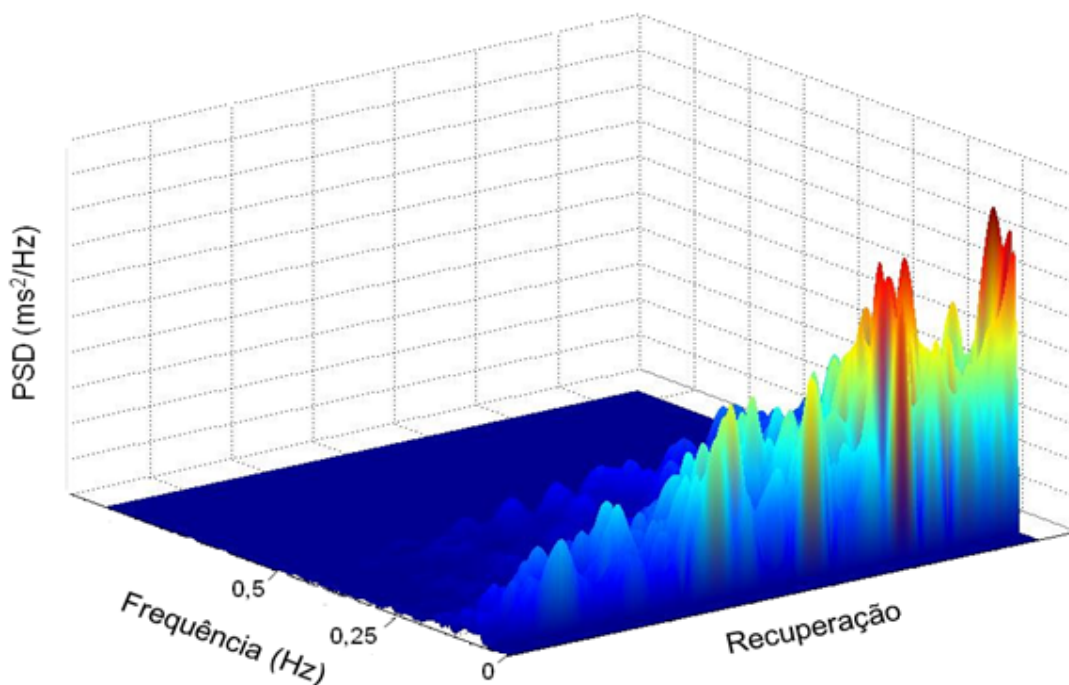


Figura 9 – Mapa tempo-frequência da Variabilidade da Frequência Cardíaca, na Recuperação Pós-Exercício.

### 1.1.3 - Relevância do Estudo da Recuperação Autonômica Cardíaca

#### 1.1.3.1 Relevância Clínica do Estudo da Recuperação Autonômica Cardíaca Pós-Exercício

Apesar de a prática regular de exercícios físicos exercer um papel protetor sobre o sistema cardiovascular, promovendo melhoria na capacidade funcional e redução de diversos fatores de risco para doença cardiovascular (PAFFENBARGER, 1988), o exercício físico agudo, sobretudo o realizado em altas intensidades, é considerado um estímulo estressor que aumenta os riscos de arritmias letais (MITTLEMAN e SISCOVICK, 1996; ALBERT, MITTLEMAN *et al.*, 2000). A atividade parassimpática reduzida e o aumento da atividade simpática inerentes ao esforço físico produzem um ambiente propício ao desenvolvimento de atividades ectópicas ventriculares, que podem culminar com parada cardíaca e morte súbita (BUCH, COOTE *et al.*, 2002). Baseado nisto, Albert, Mittleman *et al.*, (2000) propuseram o modelo esquemático da “janela de exposição” a riscos cardiovasculares (Figura 10). Segundo tais autores, durante e alguns minutos após o exercício físico, dada a condição autonômica desfavorável, o praticante de exercícios físicos fica exposto a

maiores riscos cardiovasculares. O entendimento do referido esquema sugere que o indivíduo só deixará de estar exposto a tais riscos quando as condições autonômicas basais tiverem sido restabelecidas. Além disso, pode-se dizer que indivíduos que se recuperam mais rapidamente do esforço físico tenderão a ter uma janela de exposição a acometimentos cardiovasculares reduzida, o que tem um impacto significativo para a saúde (COLE, BLACKSTONE *et al.*, 1999; ALBERT, MITTLEMAN *et al.*, 2000). Nesse sentido, o estudo da recuperação autonômica pós-exercício torna-se particularmente relevante e com um impacto prognóstico e aplicação clínica potencialmente importantes.

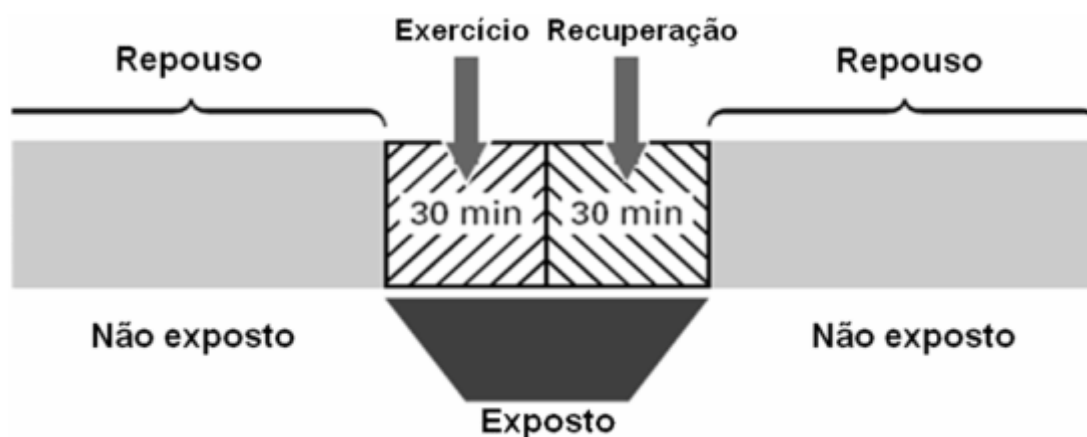


Figura 10 – Janela de Exposição a Riscos Cardiovasculares. Fonte: (adaptado de Albert, Mittleman *et al.*, 2000).

### 1.1.3.2 Relevância Desportiva do Estudo da Recuperação Autonômica Cardíaca Pós-Exercício

A avaliação da recuperação autonômica cardíaca também pode ser utilizada por treinadores e fisiologistas do exercício. Diversos estudos têm demonstrado que a  $FC_{rec}$  é uma ferramenta útil para avaliação, prescrição e monitoramento do treinamento físico (BUCHHEIT e GINDRE, 2006; BUCHHEIT, LAURSEN *et al.*, 2007; BORRESEN e LAMBERT, 2008; LAMBERTS, SWART *et al.*, 2009; OSTOJIC e CALLEJA-GONZALEZ, 2010; OSTOJIC, STOJANOVIC *et al.*, 2011). Mais recentemente, a análise da  $VFC_{rec}$  também tem sido proposta num contexto esportivo (NIEWIADOMSKI, GASIOROWSKA *et al.*, 2007; KIVINIEMI, HAUTALA *et al.*, 2009; KAIKKONEN, HYNYNEN *et al.*, 2010; KIVINIEMI, HAUTALA *et al.*, 2010).

Ostojic e Calleja-Gonzalez, (2010) e Ostojic, Stojanovic *et al.*, (2011) realizaram estudos, com atletas de rendimento, dividindo-os em dois grupos, de acordo com a sua aptidão aeróbia. Os autores observaram que atletas com maior aptidão aeróbia possuem melhor  $FC_{rec}$  após o esforço máximo. A  $FC_{rec}$  também tem mostrado associação com o treinamento físico. Em um estudo longitudinal, de base populacional, Carnethon, Jacobs *et al.*, (2005) observaram que o treinamento físico regular aprimora a  $FC_{rec}$ . Em outro estudo, Yamamoto, Miyachi *et al.*, (2001) encontraram melhoria  $FC_{rec}$  após um programa de treinamento aeróbico de alta intensidade (80% do  $VO_{2máx}$ ). Nesse estudo, de maneira interessante, os autores observaram que as melhorias na  $FC_{rec}$  já se mostraram evidentes com uma semana de treinamento físico, indicando que as adaptações autonômicas relacionadas à  $FC_{rec}$  são rapidamente promovidas pelo treinamento físico. Este achado foi confirmado por Lamberts, Swart *et al.*, (2009) em um contexto esportivo. Tais autores encontraram que, após 5 sessões de treinamento físico de alta intensidade, ciclistas de alto rendimento já apresentavam melhor  $FC_{rec}$  após um exercício de contra-relógio, de 40 km. Buchheit e Gindre (2006) contribuíram para este entendimento, à medida que encontraram correlação da carga de treinamento físico com a  $FC_{rec}$ . Neste estudo, indivíduos submetidos à maiores cargas de treinamento físico apresentaram maior  $FC_{rec}$  após o exercício máximo. Portanto, a  $FC_{rec}$  tem se mostrado um bom instrumento para controle da carga de treinamento físico e acompanhamento do desempenho de atletas. Também tem sido observada associação entre o tipo (NAGASHIMA, MATSUMOTO *et al.*, 2011) e a dinâmica do esporte (OSTOJIC, MARKOVIC *et al.*, 2010) e a  $FC_{rec}$ . Nagashima, Matsumoto *et al.*, (2011) encontraram maior  $FC_{rec}$  em atletas praticantes de modalidades esportivas de alta intensidade em comparação àqueles praticantes de modalidades esportivas menos intensas. Já em relação à dinâmica do esporte, Ostojic, Markovic *et al.*, (2010) verificaram que atletas de esportes de características intermitentes apresentavam maior  $FC_{rec}$  do que atletas de endurance.

Em relação a utilização da  $VFC_{rec}$  em um contexto esportivo, os estudos são mais recentes. Niewiadomski, Gasiorowska *et al.*, (2007) observaram diminuição abrupta dos componentes de baixa e alta frequência, da  $VFC$ , após a realização do Teste de Wingate, em jovens do sexo masculino. De maneira similar, Gladwell, Sandercock *et al.*, (2010) demonstraram que  $VFC$  permanece reduzida 15 minutos após a realização de um exercício intenso ( $3 \text{ mmol.l}^{-1}$ ) ou vigoroso ( $4 \text{ mmol.l}^{-1}$ ) em



cicloergômetro. A íntima relação da  $VFC_{rec}$  com a intensidade do exercício motivou o estudo de Kaikkonen, Hynynen *et al.*, (2010), em que os autores observaram, após sessões de exercício de intensidade moderada e intensa que a  $VFC_{rec}$  possui alta correlação com a percepção de esforço e correlação moderada com o EPOC e a PSE da sessão. Dentro da mesma linha, Kiviniemi, Hautala *et al.*, (2009) e Kiviniemi, Hautala *et al.*, (2010) propuseram a prescrição do exercício físico baseada na  $VFC$  medida no período da manhã. Valores de  $VFC$  iguais ou superiores à linha de base dos indivíduos determinariam um treino intenso. De maneira contrária, se os valores de  $VFC$  estivessem diminuídos, os autores prescreveriam um treino leve ou dariam descanso aos mesmos. Segundo os autores, valores diminuídos de  $VFC$ , imediatamente após acordar, possivelmente indicam um estado de fadiga dos indivíduos, provavelmente provocada por uma sessão anterior intensa. A completa recuperação autonômica da sessão de treinamento anterior, evidenciada pela normalização dos valores de  $VFC$ , por outro lado, indica a prontidão do organismo para a realização de tarefas intensas. Em ambos os estudos, os indivíduos que treinaram utilizando a  $VFC$  como parâmetro de controle de treinamento obtiveram maiores ganhos de desempenho do que indivíduos que treinaram da maneira tradicional.

Em outro estudo interessante, Nummela, Hynynen *et al.*, (2010) avaliaram a  $VFC_{rec}$  medida no período noturno, antes e após um programa de treinamento aeróbio. Os autores observaram que aqueles indivíduos que obtiveram melhoria na performance ao final do estudo, também apresentaram melhorias autonômicas, evidenciadas pelo aumento no índice HF no período do sono após as sessões de treinamento. Por outro lado, os indivíduos cujo desempenho não foi aprimorado pelo treinamento físico, também não demonstraram quaisquer modificações autonômicas. As respostas encontradas nesses estudos indicam que o estudo da  $VFC_{rec}$ , possui relação com a carga de treino, pode ser utilizada para avaliar o estado de prontidão do atleta para o exercício e para a prescrição do treinamento e pode revelar o quão efetivo está o programa de treinamento realizado.

## 1.2 JUSTIFICATIVA DO ESTUDO

A presente revisão de literatura evidenciou a importância do controle das variáveis autonômicas no período de recuperação pós-exercício. Entretanto, os

estudos revisados são relativamente recentes e ainda não respondem a alguns questionamentos relevantes. Nesse sentido, identificamos a necessidade de preencher algumas lacunas na literatura e contribuir para o aprimoramento do entendimento da recuperação autonômica cardíaca.

O entendimento do modelo da janela de exposição a riscos cardiovasculares, proposto por Albert, Mittleman *et al.*, (2000) (Figura 10), sugere que o indivíduo só deixará de estar exposto a tais riscos quando as condições autonômicas basais tiverem sido restabelecidas, sobretudo no que se refere a modulação vagal cardíaca. Por outro lado, em um contexto desportivo, evidências indicam que uma melhor reativação vagal pós-exercício pode ser o fator predisponente ao sucesso desportivo, já que o bom desempenho em uma atividade/sessão desportiva requer uma ótima recuperação dos esforços das atividades/sessões anteriores (KIVINIEMI, HAUTALA *et al.*, 2009; KIVINIEMI, HAUTALA *et al.*, 2010). Por isso, a proposição de métodos que identifiquem a dinâmica de recuperação autonômica cardíaca, com enfoque na reativação vagal pós-exercício, é de grande importância. A maioria dos métodos e índices para estudo da reativação vagal pós-exercício preocupa-se apenas com os primeiros instantes da recuperação pós-exercício (COLE, BLACKSTONE *et al.*, 1999; BUCHHEIT, LAURSEN *et al.*, 2007; KAIKKONEN, NUMMELA *et al.*, 2007). Não há, na literatura, um método confiável para identificação do momento do completo restabelecimento da modulação vagal cardíaca pós-exercício, aqui denominada reativação vagal plena (RVP). Também pouco se sabe qual o impacto do exercício físico na recuperação autonômica cardíaca de 24 horas. Para que isto seja possível, verificamos a necessidade de estudos que avaliem o comportamento das variáveis autonômicas pós-exercício em uma condição controlada, em laboratório, e também em uma condição cotidiana.

Nesse contexto, o objetivo desse estudo foi propor um método de identificação do tempo necessário para a RVP e testar a influência do nível de treinamento físico e da intensidade do exercício físico neste tempo. Além disso, também verificamos a influência da intensidade do exercício físico na recuperação autonômica cardíaca de 24 horas. Para isto, no desenvolvimento deste trabalho, apresentaremos três artigos:

**Artigo 1:** Influence of Physical Training on Postexercise Full Vagal Reactivation

**Artigo 2:** Influência da Intensidade do Exercício na Reativação Vagal Plena Pós-Exercício Físico

**Artigo 3:** Influência da Intensidade do Exercício na Recuperação Autonômica Cardíaca de 24 Horas.

## 2 - DESENVOLVIMENTO

### 2.1 – ARTIGO 1: Influence of Physical Training on Postexercise Full Vagal Reactivation

#### 2.1.1 – Resumo

É importante a proposição de métodos que traduzam a capacidade do organismo em restabelecer-se plenamente do estresse fisiológico causado pelo exercício físico e verificar a influência do treinamento físico nisto. O objetivo do presente estudo foi propor um método pra identificar o ponto de reativação vagal plena pós-exercício (RVP) e avaliar a influência do TF neste ponto. Dezoito indivíduos saudáveis, do sexo masculino (idade =  $22,1 \pm 2$  anos; IMC =  $24,1 \pm 2$  kg/m<sup>2</sup>) foram divididos em dois grupos, quanto ao nível de treinamento físico: 1) grupo de baixo treinamento físico e 2) grupo de alto treinamento físico. Os indivíduos foram submetidos ao registro dos intervalos RR (iRR) de repouso, realizaram um exercício dinâmico em cicloergômetro (50% W<sub>máx</sub>, durante 30 minutos) e permaneceram durante 60 minutos sob registro dos iRR de recuperação. Calculou-se a variabilidade da frequência cardíaca (VFC) de recuperação em sua fase rápida e lenta e foi proposta a identificação da RVP. O grupo de alto treinamento físico apresentou maiores valores de VFC logo após e decorridos 5 minutos do final do exercício. Além disso, o grupo de alto treinamento físico demonstrou RVP mais rápida do que o grupo de baixo treinamento físico ( $9,5 \pm 6,2$  vs  $24 \pm 17,1$  minutos, respectivamente). O TF influencia a recuperação rápida e lenta da VFC e antecipa a RVP e o método proposto no presente estudo mostrou-se simples e eficiente.

Palavras-chave: Sistema Nervoso Autônomo, Sistema Nervoso Parassimpático, Exercício.

### **2.1.2 – Abstract**

It is important to propose methods that indicate both the ability of the organism to recover fully from physical exercise-induced physiological stress and the influence of physical training on this recovery. The aim of this study was to propose a method to identify the point of full vagal reactivation after exercise and to assess the influence of physical training on it. Eighteen healthy males (age =  $22.1 \pm 2$  years; BMI =  $24.1 \pm 2$  kg/m<sup>2</sup>) were divided into two groups according to their physical training level: 1) low physical training group and 2) high physical training group. The subjects had their RR intervals (RRi) recorded at rest, performed a dynamic exercise on the cycle ergometer (50% VO<sub>2</sub>máx, during 30 minutes) and underwent a 60-minute recording of their recovery RRi. Recovery heart rate variability, both in its fast and slow phases was calculated. Identification of the point of full vagal reactivation was also proposed. Results from the two groups were compared. The high physical training group had higher HRV values immediately after exercise cessation and 5 minutes after the end of the exercise. Furthermore, the high physical training group had faster full vagal reactivation than the low physical training group ( $9,5 \pm 6,2$  vs  $24 \pm 17,1$  minutes, respectively). Physical training influences fast and slow HRV recovery and shortens the time till full vagal reactivation.

Keywords: Autonomic nervous system, Parasympathetic nervous system, Exercise.

### 2.1.3 Introduction

Post-exercise heart rate (HR) recovery is determined by autonomic mechanisms, and can be divided into two phases: 1) fast phase of post-exercise autonomic recovery and 2) slow phase of post-exercise autonomic recovery (COOTE, 2010). The fast phase of post-exercise autonomic recovery comprises the first moments after the end of the exercise. At this phase, there is a cessation of inputs from the motor cortex and from the mechanoreceptors in skeletal muscles (BULL, DAVIES *et al.*, 1989; CARTER, WATENPAUGH *et al.*, 1999). These mechanisms lead to a fast and exponential fall of the HR, through command of the autonomic nervous system (ANS), predominantly through parasympathetic reactivation and, to a lesser extent through reduction of the sympathetic activity over the myocardium (IMAI, SATO *et al.*, 1994; GOLDBERGER, LE *et al.*, 2006; COOTE, 2010). The slow phase of post-exercise autonomic recovery comprises the period following the fast phase of post-exercise autonomic recovery. At this stage, there is a removal of metabolites from muscle contraction (lactate, H<sup>+</sup>, Pi) and of circulating catecholamines, ending up in a reduction of the activation of the metaboreceptors from skeletal muscles (PERINI, ORIZIO *et al.*, 1989; PIERPONT, STOLPMAN *et al.*, 2000; BUCHHEIT, LAURSEN *et al.*, 2007). In this phase, sympathetic withdrawal seems to be the main autonomic mechanism responsible for the return of HR to baseline values (PIERPONT, STOLPMAN *et al.*, 2000; COOTE, 2010). The ability of the organism to recover its autonomic balance after exercise involves the optimum interplay of several mechanisms, with important repercussions on the individual's health status (COLE, BLACKSTONE *et al.*, 1999; COLE, FOODY *et al.*, 2000; NISHIME, COLE *et al.*, 2000). It is clinically and scientifically important to understand the factors that interfere with post-exercise autonomic recovery, physical training among them, and propose methods to study this variable.

Heart rate variability, the variation which occurs between successive sinus heart beats, is considered a non-invasive method for the study of the autonomic cardiac modulation, mainly because of the influence of the sympathetic and vagal loops of the ANS on the heart (TASK-FORCE, 1996). HRV analysis assumes the stationariness of the data. This is why most studies of this variable are undertaken at rest (MELANSON, 2000; HAUTALA, MAKIKALLIO *et al.*, 2003; TULPPO, HAUTALA

*et al.*, 2003). Nevertheless, recent studies have proposed suitable analyses of the HRV for non-stationary periods (time varying vagal-related HRV index), such as post-exercise recovery (GOLDBERGER, LE *et al.*, 2006; NG, SUNDARAM *et al.*, 2009; AL HADDAD, H., LAURSEN, P. *et al.*, 2010), thus opening the way to studies of post-exercise autonomic recovery and the proposal of new analytic methods.

Starting with the 30-second window of the recovery RRI, few studies have proposed the identification of vagal reactivation onset (BUCHHEIT, LAURSEN *et al.*, 2007; BUCHHEIT, MILLET *et al.*, 2008; AL HADDAD, H., LAURSEN, P. *et al.*, 2010), which is considered the moment when there is a significant increase of the HRV in relation to the values observed immediately after exercise cessation. Besides the importance of identifying the post-exercise vagal reactivation onset, we consider it important propose methods that can indicate the ability of the organism to fully recover from the physiological stress causes by physical exercise. Accordingly, the point of full vagal reactivation (FVR) was considered the time necessary for the post-exercise HRV values to equal those observed during rest. We, therefore, propose a method to identify FVR and assess the influence of physical training on the post-exercise autonomic recovery, and on the FVR.

#### **2.1.4 Methods**

##### Subjects

18 healthy males participated in the study (age = 22.1  $\pm$  2 years; BMI = 24.1  $\pm$  2 kg/m<sup>2</sup>). All subjects were instructed not to drink alcohol or caffeine-containing beverages, and also not to do any physical exercise in the 24 hours preceding the tests. The use of any drug with a cardiovascular action was an exclusion criterion. The subjects were fully informed of the procedures to be undertaken, and signed their consent. The experimental protocol was approved by the Committee of Human Research Ethics of The Federal University of Juiz de Fora, Brazil (ANEXO 1).

##### Experimental Protocol

The experiment was conducted in two sessions, on non-consecutive days. In order to avoid influence of circadian rhythm in the measured variables, all tests were

performed in the morning (08:00 – 12:00 AM). On the first day, height and body mass, level of physical activity and maximal aerobic capacity of the individuals were assessed. On the second day, the subjects underwent: 1) recording of the RR intervals (RRi) at rest (15 min); 2) submaximal exercise (50% VO<sub>2</sub> max, during 30 min) and; 3) recording of the RRi during recovery (60 min).

## Procedures

### Level of Physical Activity Assessment

The level of physical activity was assessed through the Baecke Questionnaire of Habitual Physical Activity – BQHPA (BAECKE, BUREMA *et al.*, 1982) (ANEXO 3). Only the systematic practice of physical exercises/sports was considered, that is, the physical training through calculation of the gross score BQHPA question 9, regarding the practice of sports/physical exercises (BUCHHEIT e GINDRE, 2006).

### Maximal Aerobic Capacity

In order to assess their maximal aerobic capacity, the subjects performed an incremental maximal exercise test, on an electromagnetically-braked cycle ergometer, with initial power of 100W, with 25W increases each minute, until maximum voluntary exhaustion was reached. Analysis of the expired gases was continuously performed with the VO2000 metabolic analyzer (NedGraphics, USA), calibrated manually before each test. From the exercise test, VO<sub>2</sub> peak was identified. The exercise test was considered maximal under the following conditions: plateau in the VO<sub>2</sub> curve in spite of increased load; respiratory ratio > 1.1; at least 85% of the maximal age-adjusted HR

### Recording of rest and recovery RRi

The Polar S810i monitor (sampling frequency: 1000 Hz), was used to measure the RRi at rest and at post-exercise recovery (NUNAN, DONOVAN *et al.*, 2009). Initially, the subjects remained resting, in the supine position, for 15 minutes. They then performed the sub maximal exercise on the cycle ergometer (50% VO<sub>2</sub> max, 30



min), at the constant cadence of 60 RPM. After exercise cessation, the subjects quickly proceeded to lie on a stretcher, where they rested and remained during the 60-minute recovery period.

#### Data transmission and signal processing

After RRi recording by the monitor, the data were transmitted to a computer, through an interface with an infrared device and the Polar Precision Performance software. The data were subsequently sent to the Kubios HRV 2.0 (University of Eastern Finland, Kuopio, Finland) software for error correction and calculation of the HRV indices.

#### HRV analysis

For analysis of the HRV at rest, the last 5 minutes of the recorded signal were used. This standard was adopted so that the stationariness of the signal could be ascertained (TASK-FORCE, 1996). Because of the non-linear behavior of the signal, for analysis of the HRV indexes during recovery we calculated a time-varying vagal-related index – RMSSD30s (the square root of the mean of the sum of the squares of differences between adjacent normal R-R intervals on subsequent 30 second, non-overlapped segments) – throughout the 60-minute recovery period (Goldberger *et al.*, 2006). To smooth any transient outliers in the RMSSD30s plots, a median filter operation was applied where each discrepant value was replaced with the median of the value, as well as the preceding and following values. The first and last values were not median filtered. The low-frequency (LF) and high-frequency (HF) bands were also calculated at the following intervals: rest, 5-10 min, 25-30 min and 55-60 min of recovery period. Analysis at the frequency domain started with trend removal (smooth prior), data resampling at 4Hz, and performance of the Fast Fourier Transform-based algorithm. From the estimate of the power spectrum, the low-frequency (LF: 0.04-0.15 Hz) and high frequency (HF: 0.15-0.4 Hz) components were calculated.

As Bloomfield, Magnano *et al.*, (2001) showed that the behavior of HRV recovery values are similar when measured under controlled or spontaneous breathing, we chose not to control respiratory rate in our study. Notwithstanding, all



performed. The median was used for group definition according to the physical training. The low physical training group (LPTG) was the one whose physical training score was lower than the calculated median and the high physical training group (HPTG) was the one whose physical training score was higher than the calculated median. Analysis of variance for repeated measures with two factors (group x time) and Tukey's post-hoc test ( $p < 0.05$ ) were used for comparison of HRV recovery between the groups (LPTG X HPTG) at rest and recovery. In order to compare FVR between the groups, student's "t" test for independent measurements was also performed.

### 2.1.5 Results

Table 1 shows the characterization of the sample. The groups did not significantly differ as for age, weight or  $VO_{2max}$ .

Table 1 – Sample Characterization

Group	N	Age (years)	Weight (kg)	HR <sub>max</sub> (bpm)	VO <sub>2max</sub> (ml.min <sup>-1</sup> .Kg <sup>-1</sup> )	PT (score)
LPTG	9	22.1±2	74.4±10.7	188.1±9.2	46.3±3.6	2.1±1
HPTG	9	22.0±3	76.4±5.1	187.0±6.7	47.4±2.8	6.5±2*

(\*)  $p < 0.05$  (comparison between the groups)

#### Exercise

HR values during exercise were 143.0 (+-8.1) and 137.8 (+-10.9) bpm for the LPTG and HPTG, respectively. There was no statistically significant difference between these values. Exercise HR corresponded to a mean relative intensity of 75% of the HR<sub>max</sub>.

#### Influence of physical training on the fast and slow phase of post-exercise autonomic recovery

At the fast phase of post-exercise autonomic recovery, the groups significantly differed only at the 30-60 second interval, with the HPTG having higher RMSSD values (Figure 2). The analysis of slow phase of post-exercise autonomic recovery, in

turn, showed that the groups significantly differed at the 5-10 minutes interval, with the HPTG presenting the highest RMSSD values (Figure 2). Likewise, analysis at the frequency domain showed significant difference between the groups only at the HF (5-10min) (Table 2).

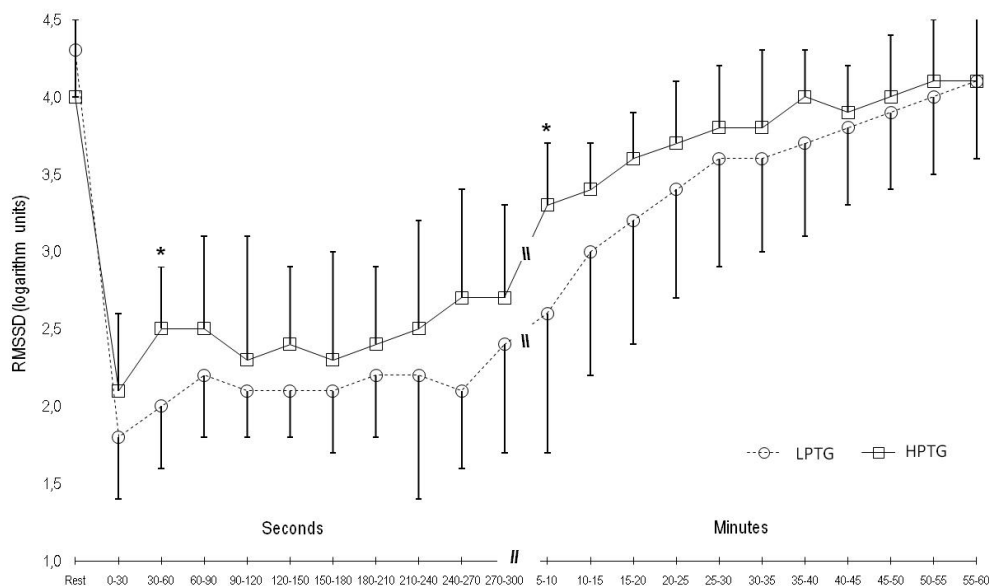


FIGURE 2 – RMSSD of the high and low physical training groups at rest and at post-exercise recovery. In the slow phase of post-exercise autonomic recovery (ie. from the fifth minute of post-exercise recovery period) because of the signal stability, we calculate the mean of 5-minute intervals of RMSSD30s values.

(\*) →  $p \geq 0.05$  (comparison between groups)

Table 2 – Recovery HRV at the frequency domain of the high and low physical training groups, at rest and slow phase of post-exercise recovery.

	LPTG	HPTG
$\ln LF_{(rest)}$	7.1±0.9	7.2±0.8
$\ln LF_{(5-10min)}$	5.5±1.1	6.4±0.8
$\ln LF_{(25-30min)}$	7.0±1.1	7.5±0.7
$\ln LF_{(55-60min)}$	7.6±0.8	8.0±1.0
$\ln HF_{(rest)}$	7,3±0.8	7,1±1.0
$\ln HF_{(5-10min)}$	3.9±1.5	5.3±0.9*
$\ln HF_{(25-30min)}$	5.9±1.6	6.5±0.9
$\ln HF_{(55-60min)}$	6.0±1.2	7.3±1.3

(\*) →  $p < 0.05$  (comparison between the groups)

### Influence of physical training on the post-exercise full vagal reactivation

Both groups reached the FVR in less than one hour. Yet, whereas in the LPTG, the FVR occurred after 24 minutes (+17.1), only 9 minutes (+7.6) were necessary for FVR to be reached in the HPTG (Figure 2 and 3).

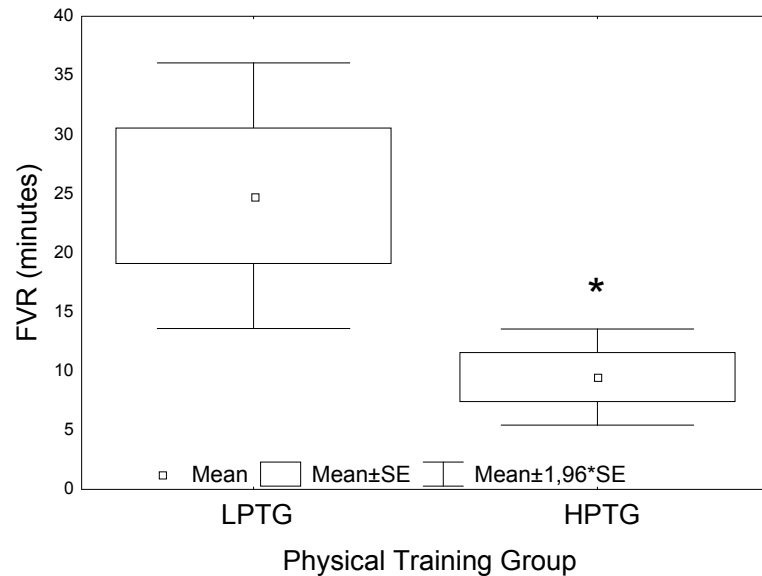


FIGURE 3 – Comparison of individual full vagal reactivation point between the groups (\*) →  $p < 0.05$  (comparison between the groups)

### 2.1.6 Discussion

The main findings of the study were: 1) physical training influences both fast and slow post-exercise autonomic recovery, as the subjects with high level physical training had higher HRV values immediately after and 5 minutes after exercise cessation; 2) FVR proved to be an easy-to-apply index, with practical application and sensitive to the physical training level.

### Influence of physical training on the fast phase of post-exercise autonomic recovery

This study showed a slight influence of physical training on the behavior of the HRV during fast phase of post-exercise autonomic recovery. Only at the 30-60 second interval there was a significant difference between the groups. The result is in agreement with the literature, as several studies have reported a positive influence of

the physical training on the fast phase of post-exercise autonomic recovery (IMAI, SATO *et al.*, 1994; BUCHHEIT e GINDRE, 2006; PIOTROWICZ, BARANOWSKI *et al.*, 2009). Yet, the aforementioned studies have considered HR behavior during recovery, exclusively. The lack of signal stationeriness during the first 5 minutes makes it difficult to analyze the HRV during this period. The use of 30-second windows for RRI determination in our study is an appropriate method that allows for the use of time-domain indices to assess the autonomic recovery even under unstable circumstances (GOLDBERGER, LE *et al.*, 2006). We found only one study in the literature aimed at assessing the influence of physical training on the HRV measured in the fast phase of autonomic recovery (BILLMAN e KUKIELKA, 2007). Billman and Kukielka (2007) observed an increase in the HRV measured during 3 minutes after sub maximal exercise, following a 10-week training period. However, this study was undertaken in an animal model susceptible to ventricular fibrillation, thus limiting comparisons with our study.

#### Influence of physical training on the slow phase of post-exercise autonomic recovery

We also observed a slight influence of physical training on the behavior of the HRV during the slow phase of post-exercise autonomic recovery. Only at the 5-10-minute post-exercise interval there were significant differences between the groups, concerning RMSSD and lnHF. It must be emphasized that both variables reflect high frequency variations of the heart rhythm, being therefore indices that predominantly express cardiac vagal modulation (Task-Force, 1996). The results then indicate greater vagal modulation within the 5-10-minute post-exercise interval in the HPTG, in agreement with studies undertaken by Yamamoto, Miyachi *et al.*, (2001) and Figueroa, Baynard *et al.*, (2007), who reported an improvement in the recovery HRV after a period of physical training in normal individuals and in obese subjects with or without diabetes, respectively. Both studies reported an improvement in the recovery of HRV during the 10-20-minute post-exercise period, an observation which is close to our findings.

It is noteworthy that, after 10 minutes of recovery, there were no other statistically significant differences between the groups concerning RMSSD and HRV indices at the frequency domain. Conversely, Seiler, Haugen *et al.*, (2007) reported higher RMSSD values 15, 30, 60 and 90 minutes post-exercise, in a group of

athletes, as compared to a group of trained individuals. It is possible that the higher load of regular training undergone by these athletes, during their physical training, produces powerful autonomic adaptations, not observable in trained, but non-athletic, subjects.

#### Influence of physical training on the FRV

The FRV index proved to be sensitive to the effects of physical training. Whereas the individuals from the HPTG were fully recovered after a 9-minute recovery period, it took 24 minutes for those from the LPTG to reach FVR. In the literature review, we could not find any study whose objective was the assessment of the relationship between physical training and FVR. FVR may range from few minutes to hours, and even days, according to exercise volume and intensity. Kamath, Fallen *et al.*, (1991) reported full recovery of the HF index after 10 minutes of recovery following exercise on a cycle ergometer at an intensity of 50% of the maximal load. Terziotti, Schena *et al.*, (2001), observed that, while it takes 1 hour for FVR recovery after light-intensity exercise, a longer period is indispensable after moderate exercise. On the other hand, Hautala, Tulppo *et al.*, (2001) and Al Haddad *et al.*, (2009), studying the autonomic recovery after ultra maximal (intensity and/or volume) exercises, observed that it took 48 hours before full recovery of the autonomic variables was achieved.

We observed that after moderate-intensity exercise, both groups had FVR in less than 1 hour. However, whereas the HPTG was fully recovered 9 minutes after exercise cessation, it took the LPTG 24 minutes for their FVR to be achieved. The results suggest a greater metabolic efficacy of the HPTG, once the FVR depends on the optimal removal of metabolites accumulated during physical exercise (lactate, H<sup>+</sup>, Pi) (BUCHHEIT, LAURSEN *et al.*, 2007). Lactate removal ability is enhanced by physical training (GMADA, BOUHLEL *et al.*, 2005; MESSONNIER, FREUND *et al.*, 2006), which strengthens the results presented. Such findings indicate that, as well as volume and intensity of exercise (HAUTALA, TULPPO *et al.*, 2001; AL HADDAD, LAURSEN *et al.*, 2009), physical training is also a variable influencing the FVR.

Utilization of FVR method to study the post-exercise autonomic recovery

The cardioprotective effect attributed to the parasympathetic nervous system (BUCH, COOTE *et al.*, 2002) and the known role this system has in post-exercise autonomic recovery (IMAI, SATO *et al.*, 1994), have inspired a series of classic studies which identified a blunted autonomic recovery as a bad health prognosis sign (COLE, BLACKSTONE *et al.*, 1999; COLE, FOODY *et al.*, 2000; NISHIME, COLE *et al.*, 2000). Thus, several methods have been proposed to study post-exercise vagal reactivation. The most widely known are: 1) HRR, the difference between HR at the peak of exercise and HR after 60 seconds of recovery (COLE, BLACKSTONE *et al.*, 1999; BUCHHEIT e GINDRE, 2006); 2) HRRt, calculated by the exponential-adjusted HR falling time constant (PERINI, ORIZIO *et al.*, 1989; PIERPONT, STOLPMAN *et al.*, 2000); 3) T30, which represents the negative reciprocal of the inclination of the regression curve of the natural logarithms of the HR corresponding to each R-R interval from the 10th to the 40th second of recovery (IMAI, SATO *et al.*, 1994); and 4) “vagal reactivation onset”, the moment when there is a significant HRV increase in relation to the values observed immediately after exercise cessation (BUCHHEIT, LAURSEN *et al.*, 2007; AL HADDAD, H., LAURSEN, P. *et al.*, 2010). The three first indices are HR-derived, and the four of them concentrate on the first minutes of recovery only. There is no literature report of an easy-to-apply index that mirrors the ability of the organism to fully recover from exercise-induced physiological stress.

FVR identification, as proposed in this study, in an easy-to-apply method, which indicates the capacity of the organism to fully recover after exercise. Post-exercise full vagal reactivation involves many regulatory mechanisms, among which are the return of baroreceptors to their resting activity, removal of sub products of muscle contraction and circulating catecholamines, and normalization of body temperature (BUCHHEIT, PAPELIER *et al.*, 2007; COOTE, 2010; STUCKEY, TORDI *et al.*, 2011). Thus, individuals with fast FVR have an advanced system for physiological adjustment, with good capacity to readapt to rest. Such as characteristic underscores FVR identification as a way to assess the recovery ability of the organism under exercise-related stress, making it useful for clinical and sports use.

#### Study Limitations



The fact that no analyses of the HRV in the frequency domain of the post-exercise autonomic recovery fast phase could be considered a limitation of our study. HRV analysis in the frequency domain allows for greater understanding of the individual roles of the loops of the autonomic nervous system in post-exercise recovery (TASK-FORCE, 1996; MONTANO, PORTA *et al.*, 2009). However, the use of these indices assumes the stationeriness condition of the data, typical of analyses made at rest or after 5 minutes of recovery. The use of linear methods for obtaining HRV values in situations of HR variation, such as exercise and recovery, could lead to inconsistent results, hampering the reading of the results. Furthermore, a study by Ng, Sundaram *et al.*, (2009) suggests that analyses in the time domain are preferable to those in the frequency domain, during recovery. According to this study, there is a high correlation between the two analyses, although the former is less prone to the mathematical anomalies. The choice of RMSSD is justified because this is a validated index of post-exercise vagal reactivation (GOLDBERGER, LE *et al.*, 2006).

Finally, although the Baecke's questionnaire is a validated instrument for assessment of the level of physical activity (BAECKE, BUREMA *et al.*, 1982), the use of instruments that could directly assess this variable would better express the physical training of the volunteers. Furthermore, a longitudinal study would help elucidate the questions here presented.

#### Practical implications and future investigations

FVR is a simple and effective way of identifying post-exercise vagal reactivation, with ability to discriminate physical training-related adaptations. It is necessary that FVR be used in studies involving other populations, and that its possible prognostic value be determined. Furthermore, factors such as exercise intensity, duration and type; co-morbidities and cardiovascular impairment; age; lifestyle; drug use; fatigue and overtraining levels; among others, may influence FVR, being amenable to investigation. Studies undertaken with pharmacological blockade could enhance our understanding of the mechanism underlying FVR.

### **2.1.7 Conclusion**

Physical training enhances post-exercise cardiac autonomic recovery. FVR identification has proved to be an easy-to-apply index, with practical application.

## **2.2 – ARTIGO 2: Influência da Intensidade do Exercício Físico na Reativação Vagal Plena Pós-Exercício**

### **2.2.1 Resumo**

Durante e algum tempo após a prática de exercícios físicos, o sistema cardiovascular fica exposto a maiores riscos de morte súbita, provocada por desequilíbrios elétricos no coração. Dado o conhecido papel cardioprotetor atribuído a atividade vagal e visto que a mesma está suprimida durante o exercício físico intenso, acredita-se que esta “janela de exposição” a riscos cardiovasculares permaneça “aberta” enquanto a modulação vagal cardíaca não seja completamente restabelecida. O objetivo do presente estudo foi propor um método para identificação do tempo necessário para a reativação vagal plena (RVP) pós-exercício e verificar a influência da intensidade do exercício neste tempo. Participaram deste estudo 10 indivíduos ( $24 \pm 3$  anos;  $23,6 \pm 1,7$  Kg/m<sup>2</sup>;  $42,6 \pm 10,7$  ml/kg/min) saudáveis e sedentários. O protocolo experimental ocorreu em 3 dias. No primeiro dia os indivíduos realizaram medidas antropométricas e um teste de esforço cardiopulmonar. No segundo e terceiro dias, os indivíduos foram submetidos ao registro dos intervalos RR (iRR) de repouso, realizaram uma sessão de exercício físico (moderada intensidade ou alta intensidade, randomizadas) e foram submetidos ao registro dos iRR de recuperação. A partir do registro dos iRR, realizou-se a análise tempo-frequência da Variabilidade da Frequência Cardíaca, pelo método Short-Time Fourier Transform. Para determinação da RVP, inicialmente calculou-se a média e o coeficiente de variação (CV% do índice HF no repouso, para cada indivíduo. A partir dos valores de média  $\pm 1$  CV% criou-se uma faixa de tolerância do índice HF de repouso que, quanto atingida pelo índice HF na recuperação, caracterizaria a RVP (dada em minutos). Para comparação da RVP entre as sessões de moderada (MI) e alta intensidade (AI), realizou-se o teste “t” de Student para amostras emparelhadas ( $p < 0,05$ ). A RVP ocorreu em  $13,1 (\pm 12,6)$  e  $41,2 (\pm 16,2)$  minutos, após as sessões MI e AI, respectivamente ( $p < 0,05$ ). A intensidade do exercício físico possui influência sobre a RVP. O método de identificação da RVP proposto no presente estudo mostrou-se um método eficiente e de fácil aplicação.

Palavras-chave: Sistema Nervoso Autônomo, Sistema Nervoso Parassimpático, Exercício

### 2.1.2 Abstract

During and a few time after the physical exercise practice, the cardiovascular system is exposed to greater risks of sudden death, caused by electric imbalances in the heart. Given the well-known cardio protector function attributed to the vagal activity and whereas the same is suppressed during intense physical exercise, it's believed that this "exposure window" to cardiovascular risks remain "open" while the cardiac vagal modulation is not completely re-established. The aim of this study was to propose a method to the identification of the time required to full vagal reactivation (FVR) post-exercise and to verify the influence of the exercise intensity at this time. 10 healthy and sedentary subjects ( $24 \pm 3$  years,  $23,6 \pm 1,7$  Kg/m<sup>2</sup>;  $46,6 \pm 10,7$  ml/kg/min) participated in the study. The experimental protocol occurred in 3 days. On the first day the subjects realized anthropometric measures and a cardiopulmonary effort test. On the second and third days, the subjects were submitted to the rest RR (iRR) interval record, realized a physical exercise session (moderate intensity or high intensity, randomized) and were also submitted to the recovery iRR interval record. From the iRR records, the Heart Rate Variability time-frequency analysis was done, by the Short-Time Fourier Transform method. To the FVR resolve, the average and rest HF coefficient of variance (CV%) were calculated for each subject. From the average values  $\pm 1$  CV% was created a rest HF index tolerance band that, when achieved by the HF index in the recovery, would characterize the FVR (given in minutes, Figure 1). To comparison of the FVR between the moderate intensity sessions (MI) and high intensity sessions (HF), it was realized the Student "t" test to paired samples ( $p < 0, 05$ ). The FVR occurred in 13, 1 ( $\pm 12, 6$ ) and 41, 2 ( $\pm 16, 2$ ) minutes, after the MI and HF sessions, respectively ( $p < 0, 05$ ). The physical exercise intensity influences the FVR. The FVR identification method proposed in this study proved to be efficient and easy to apply.

Key-words: Autonomic Nervous System, Parasympathetic Nervous System, Exercise

### 2.1.3 Introdução

A função autonômica cardíaca depende da interação de diversos sistemas reguladores, a partir de aferências e eferências, produzindo um sistema eficiente de ajuste cardiovascular às demandas internas e externas (ROWELL, 1974; ALESSIO e HUTCHINSON, 1992). O exercício físico é caracterizado por produzir estímulos mecânicos e químicos sobre os sistemas de regulação cardiovascular, provocando diminuição da atividade vagal e intensificação da atividade simpática (VATNER e PAGANI, 1976; KRIEGER, BRUM *et al.*, 1998). Estas respostas autonômicas estão por trás do aumento da frequência cardíaca (FC) inerente ao exercício físico. Imediatamente após o exercício físico, a FC cai, inicialmente, de maneira abrupta e (mono)exponencial e esta queda é mediada principalmente pela reativação vagal (IMAI, SATO *et al.*, 1994; PIERPONT, STOLPMAN *et al.*, 2000). A medida que a recuperação prossegue, a FC continua a cair, porém de maneira gradual e sustentada até que atinja seus valores basais. Nesta fase, além de reativação vagal, há também a retirada da ativação simpática (PERINI, ORIZIO *et al.*, 1989; PIERPONT, STOLPMAN *et al.*, 2000).

O exercício físico intenso é caracterizado por provocar um desequilíbrio autonômico significativo sobre o sistema cardiovascular, que perdura durante algum tempo da recuperação, aumentando os riscos de acometimentos cardiovasculares neste período (ALBERT, MITTLEMAN *et al.*, 2000). Não se sabe em qual momento o praticante de exercícios físicos deixa de estar exposto a tais riscos. No entanto, dado o conhecido papel cardioprotetor da modulação vagal cardíaca (BUCH, COOTE *et al.*, 2002), espera-se que o completo restabelecimento da atuação desta alça do sistema nervoso autônomo interfira sobremaneira nesta “janela de exposição” a riscos cardiovasculares. Por isso, é importante a proposição de métodos para o estudo da recuperação autonômica cardíaca que se preocupem em identificar o momento do retorno da modulação vagal cardíaca a seus valores de repouso.

A Variabilidade da Frequência Cardíaca (VFC; variação entre batimentos cardíacos sucessivos, de origem sinusal) é um método não invasivo para o estudo da modulação autonômica cardíaca, notadamente da ação integrada das alças vagais e simpáticas sobre o ritmo cardíaco (TASK-FORCE, 1996). Os índices RMSSD (raiz média quadrática da diferença dos intervalos RR sucessivos) e HF

(componente de alta frequência; 0,15 – 0,4 Hz) são influenciados predominantemente pela modulação respiratória da atividade vagal e, por conta disso, têm sido amplamente utilizados na literatura para avaliação da modulação vagal cardíaca (ECKBERG, 1983; TASK-FORCE, 1996). Recentemente, alguns métodos têm sido propostos para a análise da modulação vagal cardíaca na recuperação pós-exercício. Dentre estes, destacam-se a análise “time-varying” do índice RMSSD em janelas de 30 segundos (RMSSD30s) (Goldberger, Le *et al.*, 2006) e a análise tempo-frequência, a partir do cálculo do índice HF pelo método *Short-Time Fourier Transform* (STFT) (MARTINMAKI e RUSKO, 2008). Baseado no cálculo do índice RMSSD30s, no repouso e no período da recuperação pós-exercício, propusemos, no primeiro artigo desta dissertação, o método individual de identificação da reativação vagal plena (RVP; momento em que os valores de RMSSD30s pós-exercício igualam-se ao seu valor de repouso.). Além disso, investigamos os efeitos do treinamento físico sobre a RVP e observamos que indivíduos mais treinados possuem RVP mais rápida do que seus pares menos treinados.

Além do efeito do treinamento físico sobre a RVP, torna-se necessária a identificação de outros fatores que possam influenciar esta variável. A intensidade do exercício é uma variável importante na prescrição do exercício físico. Sabe-se que o acúmulo de metabólitos, típico dos exercícios de intensidade elevada, estimula sobremaneira a elevação da atividade simpática durante o exercício físico, o que, comprovadamente, atrasa o início da reativação vagal pós-exercício (BUCHHEIT, LAURSEN *et al.*, 2007; NIEWIADOMSKI, GASIOROWSKA *et al.*, 2007; GLADWELL, SANDERCOCK *et al.*, 2010). Portanto, a hipótese do presente estudo é que a RVP também ocorra tardiamente após exercícios intensos. O objetivo do presente estudo foi verificar a influência da intensidade do exercício físico na RVP. Além disso, propusemos um novo método de identificação da RVP, no domínio da frequência, a partir da análise tempo-frequência, e verificamos a correlação entre os dois métodos de identificação da RVP.

#### **2.1.4 Métodos**

Sujeitos

Para este estudo foram recrutados 10 indivíduos do sexo masculino. Como critério de inclusão, adotou-se a necessidade de os mesmos serem saudáveis, sedentários e não estarem sob uso de qualquer tipo de medicação. As características da amostra seguem detalhadas na Tabela 1. Todos os indivíduos assinaram um termo de consentimento livre esclarecido (ANEXO 1) e o protocolo experimental do presente estudo foi aprovado pelo comitê de ética da Universidade Federal de Juiz de Fora (ANEXO 2).

### Protocolo Experimental

O protocolo experimental ocorreu em 3 dias não-consecutivos, no período da tarde (14h – 16h). Antes de qualquer procedimento, os voluntários deveriam estar há pelo menos 24 horas sem realizar qualquer exercício físico ou ingerir bebidas cafeinadas ou alcoólicas. No primeiro dia, inicialmente os indivíduos responderam a um questionário sobre fatores de risco e prontidão para o exercício e realizaram medidas antropométricas (massa corporal e estatura). Depois, foram submetidos a um teste cardiopulmonar de esforço máximo, com potência inicial de 50 W e incrementos de 25 W a cada minuto, até a exaustão voluntária máxima. Os gases expirados foram continuamente analisados pelo analisador metabólico VO2000 (NedGraphics, EUA). No segundo e terceiro dias, os indivíduos foram submetidos ao registro dos intervalos RR (iRR) de repouso ( $iRR_{rep}$ ), durante 10 minutos, na posição supina; realizaram um exercício físico em cicloergômetro, em intensidade moderada (MI) ou intensa (AI) em dias alternados e; foram submetidos ao registro dos iRR de recuperação ( $iRR_{rec}$ ), também na posição supina, durante 60 minutos (Figura 1).

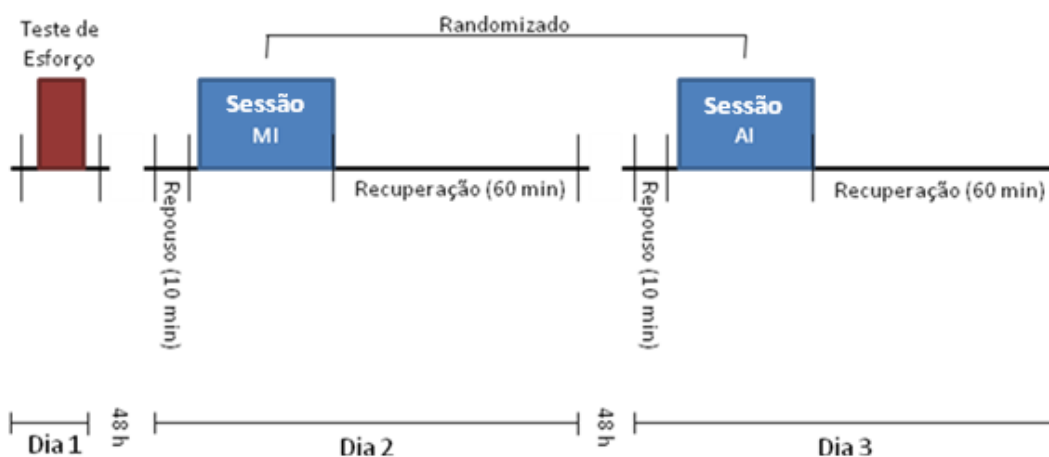


Figura 1 – Protocolo Experimental.

Legenda: MI = moderada intensidade; AI = alta intensidade

## Procedimentos

### Teste de Esforço Máximo

Para avaliação da aptidão aeróbia máxima dos indivíduos, realizou-se um teste cardiopulmonar de esforço máximo, com potência inicial de 50 W e incrementos de 25 W a cada minuto, até a exaustão voluntária máxima. Os gases expirados foram continuamente analisados com o analisador metabólico VO<sub>2000</sub> (NedGraphics, EUA). O maior valor de VO<sub>2</sub> atingido durante o teste foi definido como VO<sub>2máx</sub>. Além disso, a partir da relação VE/VO<sub>2</sub> e VE/VCO<sub>2</sub> foram definidos, respectivamente, as cargas do 1º e 2º limiares ventilatórios.

### Sessões de Exercício

A partir dos valores de carga referentes ao 1º e 2º limiares ventilatórios, foram prescrita duas sessões de exercício, em cicloergômetro: 1) “sessão MI”, com duração de 30 minutos, na carga do 1º limiar ventilatório e; 2) “sessão AI”, com duração de 30 minutos, sendo os 15 primeiros minutos, na carga do 1º limiar ventilatório e, os 15 minutos demais, na carga do 2º limiar ventilatório. Optou-se pela utilização do 1º e 2º limiares ventilatórios para prescrição das sessões de exercício por serem marcadores fisiológicos objetivos que são utilizados, frequentemente, como limites superiores e inferiores para a prescrição do exercício aeróbio para



indivíduos saudáveis (GOLDBERG, ELLIOT *et al.*, 1988; GARBER, BLISSMER *et al.*, 2011). Para posterior confirmação da adequação das intensidades das sessões, a FC e a percepção de esforço (PE; escala de Borg de 0-10) foram monitoradas durante os exercícios.

Registro dos iRR, Transmissão dos Dados, Processamento do Sinal e Análise da VFC

Os  $iRR_{rep}$  e  $iRR_{rec}$  foram registrados com a utilização do cardiofrequencímetro Polar S810i (frequência de aquisição de 1000 Hz) e transmitidos para um computador, por meio de interface com dispositivo infravermelho e do software Polar Precision Performance. O processamento do sinal de iRR e a análise da VFC foram realizados pelo software Matlab® (R2008a), *Mathworks*.

Análise *Time-Varying* da VFC:

Para análise da VFC, no domínio do tempo, no repouso e na recuperação pós-exercício, realizou-se a análise “time-varying” da VFC. Inicialmente foi feito o alisamento dos sinais em questão, por meio de um filtro de mediana de terceira ordem, em todo o sinal registrado. Os primeiros e os últimos valores não foram filtrados. Após o alisamento, calculou-se o índice RMSSD (raiz média quadrática da diferença dos iRR sucessivos), para cada janela de 30 segundos (RMSSD30s). Esta análise foi proposta por Goldberger, Le *et al.*, (2006) e sua reprodutibilidade foi demonstrada por Buchheit, Laursen *et al.*, (2007) e Al Haddad, Laursen *et al.*, (2011).

Análise Tempo Frequência da VFC (STFT)

Para análise da VFC no domínio da frequência, no repouso e na recuperação, utilizou-se a análise tempo-frequência. Inicialmente, as séries iRR foram interpoladas a 2 Hz, por meio de *spline* cúbica, efetuou-se a remoção da componente de tendência linear do sinal (*detrend*) e foi aplicada a transformada de Fourier de curta duração (*STFT* - short time Fourier transform). A *STFT* é uma ferramenta que possibilita a análise do conteúdo de energia e sua variação ao longo

do sinal (AKAY e IEEE ENGINEERING IN MEDICINE AND BIOLOGY SOCIETY., 1998; MAINARDI, BIANCHI *et al.*, 2002). O mapa tempo-frequência foi composto a partir da decomposição espectral da série temporal de iRR por meio da transformada rápida de *Fourier* (*FFT - fast Fourier transform*). Para sua construção, um segmento de 512 amostras foi multiplicado por uma janela *Hanning* antes de calcular sua função de densidade espectral (*PSD - power spectral density*). Em seguida, a janela foi deslocada ao longo do sinal, ao passo de 1 ms, permitindo o cálculo de trechos consecutivos. Para a análise espectral da VFC, em cada espectro de potência, foram calculadas as áreas das bandas de Baixa (LF; 0,04-0,15 Hz) e Alta Frequência (HF; 0,15-0,4 Hz). Em cada período de 60 s, foi estimada a média dos valores LF e HF, expressas em potência absoluta ( $\text{ms}^2$ ).

#### Determinação da Reativação Vagal Plena Pós-Exercício

Para determinação da RVP, inicialmente determinou-se a faixa de tolerância da VFC de repouso. A faixa de tolerância da VFC de repouso foi calculada a partir do coeficiente de variação (CV%) dos valores de RMSSD30s e HF de repouso, de cada indivíduo. Inicialmente, calculamos, para todos os 10 minutos de repouso, os índices RMSSD30s (20 janelas de 30 segundos) e HF (10 janelas de 1 minuto). Após isto, calculamos a média e o desvio padrão destes valores. O CV(%) foi, então, calculado a partir do quociente entre o desvio padrão e a média da VFC de repouso, multiplicado por 100. A faixa de tolerância, portanto, seria a média dos valores de VFC de repouso  $\pm 1$  CV(%). Os valores de CV(%) do índice RMSSD30s e HF, no repouso, foram de 8,7% e 0,7%, respectivamente. Para facilitar os cálculos, utilizamos os valores de 1% e 10%. No momento em que os valores de RMSSD30s e HF de recuperação atingissem a faixa de tolerância de seus valores de repouso, este seria o ponto de RVP (Figura 4). Para facilitar a exposição dos resultados, diferenciamos a RVP, de acordo com o índice utilizado, em  $RVP_{\text{RMSSD30s}}$  e  $RVP_{\text{HF}}$ .

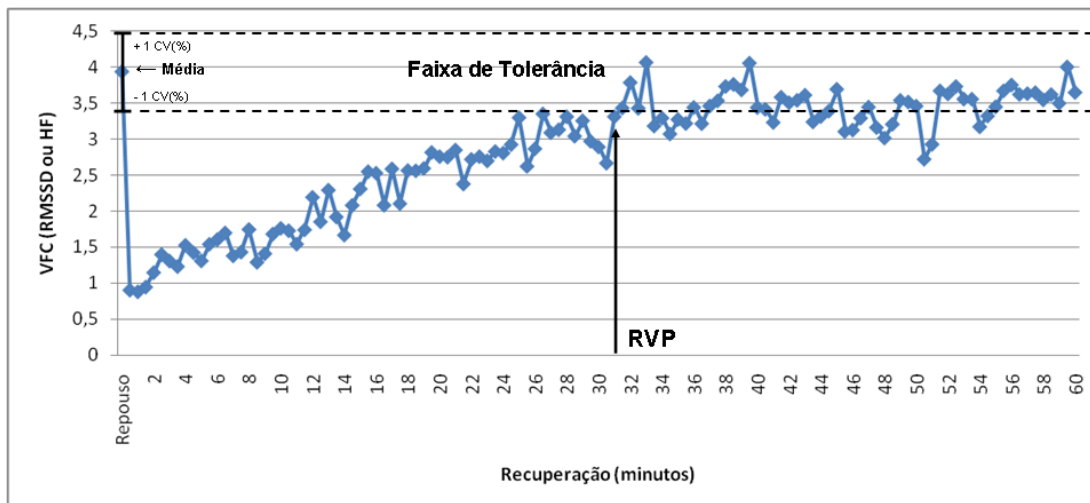


Figura 2 – Determinação da reativação vagal plena - O momento, em minutos, no qual a VFC atinge a faixa de tolerância, determinada a partir do CV (%) da VFC de repouso, é considerado a reativação vagal plena.

### Análise Estatística

Para avaliação da distribuição dos dados, utilizou-se o teste de Shapiro-Wilk. Como os índices RMSSD30s e HF não apresentavam distribuição normal, os mesmos foram transformados em seus logaritmos naturais para que pudessem ser analisados por estatística paramétrica. Para comparação dos valores de RVP entre as condições MI e AI, e para comparação da RVP entre os métodos propostos pelo presente estudo, utilizou-se teste “t” para amostras pareadas. Para a análise da correlação entre a  $RVP_{RMSSD30s}$  e a  $RVP_{HF}$ , calculou-se o coeficiente de correlação de Pearson. Em todos os testes, o nível de significância adotado foi de 5%. Os testes foram realizados pelo software Statistica, v. 8.0.

### 2.1.5 Resultados

#### Caracterização da Amostra

A caracterização da amostra segue detalhada na Tabela 1. O teste de esforço foi considerado máximo se dois dos seguintes critérios fossem atingidos: platô na curva do  $VO_2$  a despeito do aumento da carga; quociente respiratório maior do que

1,1; FC maior do que 85% da FC máxima prevista pela fórmula “ $FC_{max} = 220 - \text{idade}$ ”.

Tabela 1 – Caracterização da Amostra

Variáveis	Média ± Desvio Padrão
Idade (anos)	24,3 ± 3,2
Estatura (m)	1,78 ± 0,1
Massa Corporal (Kg)	76,8 ± 8,7
IMC (Kg/m <sup>2</sup> )	23,6 ± 1,7
FC <sub>rep</sub> (bpm)	68 ± 9
VO <sub>2máx</sub> (ml.Kg.min <sup>-1</sup> )	42,6 ± 10,7
Pot <sub>máx</sub>	256,7 ± 34,2
FC <sub>máx</sub> (bpm)	196,9 ± 6,1
Pot <sub>1º Limiar</sub>	85,4 ± 37,6
Pot <sub>2º Limiar</sub>	164,6 ± 36,1

### Sessões de Exercício

Os valores absolutos médios (± desvio padrão) de FC das sessões MI e AI foram 128,7 (± 22,3) e 165,4 (± 19,9) bpm. Tais valores correspondem, respectivamente, a 67,2 (± 10,4) e 84,9 (± 9,9) % da FC máxima atingida no teste de esforço. Os valores médios de PE (± desvio padrão) das sessões MI e AI foram, respectivamente 3 (± 2) e 7 (± 1). Tais valores correspondem aos descritores “moderado” e “muito pesado” da escala 0-10 de Borg. Tanto para a FC (valores absolutos e relativos), quanto para a PE, observou-se diferença estatisticamente significativa entre as sessões ( $p < 0,05$ ).

### Influência da Intensidade do Exercício na Reativação Vagal Plena Pós-Exercício

A Figura 3 apresenta os valores de RMSSD30s (A) e HF (B) de repouso e no período de recuperação após as sessões MI e AI. A Figura 4 apresenta os valores médios de  $RVP_{RMSSD30s}$  e  $RVP_{HF}$  após estas duas sessões. A  $RVP_{RMSSD30s}$  ocorreu 5,8 (± 7,6) e 24,7 (±11,1) minutos após as sessões MI e AI, respectivamente. Já a

RVP<sub>HF</sub> ocorreu em 13,1 ( $\pm$  12,6) e 41,2 ( $\pm$  16,2) minutos, após as sessões MI e AI, respectivamente. Nos dois métodos utilizados, foram observados menores valores de RVP após a sessão MI em comparação a sessão AI, o que indica recuperação plena da modulação vagal cardíaca mais rápida após aquela sessão em comparação a esta ( $p < 0,05$ ).

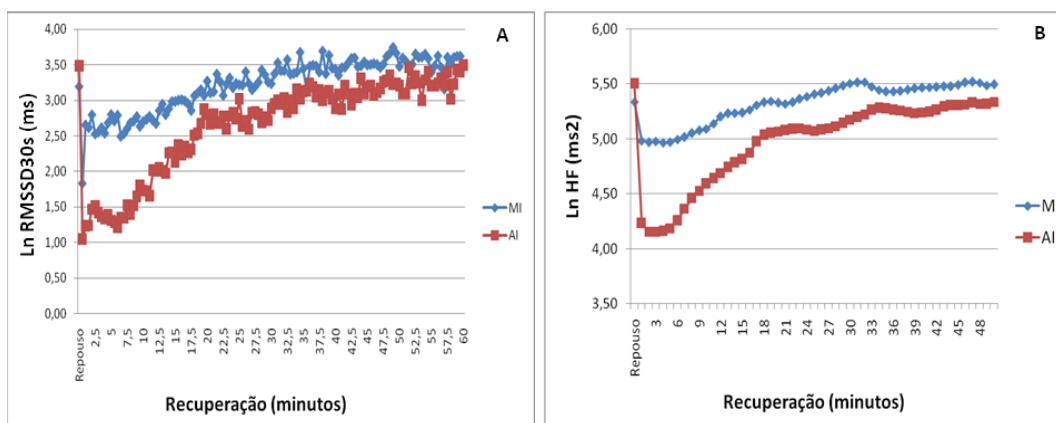


Figura 3 – A) Valores de RMSSD30s no repouso e no período de 60 minutos de recuperação, após os exercícios de moderada intensidade (MI) e alta intensidade (AI). B) Valores de HF no período de repouso e durante 50 minutos de recuperação após os exercícios de moderada intensidade (MI) e alta intensidade (AI). As barras de erro foram omitidas para permitir uma melhor visualização do gráfico.

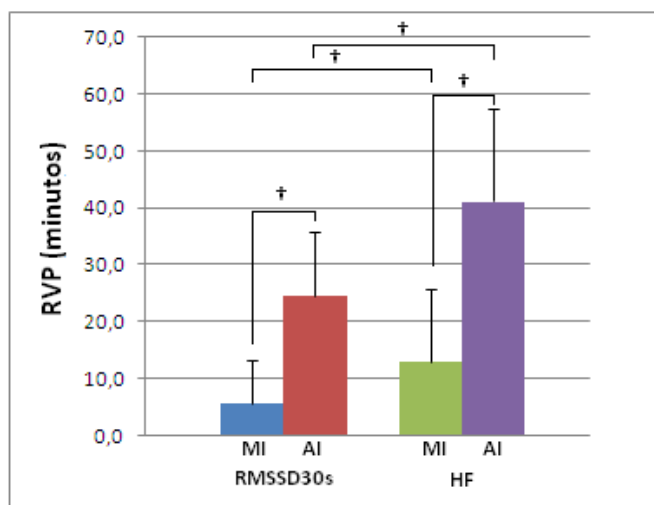


Figura 4 – RVP após as sessões de moderada (MI) e alta intensidade (AI) identificada pelos dois métodos utilizados no presente estudo (RMSSD30s e HF). (†) Diferença estatisticamente significativa.

### Correlação entre os Métodos de Identificação da Reativação Vagal Plena

A Figura 5 apresenta a correlação entre a  $RVP_{RMSSD30s}$  e a  $RVP_{HF}$ . Os resultados indicam níveis elevados e significativos de coeficiente de correlação, de 0,87 ( $n = 20$ ,  $p < 0,05$ ). Entretanto, de uma maneira geral, a  $RVP_{RMSSD30s}$  ocorre antes da  $RVP_{HF}$ . A comparação dos valores de  $RVP_{RMSSD30s}$  e  $RVP_{HF}$ , após as sessões MI e AI, indica menores valores nas duas condições, para o  $RVP_{RMSSD30s}$  ( $p < 0,05$ ; Figura 4).

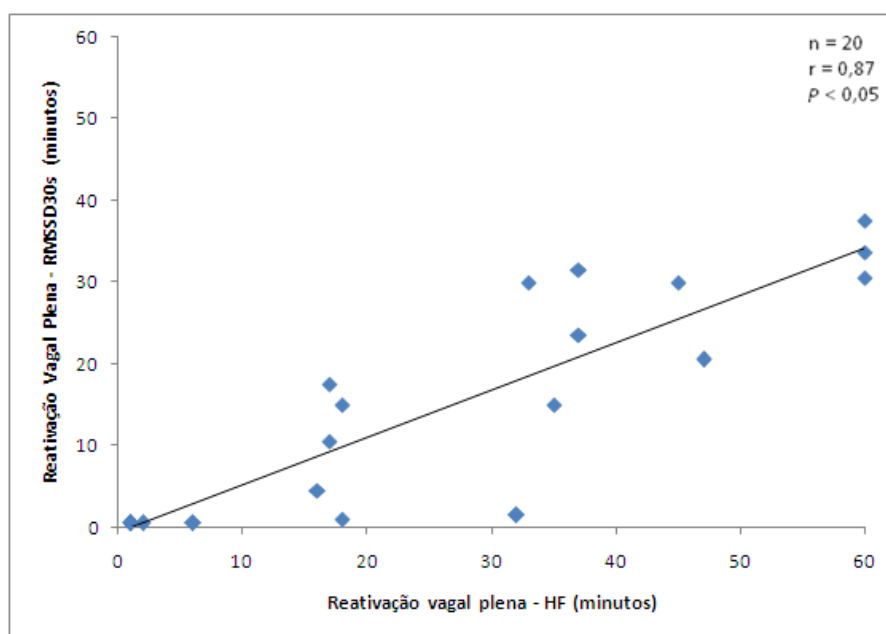


Figura 5 – Correlação entre a RVP calculada pelos índices RMSSD30s e HF ( $n = 20$ ). A correlação foi estatisticamente significativa ( $p < 0,05$ ).

#### 3.1.6 Discussão

O presente estudo verificou a influência da intensidade do exercício físico, na RVP, determinada a partir de dois métodos, um no domínio do tempo, e outro no domínio da frequência. Os principais achados do presente estudo foram: 1) a intensidade do exercício físico exerce influência sobre a RVP, já que após a sessão AI os indivíduos recuperaram-se mais lentamente do que após a sessão MI; 2) os dois métodos utilizados no presente estudo, para determinação da RVP foram sensíveis à intensidade do exercício e correlacionados entre si. No entanto, a RVP

ocorreu mais cedo quando foi utilizado o índice RMSSD30s em comparação ao índice HF.

#### Influência da Intensidade do Exercício na Reativação Vagal Plena Pós-Exercício

Após a sessão AI, a RVP ocorreu tardiamente em relação a sessão MI, confirmando a influência que a intensidade do exercício exerce sobre o comportamento dos índices vagais do presente estudo, no período da recuperação. A RVP após a sessão MI ocorreu entre 5,8 e 13,1 minutos, dependendo do método utilizado ( $RVP_{RMSSD}$ ,  $RVP_{HF}$ ). Já após sessão AI, estes valores variaram entre 24,7 e 41,2 minutos. A escolha da intensidade das duas sessões do presente estudo se deu baseada na utilização dos limiares ventilatórios como marcadores de transição entre os domínios do exercício e, por isso mesmo, bons indicadores do esforço realizado. Nesse sentido, deve-se destacar que o método adotado para controle da intensidade foi adequado, já que as sessões MI e AI apresentaram valores percentuais médios de FC estatisticamente diferentes ( $67,2 \pm 10,4$  versus  $84,9 \pm 9,9$  %;  $p < 0,05$ ), porém ambos dentro de uma faixa de intensidade de exercício recomendada pela maioria das diretrizes de prescrição do exercício físico (GARBER, BLISSMER *et al.*, 2011). Os valores médios de PE das sessões MI e AI, correspondentes aos descritores “moderado” e “muito pesado”, dão suporte a denominação das sessões, tal como realizada no presente estudo.

A maioria dos estudos sobre a influência da intensidade do exercício na reativação vagal pós-exercício analisou apenas os primeiros minutos da recuperação (BUCHHEIT e GINDRE, 2006; BUCHHEIT, LAURSEN *et al.*, 2007; KAIKKONEN, NUMMELA *et al.*, 2007; MARTINMAKI e RUSKO, 2008), o que impede que seja avaliado o retorno da modulação vagal cardíaca aos seus valores de repouso. Somente com a avaliação de um período maior da recuperação (cerca de 60 minutos), é possível identificar este retorno. Encontramos apenas três estudos que avaliaram a  $VFC_{rec}$  em um período igual ou superior a 60 minutos e, mesmo não sendo objetivo de tais estudos determinar um critério individual para a RVP, a análise dos resultados permite a identificação do momento em que os índices vagais médios atingem os seus valores de repouso (TERZIOTTI, SCHENA *et al.*, 2001; SEILER, HAUGEN *et al.*, 2007; CASONATTO, TINUCCI *et al.*, 2011). Terziotti, Schena *et al.*, (2001), verificaram que, enquanto a RVP ocorre 1 hora após o

exercício de alta intensidade (80% do 2º limiar ventilatório), menos de 5 minutos já são suficientes para os exercícios de intensidade moderada (50% do 2º limiar ventilatório). Seiler, Haugen *et al.*, (2007) e Casonatto, Tinucci *et al.*, (2011), por sua vez, analisaram a influência da intensidade e da duração do exercício sobre a  $VFC_{rec}$  e os resultados de tais estudos mostram que RVP ocorreu entre 30 e 35 minutos após os exercícios de intensidade elevada e entre 0 e 15 minutos após os exercícios de intensidade leve/moderada, independente do volume realizado. Os achados destes estudos são semelhantes aos nossos resultados, reforçando a influência da intensidade do exercício sobre RVP. Porém, o presente estudo foi o primeiro a verificar a influência da intensidade do exercício na RVP avaliada de forma individual. Para que o método de identificação da RVP tenha aplicação prática, o mesmo deve ser empregado individualmente e o presente estudo foi o primeiro a sugerir um método para avaliação desta variável.

Diversos fatores podem estar por trás dos resultados do presente estudo. Sabe-se que a recuperação autonômica cardíaca depende do restabelecimento de diversos mecanismos que estão sabidamente alterados durante o exercício físico. Imediatamente após o término do exercício, há a cessação dos inputs oriundos do córtex motor (comando central) e da ação de mecanorreceptores (BULL, DAVIES *et al.*, 1989; CARTER, WATENPAUGH *et al.*, 1999). É improvável que a intensidade do exercício possua influência sobre o restabelecimento desses sistemas. Corroborando o exposto, Imai, Sato *et al.*, (1994) observaram que o índice T30 - que expressa a recuperação da FC imediatamente após o exercício (isto é, avalia a reativação vagal) e que, provavelmente está relacionado aos mecanismos descritos acima - praticamente não é afetado pela intensidade do exercício. Na medida em que a recuperação prossegue, no entanto, os metabólitos acumulados durante o exercício vão sendo removidos e, juntamente a isto, o sistema barorreflexo tem a sua sensibilidade e o seu ponto de ajuste restabelecidos (NIEMELA, KIVINIEMI *et al.*, 2008; COOTE, 2010). O restabelecimento da atividade dos barorreceptores está intimamente ligado ao aumento da atividade vagal imediatamente pós-exercício (CONVERTINO e ADAMS, 1991; NIEMELA, KIVINIEMI *et al.*, 2008; COOTE, 2010) e sabidamente sofre interferência da intensidade do exercício (COTTIN, MEDIGUE *et al.*, 2008; NIEMELA, KIVINIEMI *et al.*, 2008). Quanto à isto, deve-se destacar a possibilidade de a alta produção de metabólitos ser o fator principal no atraso da recuperação do barorreflexo, já que a estimulação dos metaborreceptores parece



estimular a atuação do barorreflexo em níveis superiores ao repouso (SALAMERCADO, ICHINOSE *et al.*, 2007; STUCKEY, TORDI *et al.*, 2011). Dada a íntima relação entre a atividade barorreflexa e a VFC (LUCINI, GUZZETTI *et al.*, 2002; IELLAMO, MANZI *et al.*, 2011), é possível que a RVP acompanhe o retorno da atuação deste sistema de controle da pressão arterial. Outros fatores relacionados à recuperação autonômica cardíaca e que possivelmente estão por trás da RVP são a normalização do pH sanguíneo e o restabelecimento da temperatura corporal de repouso. Estes fatores também são influenciados pela intensidade do exercício. Exercícios intensos diminuem sobremaneira o pH sanguíneo (HUSSAIN, SMITH *et al.*, 1996) e produzem maior quantidade de calor (SALTIN e HERMANSEN, 1966), estimulando quimio e termorreceptores. Tais respostas estão intimamente ligadas aos ajustes cardiovasculares ao exercício físico (ROWELL, MURRAY *et al.*, 1969; ROWELL, 1983; GUJIC, LAUDE *et al.*, 2007; GONZALEZ-ALONSO, 2012) e, possivelmente, também aos ajustes da recuperação. Não se sabe, no entanto, qual a relação do restabelecimento destes sistemas, com a reativação vagal plena pós-exercício. O presente estudo não tem o objetivo nem condições de verificar tais relações.

#### Reativação Vagal Plena – Qual método utilizar?

Utilizamos dois métodos para a identificação da RVP. Apesar de correlacionados entre si, observou-se que a RVP ocorre precocemente se utilizado o índice RMSSD30s (domínio do tempo) em relação ao índice HF (domínio da frequência). À medida que ambos os índices avaliam os mesmos fenômenos (TASK-FORCE, 1996), seria desejável que tais diferenças não ocorressem. Os dados do presente estudo não nos permitem identificar com exatidão qual o método mais confiável para avaliação da RVP. Pode-se dizer, no entanto, que o método  $RVP_{HF}$  possui como vantagem a baixa variação de seus valores de repouso, o que permite uma menor faixa de tolerância para a VFC de repouso. Além disso, a análise no domínio da frequência, da qual o método  $RVP_{HF}$  origina-se, permite selecionar mais precisamente a VFC em um de seus componentes rítmicos principais, de alta frequência; modulado pela respiração e comprovadamente relacionado com a atividade vagal cardíaca (ECKBERG, 1983; TASK-FORCE, 1996). Por outro lado, o método  $RVP_{RMSSD30s}$  possui processamento matemático mais simples, sendo menos

propenso a anormalidades matemáticas (GOLDBERGER, LE *et al.*, 2006; NG, SUNDARAM *et al.*, 2009) e, provavelmente, é menos sensível à respiração (PENTTILA, HELMINEN *et al.*, 2001), o que o torna mais robusto às condições da recuperação autonômica após exercícios máximos ou ultramáximos. A avaliação da reprodutibilidade dos dois métodos e estudos com bloqueio farmacológico podem ajudar na escolha do método ideal para identificação da RVP.

### Aplicação Prática

Segundo Albert, Mittleman *et al.*, (2000) durante e algum tempo após a prática de exercícios físicos de intensidade elevada, o sistema cardiovascular fica exposto a maiores riscos de morte súbita, provocada por desequilíbrios elétricos no coração. Dado o conhecido papel cardioprotetor atribuído a atividade vagal (BUCH, COOTE *et al.*, 2002) e visto que a mesma está suprimida durante e após o exercício físico intenso (BUCHHEIT, LAURSEN *et al.*, 2007; NIEWIADOMSKI, GASIOROWSKA *et al.*, 2007), acredita-se que esta “janela de exposição” a riscos cardiovasculares permaneça “aberta” enquanto a modulação vagal cardíaca não seja completamente restabelecida. Nesse sentido, a identificação da RVP pode auxiliar a prescrição do exercício e o acompanhamento de indivíduos com fatores de risco para doença cardiovascular ou mesmo participantes de programas de reabilitação cardíaca. Pode-se aventar a possibilidade de se estabelecer uma faixa de intensidade do exercício individual que provoque, ao mesmo tempo, um estresse significativo que produza benefícios cardiovasculares, mas que não atrase sobremaneira a RVP. A prescrição adequada de treinamento físico para atletas também requer um ótimo balanço entre o estresse ocasionado pelas sessões intensas de treinamento e os períodos de recuperação (HALSON e JEUKENDRUP, 2004). Sabe-se que sessões intensas de treinamento provocam um estresse interno significativo no organismo do atleta, que pode ser detectado por modificações agudas no balanço autonômico. A recuperação da condição autonômica é fundamental para a realização de um novo estímulo intenso de treinamento. Dentro desta linha, Kiviniemi, Hautala *et al.*, (2009) e Kiviniemi, Hautala *et al.*, (2010) propuseram uma prescrição do exercício físico baseada na VFC medida no período da manhã. Valores de VFC iguais ou superiores à linha de base dos indivíduos determinariam um treino intenso. Segundo estes os autores, a completa recuperação autonômica da sessão de treinamento anterior,

evidenciada pela normalização dos valores de VFC, indica uma prontidão do organismo para a realização de tarefas intensas. O método de identificação da RVP, portanto, pode também ser útil para treinadores e fisiologistas do exercício no controle da carga de treinamento.

#### Limitações

Não é possível estender os resultados do presente estudo a outras populações, tais como idosos, doentes cardiovasculares e atletas. A aplicação prática do método RVP, portanto, só será efetivamente comprovada, a partir do momento em que este método for testado e demonstrar boa aplicabilidade nestes grupos. Entendemos também que, apesar das especulações realizadas, os métodos do presente estudo não nos permitem identificar qual fator está por trás do atraso na RVP observada após a sessão AI em relação a sessão MI. São necessários, portanto, estudos que analisem o comportamento de variáveis respiratórias, metabólicas, bioquímicas e os sistemas de controle cardiovascular durante a recuperação, e que relacionem isto à RVP.

#### **3.1.7 Conclusão**

O presente estudo observou a influência da intensidade do exercício sobre a RVP. Os métodos de identificação da RVP propostos no presente estudo - baseados no cálculo da banda HF, por meio da análise tempo-frequência, ou no cálculo do índice RMSSD30s - mostraram-se simples, de fácil realização e com aplicação prática clínica e desportiva potencialmente importantes. É necessário, diante disso, estabelecer qual o melhor método de identificação da RVP e testá-lo em condições diferentes às do presente estudo.

## **2.3 ARTIGO 3: Influência da Intensidade do Exercício Físico na Recuperação Autônômica Cardíaca de 24 Horas**

### **2.3.1 Resumo**

O exercício físico é caracterizado por produzir um estresse significativo sobre a modulação autonômica cardíaca que perdura durante a recuperação. O objetivo do presente estudo foi avaliar a influência da intensidade do exercício na modulação autonômica cardíaca nas 24 horas pós-exercício. Participaram deste estudo 10 indivíduos saudáveis e sedentários. O protocolo experimental ocorreu em 4 dias. No 1º dia, os indivíduos realizaram medidas antropométricas e foram submetidos ao registro eletrocardiográfico baseline de 24 horas, por meio de Holter. No 2º dia, os indivíduos realizaram um teste cardiopulmonar de esforço máximo. No terceiro e quarto dias, os indivíduos foram submetidos ao registro dos intervalos RR (iRR) de repouso, durante 10 minutos; realizaram um exercício físico, em cicloergômetro, em duas intensidades diferentes (moderada, e alta intensidade; MI e AI; randomizadas), durante 30 minutos; permaneceram no laboratório, sob registro contínuo dos iRR de recuperação, durante 60 minutos, e, por fim; foram submetidos ao registro eletrocardiográfico de 24 horas, por meio de Holter. Optou-se por avaliar a VFC pelo método tempo-frequência na primeira hora pós-exercício. Nas horas subseqüentes, selecionaram-se os 5 minutos de menor variância de cada hora e calculou-se a FC e a VFC, no domínio da frequência, para cada trecho selecionado. Para comparação da FC e VFC entre as sessões realizou-se análise de variância pra medidas repetidas de duas entradas (tempo x sessão;  $p < 0,05$ ). Observou-se menores valores de HF e LF durante toda a primeira hora após a sessão AI em comparação à sessão MI. Esta diferença não permaneceu durante as horas subseqüentes, com os indivíduos fora do laboratório, em condição de vigília; mas voltou a aparecer no período do sono, quando os valores dos índices vagais da VFC após a sessão AI mostraram-se menores do que após a sessão MI e do que a linha de base. A intensidade do exercício físico exerce influência sobre a modulação autonômica cardíaca imediatamente após o exercício e também no período do sono.

Palavras-chave: Sistema Nervoso Parassimpático, Frequência Cardíaca, Exercício.

### 2.3.2 Abstract

Physical exercise is characterized by the production of a significant stress on the cardiac autonomic modulation that lasts during the recovery. The aim of this study was to assess the influence of the exercise intensity on the cardiac autonomic modulation on the post-exercise 24 hours. 10 healthy and sedentary subjects participated in the study. The experimental protocol occurred in 4 days. On the first day, subjects realized anthropometric measures and were submitted to the electrocardiographic register baseline of 24 hours, by a Holter. On the second day, subjects realized a maximum effort cardiopulmonary test. On the third and fourth days, subjects were submitted to the rest RR intervals record (iRR), during 10 minutes; realized a physical exercise, in a cycle ergometer, in two different intensities (moderate and high intensity; MI and HI; randomized), during 30 minutes; remained at the lab, by recovery iRR continuous record, during 60 minutes, and; lastly, they were submitted to the 24 hours electrocardiographic register, by a Holter. We choose the time-frequency method to assess the HRV at the post-exercise first hour. At the subsequent hours, the 5 minutes of less variance of each hour were selected and was calculated the HR and the HRV, at the time and frequency domains, for each selected stretch. To the comparison of the HR and the HRV between the sessions, the repeated measurements of two entries variance analysis was realized (time x session;  $p < 0,05$ ). Lower values of HF and LF were observed during all the first hour after the HI session compared to the MI session. This difference didn't remain during the subsequent hours, with the subjects out of the lab, in watch condition, but reappeared in the sleep period, when the HRV vagal indexes after the HI session were lower than after the MI session and the baseline. The physical exercise intensity influence the cardiac autonomic modulation immediately after the exercise and also in the sleep period.

Keywords: Parasympathetic Nervous System, Heart Rate, Exercise.

### 2.3.3 Introdução

Evidências indicam haver uma relação dose-resposta entre a intensidade do exercício físico e os benefícios cardiovasculares obtidos (SWAIN, 2005; SWAIN e FRANKLIN, 2006). Por outro lado, sabe-se que o exercício físico intenso produz uma sobrecarga significativa sobre o sistema cardiovascular, mais especificamente sobre a modulação autonômica cardíaca, aumentando os riscos de acometimentos cardiovasculares durante e logo após a prática do mesmo (ALBERT, MITTLEMAN *et al.*, 2000).

O estudo da frequência cardíaca (FC) e da variabilidade da frequência cardíaca (VFC; variação entre batimentos cardíacos sucessivos, de origem sinusal) permite o entendimento do impacto autonômico provocado pelo exercício físico (BUCHHEIT, LAURSEN *et al.*, 2007; BORRESEN e LAMBERT, 2008; KAIKKONEN, HYYNEN *et al.*, 2010). O exercício físico é caracterizado por produzir estímulos mecânicos, químicos e térmicos sobre o organismo que promovem, reflexamente - via ação do sistema nervoso autônomo - elevação da FC e diminuição da VFC (COOTE, 2010). Logo após o término do exercício há interrupção imediata do estímulo mecânico e gradativa do estímulo metabólico sobre o sistema cardiovascular (HUSSAIN, SMITH *et al.*, 1996; CARTER, WATENPAUGH *et al.*, 1999), promovendo recuperação parcial das variáveis autonômicas (BUCHHEIT, LAURSEN *et al.*, 2007). Entretanto, mesmo decorrido algum tempo do fim do exercício, fatores químicos, humorais e de termorregulação permanecem alterados e a recuperação autonômica cardíaca acompanhará a normalização destes fatores (HUSSAIN, SMITH *et al.*, 1996; NIEMELA, KIVINIEMI *et al.*, 2008; COOTE, 2010). Em última instância, portanto, pode-se sugerir que o impacto do exercício físico sobre a modulação autonômica cardíaca persistirá enquanto a FC e a VFC não tiverem retornado a sua condição basal.

Há na literatura alguns estudos que verificaram a influência da intensidade do exercício na recuperação da FC ( $FC_{rec}$ ) e da VFC ( $VFC_{rec}$ ) pós-exercício (HAUTALA, TULPPO *et al.*, 2001; TERZIOTTI, SCHENA *et al.*, 2001; BUCHHEIT, LAURSEN *et al.*, 2007; SEILER, HAUGEN *et al.*, 2007). No entanto, tais estudos, na maioria das vezes, avaliam indivíduos treinados ou atletas (TERZIOTTI, SCHENA *et al.*, 2001; SEILER, HAUGEN *et al.*, 2007) e/ou utilizam exercícios de intensidade máxima ou supra-máxima (HAUTALA, TULPPO *et al.*, 2001; BUCHHEIT, LAURSEN *et al.*, 2007;

HYNYNEN, VESTERINEN *et al.*, 2010), acima do que geralmente é prescrito na prática clínica (GARBER, BLISSMER *et al.*, 2011) e que a maioria das pessoas realiza (isto é, entre 60 – 85% da  $FC_{m\acute{a}x}$ ). Desse modo, de maneira surpreendente, pouco se sabe sobre o impacto do exercício físico, em intensidades intermediárias, sobre o comportamento das variáveis autonômicas cardíacas de recuperação em indivíduos sedentários. Portanto, o objetivo do presente estudo foi verificar a influência do exercício físico, realizado em duas intensidades preconizadas pela maioria das diretrizes de prescrição de exercício, no comportamento da  $FC_{rec}$  e  $VFC_{rec}$  nas 24 horas pós-exercício.

### 2.3.4 Métodos

#### Sujeitos

Participaram deste estudo 10 indivíduos do sexo masculino. Como critério de inclusão, adotou-se a necessidade de os mesmos serem saudáveis, sedentários e não estarem sob uso de qualquer tipo de medicação. As características da amostra seguem detalhadas na Tabela 1. Todos os indivíduos assinaram um termo de consentimento livre esclarecido (ANEXO 1) e o protocolo experimental do presente estudo foi aprovado pelo comitê de ética da Universidade Federal de Juiz de Fora (ANEXO 2).

#### Protocolo Experimental

O protocolo experimental ocorreu em 4 dias, não consecutivos, no período da tarde (14:00 – 16:00). Antes de qualquer procedimento, os voluntários deveriam estar há pelo menos 24 horas sem realizar qualquer exercício físico ou ingerir bebidas cafeinadas ou alcoólicas. No primeiro dia, os indivíduos responderam a um questionário investigativo sobre fatores de risco e prontidão para o exercício, realizaram medidas antropométricas e foram submetidos ao registro eletrocardiográfico de 24 horas, por meio de Holter. No segundo dia, os indivíduos realizaram um teste cardiopulmonar de esforço máximo. No terceiro e quarto dias, os indivíduos foram submetidos ao registro dos intervalos RR (iRR) de repouso, durante 10 minutos; realizaram um exercício físico, em cicloergômetro, em duas intensidades

diferentes (moderada, e alta intensidade; MI e AI; randomizadas), durante 30 minutos; permaneceram no laboratório, sob registro contínuo dos iRR de recuperação, durante 60 minutos, e; por fim, foram submetidos ao registro eletrocardiográfico ambulatorial, por meio de Holter, durante 23 horas (Figura 1).

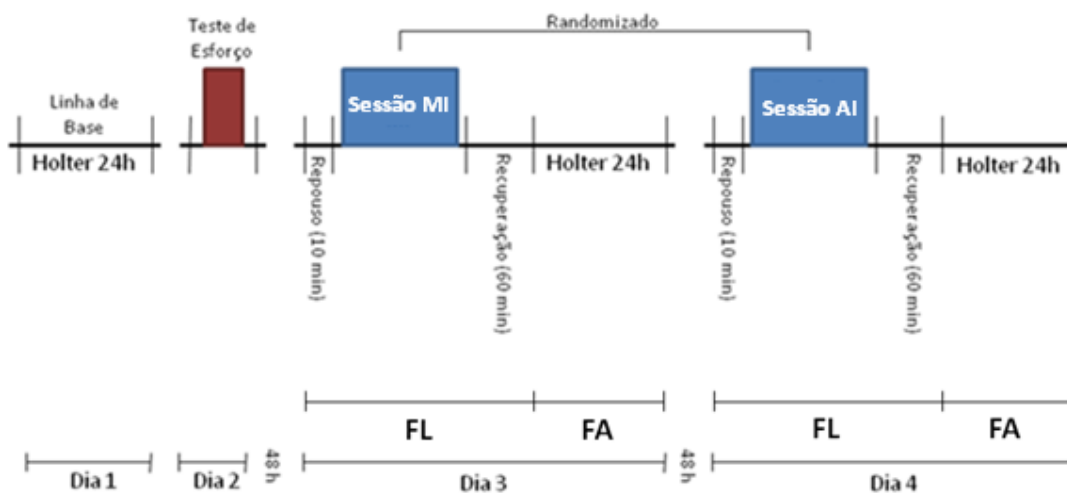


Figura 1 – Protocolo Experimental.

Legenda: MI = moderada intensidade; AI = alta intensidade; FL = fase de laboratório; FA = fase ambulatorial.

## Procedimentos

### Teste de Esforço Máximo

Para avaliação da aptidão aeróbia máxima dos indivíduos, realizou-se um teste cardiopulmonar de esforço máximo, com potência inicial de 50 W e incrementos de 25 W a cada minuto, até a exaustão voluntária máxima. Os gases expirados foram continuamente analisados com o analisador metabólico VO<sub>2000</sub> (NedGraphics, EUA). O maior valor de VO<sub>2</sub> atingido durante o teste foi definido como VO<sub>2máx</sub>. Além disso, a partir da relação VE/VO<sub>2</sub> e VE/VCO<sub>2</sub> foram definidos, respectivamente, as cargas do 1º e 2º limiares ventilatórios.

### Sessões de Exercício

A partir dos valores de carga referentes ao 1º e 2º limiares ventilatórios, foram propostas duas sessões de exercício, em cicloergômetro: 1) “sessão de moderada



intensidade” (MI), com duração de 30 minutos, na carga do 1º limiar ventilatório e; 2) “sessão de alta intensidade”, com duração de 30 minutos, sendo os 15 primeiros minutos, na carga do 1º limiar ventilatório e, os 15 minutos demais, na carga do 2º limiar ventilatório. Optou-se pela utilização do 1º e 2º limiares ventilatórios para prescrição das sessões de exercício por serem marcadores fisiológicos objetivos que são utilizados, frequentemente, como limites superiores e inferiores para a prescrição do exercício aeróbio para indivíduos saudáveis (GOLDBERG, ELLIOT *et al.*, 1988; GARBER, BLISSMER *et al.*, 2011). Para posterior confirmação da adequação das intensidades das sessões, a FC foi monitorada durante todo o exercício e a percepção de esforço (PE; escala de Borg de 0-10) foi aferida ao final do mesmo.

#### Registro dos iRR na Condição de Laboratório (Repouso, Exercício e Primeira Hora Pós-Exercício)

Para o registro dos iRR de repouso, durante o exercício e na primeira hora da recuperação, foi utilizado o cardiofrequencímetro Polar RS800cx (Polar® Electro Ltd, Kempele, Finlândia), com frequência de amostragem de 1000 Hz. Nas condições de repouso e recuperação, adotou-se a postura supina. Em todas as condições de medida, não houve o controle da frequência respiratória. No entanto, todos os indivíduos mantiveram a frequência respiratória dentro da banda HF (0,15 – 0,4 Hz).

#### Registro Eletrocardiográfico Ambulatorial

Após os indivíduos realizarem o registro dos iRR de repouso, exercício e recuperação aguda, em condição de laboratório; os mesmos foram instrumentados com um Holter de 3 canais (*Cardio Light*; frequência de amostragem de 800 Hz) - conforme orientações do fabricante (Cardio Sistemas Comercial e Industrial. Ltda. - Cardios) - e submetidos ao registro eletrocardiográfico ambulatorial, durante 23 horas. Os indivíduos foram orientados a manter suas atividades diárias habituais e a anotar em um diário todas as atividades realizadas, incluindo horário de refeições e o período do sono.

## Processamento do Sinal e Análise da Modulação Autonômica Cardíaca Pós-Exercício na Condição de Laboratório

Os dados registrados pelo Polar RS800<sub>cx</sub> foram transmitidos para o Software Polar Pro-Trainer, para a realização da filtragem do sinal. Neste software, foram calculados os valores de FC de repouso ( $FC_{rep}$ ), exercício ( $FC_{ex}$ ) e recuperação ( $FC_{rec}$ ). A  $FC_{rep}$  e  $FC_{ex}$  foram avaliadas a partir do cálculo da média de seus valores, nos últimos 5 minutos de cada sinal registrado. Já a  $FC_{rec}$  foi calculada em janelas de 10 segundos, durante o 1º minuto; em janelas de 1 minuto, do 2º ao 10º minuto e; em janelas de 5 minutos, do 10º ao 60º minuto. Após o cálculo da FC, a série de iRR foi exportada para o software Matlab® (R2008a), *Mathworks*, para a realização da análise tempo-frequência, da VFC, utilizando-se a transformada de Fourier de curta duração (*short-time Fourier Transform* - STFT). Inicialmente, as séries iRR foram interpoladas a 2 Hz, por meio de spline cúbica e efetuou-se a remoção da componente de tendência linear do sinal (*detrend*). A STFT é uma ferramenta que possibilita a análise do conteúdo de energia e sua variação ao longo do sinal (AKAY e IEEE ENGINEERING IN MEDICINE AND BIOLOGY SOCIETY., 1998; MAINARDI, BIANCHI *et al.*, 2002). O mapa tempo-frequência foi composto a partir da decomposição espectral da série temporal de iRR por meio da transformada rápida de Fourier (FFT - fast Fourier transform) (Figura 2). Para sua construção, um segmento de 512 amostras foi multiplicado por uma janela Hanning antes de calcular sua função de densidade espectral (PSD - power spectral density), em seguida, a janela foi deslocada ao longo do sinal, ao passo de 1 ms, permitindo o cálculo de trechos consecutivos. Para a análise espectral da VFC, em cada espectro de potência, foram calculadas as áreas das bandas de Baixa (LF; 0,04-0,15 Hz) e Alta Frequência (HF; 0,15-0,4 Hz). Por conta do tamanho da janela utilizada para o processamento da análise tempo-frequência (512 pontos), foi possível calcular a VFC apenas nos primeiros 50 minutos da recuperação. Para os 10 primeiros minutos da recuperação, utilizamos trechos de 1 minuto para o cálculo dos valores médios de LF e HF em potência absoluta ( $ms^2$ ). Nos minutos restantes, utilizamos trechos de 5 minutos.

## Processamento do Sinal e Análise da Modulação Autonômica Cardíaca Ambulatorial

A partir do registro do sinal eletrocardiográfico de 24 horas, os dados foram enviados para o software *CardioSmart® CS-550 (Cardios)*, para a inspeção visual de todo o sinal e correção de erros. A série temporal de iRR gerada pelo software foi exportada para o programa Matlab® (R2008a), *Mathworks*, para divisão do sinal em 24 trechos de 1 hora e posterior seleção dos 5 minutos de menor variância para cada um desses trechos. Cada trecho de 5 minutos de menor variância foi enviado para o software *Kubios HRV (v. 2.0)*, para análise da FC e VFC. Além da divisão em períodos de 1 hora, também realizamos o cálculo da FC e VFC para os períodos de sono (00:00 – 06:00) e vigília (16:00 – 00:00 e 06:00 – 15:00). A VFC foi calculada no domínio da frequência. Para isto, inicialmente procedeu-se a retirada de tendência do sinal, por meio de uma função *Smooth Prior*. O sinal foi, então, reamostrado em 4 Hz e decomposto, utilizando um algoritmo baseado na Transformada Rápida de Fourier, em suas bandas de baixa (LF; 0,04 – 0,15 Hz) e alta frequência (HF; 0,14 – 0,4 Hz) (TASK-FORCE, 1996).

### Análise Estatística

Para avaliação da distribuição dos dados, utilizou-se o teste de Shapiro-Wilk. Como os índices LF e HF não apresentavam distribuição normal, os mesmos foram transformados em seus logaritmos naturais (Ln LF, Ln HF) para que pudessem ser analisados com estatística paramétrica. Para comparação dos valores de FC e VFC<sub>rec</sub>, entre as sessões MI e AI (fase laboratório) e MI, AI e linha de base (fase ambulatorial), realizamos análise de variância para medidas repetidas, de dois caminhos (sessão x tempo). O nível de significância adotado foi de 5%. Os testes foram realizados pelo software Statistica, v. 8.0.

### 2.3.5 Resultados

#### Amostra

A caracterização da amostra segue detalhada na Tabela 1. O teste de esforço foi considerado máximo se os seguintes critérios fossem atingidos: platô na curva do VO<sub>2</sub> a despeito do aumento da carga; quociente respiratório maior do que 1,1; FC maior do que 85% da FC máxima prevista pela fórmula “FC<sub>max</sub> = 220 – idade”.

Tabela 1 – Caracterização da Amostra

Variáveis	Média ± Desvio Padrão
Idade (anos)	24,3 ± 3,2
Estatura (m)	1,78 ± 0,1
Massa Corporal (Kg)	76,8 ± 8,7
IMC (Kg/m <sup>2</sup> )	23,6 ± 1,7
FC <sub>rep</sub> (bpm)	68 ± 9
VO <sub>2</sub> máx (ml.Kg.min <sup>-1</sup> )	42,6 ± 10,7
Pot <sub>máx</sub>	256,7 ± 34,2
FC <sub>máx</sub> (bpm)	196,9 ± 6,1
Pot <sub>1º Limiar</sub>	85,4 ± 37,6
Pot <sub>2º Limiar</sub>	164,6 ± 36,1

### Sessão de Exercício

Os valores absolutos médios ( $\pm$  desvio padrão) de FC das sessões MI e AI foram 128,7 ( $\pm$  22,3) e 165,4 ( $\pm$  19,9) bpm. Tais valores correspondem, respectivamente, a 67,2 ( $\pm$  10,4) e 84,9 ( $\pm$  9,9) % da FC máxima atingida no teste de esforço. As intensidades médias das duas sessões estão de acordo com as recomendações da ACSM para a manutenção e o desenvolvimento da aptidão cardiorrespiratória em adultos saudáveis. Os valores médios de PE ( $\pm$  desvio padrão) das sessões MI e AI foram, respectivamente 3 ( $\pm$  2) e 7 ( $\pm$  1). Tais valores correspondem aos descritores “moderado” e “muito pesado” da escala 0-10 de Borg. Tanto para a FC (valores absolutos e relativos), quanto para a PE, observou-se diferença estatisticamente significativa entre as sessões ( $p < 0,05$ ). As respostas de FC e PE dão suporte à denominação das sessões, tal como realizada no presente estudo (moderada intensidade e alta intensidade).

Influência da Intensidade do Exercício Físico na Modulação Autonômica Cardíaca Pós-Exercício, na condição de Laboratório

A Figura 2 apresenta os valores de  $FC_{rep}$  e da  $FC_{rec}$  no 1º minuto (A), da  $FC_{rec}$  do 2º ao 10º minuto (B) e da  $FC_{rec}$  do 10º ao 60º minuto (C), da recuperação. Observaram-se maiores valores de  $FC_{rec}$  nos 6 primeiros minutos da recuperação após a sessão AI em comparação com a sessão MI. Após este período, os valores se igualaram e permaneceram desta forma durante todos os 60 minutos.

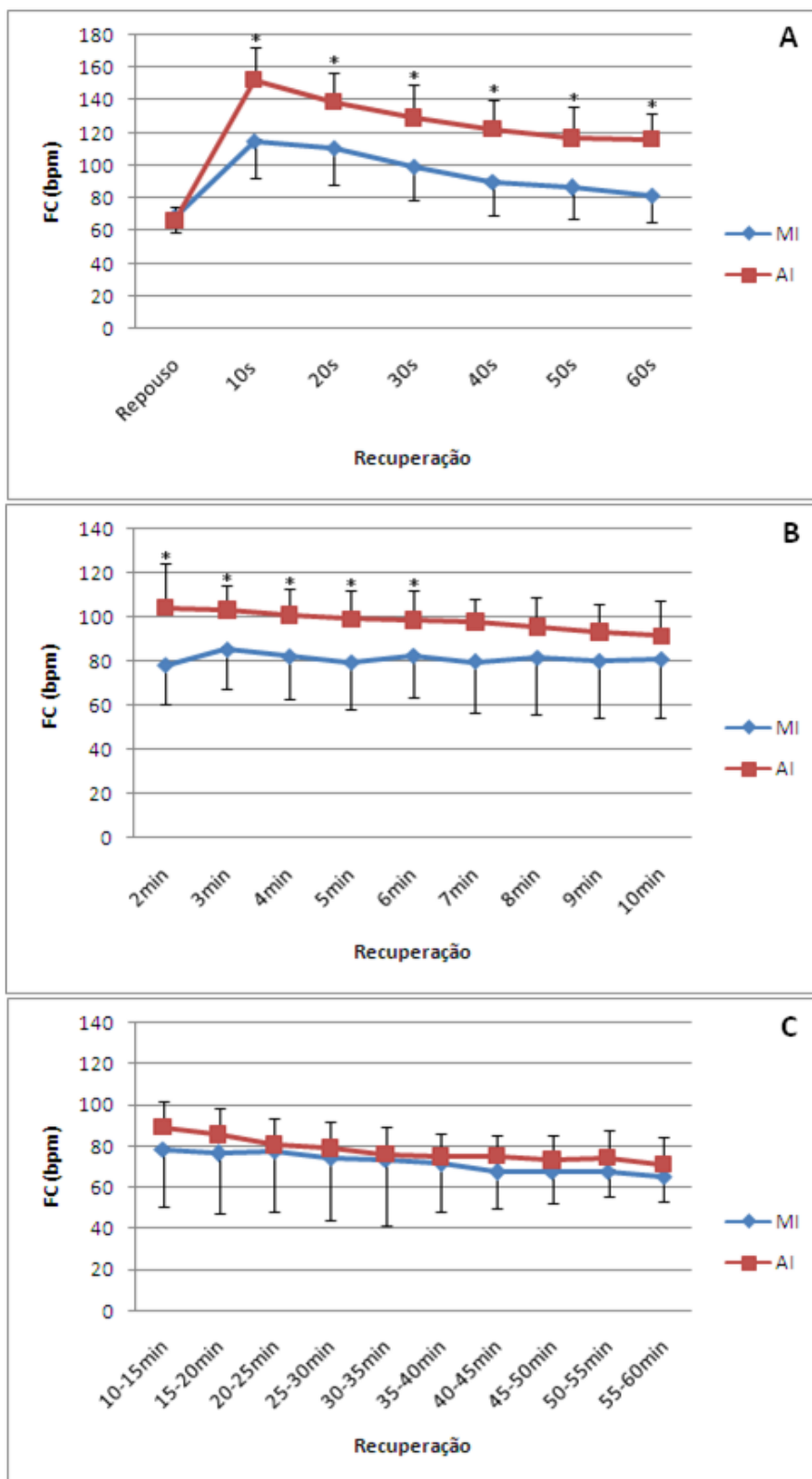


Figura 2 – Valores de frequência cardíaca de repouso e durante o primeiro minuto da recuperação (A), do 2º ao 10º minuto da recuperação (B) e do 10º ao 50º minuto da

recuperação (C), após os exercícios de moderada (MI) e alta intensidade (AI). (\*) Diferença estatisticamente significativa entre as condições MI e AI.

A Figura 3 apresenta o mapa tempo-frequência da VFC durante 50 minutos de recuperação da fase de laboratório, após as sessões MI e AI em um indivíduo representativo da amostra. A análise visual claramente demonstra maior energia espectral após a sessão MI em comparação a sessão AI.

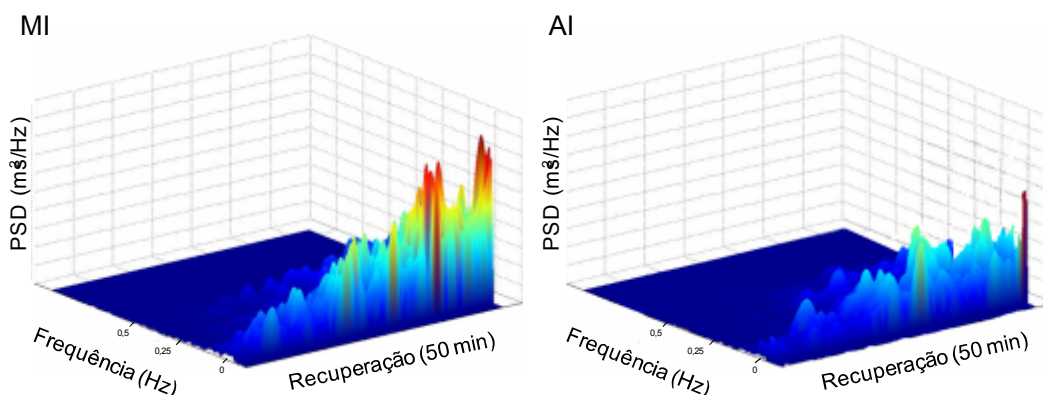


Figura 3 – Mapa tempo-frequência, gerado no período de 50 minutos de recuperação, após os exercícios de moderada intensidade (MI; lado esquerdo) e alta intensidade (AI; lado direito) em um indivíduo representativo.

A Figura 4 apresenta os valores médios de HF (A) e LF (B) no repouso e nos 10 primeiros minutos da recuperação pós-exercício, na fase de laboratório. Os valores de HF e LF de repouso foram iguais nas duas condições. Entretanto, após o exercício, os valores destes dois índices se mostraram significativamente menores após a sessão AI em comparação à sessão MI (exceto o índice LF, no décimo minuto de recuperação).

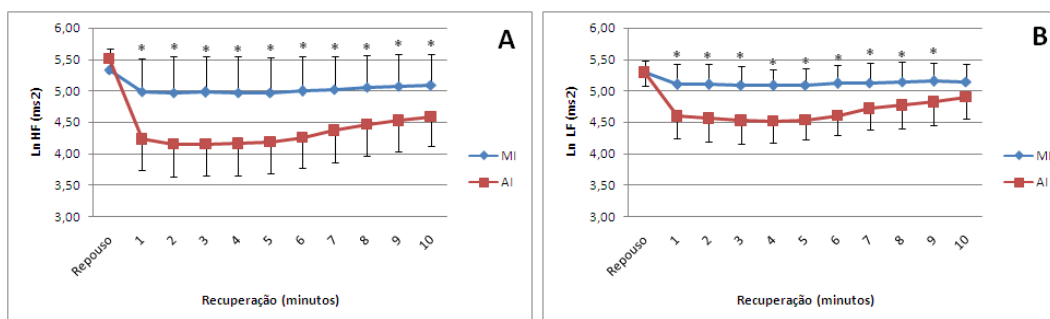


Figura 4 – Valores de HF (A) e LF (B) no repouso e nos 10 primeiros minutos de recuperação, na fase de laboratório. (\*) Diferença estatisticamente significativa entre as condições MI e AI.

A Figura 5 apresenta os valores de HF (A) e LF (B) do 10º ao 50º minuto de recuperação pós-exercício, na fase de laboratório. Os valores de HF se mostraram significativamente menores após a sessão AI em comparação a sessão MI nos intervalos “10-15, 15-20, 20-25, 25-30, 40-45 e 45-50” pós-exercício e os valores de LF se mostraram significativamente menores após a sessão AI em comparação a sessão MI nos intervalos “10-15, 15-20, 20-25, 25-30, 35-40, 40-45 e 45-50” pós-exercício.

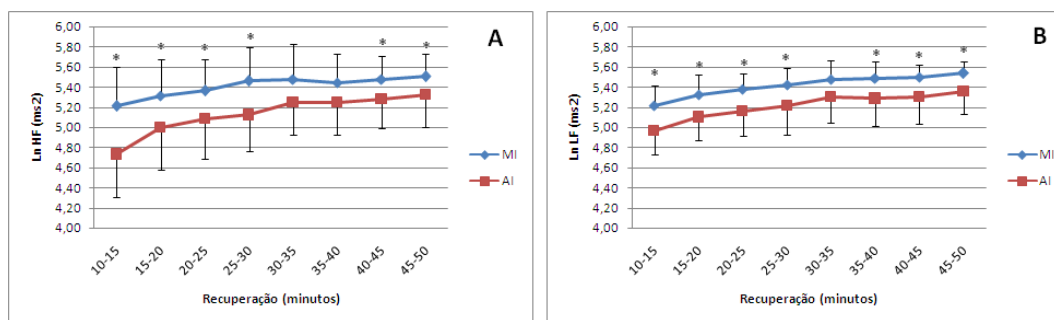


Figura 5 – Valores de HF (A) e LF (B) no repouso e do 10º ao 50º minuto de recuperação, na fase de laboratório. (\*) Diferença estatisticamente significativa entre as condições MI e AI.

### Influência da Intensidade do Exercício Físico na Modulação Autônoma Cardíaca Ambulatorial

As Figuras 6, 7 e 8 apresentam os valores de FC, HF e LF na fase ambulatorial pós-exercício. Observaram-se menores valores de HF após a sessão AI em comparação à sessão MI e à Linha de Base, nos seguintes horários: 1h, 2h, 3h e 5h. Não houve diferença estatisticamente significativa entre as sessões estudadas para o índice LF e para a FC.



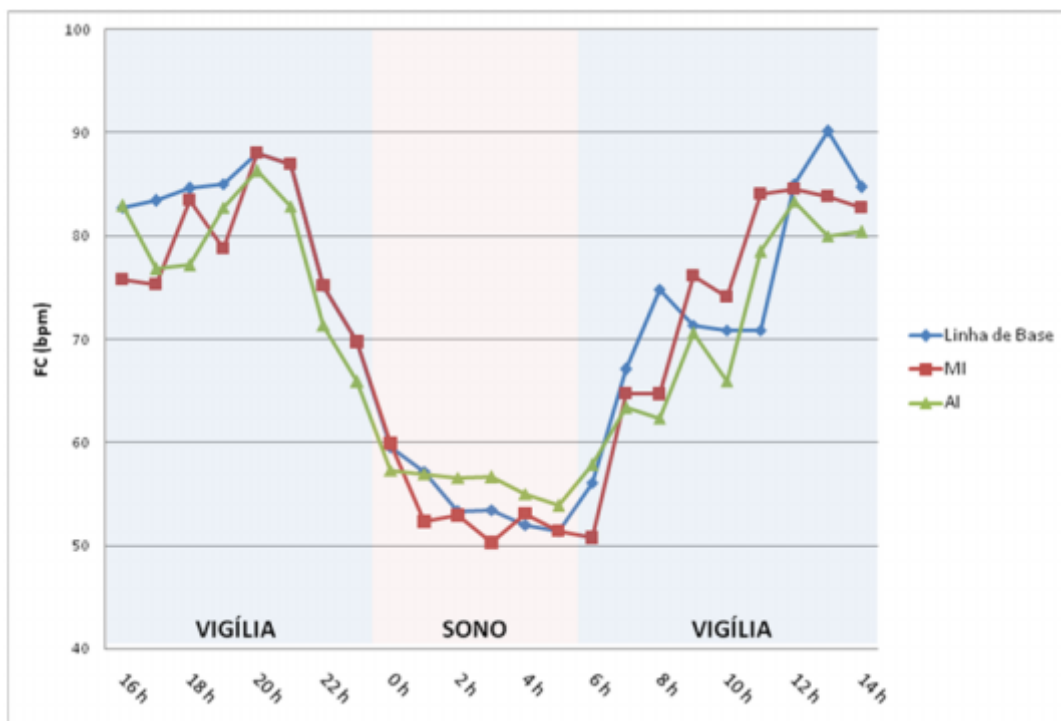


Figura 6 – Comportamento da FC na fase ambulatorial após os exercícios MI e AI em relação à linha de base. As barras de erro foram retiradas para permitir uma melhor visualização.

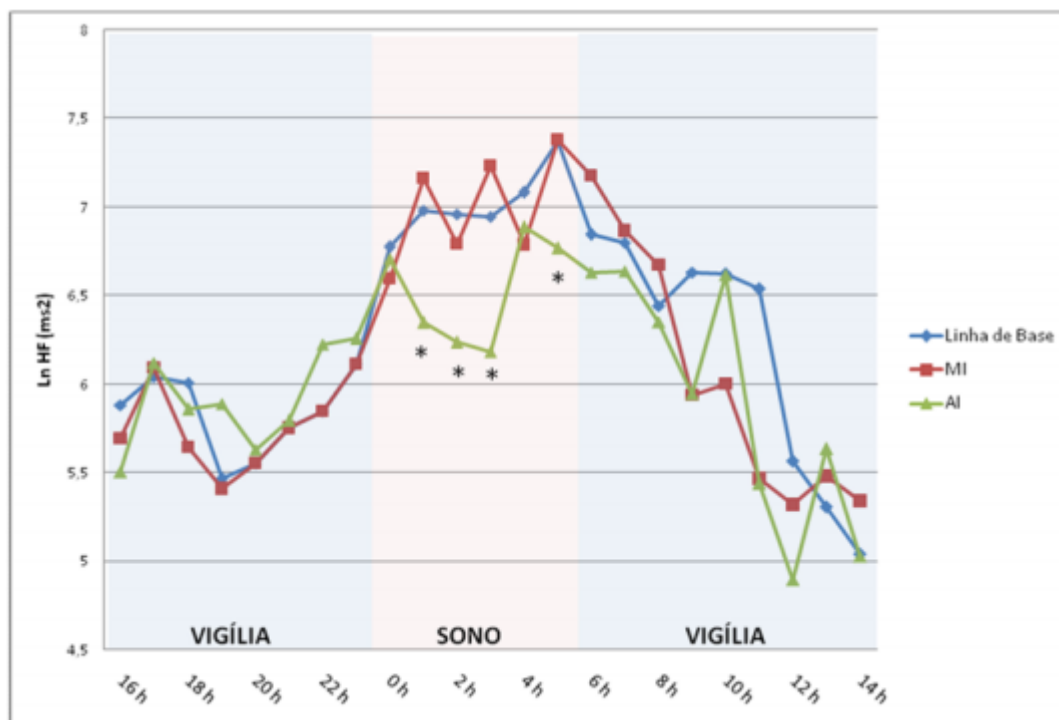


Figura 7 - Comportamento da banda HF na fase ambulatorial após os exercícios MI e AI em relação à linha de base. As barras de erro foram retiradas para permitir uma melhor visualização. (\*) Diferença estatisticamente significativa entre as condições MI e AI.

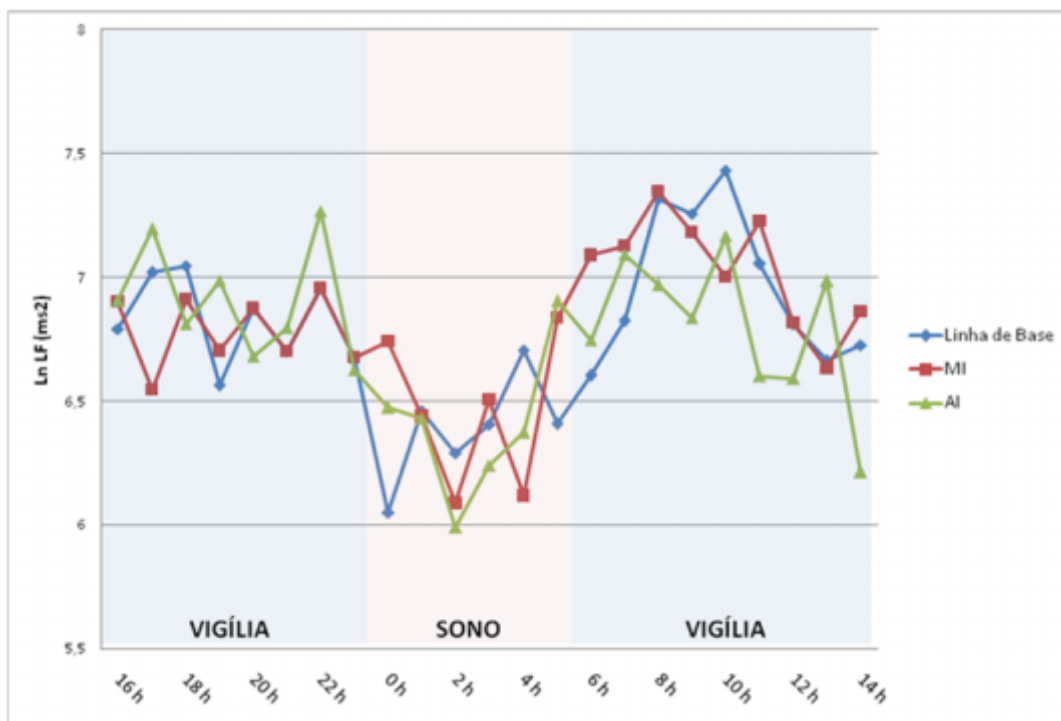


Figura 8 - Comportamento da banda LF na fase ambulatorial após os exercícios MI e AI em relação à linha de base. As barras de erro foram retiradas para permitir uma melhor visualização.

A Tabela 2 apresenta os valores de FC, LF e HF, agrupados em períodos de “vigília” e “sono”. Observaram-se maiores valores de FC e menores valores dos índices LF e HF no período de vigília em comparação ao período de sono em todas as sessões estudadas. Na comparação dos valores de FC e VFC entre as sessões, verificaram-se menores valores de HF no período do sono, após a sessão AI, em comparação a sessão MI e à Linha de Base. Não houve diferenças estatisticamente significativas deste índice no período de vigília, entre as sessões estudadas. Também não houve diferenças estatisticamente significativas nos valores de FC e LF, nos períodos do sono e vigília, entre as sessões estudadas.

Tabela 2 – FC e VFC nas condições “vigília” e “sono”, na Linha de Base e após os exercícios MI e AI

	Linha de Base		MI		AI		P (Intensidade) (LB, MI, AI)	P (Período) (Vigília/Sono)
	Vigília	Sono	Vigília	Sono	Vigília	Sono		
FC (bpm)	78,1 ± 4,9 <sup>†</sup>	54,5 ± 5,8	76,4 ± 7,2 <sup>†</sup>	53,5 ± 5,5	74,9 ± 6,6 <sup>†</sup>	56,0 ± 6,6	0,69	<b>0,00</b>
Ln LF (ms <sup>2</sup> )	6,9 ± 0,3 <sup>†</sup>	6,4 ± 0,2	6,9 ± 0,3 <sup>†</sup>	6,4 ± 0,3	6,8 ± 0,3 <sup>†</sup>	6,4 ± 0,3	0,88	<b>0,02</b>
Ln HF (ms <sup>2</sup> )	6,0 ± 0,5 <sup>†</sup>	7,0 ± 0,2	5,9 ± 0,5 <sup>†</sup>	7,0 ± 0,3	5,9 ± 0,5 <sup>†</sup>	6,5 ± 0,3 <sup>†*</sup>	<b>0,03</b>	<b>0,03</b>

(†) Diferença significativa em comparação a condição “sono”.

(‡) Diferença significativa em comparação a Linha de Base na condição “sono”

(\*) Diferença significativa em comparação à MI na condição “sono”.

Legenda: LB = linha de base; MI = sessão de intensidade moderada; AI = sessão de intensidade alta.

### 2.3.6 Discussão

O presente estudo avaliou a influência da intensidade do exercício na modulação autonômica cardíaca 24 horas pós-exercício. Dividimos o período de 24 horas em duas fases: fase de laboratório (1ª hora pós-exercício) e fase ambulatorial (23 horas restantes). Os resultados indicam influência da intensidade do exercício sobre a modulação autonômica cardíaca na primeira hora pós-exercício e no período do sono. Não foi observada diferenças nos valores de FC e VFC no período de vigília, entre as sessões.

A escolha da intensidade das duas sessões de exercício do presente estudo se deu baseada na utilização dos limiares ventilatórios como marcadores de transição entre os domínios do exercício. Nesse sentido, deve-se destacar que o método adotado para controle da intensidade do exercício foi adequado, já que as sessões MI e AI apresentaram valores percentuais médios de FC estatisticamente diferentes (67,2 ± 10,4 versus 84,9 ± 9,9 %; p<0,05), porém ambos dentro de uma faixa de intensidade de exercício recomendada pelo ACSM para desenvolvimento e manutenção da aptidão aeróbia em indivíduos saudáveis (GARBER, BLISSMER *et al.*, 2011).

Influência da Intensidade do Exercício Físico na Modulação Autonômica Cardíaca Pós-Exercício, na condição de Laboratório

A recuperação da FC depende da normalização de diversos fatores que estão alterados por conta do exercício (COOTE, 2010). O primeiro minuto de recuperação pós-exercício é o período em que há a maior queda dos valores absolutos de FC. Isto ocorre porque, imediatamente após o término do exercício, há a cessação dos inputs oriundos do comando central e dos mecanorreceptores, promovendo reativação significativa do tônus vagal cardíaco (BULL, DAVIES *et al.*, 1989; IMAI, SATO *et al.*, 1994; CARTER, WATENPAUGH *et al.*, 1999). Por conta disso, faz-se necessário o cálculo da FC em janelas menores, para que o comportamento fisiológico desta variável seja mantido. O cálculo da FC em janelas de 10 segundos tem sido utilizado por alguns estudos para avaliação da reativação vagal pós-exercício (OSTOJIC e CALLEJA-GONZALEZ, 2010; OSTOJIC, MARKOVIC *et al.*, 2010; OSTOJIC, STOJANOVIC *et al.*, 2011). No presente estudo, a FC mostrou-se elevada após a sessão AI, em comparação a sessão MI em todas as janelas do primeiro minuto da recuperação, indicando influência significativa da intensidade do exercício na reativação vagal pós-exercício.

Após o primeiro minuto da recuperação, a remoção dos metabólitos produzidos pelo exercício físico, a normalização do pH sanguíneo e a diminuição da temperatura corporal promovem a continuação da reativação vagal e o início da retirada simpática pós-exercício, modulando o retorno gradual da FC aos seus valores basais (BUCHHEIT, LAURSEN *et al.*, 2007; GUJIC, LAUDE *et al.*, 2007; COOTE, 2010; GONZALEZ-ALONSO, 2012). Os resultados do presente estudo revelam maiores valores de FC neste período, após a sessão AI em comparação a sessão MI, indicando que a intensidade do exercício continua a exercer influência sobre o comportamento desta variável durante algum tempo após o término do exercício. No caso do presente estudo, no entanto, as diferenças foram mantidas apenas até o sexto minuto da recuperação. É possível que este seja o tempo necessário para que os mecanismos citados acima sejam restabelecidos e a FC atinja valores próximos aos basais.

Para a análise da  $VFC_{rec}$  pós-exercício, utilizamos a análise tempo-frequência, pelo método STFT, para a decomposição da série temporal de iRR em seus componentes espectrais HF e LF. Observamos, no presente estudo, menores valores desses dois índices, durante praticamente todos os 50 minutos analisados, após a sessão AI em comparação a sessão MI. A utilização da análise tempo-frequência para avaliação da modulação autonômica cardíaca pós-exercício é

relativamente recente e, por isso, apenas poucos estudos a utilizaram para esta função (KAIKKONEN, NUMMELA *et al.*, 2007; MARTINMAKI e RUSKO, 2008; KAIKKONEN, HYNYNEN *et al.*, 2010). Encontramos dois estudos que, tais como o presente estudo, também avaliaram a influência da intensidade do exercício sobre a modulação autonômica cardíaca pós-exercício utilizando a análise tempo-frequência e ambos encontraram resultados similares aos do presente estudo (KAIKKONEN, NUMMELA *et al.*, 2007; MARTINMAKI e RUSKO, 2008), evidenciando o papel chave que a intensidade do exercício possui sobre o comportamento das variáveis autonômicas pós-exercício.

O componente HF reflete as variações de alta frequência da FC, moduladas pela frequência respiratória, sendo considerado um índice que mede, exclusivamente, a modulação vagal cardíaca (ECKBERG, 1983; TASK-FORCE, 1996; HAYANO e YASUMA, 2003; YASUMA e HAYANO, 2004). No presente estudo, observamos menores valores deste índice durante praticamente todo o período de laboratório, após a sessão AI, em comparação à sessão MI. Tais resultados indicam menor modulação vagal cardíaca na recuperação após o exercício intenso, em comparação ao exercício de intensidade moderada. O componente LF, por sua vez, possui um entendimento fisiológico mais complicado. Apesar de ser historicamente associado à modulação da atividade simpática (AKSELROD, GORDON *et al.*, 1981; MALLIANI, PAGANI *et al.*, 1991; PAGANI, MAZZUERO *et al.*, 1991; MONTANO, RUSCONE *et al.*, 1994; IELLAMO, LEGRAMANTE *et al.*, 2002; CASONATTO, TINUCCI *et al.*, 2011), diversos estudos tem demonstrado ausência de correlação entre o índice LF e alguns métodos diretos de avaliação da atividade simpática, tais como o spillover de noradrenalina (KINGWELL, THOMPSON *et al.*, 1994; MOAK, GOLDSTEIN *et al.*, 2007), a atividade nervosa simpática muscular (KINGWELL, THOMPSON *et al.*, 1994; MCGOWAN, SWISTON *et al.*, 2009) e a concentração plasmática de noradrenalina (SAUL, REA *et al.*, 1990). Outros estudos também já demonstraram diminuição do índice LF em situações nas quais, sabidamente a ativação simpática está aumentada, tais como após estimulação adrenérgica por drogas (AHMED, KADISH *et al.*, 1994; MOAK, GOLDSTEIN *et al.*, 2007) ou durante o exercício físico (KAMATH, FALLEN *et al.*, 1991; WARREN, JAFFE *et al.*, 1997). Os menores valores de LF observados no presente estudo durante o período de recuperação após a sessão AI, em comparação a sessão MI, também desencorajam a associação da

banda LF com a modulação simpática, já que comprovadamente sessões mais intensas promovem uma maior ativação simpática, que persiste durante algum tempo durante a recuperação. Estudos recentes defendem que o índice LF, mesmo em unidades normalizadas, relaciona-se, predominantemente, a função barorreflexa (GOLDSTEIN, BENTHO *et al.*, 2011; RAHMAN, PECHNIK *et al.*, 2011). Baseados nesta possibilidade poderíamos sugerir que os valores reduzidos do índice LF após a sessão AI, em comparação à sessão MI, encontrados no presente estudo, indicam uma maior alteração na função barorreflexa naquela sessão; corroborando os achados de Niemela, Kiviniemi *et al.*, (2008) e Goulopoulou, Fernhall *et al.*, (2009). Entretanto, os métodos utilizados no presente estudo permitem que apenas especulações possam ser feitas nesse sentido.

#### Influência da Intensidade do Exercício Físico na Modulação Autonômica Cardíaca Ambulatorial

O presente estudo também avaliou a influência da intensidade do exercício sobre o comportamento ambulatorial da FC e VFC. O processamento do sinal eletrocardiográfico ambulatorial proposto pelo presente estudo considerou apenas o trecho de 5 minutos de menor variância para cada hora registrada, para análise da FC e VFC. Entendemos que esta constitui a abordagem mais correta; tanto do ponto de vista matemático, já que se sabe que a análise tradicional da VFC requer a condição de estacionaridade da série temporal (TASK-FORCE, 1996); quanto do ponto de vista fisiológico, na medida em que este procedimento não eliminou o comportamento padrão da VFC de 24 horas (manteve as diferenças da FC e dos índices LF e HF entre os períodos de vigília e sono; Tabela 2). Apesar disso, encontramos apenas um estudo que também utilizou esta abordagem (CATAI, CHACON-MIKAHIL *et al.*, 2002). Os estudos sobre o registro eletrocardiográfico ambulatorial, em geral, não possuem métodos padronizados para a análise das variáveis autonômicas (GOLDSMITH, BIGGER *et al.*, 1992; PANINA, KHOT *et al.*, 1995; BOUDREAU, DUMONT *et al.*, 2011), o que dificulta a comparação adequada dos achados.

Observaram-se menores valores de HF no período do sono, após a sessão AI em comparação às sessões MI e à Linha de Base. Não houve diferenças entre as sessões, no comportamento deste índice no período de vigília e também não houve

diferenças no comportamento da FC e no índice LF em nenhum dos períodos analisados. Tais resultados indicam que apenas a modulação vagal permanece deprimida no período ambulatorial pós-exercício e que apenas no período do sono foi possível observar tal resposta. A estabilização dos parâmetros cardiorrespiratórios produzida pela posição supina imóvel e o alto padrão de atividade parassimpática, típicos do sono, criam um ambiente adequado à avaliação da modulação autonômica cardíaca.

Outros estudos também avaliaram o comportamento autonômico pós-exercício no período do sono (HYNYNEN, UUSITALO *et al.*, 2006; AL HADDAD, LAURSEN *et al.*, 2009; HYNYNEN, VESTERINEN *et al.*, 2010; NUMMELA, HYNYNEN *et al.*, 2010; HYNYNEN, KONTTINEN *et al.*, 2011). Em uma abordagem similar à do presente estudo, porém com indivíduos fisicamente ativos, Hynynen, Vesterinen *et al.*, (2010) observaram o comportamento da VFC no período do sono após um exercício moderado (72% da FC<sub>máx</sub>, ≈ 50 minutos) e um exercício intenso (maratona; 85% da FC<sub>máx</sub>, ≈ 215 minutos). Assim como no presente estudo, tais autores observaram diminuição dos valores de VFC na noite de sono após a sessão de exercício intenso, sugerindo que este tipo de exercício promove um distúrbio autonômico que se prolonga por algumas horas pós-exercício. Entretanto, Hynynen, Vesterinen *et al.*, (2010) também observaram impacto do exercício moderado sobre a VFC na noite de sono, fenômeno não observado no nosso estudo. É possível que a diferença existente na intensidade da nossa sessão de exercício moderado (67% da FC<sub>máx</sub>) em comparação à sessão moderada do estudo de Hynynen, Vesterinen *et al.*, (2010) (72% da FC<sub>máx</sub>), mesmo que pequena, ajude a explicar as diferenças encontradas. É sabido que o 1º limiar ventilatório caracteriza-se por ser um limiar de perturbação do sistema nervoso autônomo (SEILER, HAUGEN *et al.*, 2007). Portanto, qualquer exercício que exceda, mesmo que discretamente, esta intensidade, irá provocar um distúrbio significativo sobre as variáveis do controle autonômico. No presente estudo, a sessão moderada coincidiu exatamente com o 1º limiar ventilatório. Apesar de não ter informado isto de maneira detalhada, estima-se que o estudo de Hynynen, Vesterinen *et al.*, (2010) tenha superado este limiar de perturbação autonômica, provocando maiores alterações na FC e VFC.

Fatores hormonais também podem estar por trás das respostas observadas, já que tem sido observada diminuição na concentração de testosterona e elevação nas concentrações de cortisol no período do sono, após uma sessão de exercício de

longa duração e moderada intensidade e nenhuma modificação nestes hormônios após uma sessão de exercício de longa duração e reduzida intensidade (KERN, PERRAS *et al.*, 1995). Dada a relação entre a modulação vagal cardíaca e a concentração destes hormônios (MCCRATY, BARRIOS-CHOPLIN *et al.*, 1998; THEORELL, LILJEHOLM-JOHANSSON *et al.*, 2007), é possível que as respostas autonômicas encontradas no presente estudo sejam decorrentes deste padrão hormonal alterado pelo exercício físico intenso. Os métodos do presente estudo, no entanto, não nos permitem avançar nesse entendimento. É necessária a realização de outros estudos, correlacionando as respostas autonômicas noturnas com o padrão de liberação hormonal deste período.

#### Implicações teórico-práticas

A prática regular de exercícios físicos é uma estratégia eficiente para o aprimoramento da aptidão cardiorrespiratória e prevenção de doenças cardiovasculares em indivíduos saudáveis (PAFFENBARGER, 1988). Evidências indicam haver uma relação dose-resposta entre a intensidade do exercício físico e os benefícios cardiovasculares obtidos (SWAIN, 2005; SWAIN e FRANKLIN, 2006). Tais achados estimulam a prescrição de atividades físicas de intensidade elevada para promoção da saúde e obtenção de ganhos fisiológicos ótimos. Por outro lado, sabe-se que o exercício físico intenso produz uma sobrecarga significativa sobre o sistema cardiovascular, aumentando os riscos de acometimentos cardiovasculares durante e logo após a prática do mesmo, principalmente em indivíduos sedentários (ALBERT, MITTLEMAN *et al.*, 2000). Esta aparente contradição vem merecendo atenção especial da literatura e foi denominada “Paradoxo do Exercício” (*The Paradox of Exercise*) no editorial do periódico New England Journal of Medicine (MARON, 2000). Segundo as idéias apresentadas, a determinação da intensidade ideal do exercício físico deve considerar a sua relação custo-efetividade; ou seja, o exercício físico, deve ser suficientemente intenso para provocar adaptações significativas no sistema cardiovascular, porém não deve exceder limites de segurança. A maior limitação no estabelecimento desta intensidade ótima se dá na escassez de ferramentas para avaliação do estresse produzido pelo exercício físico sobre variáveis cardiovasculares. A análise da  $VFC_{rec}$  - imediatamente após o exercício, em condições de laboratório; e nas horas subseqüentes, em condições



ambulatoriais - tal como realizada no presente estudo foi capaz de identificar o impacto agudo e sub-agudo do exercício físico realizado em duas intensidades distintas, sobre a modulação autonômica cardíaca. Os valores reduzidos de VFC observados imediatamente após o exercício intenso e no período do sono indicam uma alteração significativa da homeostase cardiovascular que deve ser melhor investigada.

### Limitações

A análise tempo-frequência da VFC, pelo método STFT permite a avaliação seletiva do comportamento dos componentes oscilatórios principais da VFC (bandas de baixa e alta frequência) durante períodos de modificação abrupta na FC (condição não-estacionária), sendo, teoricamente uma forma apropriada para a avaliação da modulação autonômica cardíaca no período de recuperação pós-exercício. Esta análise, no entanto, é relativamente recente e ainda não há um estudo, que valide a mesma, com a utilização de bloqueio farmacológico nesta condição. Apesar disso, estudo de Martinmaki, Rusko et al., (2006) analisou o comportamento tempo-frequência da VFC com e sem bloqueio farmacológico, após o estresse ortostático, e demonstrou que a análise tempo-frequência, pelo método STFT, é capaz de quantificar as modificações agudas que ocorrem na modulação autonômica cardíaca em situações dinâmicas. Sendo assim, a análise utilizada pelo presente estudo é coerente e os achados decorrentes da mesma são confiáveis.

### 2.3.7 Conclusão

A intensidade do exercício físico influencia a modulação autonômica cardíaca pós-exercício. Os valores de  $FC_{rec}$  e  $VFC_{rec}$  mostraram-se reduzidos durante todo o período de recuperação no laboratório, após a sessão AI em comparação a sessão MI. Em relação ao comportamento ambulatorial da FC e VFC, observou-se influência da intensidade do exercício apenas sobre a modulação vagal cardíaca no período do sono. A avaliação da VFC noturna parece constituir uma condição ideal para avaliação do impacto sub-agudo do exercício físico sobre a modulação autonômica cardíaca.

### 3 CONCLUSÃO - CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo da recuperação autonômica cardíaca vem merecendo atenção especial da literatura há algum tempo. Dada a relativa facilidade de avaliação de algumas variáveis que refletem o controle autonômico cardíaco e a comprovada relação destas variáveis com a saúde cardiovascular e com variáveis do treinamento físico, diversos estudos foram realizados no intuito de tentar elencar os fatores que influenciam o comportamento autonômico cardíaco após o término do exercício. A maioria destes estudos, no entanto, tem avaliado apenas os primeiros minutos da recuperação autonômica pós-exercício. Neste sentido, o presente estudo pôde avançar com o entendimento da recuperação autonômica cardíaca, à medida que verificou a influência do treinamento físico e da intensidade do exercício no comportamento das variáveis autonômicas não apenas nos primeiros minutos pós-exercício, mas também nas 24 horas subseqüentes.

Nos dois primeiros artigos desta dissertação, propusemos a identificação da RVP a partir de dois métodos, um no domínio do tempo e outro no domínio da frequência. Os métodos propostos mostraram-se confiáveis, de fácil aplicação e sensíveis ao nível de treinamento físico (artigo 1) e à intensidade do exercício (artigo 2). Não se sabe se tais métodos são reprodutíveis e se a RVP é sensível a condições patológicas e à carga de treinamento. Estudos que respondam a estas questões são necessários para a utilização da RVP em um contexto clínico e/ou desportivo.

No terceiro artigo desta dissertação, avaliamos a influência da intensidade do exercício sobre a modulação autonômica cardíaca pós-exercício nas 24 horas pós-exercício. Dividimos nossa avaliação em duas fases: uma no laboratório, em condição controlada, com duração de 1 hora; e outra ambulatorial, durante as 23 horas restantes. Nesse sentido, observamos um desequilíbrio autonômico nos primeiros minutos e no período do sono após uma sessão de exercício alta intensidade. Esta alteração da homeostase cardiovascular provocada pelo exercício de alta intensidade precisa ser melhor investigada.

Entendemos que o estudo da recuperação autonômica cardíaca nos próximos anos deverá relacionar as variáveis autonômicas com variáveis metabólicas, hormonais e com a regulação da temperatura corporal. É necessário também o entendimento do comportamento dos mecanismos de controle reflexo cardiovascular

no período da recuperação pós-exercício. A elucidação da relação entre estes fatores permitirá um entendimento mais amplo do impacto do exercício físico sobre o sistema cardiovascular.

## 4 ELEMENTOS PÓS-TEXTUAIS

### 4.1 ANEXOS

#### ANEXO 1 – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

LABORATÓRIO DE AVALIAÇÃO MOTORA – LAM/UFJF  
PESQUISADOR RESPONSÁVEL: ELIZA PRODEL COELHO  
ENDEREÇO: R. ROBERTO STIEGUERT 40 - SÃO PEDRO  
CEP: 36037 - 380 JUIZ DE FORA – MG  
FONE: (32) 3231-5646/8875-7754  
E-MAIL: EPRODEL@GMAIL.COM

##### **TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO**

O Sr. (a) está sendo convidado (a) como voluntário (a) a participar da pesquisa: *Efeito agudo do exercício físico na Variabilidade da Frequência Cardíaca durante o ciclo circadiano.. Neste estudo pretendemos avaliar a atividade cardíaca em repouso, durante esforço máximo e submáximo, e na recuperação; em diferentes horários do dia em voluntários sedentários saudáveis. Esse estudo irá auxiliar na compreensão do controle cardíaco ao longo do dia no repouso, no esforço e durante a recuperação. Contribuindo para a utilização na prática clínica dos profissionais de saúde de uma forma segura e efetiva.*

*Para este estudo adotaremos os seguintes procedimentos: No primeiro momento o sr(a). passará por uma avaliação física com medidas de peso e estatura, responderá os questionários: PAR-Q e identificação de indivíduos vespertinos ou matutinos. Estes procedimentos têm um risco mínimo. Depois de selecionado o sr(a). terá o coração monitorado durante 24 horas pelo o holter, logo após, o sr(a). **realizará teste máximo em cicloergômetro** quando a frequência cardíaca será registrada no repouso deitado; durante esforço máximo no cicloergômetro; e durante a recuperação sentado no cicloergômetro. **Em um outro momento, o sr(a). realizará quatro seções de exercício físico submáximo em dias e horários diferentes, em duas intensidades durante os quais o sr(a). também será monitorado pelo holter, contudo, durante 48 horas.** Todos os dados serão obtidos de forma não-invasiva e segura. O teste máximo atinge níveis de exaustão física com o objetivo de mensurar a capacidade física máxima. Nesse procedimento, o sr(a). pode sentir desconforto físico, como sensação de cansaço e ocorrência de desconfortos gerados tardiamente em consequência ao teste, tais como dolorimento muscular tardio e o teste têm um risco maior que o mínimo.*

*Para participar deste estudo o sr(a). não terá nenhum custo, nem receberá qualquer vantagem financeira e qualquer problema que envolva a metodologia da pesquisa será*

ressarcido por quem de direito. Você será esclarecido (a) sobre o estudo em qualquer aspecto que desejar e estará livre para participar ou recusar-se a participar. Poderá retirar seu consentimento ou interromper a participação a qualquer momento. A sua participação é voluntária e a recusa em participar não acarretará qualquer penalidade ou modificação na forma em que é atendido pelo pesquisador.

O pesquisador irá tratar a sua identidade com padrões profissionais de sigilo.

Os resultados da pesquisa estarão à sua disposição quando finalizada. Seu nome ou o material que indique sua participação não será liberado sem a sua permissão.

O (A) Sr (a) não será identificado em nenhuma publicação que possa resultar deste estudo. Este termo de consentimento encontra-se impresso em duas vias, sendo que uma cópia será arquivada pelo pesquisador responsável, no Centro Faculdade de Educação Física e Desportos/UFJF e a outra será fornecida ao sr(a).

Eu, \_\_\_\_\_, portador do documento de Identidade \_\_\_\_\_ fui informado (a) dos objetivos do estudo Variabilidade da Frequência Cardíaca no Ciclo Circadiano, de maneira clara e detalhada e esclareci minhas dúvidas. Sei que a qualquer momento poderei solicitar novas informações e modificar minha decisão de participar se assim o desejar.

Declaro que concordo em participar desse estudo. Recebi uma cópia deste termo de consentimento livre e esclarecido e me foi dada à oportunidade de ler e esclarecer as minhas dúvidas.

Juiz de Fora, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2009.

---

<i>Nome</i>	<i>Assinatura participante</i>	<i>Data</i>
-------------	--------------------------------	-------------

---

<i>Nome</i>	<i>Assinatura pesquisador</i>	<i>Data</i>
-------------	-------------------------------	-------------

---

<i>Nome</i>	<i>Assinatura testemunha</i>	<i>Data</i>
-------------	------------------------------	-------------

*Em caso de dúvidas com respeito aos aspectos éticos deste estudo, você poderá consultar*

*o*

*CEP – COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA/UFJF*

*CAMPUS UNIVERSITÁRIO DA UFJF*

*PRÓ-REITORIA DE PESQUISA*

*CEP 36036.900*

*FONE: 32 3229 3788*

## ANEXO 2 – APROVAÇÃO DO COMITÊ DE ÉTICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA



UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA  
PRO-REITORIA DE PESQUISA  
COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA - CEP/UFJF  
36036900- JUIZ DE FORA - MG - BRASIL

### Parecer nº 235/2009

**Protocolo CEP-UFJF:** 1831.175.2009 **FR:** 284771 **CAAE:** 0140.0.180.000-09

**Projeto de Pesquisa:** Efeito agudo do exercício físico na Variabilidade da Frequência Cardíaca durante o ciclo circadiano. **Versão do Protocolo:** 1ª versão

**Area Temática:** Grupo III

**Pesquisador Responsável:** Jorge Roberto Perroux de Lima

**TCLE:** 1ª versão

**Instituição:** FAEFID-UFJF

#### Sumário/comentários do protocolo:

**Justificativa:** Os argumentos apresentados na introdução estão devidamente embasados e justificam adequadamente a realização do presente estudo.

**Objetivo(s):** Analisar possível influência do exercício físico na VFC ao longo do dia; Apurar possível interferência do ciclo circadiano no limiar da VFC durante exercício físico máximo; Verificar interferências circadianas na recuperação pós-exercício físico. [sic]

**Comentário:** Os objetivos são coerentes com a justificativa.

**Metodologia:** Estudo observacional transversal, com aplicação de duas intervenções (teste de esforço e sessão de exercício sub-máximo).

**Comentário:** A metodologia é adequada para responder a pergunta do estudo, e oferece risco maior que o mínimo (devidamente explicado no TCLE) aos sujeitos da pesquisa.

**Revisão e referências:** Devidamente citadas no texto, atualizadas e adequadas.

**Orçamento:** Devidamente apresentado.

*Fonte de custeio:* Pesquisador.

**Cronograma:** Adequado.

*Data do término:* mês = 11 / ano = 2010.

**Qualificação do pesquisador:** Adequada.

**Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE):** Dentro dos padrões exigidos pela Res. CNS 196/96.

Diante do exposto, o Comitê de Ética em Pesquisa – CEP/UFJF, de acordo com as atribuições definidas na Res. CNS 196/96, manifesta-se pela aprovação do protocolo de pesquisa proposto.

**Situação:** Projeto **APROVADO**.

Juiz de Fora, 28 de setembro de 2009.

  
Prof. Dr. Alfredo Chaoubah

Coordenador em Exercício – CEP/UFJF

RECEBI

DATA: 08/10/2009

ASS: \_\_\_\_\_

## ANEXO 3 - QUESTIONÁRIO DE BAECKE

### QUESTIONÁRIO DE ATIVIDADE FÍSICA HABITUAL

Por favor, circule a resposta apropriada para cada questão:

Nos últimos 12 meses:

- |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|
| 1) Qual tem sido sua principal ocupação?  | 1 | 3 | 5 |   |   |
| <input style="width: 400px; height: 20px;" type="text"/>  |   |   |   |   |   |
| 2) No trabalho eu sento:<br>nunca / raramente / algumas vezes / freqüentemente / sempre   | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 3) No trabalho eu fico em pé:<br>nunca / raramente / algumas vezes / freqüentemente / sempre  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 4) No trabalho eu ando:<br>nunca / raramente / algumas vezes / freqüentemente / sempre  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 5) No trabalho eu carrego carga pesada:<br>nunca / raramente / algumas vezes / freqüentemente / sempre  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 6) Após o trabalho eu estou cansado:<br>muito freqüentemente / freqüentemente / algumas vezes / raramente / nunca   | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| 7) No trabalho eu suou:<br>muito freqüentemente / freqüentemente / algumas vezes / raramente / nunca  | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| 8) Em comparação com outros da minha idade eu penso que meu trabalho é fisicamente:<br>muito mais pesado/ mais pesado / tão pesado quanto / mais leve / muito mais leve | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |



9)	Você pratica ou praticou esporte ou exercício físico nos últimos 12 meses: sim / não								
	Qual esporte ou exercício físico você pratica ou praticou mais freqüentemente?								
	<input type="text"/>	1		3				5	
	– quantas horas por semana?								
	<input type="text"/>	<1	1<2	2<3	3-4			>4	
	– quantos meses por ano?								
	<input type="text"/>	<1	1-3	4-6	7-9			>9	
	Se você faz um fez segundo esporte ou exercício físico, qual o tipo?:								
	<input type="text"/>	1		3				5	
	– quantas horas por semana?								
	<input type="text"/>	<1	1<2	2<3	3-4			>4	
	– quantos meses por ano?								
	<input type="text"/>	<1	1-3	4-6	7-9			>9	
10)	Em comparação com outros da minha idade eu penso que minha atividade física durante as horas de lazer é: muito maior / maior / a mesma / menor / muito menor	5	4	3	2			1	
11)	Durante as horas de lazer eu suo: muito freqüentemente / freqüentemente / algumas vezes / raramente / nunca	5	4	3	2			1	
12)	Durante as horas de lazer eu pratico esporte ou exercício físico: nunca / raramente / algumas vezes / freqüentemente / muito freqüentemente	1	2	3	4			5	
13)	Durante as horas de lazer eu vejo televisão: nunca / raramente / algumas vezes / freqüentemente / muito freqüentemente	1	2	3	4			5	
14)	Durante as horas de lazer eu ando: nunca / raramente / algumas vezes / freqüentemente / muito freqüentemente	1	2	3	4			5	
15)	Durante as horas de lazer eu ando de bicicleta: nunca / raramente / algumas vezes / freqüentemente / muito freqüentemente	1	2	3	4			5	
16)	Durante quantos minutos por dia você anda a pé ou de bicicleta indo e voltando do trabalho, escola ou compras?	1	2	3	4			5	
	<5 / 5-15 / 16-30 / 31-45 / >45								
		Total em minutos							

### Fórmulas para cálculo dos escores do questionário Baecke de AFH

<b>ATIVIDADES FÍSICAS OCUPACIONAIS (AFO)</b>	
$\text{Escore de AFO} = \frac{\text{questão1} + \text{questão2} + \text{questão3} + \text{questão4} + \text{questão5} + \text{questão6} + \text{questão7} + \text{questão8}}{8}$	
Cálculo da primeira questão referente ao tipo de ocupação:	
<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Intensidade (tipo de ocupação)=1 para profissões com gasto energético leve ou 3 para profissões com gasto energético moderado ou 5 para profissões com gasto energético vigoroso (<b>determinado pela resposta do tipo de ocupação: o gasto energético da profissão deve ser conferido no compêndio de atividades físicas de Ainsworth</b>)</li> </ul>	
<b>EXERCÍCIOS FÍSICOS NO LAZER (EFL)</b>	
Cálculo da questão 9 referente a prática de esportes/exercícios físicos:	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Intensidade (tipo de modalidade)=0,76 para modalidades com gasto energético leve ou 1,26 para modalidades com gasto energético moderado ou 1,76 para modalidades com gasto energético vigoroso (<b>determinado pela resposta do tipo de modalidade: o gasto energético da modalidade deve ser conferido no compêndio de atividades físicas de Ainsworth</b>)</li> <li>• Tempo (horas por semana)=0,5 para menos de uma hora por semana ou 1,5 entre maior que uma hora e menor que duas horas por semana ou 2,5 para maior que duas horas e menor que três horas por semana ou 3,5 para maior que três e até quatro horas por semana ou 4,5 para maior que quatro horas por semana (<b>determinado pela resposta das horas por semana de prática</b>)</li> <li>• Proporção (meses por ano)=0,04 para menor que um mês ou 0,17 entre um a três meses ou 0,42 entre quatro a seis meses ou 0,67 entre sete a nove meses ou 0,92 para maior que nove meses (<b>determinado pela resposta dos meses por ano de prática</b>)</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Para o cálculo desta questão, os valores devem ser multiplicados e somados:  [Modalidade 1=(Intensidade*Tempo*Proporção)+Modalidade 2=(Intensidade*Tempo*Proporção)]</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Após o resultado deste cálculo, para o valor final da questão 9, deverá ser estipulado um escore de 0 a 5 de acordo com os critérios especificados abaixo:  [0 (sem exercício físico)=1/ entre 0,01 até &lt;4=2/ entre 4 até &lt;8=3/ entre 8 até &lt;12=4/≥12,00=5]</li> </ul>	
Os escores das questões dois a quatro serão obtidos de acordo com as respostas das escalas de Likert	
O escore final de EFL deverá ser obtido de acordo com a fórmula especificada abaixo:	
$\text{Escore de EFL} = \frac{\text{questão9} + \text{questão10} + \text{questão11} + \text{questão12}}{4}$	
<b>ATIVIDADES FÍSICAS DE LAZER E LOCOMOÇÃO (ALL)</b>	
Os escores das questões cinco a oito serão obtidos de acordo com as respostas das escalas de Likert	
O escore final de ALL deverá ser obtido de acordo com a fórmula especificada abaixo:	
$\text{Escore de ALL} = \frac{(6 - \text{questão13}) + \text{questão14} + \text{questão15} + \text{questão16}}{4}$	
<b>Escore total de atividade física (ET)= AFO+EFL+ALL</b>	

## 5 REFERÊNCIAS

AHMED, M. W. et al. Effect of physiologic and pharmacologic adrenergic stimulation on heart rate variability. **J Am Coll Cardiol**, v. 24, n. 4, p. 1082-90, Oct 1994.

AKAY, M.; IEEE ENGINEERING IN MEDICINE AND BIOLOGY SOCIETY. Time frequency and wavelets in biomedical signal processing. Piscataway, NJ: IEEE Press, 1998. xxviii, 739 p. ISBN 0780311477 (cloth). Disponível em: <  
<http://www.loc.gov/catdir/bios/wiley043/97019866.html>  
<http://www.loc.gov/catdir/description/wiley036/97019866.html>  
<http://www.loc.gov/catdir/toc/onix07/97019866.html> >.

AKSELROD, S. et al. Power spectrum analysis of heart rate fluctuation: a quantitative probe of beat-to-beat cardiovascular control. **Science**, v. 213, n. 4504, p. 220-2, Jul 10 1981.

AL HADDAD, H. et al. Influence of cold water face immersion on post-exercise parasympathetic reactivation. **European Journal of Applied Physiology**, v. 108, n. 3, p. 599-606, 2010.

\_\_\_\_\_. Nocturnal heart rate variability following supramaximal intermittent exercise. **Int J Sports Physiol Perform**, v. 4, n. 4, p. 435-47, Dec 2009.

\_\_\_\_\_. Effect of cold or thermoneutral water immersion on post-exercise heart rate recovery and heart rate variability indices. **Auton Neurosci**, v. 156, n. 1-2, p. 111-6, Aug 25 2010.

ALBERT, C. M. et al. Triggering of sudden death from cardiac causes by vigorous exertion. **N Engl J Med**, v. 343, n. 19, p. 1355-61, Nov 9 2000.

ALESSIO, H. M.; HUTCHINSON, K. M. Cardiovascular adjustments to high- and low-intensity exercise do not regulate temporary threshold shifts. **Scand Audiol**, v. 21, n. 3, p. 163-72, 1992.

ALMEIDA, M. B.; ARAÚJO, C. G. S. Effects of aerobic training on heart rate. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v. 9, p. 113-120, 2003.

ARENA, R. et al. The prognostic value of the heart rate response during exercise and recovery in patients with heart failure: influence of beta-blockade. **Int J Cardiol**, v. 138, n. 2, p. 166-73, Jan 21 2010.

BAECKE, J. A.; BUREMA, J.; FRIJTERS, J. E. A short questionnaire for the measurement of habitual physical activity in epidemiological studies. **Am J Clin Nutr**, v. 36, n. 5, p. 936-42, Nov 1982.

BARAK, O. F. et al. Heart rate variability before and after cycle exercise in relation to different body positions. **Journal of Sports Science and Medicine**, v. 9, n. 2, p. 176-182, Jun 2010.

BILLMAN, G. E.; KUKIELKA, M. Effect of endurance exercise training on heart rate onset and heart rate recovery responses to submaximal exercise in animals

susceptible to ventricular fibrillation. **J Appl Physiol**, v. 102, n. 1, p. 231-40, Jan 2007.

BLOOMFIELD, D. M. et al. Comparison of spontaneous vs. metronome-guided breathing on assessment of vagal modulation using RR variability. **Am J Physiol Heart Circ Physiol**, v. 280, n. 3, p. H1145-50, Mar 2001.

BORRESEN, J.; LAMBERT, M. I. Autonomic control of heart rate during and after exercise : measurements and implications for monitoring training status. **Sports Med**, v. 38, n. 8, p. 633-46, 2008.

BOUDREAU, P. et al. Correlation of heart rate variability and circadian markers in humans. **Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc**, v. 2011, p. 681-2, Aug 2011.

BUCH, A.; COOTE, J.; TOWNEND, J. Mortality, cardiac vagal control and physical training--what's the link? **Experimental Physiology**, v. 87, n. 4, p. 423-435, July 1, 2002 2002.

BUCHHEIT, M.; GINDRE, C. Cardiac parasympathetic regulation: respective associations with cardiorespiratory fitness and training load. **Am J Physiol Heart Circ Physiol**, v. 291, n. 1, p. H451-8, Jul 2006.

BUCHHEIT, M.; LAURSEN, P. B.; AHMAIDI, S. Parasympathetic reactivation after repeated sprint exercise. **Am J Physiol Heart Circ Physiol**, v. 293, n. 1, p. H133-141, July 1, 2007 2007.

BUCHHEIT, M. et al. Supramaximal training and postexercise parasympathetic reactivation in adolescents. **Med Sci Sports Exerc**, v. 40, n. 2, p. 362-71, Feb 2008.

\_\_\_\_\_. Noninvasive assessment of cardiac parasympathetic function: postexercise heart rate recovery or heart rate variability? **Am J Physiol Heart Circ Physiol**, v. 293, n. 1, p. H8-10, July 1, 2007 2007.

BULL, R. K. et al. The human pressor response during and following voluntary and evoked isometric contraction with occluded local blood supply. **The Journal of Physiology**, v. 411, n. 1, p. 63-70, April 1, 1989 1989.

CARNETHON, M. R. et al. A longitudinal study of physical activity and heart rate recovery: CARDIA, 1987-1993. **Med Sci Sports Exerc**, v. 37, n. 4, p. 606-12, Apr 2005.

CARTER, R. et al. Muscle pump and central command during recovery from exercise in humans. **Journal of Applied Physiology**, v. 87, n. 4, p. 1463-1469, October 1, 1999 1999.

CASONATTO, J. et al. Cardiovascular and autonomic responses after exercise sessions with different intensities and durations. **Clinics (Sao Paulo)**, v. 66, n. 3, p. 453-8, 2011.

CATAI, A. M. et al. Effects of aerobic exercise training on heart rate variability during wakefulness and sleep and cardiorespiratory responses of young and middle-aged healthy men. **Braz J Med Biol Res**, v. 35, n. 6, p. 741-52, Jun 2002.

CHALLAPALLI, S. et al. Differential effects of parasympathetic blockade and parasympathetic withdrawal on heart rate variability. **J Cardiovasc Electrophysiol**, v. 10, n. 9, p. 1192-9, Sep 1999.

COLE, C. R. et al. Heart-rate recovery immediately after exercise as a predictor of mortality. **N Engl J Med**, v. 341, n. 18, p. 1351-7, Oct 28 1999.

\_\_\_\_\_. Heart rate recovery after submaximal exercise testing as a predictor of mortality in a cardiovascularly healthy cohort. **Ann Intern Med**, v. 132, n. 7, p. 552-5, Apr 4 2000.

CONVERTINO, V. A.; ADAMS, W. C. Enhanced vagal baroreflex response during 24 h after acute exercise. **Am J Physiol**, v. 260, n. 3 Pt 2, p. R570-5, Mar 1991.

COOTE, J. H. Recovery of heart rate following intense dynamic exercise. **Exp Physiol**, v. 95, n. 3, p. 431-40, Mar 2010.

COTTIN, F.; MEDIGUE, C.; PAPELIER, Y. Effect of heavy exercise on spectral baroreflex sensitivity, heart rate, and blood pressure variability in well-trained humans. **Am J Physiol Heart Circ Physiol**, v. 295, n. 3, p. H1150-H1155, Sep 2008.

ECKBERG, D. L. Human sinus arrhythmia as an index of vagal cardiac outflow. **Journal of Applied Physiology**, v. 54, n. 4, p. 961-966, April 1, 1983 1983.

EKBLOM, B.; HERMANSEN, L. Cardiac output in athletes. **J Appl Physiol**, v. 25, n. 5, p. 619-25, Nov 1968.

FIGUEROA, A. et al. Endurance training improves post-exercise cardiac autonomic modulation in obese women with and without type 2 diabetes. **Eur J Appl Physiol**, v. 100, n. 4, p. 437-44, Jul 2007.

GARBER, C. E. et al. American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. **Med Sci Sports Exerc**, v. 43, n. 7, p. 1334-59, Jul 2011.

GLADWELL, V. F.; SANDERCOCK, G. R.; BIRCH, S. L. Cardiac vagal activity following three intensities of exercise in humans. **Clin Physiol Funct Imaging**, v. 30, n. 1, p. 17-22, Jan 2010.

GMADA, N. et al. Effect of Combined Active Recovery from Supramaximal Exercise on Blood Lactate Disappearance in Trained and Untrained Man. **Int J Sports Med**, v. 26, n. 10, p. 874-879, 2005.

GOLDBERG, L.; ELLIOT, D. L.; KUEHL, K. S. Assessment of exercise intensity formulas by use of ventilatory threshold. **Chest**, v. 94, n. 1, p. 95-8, Jul 1988.

GOLDBERGER, J. J. et al. Assessment of parasympathetic reactivation after exercise. **Am J Physiol Heart Circ Physiol**, v. 290, n. 6, p. H2446-52, Jun 2006.

GOLDSMITH, R. L. et al. Comparison of 24-hour parasympathetic activity in endurance-trained and untrained young men. **J Am Coll Cardiol**, v. 20, n. 3, p. 552-8, Sep 1992.

GOLDSTEIN, D. S. et al. Low-frequency power of heart rate variability is not a measure of cardiac sympathetic tone but may be a measure of modulation of cardiac autonomic outflows by baroreflexes. **Exp Physiol**, v. 96, n. 12, p. 1255-61, Dec 2011.

GONZALEZ-ALONSO, J. Human thermoregulation and the cardiovascular system (Thermoregulation). **Exp Physiol**, Jan 6 2012.

GOULOPOULOU, S.; FERNHALL, B.; KANALEY, J. A. Hemodynamic responses and linear and non-linear dynamics of cardiovascular autonomic regulation following supramaximal exercise. **Eur J Appl Physiol**, v. 105, n. 4, p. 525-31, Mar 2009.

GUERRA, Z. Modulação autonômica cardíaca no repouso e na recuperação após esforço físico máximo de jovens saudáveis com diferentes níveis e tipos de atividade física. 2009. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora.

GUJIC, M. et al. Differential effects of metaboreceptor and chemoreceptor activation on sympathetic and cardiac baroreflex control following exercise in hypoxia in human. **J Physiol**, v. 585, n. Pt 1, p. 165-74, Nov 15 2007.

HALSON, S. L.; JEUKENDRUP, A. E. Does overtraining exist? An analysis of overreaching and overtraining research. **Sports Med**, v. 34, n. 14, p. 967-81, 2004.

HAUTALA, A. et al. Changes in cardiac autonomic regulation after prolonged maximal exercise. **Clin Physiol**, v. 21, n. 2, p. 238-45, Mar 2001.

HAUTALA, A. J. et al. Cardiovascular autonomic function correlates with the response to aerobic training in healthy sedentary subjects. **Am J Physiol Heart Circ Physiol**, v. 285, n. 4, p. H1747-52, Oct 2003.

HAYANO, J.; YASUMA, F. Hypothesis: respiratory sinus arrhythmia is an intrinsic resting function of cardiopulmonary system. **Cardiovascular Research**, v. 58, n. 1, p. 1-9, April 1, 2003 2003.

HUSSAIN, S. T. et al. Haemodynamic and metabolic responses of the lower limb after high intensity exercise in humans. **Exp Physiol**, v. 81, n. 2, p. 173-87, Mar 1996.

HYYNEN, E. et al. The incidence of stress symptoms and heart rate variability during sleep and orthostatic test. **Eur J Appl Physiol**, v. 111, n. 5, p. 733-41, May 2011.

\_\_\_\_\_. Heart rate variability during night sleep and after awakening in overtrained athletes. **Med Sci Sports Exerc**, v. 38, n. 2, p. 313-7, Feb 2006.

\_\_\_\_\_. Effects of moderate and heavy endurance exercise on nocturnal HRV. **Int J Sports Med**, v. 31, n. 6, p. 428-32, Jun 2010.

IELLAMO, F. et al. Conversion from vagal to sympathetic predominance with strenuous training in high-performance world class athletes. **Circulation**, v. 105, n. 23, p. 2719-24, Jun 11 2002.

\_\_\_\_\_. Dose-response relationship of baroreflex sensitivity and heart rate variability to individually-tailored exercise training in patients with heart failure. **Int J Cardiol**, Nov 9 2011.

IMAI, K. et al. Vagally mediated heart rate recovery after exercise is accelerated in athletes but blunted in patients with chronic heart failure. **Journal of the American College of Cardiology**, v. 24, n. 6, p. 1529-1535, 1994.

JENSEN-URSTAD, K. et al. Pronounced resting bradycardia in male elite runners is associated with high heart rate variability. **Scand J Med Sci Sports**, v. 7, n. 5, p. 274-8, Oct 1997.

JOSE, A. D. Effect of combined sympathetic and parasympathetic blockade on heart rate and cardiac function in man. **Am J Cardiol**, v. 18, n. 3, p. 476-8, Sep 1966.

JOUVEN, X. et al. Heart-rate profile during exercise as a predictor of sudden death. **N Engl J Med**, v. 352, n. 19, p. 1951-8, May 12 2005.

KAIKKONEN, P. et al. Can HRV be used to evaluate training load in constant load exercises? **Eur J Appl Physiol**, v. 108, n. 3, p. 435-42, Feb 2010.

KAIKKONEN, P.; NUMMELA, A.; RUSKO, H. Heart rate variability dynamics during early recovery after different endurance exercises. **Eur J Appl Physiol**, v. 102, n. 1, p. 79-86, Dec 2007.

KAMATH, M. V.; FALLEN, E. L.; MCKELVIE, R. Effects of steady state exercise on the power spectrum of heart rate variability. **Med Sci Sports Exerc**, v. 23, n. 4, p. 428-34, Apr 1991.

KAMIYA, A. et al. Muscle sympathetic nerve activity (MSNA) during high-intensity, isometric leg exercise in humans. **Environ Med**, v. 44, n. 1, p. 49-52, Dec 2000.

KAMOSINSKA, B.; NOWICKI, D.; SZULCZYK, P. Control of the heart rate by sympathetic nerves in cats. **J Auton Nerv Syst**, v. 26, n. 3, p. 241-9, Apr 1989.

KARVONEN, J.; VUORIMAA, T. Heart rate and exercise intensity during sports activities. Practical application. **Sports Med**, v. 5, n. 5, p. 303-11, May 1988.

KERN, W. et al. Hormonal secretion during nighttime sleep indicating stress of daytime exercise. **J Appl Physiol**, v. 79, n. 5, p. 1461-8, Nov 1995.

KINGWELL, B. A. et al. Heart rate spectral analysis, cardiac norepinephrine spillover, and muscle sympathetic nerve activity during human sympathetic nervous activation and failure. **Circulation**, v. 90, n. 1, p. 234-40, Jul 1994.

KIVINIEMI, A. M. et al. Daily Exercise Prescription Based on Heart Rate Variability among Men and Women. **Med Sci Sports Exerc**, Dec 14 2009.

\_\_\_\_\_. Daily exercise prescription on the basis of HR variability among men and women. **Med Sci Sports Exerc**, v. 42, n. 7, p. 1355-63, Jul 2010.

KRIEGER, E. M.; BRUM, P. C.; NEGRAO, C. E. Role of arterial baroreceptor function on cardiovascular adjustments to acute and chronic dynamic exercise. **Biol Res**, v. 31, n. 3, p. 273-9, 1998.

LAMBERTS, R. P. et al. Changes in heart rate recovery after high-intensity training in well-trained cyclists. **Eur J Appl Physiol**, v. 105, n. 5, p. 705-13, Mar 2009.

LUCINI, D. et al. Correlation between baroreflex gain and 24-h indices of heart rate variability. **J Hypertens**, v. 20, n. 8, p. 1625-31, Aug 2002.

MAINARDI, L. T.; BIANCHI, A. M.; CERUTTI, S. Time-frequency and time-varying analysis for assessing the dynamic responses of cardiovascular control. **Crit Rev Biomed Eng**, v. 30, n. 1-3, p. 175-217, 2002.

MALLIANI, A. et al. Cardiovascular neural regulation explored in the frequency domain. **Circulation**, v. 84, n. 2, p. 482-92, Aug 1991.

MARON, B. J. The paradox of exercise. **N Engl J Med**, v. 343, n. 19, p. 1409-11, Nov 9 2000.

MARTINMAKI, K.; RUSKO, H. Time-frequency analysis of heart rate variability during immediate recovery from low and high intensity exercise. **Eur J Appl Physiol**, v. 102, n. 3, p. 353-60, Feb 2008.

MARTINMAKI, K. et al. Ability of short-time Fourier transform method to detect transient changes in vagal effects on hearts: a pharmacological blocking study. **Am J Physiol Heart Circ Physiol**, v. 290, n. 6, p. H2582-9, Jun 2006.

MCCRATY, R. et al. The impact of a new emotional self-management program on stress, emotions, heart rate variability, DHEA and cortisol. **Integr Physiol Behav Sci**, v. 33, n. 2, p. 151-70, Apr-Jun 1998.



MCGOWAN, C. L. et al. Discordance between microneurographic and heart-rate spectral indices of sympathetic activity in pulmonary arterial hypertension. **Heart**, v. 95, n. 9, p. 754-758, May 2009.

MELANSON, E. L. Resting heart rate variability in men varying in habitual physical activity. **Med Sci Sports Exerc**, v. 32, n. 11, p. 1894-901, Nov 2000.

MESSONNIER, L. et al. Effects of Training on Lactate Kinetics Parameters and their Influence on Short High-Intensity Exercise Performance. **Int J Sports Med**, v. 27, n. 01, p. 60-66, 2006.

MITTLEMAN, M. A.; SISCOVICK, D. S. Physical exertion as a trigger of myocardial infarction and sudden cardiac death. **Cardiol Clin**, v. 14, n. 2, p. 263-70, May 1996.

MOAK, J. P. et al. Supine low-frequency power of heart rate variability reflects baroreflex function, not cardiac sympathetic innervation. **Heart Rhythm**, v. 4, n. 12, p. 1523-9, Dec 2007.

MONTANO, N. et al. Heart rate variability explored in the frequency domain: a tool to investigate the link between heart and behavior. **Neurosci Biobehav Rev**, v. 33, n. 2, p. 71-80, Feb 2009.

\_\_\_\_\_. Power spectrum analysis of heart rate variability to assess the changes in sympathovagal balance during graded orthostatic tilt. **Circulation**, v. 90, n. 4, p. 1826-31, Oct 1994.

NAGASHIMA, J. et al. Dynamic component of sports is an important determinant factor of heart rate recovery. **J Cardiol**, Jun 20 2011.

NG, J. et al. Autonomic effects on the spectral analysis of heart rate variability after exercise. **Am J Physiol Heart Circ Physiol**, v. 297, n. 4, p. H1421-8, Oct 2009.

NIEMELA, T. H. et al. Recovery pattern of baroreflex sensitivity after exercise. **Med Sci Sports Exerc**, v. 40, n. 5, p. 864-70, May 2008.

NIEWIADOMSKI, W. et al. Suppression of heart rate variability after supramaximal exertion. **Clin Physiol Funct Imaging**, v. 27, n. 5, p. 309-19, Sep 2007.

NISHIME, E. O. et al. Heart rate recovery and treadmill exercise score as predictors of mortality in patients referred for exercise ECG. **JAMA**, v. 284, n. 11, p. 1392-8, Sep 20 2000.

NOBREGA, A. C.; ARAUJO, C. G. Heart rate transient at the onset of active and passive dynamic exercise. **Med Sci Sports Exerc**, v. 25, n. 1, p. 37-41, Jan 1993.

NUMMELA, A. et al. Endurance performance and nocturnal HRV indices. **Int J Sports Med**, v. 31, n. 3, p. 154-9, Mar 2010.

NUNAN, D. et al. Validity and Reliability of Short-Term Heart-Rate Variability from the Polar S810. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 41, n. 1, p. 243-250 10.1249/MSS.0b013e318184a4b1, 2009.

O'HAGAN, K. P.; CASEY, S. M.; CLIFFORD, P. S. Muscle chemoreflex increases renal sympathetic nerve activity during exercise. **J Appl Physiol**, v. 82, n. 6, p. 1818-25, Jun 1997.

OGOHO, S. et al. Role of central command in carotid baroreflex resetting in humans during static exercise. **J Physiol**, v. 543, n. Pt 1, p. 349-64, Aug 15 2002.

OLIVEIRA, T. P. et al. Influence of Water Intake on Post-Exercise Heart Rate Variability Recovery. **Journal of Exercise Physiology Online**, v. 14, n. 4, p. 97-105, 2011.

OSTOJIC, S. M.; CALLEJA-GONZALEZ, J. Aerobic capacity and ultra short-term heart rate recovery after maximal exercise in sportswomen. **Science & Sports**, v. 25, n. 5, p. 267-271, 2010.

OSTOJIC, S. M. et al. Ultra short-term heart rate recovery after maximal exercise in continuous versus intermittent endurance athletes. **Eur J Appl Physiol**, v. 108, n. 5, p. 1055-9, Mar 2010.

OSTOJIC, S. M.; STOJANOVIC, M. D.; CALLEJA-GONZALEZ, J. Ultra short-term heart rate recovery after maximal exercise: relations to aerobic power in sportsmen. **Chin J Physiol**, v. 54, n. 2, p. 105-10, Apr 30 2011.

PAFFENBARGER, R. S., JR. Contributions of epidemiology to exercise science and cardiovascular health. **Med Sci Sports Exerc**, v. 20, n. 5, p. 426-38, Oct 1988.

PAGANI, M. et al. Sympathovagal interaction during mental stress. A study using spectral analysis of heart rate variability in healthy control subjects and patients with a prior myocardial infarction. **Circulation**, v. 83, n. 4 Suppl, p. II43-51, Apr 1991.

PANINA, G. et al. Assessment of autonomic tone over a 24-hour period in patients with congestive heart failure: relation between mean heart rate and measures of heart rate variability. **Am Heart J**, v. 129, n. 4, p. 748-53, Apr 1995.

PENTTILA, J. et al. Time domain, geometrical and frequency domain analysis of cardiac vagal outflow: effects of various respiratory patterns. **Clin Physiol**, v. 21, n. 3, p. 365-76, May 2001.

PERINI, R. et al. Plasma norepinephrine and heart rate dynamics during recovery from submaximal exercise in man. **Eur J Appl Physiol Occup Physiol**, v. 58, n. 8, p. 879-83, 1989.

PIERPONT, G. L.; STOLPMAN, D. R.; GORNICK, C. C. Heart rate recovery post-exercise as an index of parasympathetic activity. **Journal of the Autonomic Nervous System**, v. 80, n. 3, p. 169-174, 2000.

PIOTROWICZ, E. et al. Variable effects of physical training of heart rate variability, heart rate recovery, and heart rate turbulence in chronic heart failure. **Pacing Clin Electrophysiol**, v. 32 Suppl 1, p. S113-5, Mar 2009.

RAHMAN, F. et al. Low frequency power of heart rate variability reflects baroreflex function, not cardiac sympathetic innervation. **Clin Auton Res**, v. 21, n. 3, p. 133-41, Jun 2011.

ROSENWINKEL, E. T. et al. Exercise and autonomic function in health and cardiovascular disease. **Cardiol Clin**, v. 19, n. 3, p. 369-87, Aug 2001.

ROWELL, L. B. Human cardiovascular adjustments to exercise and thermal stress. **Physiol Rev**, v. 54, n. 1, p. 75-159, Jan 1974.

\_\_\_\_\_. Cardiovascular aspects of human thermoregulation. **Circ Res**, v. 52, n. 4, p. 367-79, Apr 1983.

ROWELL, L. B. et al. Human cardiovascular adjustments to rapid changes in skin temperature during exercise. **Circ Res**, v. 24, n. 5, p. 711-24, May 1969.

SALA-MERCADO, J. A. et al. Muscle metaboreflex attenuates spontaneous heart rate baroreflex sensitivity during dynamic exercise. **Am J Physiol Heart Circ Physiol**, v. 292, n. 6, p. H2867-73, Jun 2007.

SALTIN, B.; HERMANSEN, L. Esophageal, rectal, and muscle temperature during exercise. **J Appl Physiol**, v. 21, n. 6, p. 1757-62, Nov 1966.

SAUL, J. P. et al. Heart rate and muscle sympathetic nerve variability during reflex changes of autonomic activity. **Am J Physiol**, v. 258, n. 3 Pt 2, p. H713-21, Mar 1990.

SEILER, S.; HAUGEN, O.; KUFFEL, E. Autonomic recovery after exercise in trained athletes: intensity and duration effects. **Med Sci Sports Exerc**, v. 39, n. 8, p. 1366-73, Aug 2007.

STUCKEY, M. I. et al. Autonomic recovery following sprint interval exercise. **Scand J Med Sci Sports**, Apr 28 2011.

SWAIN, D. P. Moderate or vigorous intensity exercise: which is better for improving aerobic fitness? **Prev Cardiol**, v. 8, n. 1, p. 55-8, Winter 2005.

SWAIN, D. P.; FRANKLIN, B. A. Comparison of cardioprotective benefits of vigorous versus moderate intensity aerobic exercise. **Am J Cardiol**, v. 97, n. 1, p. 141-7, Jan 1 2006.

TASK-FORCE. Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. **European Heart Journal**, v. 17, n. 3, p. 354-81, Mar 1996.

TERZIOTTI, P. et al. Post-exercise recovery of autonomic cardiovascular control: a study by spectrum and cross-spectrum analysis in humans. **Eur J Appl Physiol**, v. 84, n. 3, p. 187-94, Mar 2001.

THEORELL, T. et al. Saliva testosterone and heart rate variability in the professional symphony orchestra after "public faintings" of an orchestra member. **Psychoneuroendocrinology**, v. 32, n. 6, p. 660-8, Jul 2007.

TULPPO, M. P. et al. Effects of aerobic training on heart rate dynamics in sedentary subjects. **J Appl Physiol**, v. 95, n. 1, p. 364-72, Jul 2003.

\_\_\_\_\_. Sympatho-vagal interaction in the recovery phase of exercise. **Clin Physiol Funct Imaging**, v. 31, n. 4, p. 272-81, Jul 2011.

\_\_\_\_\_. Vagal modulation of heart rate during exercise: effects of age and physical fitness. **American Journal of Physiology - Heart and Circulatory Physiology**, v. 274, n. 2, p. H424-H429, February 1, 1998 1998.

VATNER, S. F.; PAGANI, M. Cardiovascular adjustments to exercise: hemodynamics and mechanisms. **Prog Cardiovasc Dis**, v. 19, n. 2, p. 91-108, Sep-Oct 1976.

WARREN, J. H. et al. Effect of autonomic blockade on power spectrum of heart rate variability during exercise. **Am J Physiol**, v. 273, n. 2 Pt 2, p. R495-502, Aug 1997.

YAMAMOTO, K. et al. Effects of endurance training on resting and post-exercise cardiac autonomic control. **Med Sci Sports Exerc**, v. 33, n. 9, p. 1496-502, Sep 2001.

YASUMA, F.; HAYANO, J.-I. Respiratory Sinus Arrhythmia\*. **Chest**, v. 125, n. 2, p. 683-690, February 1, 2004 2004.