**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE MEDICINA DE RIBEIRÃO PRETO**

LABORATÓRIO DE FISIOTERAPIA CARDIOVASCULAR

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**EFEITOS DA PERIODIZAÇÃO DO TREINAMENTO SOBRE A
MODULAÇÃO AUTÔNOMICA CARDÍACA E MARCADORES DE
ESTRESSE ENDÓGENOS EM ATLETAS DE VOLEIBOL**

José Henrique Mazon

Ribeirão Preto

2011

JOSÉ HENRIQUE MAZON

Efeitos da periodização do treinamento sobre a modulação autonômica cardíaca e marcadores de estresse endógenos em atletas de voleibol.

Dissertação apresentada à Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Mestre em Ciências da Saúde.

Área de Concentração: Avaliação e Intervenção do Sistema Neuromuscular e Cardiorrespiratório.

Orientador: Prof. Dr. Hugo Celso Dutra de Souza

Ribeirão Preto

2011

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

FICHA CATALOGRÁFICA

Mazon, José Henrique

Efeitos da periodização do treinamento sobre a modulação autonômica cardíaca e marcadores de estresse endógenos em atletas de voleibol. Ribeirão Preto, 2011.

63 f.: il.; 30 cm

Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto/USP – Área de concentração: Avaliação e Intervenção do Sistema Neuromuscular e Cardiorrespiratório.

Orientador: Souza, Hugo Celso Dutra.

1. Periodização do treinamento. 2. Modulação Autonômica Cardíaca. 3. Marcadores de estresse.

FOLHA DE APROVAÇÃO

José Henrique Mazon

Efeitos da periodização do treinamento sobre a modulação autonômica cardíaca e marcadores de estresse endógenos em atletas de voleibol.

Dissertação apresentada à Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências da Saúde.

Área de Concentração: Avaliação e Intervenção do Sistema Neuromuscular e Cardiorrespiratório.

Aprovado em: ____/____/____

Banca Examinadora

Prof. Dr.: _____

Instituição: _____

Assinatura: _____

Prof. Dr.: _____

Instituição: _____

Assinatura: _____

Prof. Dr.: _____

Instituição: _____

Assinatura: _____

Dedicatória

Aos meus pais, José e Aracy, meus exemplos de vida, determinação e perseverança. Vocês estarão sempre no meu coração.

À minha esposa Elaine, por todo amor, cumplicidade e incentivo. Obrigado pelo incansável apoio e por acreditar nos meus sonhos.

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

Ao Prof. Dr. Hugo Celso Dutra de Souza pela orientação, oportunidade de aprendizado, confiança, dedicação, atenção e paciência dispensada para a concretização deste sonho.

Ao amigo Artur pelo incentivo e direcionamento inicial e também por sua agradável companhia nas viagens entre Araraquara e Ribeirão Preto.

Aos colegas de departamento Ana Paula, Sabrina, Thaísa, Isabela, Geisa e João Henrique por todos os aprendizados e momentos compartilhados.

Ao amigo e companheiro de profissão Romeu pela credibilidade depositada na realização desta pesquisa.

Aos atletas que participaram deste estudo, obrigado pela confiança.

*“Para realizar grandes conquistas,
devemos não apenas agir, mas também sonhar;
não apenas planejar, mas também acreditar.”*

Anatole France

RESUMO

MAZON, J.H. **Efeitos da periodização do treinamento sobre a modulação autonômica cardíaca e marcadores de estresse endógenos em atletas de voleibol.** 2011. 63f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2011.

Nós investigamos os efeitos do modelo de periodização de cargas seletivas (MPCS) sobre a modulação autonômica da variabilidade da frequência cardíaca (VFC) e marcadores de estresse endógenos, antes e após um período de competição, em jogadores de voleibol (N=32). O protocolo experimental para a avaliação da VFC consistiu do uso da análise espectral das séries temporais compostas dos intervalos R-R derivados do eletrocardiograma obtidos na posição supina e durante o teste de inclinação (tilt test). Os níveis dos marcadores de estresse foram determinados pela quantificação da concentração plasmática de catecolaminas endógenas, cortisol e testosterona livre. Os resultados não demonstraram alterações na VFC antes e após o período de competição. Em contraste, a quantificação da concentração plasmática dos marcadores de estresse endógenos revelou reduções nos níveis de catecolaminas totais, noradrenalina e cortisol. Estas mudanças foram acompanhadas por aumentos na concentração de testosterona livre e na razão testosterona/cortisol. Em conclusão, nossos resultados demonstraram que o MPCS não alterou a modulação autonômica da VFC, mas promoveu adaptações benéficas aos atletas, incluindo mudanças positivas na concentração plasmática dos marcadores de estresse endógenos analisados. A ausência de alterações na VFC indica que não houve relação direta entre modulação autonômica cardíaca e marcadores de estresse endógenos no presente estudo.

Palavras-chaves: Periodização do treinamento; modulação autonômica cardíaca; marcadores de estresse.

ABSTRACT

MAZON, J.H. **Effects of training periodization on cardiac autonomic modulation and stress endogenous markers in volleyball players.** 2011. 63f. Thesis (Master) – Faculty of Medicine of Ribeirão Preto, University of São Paulo, 2011.

We investigated the effects of selective loads of periodization model (SLPM) on autonomic modulation of heart rate variability (HRV) and endogenous stress markers before and after a competition period in volleyball players (N=32). The experimental protocol for the evaluation of HRV consisted of using spectral analysis of time series composed of the R-R intervals derived from electrocardiogram obtained in the supine position and during the tilt test. Stress marker levels were determined by quantifying the plasma concentration of endogenous catecholamines, cortisol and free testosterone. The results showed no changes between the levels of HRV before and after a competition period. In contrast, the quantification of the plasma concentration of endogenous stress markers revealed reductions in the levels of total catecholamines, noradrenaline and cortisol. In conclusion, our results demonstrate that the SLPM did not change the cardiac autonomic modulation of HRV, but promoted beneficial adaptations in athletes, including positive changes in the plasma concentration of the endogenous stress markers. The absence of changes in HRV indicates that there is no direct relationship between cardiac autonomic modulation and endogenous stress markers in the present study.

Key-words: Training periodization; cardiac autonomic modulation; stress markers.

LISTA DE ABREVIATURAS

MPCS	Modelo de Periodização de Cargas Seletivas
DPM	Desvio Padrão da Média
ECG	Eletrocardiograma
EPDT	Efeito Posterior Duradouro do Treinamento
FC	Frequência Cardíaca
HF	Alta Frequência
Hz	Hertz
IMC	Índice de Massa Corporal
IP	Intervalo de Pulso
iRR	Intervalo R-R
LF	Baixa Frequência
ms	Milissegundo
nu	Unidades Normalizadas
VFC	Variabilidade da Frequência Cardíaca
VLF	Muito Baixa Frequência
VO₂ máx.	Consumo Máximo de Oxigênio

LISTA DE TABELAS

Tabela 01. Composição dos microciclos do período de competição._____ 25

Tabela 02. Características antropométricas e valores metabólicos dos jogadores de voleibol nos dois momentos analisados, ou seja, antes e após o término do período de competição._____ 34

Tabela 03. Respostas hormonais dos jogadores de voleibol nos dois momentos analisados, ou seja, antes e após o término do período de competição._____ 35

Tabela 04. Parâmetros espectrais calculados do intervalo R-R (iRR) obtidos das séries temporais na posição supina e durante o teste de inclinação nos jogadores de voleibol nos dois momentos analisados, ou seja, antes e após o término do período de competição._____ 38

LISTA DE FIGURAS

Figura 01. Traçado representativo das séries temporais entre os intervalos das ondas R-R adjacentes (iRR) obtidos dos jogadores de voleibol nos dois momentos analisados ou seja, antes e após o término do período de competição. _____ 29

Figura 02. Valores hormonais obtidos dos jogadores de voleibol nos dois momentos analisados, ou seja, antes e após o término do período de competição. _____ 36

Figura 03. Curva representativa dos valores individuais da razão testosterona / cortisol dos jogadores de voleibol nos dois momentos analisados, ou seja, antes e após o término do período de competição. _____ 37

Figura 04. (A) Variância Total dos intervalos R-R. Densidade da potência espectral dos intervalos R-R nas bandas de baixa (LF) e alta frequência (HF) em unidades absolutas (ms²; B e C) e normalizadas (nu; D e E) durante a posição supina e teste de inclinação (com suas respectivas alterações em %), calculada das séries temporais nos atletas de voleibol nos dois momentos analisados, ou seja, antes e após o término do período de competição. Os valores estão expressos em médias $\pm$ DPM. *P< 0.05 vs. posição supina antes do período de competição; e +P<0.05 vs. posição supina após do período de competição. _____ 39

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
2. OBJETIVOS.....	21
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	23
3.1 Amostragem.....	23
3.2 Aspectos Éticos.....	23
3.3 Características do Período de Competição.....	24
3.4 Protocolos de Avaliação.....	26
3.4.1 Exames Laboratoriais.....	26
3.4.2 Análise da Variabilidade da Frequência Cardíaca.....	27
3.4.2.1 Análise Espectral.....	27
3.4.3 Composição Corporal.....	29
3.4.4 Ergoespirometria.....	30
3.5 Análise Estatística.....	31
4. RESULTADOS	33
5. DISCUSSÃO.....	41
6. CONCLUSÕES.....	48
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	50
8. REFERÊNCIAS.....	52
9. ANEXO I.....	64

1. INTRODUÇÃO

1. INTRODUÇÃO

O treinamento desportivo tem por objetivo proporcionar ao atleta o alcance de sua máxima performance. A estruturação ou distribuição planificada das cargas de treinamento (técnico, tático e físico) em períodos ou etapas tem sido denominada como periodização (Bompa, 1984; Verkhoshansky, 1990; Gomes, 2002).

Oficialmente, o termo periodização surgiu no cenário mundial na década de 60 por meio dos estudos elaborados pelo professor Matveev (1977), idealizador do modelo de periodização conhecido como “clássico ou tradicional”, caracterizado pela existência de três períodos de treinamento bem definidos: preparatório (aquisição da forma esportiva), competitivo (manutenção da forma esportiva) e de transição (perda temporal da forma esportiva) (Gomes, 2002; Issurin, 2008).

Atualmente, o modelo tradicional de periodização tem apresentado algumas limitações na estruturação do treinamento para atletas de elite. O elevado número de competições inseridas no calendário esportivo em função da motivação financeira e do caráter comercial evidente do esporte de alto rendimento tornou incertos os períodos destinados à preparação geral dos atletas presentes no modelo tradicional. Além disso, fatores como a globalização, que permitiu maior intercâmbio entre especialistas e pesquisadores do esporte, resultando em uma melhoria da qualidade de treinamento e nível de desempenho atlético, associado à luta contra o uso de farmacológicos ilegais e a implementação de tecnologias esportivas avançadas, também exerceram influência na modificação da concepção de organização do processo de treinamento e induziram a utilização de modelos alternativos de

periodização denominados modelos “contemporâneos” (Issurin, 2008; Moreira, 2010; Issurin 2010).

Os modelos contemporâneos de periodização são caracterizados e discutidos com base em quatro aspectos: a individualização das cargas de treinamento; a concentração de cargas de trabalho de uma mesma orientação em curtos períodos de tempo; a tendência a um desenvolvimento consecutivo de capacidades e objetivos, utilizando o efeito residual das cargas trabalhadas anteriormente; e o incremento do trabalho específico no treinamento (Verkhoshansky, 1990; Gomes, 2002; Moreira, 2006; Issurin, 2008; Moreira, 2010; Issurin, 2010).

Um modelo alternativo que tem sido muito utilizado e pesquisado por representar uma forte oposição às idéias e princípios da periodização tradicional é o modelo proposto por Verkhoshansky (1990), denominado “blocos” ou “sistema de cargas concentradas”. O sistema de cargas concentradas e sua organização nas distintas etapas de treinamento tem por objetivo proporcionar as condições necessárias para que o desportista, após um período de perturbação da homeostase e conseqüente queda (possível) de rendimento, alcance resultados superiores no momento das intervenções mais importantes, manifestando, desta forma, o “efeito posterior duradouro do treinamento” (EPDT) (Oliveira, 1998; Moreira, 2006; Issurin, 2010). Entretanto, um dos problemas relacionado com a utilização deste sistema na organização do processo de treinamento atual, é o insuficiente período destinado à preparação dos atletas antes do início das competições.

Buscando solucionar esta deficiência, Gomes (2002) preconizou o modelo de periodização de “cargas seletivas” (MPCS) com o objetivo de atender principalmente

ao calendário dos esportes coletivos. No MPCS, o volume de treino é mantido e as tarefas a serem desenvolvidas em cada etapa se alternam, ou seja, determinadas orientações de cargas ou capacidades físicas exercem, em cada momento, um peso maior sobre as demais. De acordo com seu idealizador, o incremento do trabalho específico no treinamento, com crescente utilização dos meios e métodos direcionados ao aperfeiçoamento da capacidade de velocidade e particularidades técnicas e táticas, pode induzir a uma tendência de melhora da forma esportiva ao longo de toda a temporada (Moreira, 2010). Entretanto, o conhecimento minucioso dos processos adaptativos, inerentes à utilização de cargas específicas no treinamento, representa um novo desafio para os profissionais que trabalham com o esporte de alto rendimento, necessitando os mesmos, de modelos de avaliação que lhes permitam acompanhar tais processos.

Nesse sentido, tem sido sugerido que a avaliação e o monitoramento de marcadores de estresse no decorrer do treinamento podem permitir a remodelação e individualização da carga de trabalho sempre que necessário, com o objetivo de buscar o desempenho máximo possível do atleta (Hoffman et al., 2005). Ao mesmo tempo, podem também contribuir na prevenção e controle de uma patologia que permanece afetando um número elevado de atletas, denominada síndrome do “overtraining”, caracterizada pela manifestação de um estado de fadiga crônica causado por um desequilíbrio entre treinamento, competição e recuperação (Baumert et al., 2006).

Partindo desse pressuposto, alguns estudos têm demonstrado que a análise da variabilidade da frequência cardíaca (VFC), quantificando indiretamente a influência dos dois componentes autonômicos, simpático e parassimpático, sobre o

coração, também poderia ser uma importante ferramenta no auxílio ao prognóstico do estresse e do condicionamento cardiovascular em atletas (Tulppo et al., 2003; Garet et al., 2004; Kiviniemi et al., 2006; Kiviniemi et al., 2007), uma vez que possibilita a avaliação não invasiva da função autonômica cardíaca em diferentes situações fisiopatológicas, incluindo a síndrome do overtraining (Baumert et al., 2006). Dois métodos são normalmente utilizados para análise da VFC; o primeiro é realizado no domínio do tempo e é baseado em cálculos estatísticos simples, utilizando as séries temporais oriundas dos intervalos R-R ou de pulso; enquanto que o segundo é realizado no domínio da frequência, por meio da análise espectral que decompõe a VFC em componentes oscilatórios fundamentais assim identificados; baixa frequência (LF; 0.04 – 0.15 Hz), que é decorrente da ação conjunta dos componentes simpático e parassimpático; e alta frequência (HF; 0.15 – 0.5 Hz), atribuída à modulação parassimpática e decorrente da influência vagal sobre o coração (Akselrod et al., 1981; Malliani et al., 1991; Task Force, 1996).

Por outro lado, são crescentes os estudos que abordam o monitoramento das respostas hormonais como forma de acompanhamento e controle do estresse induzido pelo exercício físico ou treinamento (Adlercreutz et al., 1986; Häkkinen, 1989; Lehmann et al., 1992; Urhausen et al., 1995; Hug et al., 2003). Há consenso de que alguns hormônios estejam essencialmente envolvidos com os processos adaptativos desencadeados pelas cargas de treinamento ou competição, além de influenciarem sua fase de regeneração, como é o caso das catecolaminas e dos glicocorticóides (Urhausen et al., 1995; Hug et al., 2003; Kraemer WJ, Ratamess NA, 2005). De fato, através do monitoramento das alterações quantitativas de hormônios com propriedades

anabólicas e catabólicas, tais como a testosterona e o cortisol, respectivamente, é possível identificar um estado catabólico momentâneo que pode ser revertido através de medidas regenerativas apropriadas (Adlercreutz et al., 1986; Urhausen et al., 1995). Entretanto, os resultados apresentados até o momento não são conclusivos no que diz respeito à confiabilidade de modelos de avaliação do estresse como forma de acompanhamento das adaptações induzidas pelas cargas de treinamento. Parece que a modalidade esportiva deve ser considerada não somente na escolha dos marcadores a serem utilizados, como também na avaliação das respostas dos mesmos, uma vez que existem adaptações específicas para cada esporte. Além disso, estudos abordando a influência da utilização de cargas específicas no treinamento, como proposto pelo MPCs, sobre as respostas crônicas de marcadores de estresse são incipientes.

Diante do exposto, o presente estudo teve por finalidade investigar a influência da utilização do MPCs sobre a modulação autonômica cardíaca e marcadores de estresse endógenos em atletas de voleibol, antes e após um período de competição, utilizando as seguintes abordagens; 1) análise espectral da VFC na posição supina (repouso) e durante o teste de inclinação (tilt test); e 2) mensurações plasmáticas de catecolaminas (adrenalina, noradrenalina), cortisol e testosterona livre.

2. OBJETIVOS

2. OBJETIVOS

O objetivo do presente estudo foi investigar a influência da utilização do MPCs sobre a modulação autonômica da VFC e marcadores de estresse endógenos em atletas de voleibol, antes e após um período de competição, por meio das seguintes abordagens:

- 2.1 Análise da variabilidade da frequência cardíaca por meio da análise espectral na posição supina em repouso.
- 2.2 Análise da variabilidade da frequência cardíaca por meio da análise espectral durante o teste de inclinação (tilt test).
- 2.3 Dosagens plasmáticas de catecolaminas (adrenalina, noradrenalina).
- 2.4 Dosagens plasmáticas de cortisol em dois momentos específicos, 8h e 16h.
- 2.5 Dosagens plasmáticas de testosterona livre.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Amostra

O estudo foi realizado com 32 atletas de voleibol do sexo masculino, com idade média de 24.6 ± 5.4 anos, submetidos ao modelo de periodização de cargas seletivas. Os critérios de exclusão adotados foram: alterações músculo-esqueléticas que impossibilitassem o atleta de realizar as avaliações ou participar dos treinamentos e competições; o uso de fármacos ou substâncias que pudessem interferir na função autonômica cardíaca do atleta. Todos foram triados no Laboratório de Fisioterapia Cardiovascular do Departamento de Biomecânica, Medicina e Reabilitação da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Brasil. As avaliações foram realizadas antes do início e após o término do período de competição. Os atletas receberam informações sobre a justificativa, objetivos, procedimentos, riscos e benefícios do estudo e assinaram o “Termo de Consentimento Livre e Esclarecido” para participarem do mesmo. O presente trabalho foi analisado e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto/USP (protocolo nº 8381/2010).

3.2 Aspectos Éticos

A todos os atletas foi garantido o direito de receberem esclarecimentos e informações sobre o presente estudo. Da mesma forma, também foi garantida a segurança de não serem identificados, bem como de que todas as informações fornecidas permanecessem mantidas sob caráter confidencial.

3.3 Características do período de competição

O período de competição teve a duração de 12 semanas. O objetivo deste período, como proposto pelo MPCS, consistiu no aprimoramento do sistema neuromuscular com crescente utilização dos meios e métodos destinados ao aperfeiçoamento das capacidades de força e velocidade. A composição dos microciclos deste período esta descrita na Tabela 1.

Tabela 1. Composição dos microciclos do período de competição.

Microciclos	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Total de dias de treinamento	6	6	6	7	3	5	6	7	6	6	6	6
Número de sessões	10	10	10	11	6	9	10	11	11	10	10	10
Tempo de treinamento (min)	900	840	880	840	720	840	900	840	960	840	810	810
Jogos oficiais	2	2	2	3	---	1	2	3	1	2	2	2
Capacidades Motoras e Frequência semanal de utilização dos meios de treinamento												
Resistência Especial												
Coletivo Dirigido	3	3	3	2	1	3	3	2	3	3	3	3
Força / Força Especial												
Exercícios de musculação	3	3	3	2	2	3	3	2	3	3	3	3
Lançamento de implementos	2	2	2	---	1	1	1	---	1	1	1	1
Saltos múltiplos	2	2	2	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Saltos com barra	---	---	---	---	2	2	1	---	1	1	1	1
Saltos em profundidade	2	2	2	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Velocidade												
Acelerações / Trações	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2
Flexibilidade												
Alongamentos Dinâmicos	2	2	2	1	---	2	2	1	2	2	1	1
Trabalhos Profiláticos												
Propriocepção	1	1	1	1	---	1	1	1	1	1	1	1
Crioimersão	1	1	1	2	---	1	1	2	1	1	1	1

3.4 Protocolos de avaliação

3.4.1 Exames Laboratoriais

As amostras de sangue foram coletadas em dois momentos, antes e após o período de competição, entre 7h00 e 8h00, utilizando tubos BD Vacutainer® EDTA (Becton, Dickinson, and Company, Franklin Lakes, NJ, USA). Excepcionalmente, também foram realizadas coletas de sangue às 16h00 para quantificação de cortisol. Em seguida as amostras foram centrifugadas durante 10 minutos, a 4°C e a 3000 rpm. Após esse procedimento, o plasma isolado de cada atleta foi armazenado em tubos *Eppendorfs* (1,5ml) em um freezer (-80°C) para posterior análise. Foi estabelecido um intervalo de 48 horas entre a última sessão de treino realizada e as coletas de sangue em laboratório. Os atletas foram orientados a manter jejum de 12 horas, não praticar atividades físicas e não ingerir bebidas contendo álcool ou cafeína durante este período. A glicemia, triglicérides e colesterol foram mensuradas por meio de espectrofotometria enzimática BECKMAN DU 640® (Beckman Coulter, Inc., Brea, CA, USA). Para as quantificações plasmáticas do cortisol e testosterona livre foram utilizados procedimentos específicos de radioimunoensaio (Siemens Medical Diagnostics, Los Angeles, CA). Por sua vez, a quantificação das catecolaminas plasmáticas foi realizada por cromatografia líquida de alta performance (HPLC) utilizando um detector eletroquímico multicanal (CoulArray 5600; ESA Inc., Chelmsford, MA, USA).

3.4.2 Análise da Variabilidade da Frequência Cardíaca

A VFC foi avaliada por meio da análise espectral utilizando o registro do ECG, antes do início e após o término do período de competição. Os atletas foram orientados a não ingerir bebidas alcoólicas e cafeína, não praticar atividades físicas, e a manter a dieta habitual nas 48 horas que antecederam ao exame. O objetivo desse teste foi quantificar a modulação autonômica cardíaca dos atletas em ambos os momentos. O índice de modulação autonômica cardíaca tem sido utilizado como um marcador da qualidade da função cardíaca e também do estresse induzido pelo exercício.

3.4.2.1 Análise Espectral

Os registros da frequência cardíaca para a análise espectral da VFC foram realizados entre 9h00 e 10h00 de acordo com o seguinte protocolo: os atletas foram colocados na posição supina durante 20 minutos sobre uma mesa ortostática elétrica; em seguida, eles foram passivamente colocados na posição inclinada a 75 graus por mais 20 minutos (tilt teste). Os registros na posição deitado em supino e durante o teste de inclinação foram realizados por meio do eletrocardiograma (ML866 PowerLab, ADInstruments, Bella Vista, NSW, Australia), sendo o ritmo respiratório fixado em 15 ciclos/minuto com o auxílio de um metrônomo. As séries temporais foram obtidas dos os intervalos RR (iRR) adjacentes e, em seguida, divididas em seguimentos de 200 batimentos que foram sobrepostos ao longo dos segmentos de 100 batimentos da série anterior. Após o cálculo de ambas as médias e variância de cada segmento, era realizada a análise espectral por meio do modelo auto-regressivo (Malliani et al., 1991;

Rubini et al., 1993; Task Force, 1996). Os componentes oscilatórios presentes nos segmentos estacionários, batimento a batimento dos iRR, foram calculados baseados nos recursos de Levinson-Durbin, de acordo com os critérios de Akaike's (Malliani et al., 1991). Esse procedimento permite uma quantificação automática da frequência central e da influência de cada componente oscilatório relevante presente nas séries dos intervalos. Os componentes oscilatórios foram classificados como baixa frequência (LF) e alta frequência (HF), os quais apresentaram oscilações nas faixas de frequência de 0.04–0.15Hz e 0.15–0.5Hz, respectivamente. A força dos componentes de LF e HF na variabilidade dos iRR também foi expressa em unidades normalizadas, obtida pelo cálculo da porcentagem da variabilidade de LF e de HF considerando-se a força total, após a subtração do componente de muito baixa frequência (VLF) (frequências < 0.04Hz). O procedimento de normalização tende a minimizar o efeito da mudança na força total sobre os valores absolutos da variabilidade dos componentes LF e HF (Malliani et al., 1991; Rubini et al., 1993; Task Force, 1996). Adicionalmente, a razão de LF/HF, também foi calculada a fim de estabelecer um índice para o balanço da modulação autonômica cardíaca.

Figura 1. Traçado representativo das séries temporais entre os intervalos das ondas R-R adjacentes (iRR) obtidos dos jogadores de voleibol nos dois momentos analisados, ou seja, antes e após o término do período de competição.

3.4.3 Composição Corporal

A composição corporal foi avaliada antes do início e após o término do período de competição. O peso corporal e a estatura foram obtidos por meio de uma balança analógica (*Welmy*) e um estadiômetro (*Sanny*). Estas medidas foram utilizadas para o cálculo do índice de massa corporal (IMC), que é o quociente entre a massa corporal/estatura², sendo a massa corporal expressa em quilogramas (kg) e a estatura em metros (m). A composição corporal foi realizada por meio de análises de Bioimpedância (Quantum BIA 101; Q-RJL Systems, Clinton Township, MI, USA).

3.4.4 Ergoespirometria

Também foi realizado o teste ergoespirométrico antes do início e após o término do período de competição. A ergoespirometria tem por objetivo submeter o atleta ao estresse físico programado para obtenção de informações da função cardiorrespiratória e metabólica, como o limiar anaeróbio e o volume consumido de oxigênio no pico do exercício ($VO_{2\text{ máx.}}$). Esse procedimento possibilita a prescrição da intensidade do treinamento físico e a avaliação objetiva da evolução das capacidades cardiorrespiratórias do atleta induzidas pelo treinamento.

O teste foi realizado em esteira ergométrica (Super ATL Millenium[®], Inbramed/Inbrasport, Porto Alegre, RS, Brasil). O atleta teve a atividade elétrica cardíaca monitorada através do eletrocardiograma (ECG) com nove derivações (MC5, DI, DII, V1-V6) e o consumo de O_2 foi monitorado por um analisador metabólico (Ultima[™] CardIO2, Medical Graphics Corp., St. Paul, Minneapolis, USA). O protocolo em esteira utilizado foi o de Ellestad (1986).

Os parâmetros fisiológicos avaliados no teste ergoespirométrico foram: volume expirado (VE), volume consumido de O_2 (VO_2), volume expirado de CO_2 (VCO_2), equivalente metabólico, limiar anaeróbio, níveis de lactato e glicemia sangüíneos, pressão arterial (PA), eletrocardiograma (ECG) e frequência cardíaca (FC).

A análise eletrocardiográfica (ECG) foi feita por sistemas bipolares e os sinais elétricos emitidos pela atividade cardíaca foram captados por eletrodos fixados na pele do tórax. O procedimento de preparo da pele iniciou-se com a tricotomia adequada quando necessária e a limpeza dos locais escolhidos foi realizada com gaze embebida em álcool, esfregando-se várias vezes até conseguir um leve grau de

eritema. Os eletrodos foram do tipo descartáveis (3M) e sua colocação foi efetuada com o atleta em posição ortostática.

Durante a realização do teste também foi utilizada a escala de percepção de esforço de Borg (1998) modificado, para avaliar o grau de fadiga do atleta.

3.5 Análise Estatística

Os dados estão apresentados como média e desvio-padrão. Os resultados dos valores metabólicos e antropométricos, fatores endógenos e análise espectral da VFC foram analisados pelo teste t de Student para medidas independentes e o teste de Mann-Whitney rank sum quando necessário. O nível de significância foi estabelecido em $P < 0,05$ em todas as análises.

4. RESULTADOS

4. RESULTADOS

4.1 Características Antropométricas e Metabólicas

Na Tabela 2 estão representados os valores referentes às características antropométricas e metabólicas dos atletas comparados em dois momentos, antes do início e após o término do período de competição. Não houve diferenças significativas com relação às variáveis antropométricas analisadas. Quanto às variáveis metabólicas, por sua vez, observou-se um significativo aumento nos valores do consumo máximo de oxigênio ($VO_{2\text{ máx.}}$) dos atletas após o período de competição.

Tabela 2. Características antropométricas e valores metabólicos dos jogadores de voleibol nos dois momentos analisados, ou seja, antes e após o término do período de competição.

	Competição	
	Antes	Após
Características Antropométricas		
Idade, anos	24.6 ± 5.4	-----
Altura, m	1.94 ± 0.07	-----
Peso, kg	91.5 ± 10.7	92.3 ± 11.4
IMC, kg/m ²	24.2 ± 3.1	24.4 ± 3.2
Gordura corporal, %	12.3 ± 2.0	12.4 ± 1.9
Valores Metabólicos		
Frequência Cardíaca, bpm	58.6 ± 6.7	58.9 ± 8.8
VO _{2 max.} mL.kg ⁻¹ .min ⁻¹	45.3 ± 4.1	49.2 ± 3.4*
Colesterol Total, mg/dL	148.1 ± 25.5	155.8 ± 23.3
HDL, mg/dL	46.2 ± 9.2	48.0 ± 9.2
LDL, mg/dL	86.4 ± 23.3	95.0 ± 22.8
VLDL, mg/dL	15.4 ± 7.0	12.7 ± 5.0
Triglicérides, mg/dL	77.1 ± 35.0	64.2 ± 24.7

Os valores estão expressos em médias ± DPM. *P < 0.05 vs. antes do início do período de competição.

4.2 Respostas Hormonais

Na Tabela 3 e Figura 2 estão representados os valores hormonais obtidos antes do início e após o término do período de competição. No que diz respeito às concentrações plasmáticas de catecolaminas, houve reduções significativas nos valores

de noradrenalina e catecolaminas totais (Tabela 3 e Figura 2A) após o término do período de competição. Entretanto, as concentrações de adrenalina tiveram uma resposta inversa, ou seja, houve um aumento significativo (Tabela 3 e Figura 2A). Com relação ao cortisol, nenhuma diferença significativa foi observada nas amostras de sangue coletada as 8h00 (Tabela 3 e Figura 2B). Por outro lado, as amostras coletadas as 16h00 apresentaram significativa redução (Tabela 3 e Figura 2B). Nós também observamos um aumento significativo nas concentrações plasmáticas de testosterona livre (Tabela 3 e Figura 2C), bem como da razão testosterona/cortisol (Tabela 3 e Figura 3), quando comparadas em ambos os momentos.

Tabela 3. Respostas hormonais dos jogadores de voleibol nos dois momentos analisados, ou seja, antes e após o término do período de competição.

	Competição	
	Antes	Após
Respostas Hormonais		
Adrenalina, pg/ml	41.1 ± 15.9	67.0 ± 33.8*
Nor-adrenalina, pg/ml	347.5 ± 227.9	193.5 ± 66.4*
Catecolaminas Totais, pg/ml	388.6 ± 226.1	260.5 ± 72.3*
Cortisol, ug/100 ml (8h00)	14.9 ± 3.6	14.4 ± 3.6
Cortisol, ug/100 ml (16h00)	10.6 ± 1.8	8.5 ± 3.5*
Testosterona Livre, pg/ml	14.4 ± 2.8	18.9 ± 5.1*
Razão Testosterona Livre/Cortisol	1.05 ± 0.4	1.42 ± 0.6*

Os valores estão expressos em médias ± DPM. *P < 0.05 vs. antes do início do período de competição.

Níveis Hormonais

Figura 2. Valores hormonais obtidos dos jogadores de voleibol nos dois momentos analisados, ou seja, antes e após o término do período de competição. Os valores estão expressos em médias $\pm$ DPM. *P < 0.05 vs. antes do início do período de competição.

Figura 3. Curva representativa dos valores individuais da razão testosterona/cortisol obtidos dos jogadores de voleibol nos dois momentos analisados, ou seja, antes e após o término do período de competição.

4.3 Análise Espectral da VFC

A Tabela 4 e a Figura 4 mostram as respostas dos parâmetros espectrais da VFC encontrados nos atletas na posição supina e durante o teste de inclinação antes do início e após o término do período de competição. Na posição supina, a comparação entre ambos os momentos do experimento não apresentou nenhuma diferença nos parâmetros espectrais avaliados. Da mesma forma, o teste de inclinação

(inclinação de 75° a partir da posição supina) também obteve resultados semelhantes, caracterizado pelo aumento das oscilações de LF em unidades normalizadas (Tabela 4 e Figura 4D) e diminuição das oscilações de HF tanto em unidades absolutas (Tabela 4 e Figura 4C) quanto normalizadas (Tabela 4 e Figura 4E). Quando as porcentagens de variação em relação às oscilações normalizadas de LF (Tabela 4 e Figura 4D) e HF (Tabela 4 e Figura 4E) foram comparadas após o teste de inclinação, observou-se valores semelhantes entre ambos os momentos.

Tabela 4. Parâmetros espectrais calculados dos intervalos R-R (iRR) obtidos das series temporais na posição supina e durante o teste de inclinação nos jogadores de voleibol nos dois momentos analisados, ou seja, antes e após o término do período de competição.

Competição	Antes		Após	
	Supina	Tilt	Supina	Tilt
iRR, ms	1036 ± 122	707 ± 58*	1041 ± 166	719 ± 98 ⁺
Parâmetros Espectrais; iRR				
Variância, ms ²	28.4 ± 18.3	27.0 ± 19.2	34.3 ± 25.3	25.4 ± 20.3
LF, ms ²	16.5 ± 15.5	13.7 ± 11.5	17.1 ± 15.4	13.2 ± 9.1
LF, nu	57.9 ± 12.8	87.0 ± 7.0*	58.3 ± 15.3	88.2 ± 10.1 ⁺
HF, ms ²	10.1 ± 10.7	1.8 ± 1.4*	11.5 ± 12.7	1.7 ± 2.2 ⁺
HF, nu	42.0 ± 12.8	12.9 ± 7.0*	41.6 ± 15.3	11.7 ± 10.1 ⁺
Razão LF/HF	1.6 ± 1.2	11.9 ± 11.8*	1.8 ± 1.4	14.8 ± 12.2 ⁺

Os valores estão expressos em médias ± DPM. *P < 0.05 vs. posição supina antes do período de competição; e ⁺P < 0.05 vs. posição supina após o período de competição.

Variabilidade da Frequência Cardíaca (intervalos R-R)

Figura 4. (A) Variância Total dos intervalos R-R. Densidade da potência espectral dos intervalos R-R nas bandas de baixa (LF) e alta frequência (HF) em unidades absolutas (ms²; B e C) e normalizadas (nu; D e E) durante a posição supina e teste de inclinação (com suas respectivas alterações em %) calculada das séries temporais nos atletas de voleibol nos dois momentos analisados, ou seja, antes e após o término do período de competição. Os valores estão expressos em médias ± DPM. *P < 0.05 vs. posição supina antes do período de competição; e +P < 0.05 vs. posição supina após o período competição.

5. DISCUSSÃO

5. DISCUSSÃO

O platô ou a diminuição do rendimento máximo em atletas de elite esta freqüentemente associada a um desequilíbrio entre cargas de trabalho e recuperação (Lehmann et al., 1992). Nesse sentido, diversos estudos têm relatado o acompanhamento de marcadores de estresse como forma de controle das adaptações desencadeadas pelo treinamento ou competição (Garet et al., 2004; Kraemer, 2005; Kiviniemi et al., 2006; Kiviniemi et al., 2007; Hartwig et al., 2009).

Em nosso estudo, nós investigamos em atletas de voleibol, durante um período de competição, os efeitos do uso do MPCCS sobre a modulação autonômica da VFC, bem como sobre as concentrações plasmáticas de catecolaminas, cortisol e testosterona livre, reconhecidos marcadores de estresse físico endógenos. O principal achado do estudo foi que as cargas de trabalho utilizadas pelo modelo de periodização em questão durante um período de competição não exerceram influência sobre a modulação autonômica cardíaca, entretanto, melhoraram os parâmetros dos marcadores de estresse endógenos analisados.

Está bem estabelecido pela literatura que a prática de exercícios físicos melhora a modulação autonômica cardíaca tendo como comparação os valores obtidos na fase sedentária. Essa melhora está freqüentemente associada ao aumento da variabilidade da freqüência cardíaca, principalmente decorrente do aumento da influência do componente autonômico parassimpático sobre o coração (Migliaro et. al.,

2001; Raczak et. al., 2006; Sztajzel et. al., 2008; Collier et. al., 2009). Entretanto, o balanço modulatório cardíaco exercido pelos componentes autonômicos, simpático e parassimpático, pode estar intimamente relacionado com o tipo de exercício físico realizado (Collier et. al., 2009).

Em nosso estudo não observamos qualquer alteração na modulação autonômica cardíaca dos atletas quando foram comparados os dois momentos analisados, ou seja, antes do início e após o término do período de competição. Estes resultados podem estar associados à intensidade de treinamento utilizada no MPCs, bem como, com a modalidade esportiva praticada. No entanto, pouco se conhece sobre a relação entre intensidade de treino e adaptações envolvendo a modulação autonômica cardíaca de atletas. Nesse sentido, é possível que nossos achados estejam associados ao fato de todos os atletas estarem inseridos em uma modalidade predominantemente anaeróbia, sendo os mesmos submetidos a intensas cargas de treinamento. Essa hipótese corrobora com os achados de outros estudos que também mostraram que o controle autonômico cardíaco não apresentou alteração em atletas submetidos a intenso treinamento anaeróbio (Bonaduce et al., 1998; Vinet et. al., 2005). De fato, a causa precisa dos resultados observados na modulação autonômica necessita ser investigada, entretanto, também é possível que a mesma esteja associada a um pré-condicionamento cardiovascular desses atletas, ou seja, uma melhora do balanço autonômico modulatório cardíaco adquirida antes do início do período de competição.

Outro achado em relação à modulação autonômica cardíaca foi observado durante o tilt test. As oscilações de LF em unidades absolutas não se alteraram em

ambos os momentos avaliados, ou seja, antes e depois do período de competição. Este comportamento parece ter sido influenciado pelas oscilações induzidas pela modulação autonômica parassimpática, uma vez que as oscilações de LF retratam a somatória dos componentes autonômicos, simpático e parassimpático (Task Force, 1996; Souza et. al., 2008). Neste caso, os resultados sugerem que a ausência de alterações nas oscilações de LF em unidades absolutas durante o tilt test observada nos dois momentos, seja atribuída ao balanço autonômico modulatório caracterizado pelo aumento da influência modulatória simpática, e retirada da influência modulatória parassimpática, não resultando em alteração significativa nas oscilações de LF. Esta hipótese parece ganhar força com a proeminente redução das oscilações de HF durante o tilt test. Por outro lado, em unidades normalizadas, as oscilações de LF aumentaram quando o tilt test foi aplicado, uma vez que os valores normalizados representam o cálculo da porcentagem da participação das bandas de LF e de HF na potência total após a subtração do componente de muito baixa frequência ($VLF < 0.04\text{Hz}$). Conseqüentemente, como as oscilações de HF, em unidades normalizadas, reduziram significativamente durante a inclinação de 75° obtida no tilt test, a participação percentual das oscilações de LF, conseqüentemente, aumentaram de forma significativa. Esses resultados foram semelhantes nos dois momentos avaliados, como mostra a Figura 4 onde estão representados os valores numéricos dos percentuais de resposta obtidos.

Quanto aos marcadores de estresse endógenos, estudos têm mostrado que através do monitoramento dos níveis sanguíneos de catecolaminas, cortisol e

testosterona é possível identificar o nível de estresse físico imposto pelas cargas de trabalho utilizadas em um determinado período de treinamento ou competição (Zouhal et. al., 2008; Lane et. al., 2010). Entretanto, fatores como a característica do exercício (tipo, duração e intensidade), treinamento, idade, estado emocional e nutricional podem também exercer influência sobre as respostas destes hormônios (Zouhal et. al., 2008). De fato, a literatura apresenta resultados contraditórios no que diz respeito aos efeitos do treinamento sobre as respostas destes hormônios. Com relação às catecolaminas, estudo mostrou que o treinamento resistido promoveria redução dos níveis séricos de adrenalina, entretanto, sem afetar os níveis séricos de noradrenalina (Guezennec et. al., 1986). Em contra partida, outros autores demonstraram que um programa de treinamento de velocidade não promoveria qualquer alteração nas concentrações de catecolaminas (Nevill et. al., 1989).

Em nosso estudo, após o período de competição, foi constatado um aumento significativo na concentração plasmática de adrenalina, acompanhado de redução nas concentrações de noradrenalina e catecolaminas totais. Estes resultados não demonstraram nenhuma correlação direta com a modulação autonômica cardíaca, especialmente com as oscilações de LF que não apresentaram nenhuma alteração após o término do período de competição. Esta falta de correlação entre a concentração de adrenalina e VFC também foi mencionada anteriormente envolvendo outras situações (Vlcek et al., 2008). As causas desses achados não estão evidenciadas e precisam ser investigadas. No entanto, sendo as catecolaminas qualificadas como hormônios marcadores de estresse (Frankenhaeuser et. al., 1976),

os resultados atenuados de noradrenalina e catecolaminas totais parecem refletir adaptações positivas frente às cargas de trabalho utilizadas durante o período de competição. Ao mesmo tempo, como descrito por outros autores, o aumento observado nos níveis de adrenalina pode estar relacionado com adaptações promovidas sobre alguns receptores em resposta as cargas de treinamento e competição, o que indicaria o fenômeno chamado “Sports Adrenal Medulla”, onde o aumento da capacidade de secreção deste hormônio seria uma consequência das adaptações associadas à densidade e sensibilidade de receptores adrenérgicos nos indivíduos treinados (Kjaer, 1998; Botcazou et. al., 2006; Zouhal et. al., 2008).

Adicionalmente, testosterona livre e cortisol também apresentaram resultados interessantes. A testosterona é reconhecida como sendo um hormônio envolvido nos processos anabólicos músculo-esquelético, enquanto que o cortisol tem funções catabólicas (Kraemer WJ, Ratamess NA, 2005). Em nosso estudo, após o período de competição, observamos aumento significativo da testosterona livre acompanhado de redução nos níveis de cortisol (16h00) quando comparadas as amostras coletadas antes e após o período de competição. Estas respostas apontam para um estado de anabolismo (Hakkinen, 1989). Entretanto, não há na literatura padrões consistentes sobre as adaptações nas concentrações desses hormônios em situações de repouso, induzidas pelo treinamento físico. Nesse sentido, tem sido sugerida a utilização da razão entre os mesmos (Testosterona/Cortisol) como um potente biomarcador endócrino do “equilíbrio anabólico-catabólico” e também como uma ferramenta de diagnóstico de “overreaching” e “overtrainig” em atletas (Aldlercreutz

et. al., 1986; Urhausen et. al., 1995; Hug et. al., 2003). Em nosso estudo observamos aumento significativo da razão entre Testosterona/Cortisol após o período de competição, o que parece indicar uma tendência anabólica (Lac G, Berthon P, 2000).

Por fim, nossos resultados sugerem que a análise das quantificações plasmáticas de catecolaminas, cortisol e testosterona livre, pode contribuir como ferramentas importantes no auxílio ao diagnóstico do estresse físico induzido pelo treinamento em atletas de voleibol submetidos ao MPCs. Entretanto, a utilização desses marcadores em outras modalidades esportivas precisa ser investigada. Por sua vez, mais estudos serão necessários para avaliar a importância de utilização da análise da modulação autonômica da VFC como um marcador de estresse físico em atletas.

6. CONCLUSÕES

6. CONCLUSÕES

Em conclusão, nossos resultados demonstraram que o MPCCS não alterou a modulação autonômica da VFC, mas promoveu adaptações benéficas aos atletas, incluindo mudanças positivas na concentração plasmática dos marcadores de estresse endógenos analisados. A ausência de alterações na VFC indica que não houve relação direta entre modulação autonômica cardíaca e marcadores de estresse endógenos no presente estudo.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O conhecimento minucioso dos processos adaptativos desencadeados pelas cargas de treinamento e competição está intimamente relacionado com o desenvolvimento contínuo do desempenho do atleta. No entanto, a sistematização entre cargas de trabalho e períodos de recuperação, na maioria das vezes, parece ainda ser feita de forma empírica, ou seja, através de experiências práticas dos profissionais da área desportiva, desconsiderando-se a fisiologia do exercício e a individualidade biológica do atleta. O acompanhamento de alguns marcadores de estresse poderia colaborar com esta sistematização, auxiliando no controle e individualização das cargas de treinamento.

8. REFERÊNCIAS

8. REFERÊNCIAS

Adlercreutz H, Härkönen M, Kuoppasalmi K, Näveri H, Huhtaniemi I, Tikkanen H, Remes K, Dessypris A, Karvonen J. Effect of training on plasma anabolic and catabolic steroid hormones and their response during physical exercise. **Int J Sports Med.** 1986; 7 Suppl 1: 27-8

Akselrod S, Gordon D, Ubel FA, Shannon DC, Berger AC, Cohen RJ. Power spectrum analysis of heart rate fluctuation: a quantitative probe of beat-to-beat cardiovascular control. **Science** 1981; 213 (4504): 220-222.

Baumert M, Brechtel L, Lock J, Hermsdorf M, Wolff R, Baier V, Voss A. Heart rate variability, blood pressure variability, and baroreflex sensitivity in overtrained athletes. **Clin J Sport Med.** 2006; 16 (5): 412-7

Bompa T. Theory and methodology of training: the key to athletic performance. Boca Raton (FL): Kendall/Hunt, 1984.

Bonaduce D, Petretta M, Cavallaro V, Apicella C, Ianniciello A, Romano M, Breglio R, Marciano F. Intensive training and cardiac autonomic control in high level athletes. **Med Sci Sports Exerc.** 1998; 30 (5): 691-6

Bosquet L, Merkari S, Arvisais D, Aubert AE. Is heart rate a convenient tool to monitor over-reaching? A systematic review of the literature. **Br J Sports Med.** 2008; 42 (9): 709-14

Botcazou M, Zouhal H, Jacob C, Gratas-Delamarche A, Berthon PM, Bentué-Ferrer D, Delamarche P. Effect of training and detraining on catecholamine responses to sprint exercise in adolescent girls. **Eur J Appl Physiol** 2006; 97 (1): 68-75

Carter JB, Banister EW, Blaber AP. Effect of endurance exercise on autonomic control of heart rate. **Sports Med** 2003; 33 (1):33–46

Chwalbińska-Moneta J, Kruk B, Nazar K, Krzemiński K, Kaciuba-Uściłko H, Ziemia A. Early effects of short-term endurance training on hormonal responses to graded exercise. **J Physiol Pharmacol.** 2005; 56 (1): 87-99

Collier SR, Kanaley JA, Carhart R Jr, Frechette V, Tobin MM, Bennett N, Luckenbaugh AN, Fernhall B Cardiac autonomic function and baroreflex changes following 4 weeks of resistance versus aerobic training in individuals with pre-hypertension. **Acta Physiol** 2009; 195 (3): 339-48

Cornelissen VA, Fagard RH. Effects of endurance training on blood pressure, blood pressure-regulating mechanisms, and cardiovascular risk factors. **Hypertension** 2005; 46: 667-75.

Ellestad MH. Stress Testing: Principles and Practices, 3rd Edition. Philadelphia, FA Davis, 1986.

Frankenhaeuser M, Dunne E, Lundberg U. Sex differences in sympathetic-adrenal medullary reactions induced by different stressors. **Psychopharmacology** 1976; 47 (1): 1-5

García-Manso JM, Navarro-Valdivielso M, Ruiz-Caballero JA. Planificación del entrenamiento deportivo. Madrid: Gymnos; 1996.

Garet M, Tournaire N, Roche F, Laurent R, Lacour JR, Barthelemy JC, Pichot V. Individual interdependence between nocturnal ANS activity and performance in swimmers. **Med Sci Sports Exerc** 2004; 36 (12): 2112–18

Gomes AC. Treinamento desportivo - estruturação e periodização. Porto Alegre: Artmed, 2002.

Guezennec Y, Leger L, Lhoste F, Aymonod M, Pesquies PC. Hormone and metabolite response to weight-lifting training sessions. **Int J Sports Med**. 1986; 7 (2): 100-5

Guyton AC, Hall JE. Tratado de Fisiologia Médica. São Paulo: Elsevier, 2006.

Häkkinen K. Neuromuscular and hormonal adaptations during strength and power training. A review. **J Sports Med Phys Fitness** 1989; 29 (1): 9-26

Hartwig TB, Naughton G, Searl J Load, stress, and recovery in adolescent rugby union players during a competitive season. **J Sports Sci.** 2009; 27 (10): 1087-94

Hoffman JR, Kang J, Ratamess NA, Faigenbaum AD Biochemical and hormonal responses during an intercollegiate football season. **Med Sci Sports Exerc.** 2005; 37 (7): 1237-41

Hug M, Mullis PE, Vogt M, Ventura N, Hoppeler H. Training modalities: over-reaching and over-training in athletes, including a study of the role of hormones. **Best Pract Res Clin Endocrinol Metab.** 2003; 17 (2): 191-209

Issurin V. Block periodization versus traditional training theory: a review. **J Sports Med Phys Fitness** 2008; 48 (1): 65-75

Issurin V. New Horizons for the Methodology and Physiology of Training Periodization. **Sports Med** 2010; 40 (3): 189-206

Jacob C, Zouhal H, Prioux J, Gratas-Delamarche A, Bentué-Ferrer D, Delamarche P. Effect of the intensity of training on catecholamine responses to supramaximal exercise in endurance-trained men. **Eur J Appl Physiol.** 2004; 91 (1): 35-40

Kaikkonen P, Rusko H, Martinmäki K. Post-exercise heart rate variability of endurance athletes after different high-intensity exercise interventions. **Scand J Med Sci Sports**. 2008;18 (4): 511-9

Kiviniemi AM, Hautala AJ, Kinnunen H, Tulppo MP Endurance training guided individually by daily heart rate variability measurements. **Eur J Appl Physiol** 2007; 101: 743–51

Kiviniemi AM, Hautala AJ, Mäkikallio TH, Seppänen T, Huikuri HV, Tulppo MP Cardiac vagal outflow after aerobic training by analysis of high-frequency oscillation of the R-R interval. **Eur J Appl Physiol** 2006; 96 (6): 686–92

Kjaer M. Adrenal medulla and exercise training. **Eur J Appl Physiol** 1998; 77(3): 195-9

Kraemer WJ, Ratamess NA Hormonal responses and adaptations to resistance exercise and training. **Sports Med**. 2005; 35 (4): 339-61

Lac G, Berthon P. Changes in cortisol and testosterone levels and T/C ratio during an endurance competition and recovery. **J Sports Med Phys Fitness** 2000; 40 (2): 139-44

Lac G, Maso F. Biological markers for the follow-up of athletes throughout the training season. **Pathol Biol (Paris)**. 2004; 52 (1): 43-9.

Lane AR, Duke JW, Hackney AC. Influence of dietary carbohydrate intake on the free testosterone: cortisol ratio responses to short-term intensive exercise training. **Eur J Appl Physiol** 2010; 108 (6): 1125-31

Lehmann M, Gastmann U, Petersen KG, Bachl N, Seidel A, Khalaf AN, Fischer S, Keul J Training - overtraining: performance, and hormone levels, after a defined increase in training volume versus intensity in experienced middle and long distance runners. **Br J Sports Med** 1992; 26: 233-42

Malliani A, Pagani M, Lombardi F, Cerutti S. Cardiovascular neural regulation explored in the frequency domain. **Circulation** 1991; 84: 482-92.

Matínez AC, Seco Calvo J, Tur Mari JA, Abecia LC, Orella EE, Biescas AP Testosterone and cortisol changes in professional basketball players through a season competition. **J Strength Cond Res** 2010; 24 (4): 1102-1108.

Matveev LP. The bases of sport training [in Russian]. Moscow: FiS Publisher, 1977

Melo RC, Santos MD, Silva E, Quitério RJ, Moreno MA, Reis MS, Verzola IA, Oliveira L, Martins LE, Gallo-Junior L, Catai AM. Effects of age and physical activity on the autonomic control of heart rate in healthy men. **Braz J Med Biol Res.** 2005; 38 (9): 1331-8

Migliaro ER, Contreras P, Bech S, Etxagibel A, Castro M, Ricca R, Vicente K. Relative influence of age, resting heart rate and sedentary life style in short-term analysis of heart rate variability. **Braz J Med Biol Res.** 2001; 34 (4): 493-500

Moreira A. A eficácia e a heterocronia das respostas de adaptação de basquetebolistas submetidos a diferentes modelos de estruturação da carga de treinamento e competição [Tese de Doutorado]. Campinas (SP): Universidade Estadual de Campinas; 2006.

Moreira A. La periodización del entrenamiento y las cuestiones emergentes: el caso de los deportes de equipo. **Rev Andal Med Deporte.** 2010; 3 (4): 170-178.

Moreira A, Okano AH, Souza M, Oliveira PR, Gomes AC Sistema de cargas seletivas no basquetebol durante um mesociclo de preparação: implicações sobre a velocidade e as diferentes manifestações de força. **Revista Brasileira de Ciência e Movimento**, v. 13, n. 3, p. 7-16, 2005.

Nevill ME, Boobis LH, Brooks S, Williams C. Effect of training on muscle metabolism during treadmill sprinting. **J Appl Physiol** 1989; 67 (6): 2376-82

Ogoh S, Fisher JP, Dawson EA, White MJ, Secher NH, Raven PB. Autonomic nervous system influence on arterial baroreflex control of heart rate during exercise in humans. **J Physiol.** 2005; 566 (Pt 2): 599-611

Oliveira, PR O efeito posterior duradouro de treinamento (EPDT) das cargas concentradas de força no voleibol [Tese de Doutorado]. Campinas (SP): Universidade Estadual de Campinas; 1998.

Porta A, Tobaldini E, Guzzetti S, Furlan R, Montano N, Gnecci-Ruscone T. Assessment of cardiac autonomic modulation during graded head-up tilt by symbolic analysis of heart rate variability. **Am J Physiol Heart Circ Physiol.** 2007; 293 (1): H702-8

Raczak G, Daniłowicz-Szymanowicz L, Kobuszevska-Chwirot M, Ratkowski W, Chmielewska M, Szwoch M. Long-term exercise training improves autonomic nervous system profile in professional runners. **Kardio Pol.** 2006; 64 (2): 135-40

Rubini R, Porta A, Baselli G, Cerutti S, Paro M. Power spectrum analysis of cardiovascular variability monitored by telemetry in conscious unrestrained rats. **J Auton Nerv Syst** 1993; 45: 181–90.

Sloan RP, Shapiro PA, DeMeersman RE, Bagiella E, Brondolo EN, McKinley PS, et al. The effect of aerobic training and cardiac autonomic regulation in young adults.

Am J Public Health 2009; 99(5):921-8

Souza HC, Martins-Pinge MC, Dias da Silva VJ, Borghi-Silva A, Gastaldi AC, Blanco JH, Tezini GC. Heart rate and arterial pressure variability in the experimental renovascular hypertension model in rats. **Auton Neurosci**. 2008; 139 (1-2): 38-45

Suzuki S, Sumi K, Matsubara M. Cardiac autonomic control immediately after exercise in female distance runners. **J Physiol Anthropol**. 2008; 27 (6): 325-32

Sztajzel J, Jung M, Sievert K, Bayes De Luna A. Cardiac autonomic profile in different sports disciplines during all-day activity. **J Sports Med Phys Fitness** 2008; 48 (4): 495-501

Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. **Circulation** 1996; 93 (5):1043–1065.

Tulppo MP, Hautala AJ, Makikallio TH, Laukkanen RT, Nissilä S, Hughson RL, Huikuri HV Effects of aerobic training on heart rate dynamics in sedentary subjects. **J Appl Physiol** 2003; 95 (1): 364–372

Urhausen A, Gabriel H, Kindermann W. Blood hormones as markers of training stress and overtraining. **Sports Med.** 1995; 20 (4): 251-76

Väänänen I, Vasankari T, Mäntysaari M, Vihko V. Hormonal responses to daily strenuous walking during 4 successive days. **Eur J Appl Physiol.** 2002; 88 (1-2):122-7.

Verkhoshansky Y. Entrenamiento deportivo: planificación y programación. Barcelona: Martínez Roca; 1990

Vinet A, Beck L, Nottin S, Obert P. Effect of intensive training on heart rate variability in prepubertal swimmers. **Eur J Clin Invest.** 2005; 35 (10): 610-4

Vlcek M, Radikova Z, Penesova A, Kvetnansky R, Imrich R. Heart rate variability and catecholamines during hypoglycemia and orthostasis. **Auton Neurosci.** 2008; 143 (1-2): 53-7

West SJ, Goedecke JH, van Niekerk L, Collins M, St Clair Gibson A, Macdonald IA, Noakes TD, Lambert EV. Effects of elevated plasma adrenaline levels on substrate metabolism, effort perception and muscle activation during low-to-moderate intensity exercise. **Pflugers Arch.** 2006; 451 (6): 727-37

Zouhal H, Jacob C, Delamarche P, Gratas-Delamarche A. Catecholamines and the effects of exercise, training and gender. **Sports Med.** 2008; 38 (5): 401-23

9. ANEXO I

Effects of training periodization on cardiac autonomic modulation and endogenous stress markers in volleyball players

J. Mazon, A. Gastaldi, T. Di Sacco, I. Cozza, S. Dutra, H. Souza

Exercise Physiology Laboratory, Department of Biomechanics, Medicine and Rehabilitation, Ribeirão Preto School of Medicine, University of São Paulo, São Paulo, Brazil

Corresponding author: Hugo C. D. Souza, PhD, Exercise Physiology Laboratory, Department of Biomechanics and Rehabilitation, Ribeirão Preto School of Medicine, University of São Paulo, 14049-900, Ribeirão Preto, São Paulo, Brazil. Fax: 55 16 3602 4413, E-mail: hugocds@fmrp.usp.br

Accepted for publication 25 May 2011

We investigated the effects of selective loads of periodization model (SLPM) on autonomic modulation of heart rate variability (HRV) and endogenous stress markers before and after a competition period in volleyball players ($N = 32$). The experimental protocol for the evaluation of HRV consisted of using spectral analysis of time series composed of the R-R intervals derived from electrocardiogram obtained in the supine position and during the tilt test. Stress marker levels were determined by quantifying the plasma concentration of endogenous catecholamines, cortisol and free testosterone. The results showed no changes between the levels of HRV before and after a competition period. In

contrast, the quantification of the plasma concentration of endogenous stress markers revealed reductions in the levels of total catecholamines, noradrenaline and cortisol. These changes were accompanied by increases in the concentration of free testosterone and in the testosterone/cortisol ratio. In conclusion, our results demonstrate that the SLPM did not change the cardiac autonomic modulation of HRV, but promoted beneficial adaptations in athletes, including positive changes in the plasma concentration of the endogenous stress markers. The absence of changes in HRV indicates that there is no direct relationship between cardiac autonomic modulation and endogenous stress markers in the present study.

Sports training aims to maximize an athlete's performance. The planned distribution or structure of training loads (technical, tactical and physical) in periods or stages has been referred to as periodization (Bompa, 1984). Traditionally, periodization is divided into three phases: preparation (acquisition of the athletic shape), competition (maintenance of the athletic shape) and transition (temporal loss of the athletic shape) (Issurin, 2008).

Currently, the traditional periodization model exhibits several limitations in the structuring of training for elite athletes. The high number of competitions on the sports calendar leads to inconsistent preparation periods for athletes using the traditional model. Moreover, factors such as globalization, the fight against illegal drug use and advances in sports technology can influence the training process and generate changes in its design and organization. These changes have led to the development of alternative periodization models, known as contemporary models, such as the "selective loads periodization model" (SLPM), which is primarily recommended to accommodate the team sports calendar, which often contains insufficient periods to prepare athletes before the start of competitions (Issurin, 2010; Moreira, 2010).

The major characteristic of the SLPM is the high volume of specific exercises aimed at improving speed capabilities during training (Moreira, 2010). However, the lack of detailed knowledge regarding the adaptive processes triggered by the use of specific loads in training represents a challenge for those working with elite athletes.

In this respect, our hypothesis is that the assessment and monitoring of stress markers during training would enable the remodeling and individualization of an athlete's workload whenever necessary, thus maximizing his or her performance (Hoffman et al., 2005). On the basis of this assumption, several studies have shown that analyzing heart rate variability (HRV), which indirectly quantifies the influence of autonomic sympathetic and parasympathetic components on the heart, could also be an important tool to aid in the diagnosis of stress and cardiovascular conditioning in athletes (Tulppo et al., 2003; Garet et al., 2004; Kiviniemi et al., 2006, 2007). On the other hand, there is a consensus that some hormonal factors, such as glucocorticoids and male hormones, represent endogenous stress markers that are involved in the adaptive processes triggered by training or competition loads and in the regeneration phase (Kraemer & Ratamess, 2005). However, few

Table 1. Composition of microcycles regarding the competition period

Microcycles	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Total days of training	6	6	6	7	3	5	6	7	6	6	6	6
Number of sessions	10	10	10	11	6	9	10	11	11	10	10	10
Length of training (min)	900	840	880	840	720	840	900	840	960	840	810	810
Official matches	2	2	2	3	–	1	2	3	1	2	2	2
Motor capacities and weekly use of training resources												
Special endurance												
Directed collective	3	3	3	2	1	3	3	2	3	3	3	3
Special strength												
Resistance training	3	3	3	2	2	3	3	2	3	3	3	3
Multiple jumps	2	2	2	–	1	–	–	–	–	–	–	–
Weighted jumps	–	1	–	1	–	1	1	–	1	1	1	1
Drop jumps	2	2	2	–	1	–	–	–	–	–	–	–
Speed												
Maximum displacements	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2
Flexibility												
Stretching dynamics	2	2	2	1	–	2	2	1	2	2	1	1
Recovery works												
Swimming pool	1	1	1	1	–	1	1	1	1	1	1	1
Cryo-immersion	1	1	1	2	–	1	1	2	1	1	1	1

studies have addressed the influence of the use of specific workloads on the chronic responses of these stress markers and on the modulation of HRV during a competition period.

Because of this, the present study aimed to investigate the influence of using the SLPM on cardiac autonomic modulation and on the levels of endogenous stress markers in volleyball players before and after a competition period. The autoregressive method was used to perform spectral analysis of autonomic modulation of HRV, and the levels of endogenous stress markers were determined by quantifying the plasma concentrations of catecholamines, cortisol and free testosterone.

Methods

Sampling

The study was conducted with 32 male volleyball players (with a mean age of 24.6 ± 5.4 years) who were trained according to the SLPM. Musculoskeletal disorders that hindered the athlete from being evaluated or participating in training sessions or competitions and the use of drugs or substances that might interfere with cardiac autonomic function were used as exclusion criteria. Participants were screened at the Exercise Physiology Laboratory, Department of Biomechanics, Medicine and Rehabilitation, Ribeirão Preto School of Medicine, University of São Paulo, Brazil. The evaluations were conducted at two time points, before and after a competition period. The study protocol was conducted in accordance with the ethical standards established by the Helsinki Declaration of 1975 and was approved by the Ethics Committee on Human Research, Ribeirão Preto School of Medicine, University of São Paulo, Brazil. All participants signed a free and informed consent form.

Characteristics of the competition period

The competition period lasted 12 weeks. As proposed by the SLPM, the purpose of this period was to improve the strength and speed capabilities of each athlete's neuromuscular system.

The composition of the micro-cycles used during this period is described in Table 1.

Laboratory tests

Blood samples were collected on two occasions, before and after a competition period, between 7:00 and 8:00 hours, using EDTA Vacutainer® tubes (Becton, Dickinson and Company, Franklin Lakes, New Jersey, USA). Blood samples were also collected at 4:00 hours for cortisol measurements. After blood collection, the samples were centrifuged for 10 min at 4 °C and 1560g, and the plasma isolated from each athlete was stored in Eppendorf tubes (1.5mL), which were placed in a freezer (–80 °C) for later analysis. We established a 48-h interval before the first and after the last training session for blood collection in the laboratory. The athletes were instructed to fast for 12h, to avoid physical activities and not to drink beverages containing alcohol or caffeine during this period. Serum levels of glucose, triglycerides and cholesterol were measured using an enzymatic spectrophotometer (Beckman DU 640®, Beckman Coulter, Inc., Brea, California, USA). Specific radioimmunoassay procedures were performed (Siemens Medical Diagnostics, Los Angeles, California, USA) to quantify the plasma levels of cortisol and free testosterone. The quantification of plasma catecholamines was performed by high-performance liquid chromatography using a multichannel electrochemical detector (CoulArray 5600; ESA Inc., Chelmsford, Massachusetts, USA).

The maximum oxygen uptake (VO_{2max}) was assessed by a maximal exercise test on a treadmill (Super ATL Millenium®, Inbramed/Inbrasport, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brazil) according to a previously published protocol (Ellestad, 1986). The analysis of exhaled gases (O_2 and CO_2) was performed using a metabolic device (Ultima™ Cardio2, Medical Graphics Corp., St. Paul, Minneapolis, Minnesota, USA).

Body mass index was obtained using the formula W/H^2 , where W was the weight of the athletes in kilograms and H was the height of the athletes in meters. Body composition was evaluated using the bioelectrical impedance method (Quantum BIA 101; Q-RJL Systems, Clinton Township, Michigan, USA).

Spectral analysis of HRV

The athletes were instructed to avoid physical activity and to maintain their usual food intake, but not to drink alcohol or

caffeine for 48 h before the testing. Heart rate (HR) recordings for HRV spectral analysis were performed between 9:00 and 10:00 hours. During the first 20 min, the athletes were in a supine position on an electric standing table, after which they were passively placed in an inclined position of 75° for another 20 min (the tilt test). Electrocardiograms (ML866 PowerLab, AD Instruments, Bella Vista, New South Wales, Australia) were used to record the athletes' HR in supine position and during the tilt test, and the respiratory rate was set at 15 cycles/min with the aid of a metronome. Time series were obtained from adjacent R-R intervals (RRi) and then divided into segments of 200 beats, which were superimposed over the segments of 100 beats obtained from the previous series. After calculating the mean and variance of each segment, spectral analysis was performed using the autoregressive model (Malliani et al., 1991; Rubini et al., 1993; Task Force, 1996). The oscillatory components present in the stationary segments, from beat to beat of RRi, were calculated based on the resources of Levinson-Durbin, according to Akaike's criteria (Malliani et al., 1991). This procedure allows for the automatic quantification of the central frequency and the influence of each relevant oscillatory component present in the interval series. The oscillatory components were classified as low frequency (LF) and high frequency (HF), which showed fluctuations in the frequency ranges of 0.04–0.15 and 0.15–0.5 Hz, respectively. The power of the LF and HF components in the variability of the RRi was also expressed in normalized units, obtained by calculating the percentage of variability of LF and HF, considering the total power after subtracting the very-low-frequency (VLF) component (frequencies <0.04 Hz). This normalization procedure minimizes the effects of total power changes on the variability of the absolute values of LF and HF components (Malliani et al., 1991; Rubini et al., 1993; Task Force, 1996). In addition, the LF/HF ratio was calculated to establish an index for assessment of cardiac autonomic modulation.

Statistical analysis

Data are presented as mean and standard deviation. The results of anthropometric and metabolic values, endogenous factors and spectral analysis of HRV were analyzed by using Student's *t*-test for independent measures, with Mann-Whitney rank sum test being used when necessary. The level of significance was set at $P < 0.05$ for all analyses.

Results

Anthropometric characteristics and metabolic values

Table 2 shows the variables concerning the anthropometric and metabolic characteristics of the athletes at the two time points examined, that is, before and after the competition period. There were no significant differences in the anthropometric variables analyzed. However, analysis of the metabolic variables revealed a significant increase in the values of $\text{VO}_{2\text{max}}$ after the competition period.

Hormonal responses

Table 3 shows the hormone levels obtained before and after the competition period. We observed significant reductions in the plasma level of noradrenaline and in total catecholamine levels after the competition period. In contrast, the concentration

Models of periodization and stress markers

Table 2. Anthropometric characteristics and metabolic values of the volleyball players at the two time points examined, that is, before and after the end of the competition period

	Competition	
	Before	After
Anthropometric characteristics		
Age (years)	24.6 ± 5.4	—
Height (m)	1.94 ± 0.07	—
Weight (kg)	91.5 ± 10.7	92.3 ± 11.4
BMI (kg/m ²)	24.2 ± 3.1	24.4 ± 3.2
Fat mass (%)	12.3 ± 2.0	12.4 ± 1.9
Metabolic values		
Heart rate (bpm)	58.6 ± 6.7	58.9 ± 8.8
$\text{VO}_{2\text{max}}$ (mL kg ⁻¹ min ⁻¹)	45.3 ± 4.1	49.2 ± 3.4*
Total cholesterol (mg/dL)	148.1 ± 25.5	155.8 ± 23.3
HDL (mg/dL)	46.2 ± 9.2	48.0 ± 9.2
LDL (mg/dL)	86.4 ± 23.3	95.0 ± 22.8
VLDL (mg/dL)	15.4 ± 7.0	12.7 ± 5.0
Triglycerides (mg/dL)	77.1 ± 35.0	64.2 ± 24.7

Values are expressed as means ± SD.

* $P < 0.05$ vs before competition period.

Table 3. Hormonal responses of the volleyball players at the two time points examined, that is, before and after the end of the competition period

	Competition	
	Before	After
Hormonal responses		
Adrenaline (pg/mL)	41.1 ± 15.9	67.0 ± 33.8*
Noradrenaline (pg/mL)	347.5 ± 227.9	193.5 ± 66.4*
Total catecholamines (pg/mL)	388.6 ± 226.1	260.5 ± 72.3*
Cortisol (μg/100 mL) (8:00 hours)	14.9 ± 3.6	14.4 ± 3.6
Cortisol (μg/100 mL) (4:00 hours)	10.6 ± 1.8	8.5 ± 3.5*
Free testosterone (pg/mL)	14.4 ± 2.8	18.9 ± 5.1*
Free testosterone/cortisol ratio	1.05 ± 0.4	1.42 ± 0.6*

Values are expressed as means ± SD.

* $P < 0.05$ vs before competition period.

of adrenaline showed a significant increase. No significant differences in cortisol levels were observed in the blood samples collected at 8:00 hours, but the samples collected at 4:00 hours showed a significant reduction in cortisol. In addition, we observed significant increases in the plasma levels of free testosterone and in the testosterone/cortisol ratio.

Spectral analysis of HRV

Table 4 and Fig. 1 show the responses of the HRV spectral parameters of athletes in the supine position and during the tilt test, both before and after the competition period. In the supine position, we observed no significant differences between the two time points in any of the assessed spectral parameters. Likewise, similar results between the two time points were obtained during the tilt test (inclination at 75°

Table 4. Spectral parameters calculated for R-R interval (RRI) obtained from time series in supine position and during tilt test in volleyball players at the two time points examined, that is, before and after the end of the competition period

Competition	Before		After	
	Supine	Tilt	Supine	Tilt
RRI (ms)	1036 ± 122	707 ± 58*	1041 ± 166	719 ± 98*
Spectral parameters; RRI				
Variance (ms ²)	28.4 ± 18.3	27.0 ± 19.2	34.3 ± 25.3	25.4 ± 20.3
LF (ms ²)	16.5 ± 15.5	13.7 ± 11.5	17.1 ± 15.4	13.2 ± 9.1
LF (nu)	57.9 ± 12.8	87.0 ± 7.0*	58.3 ± 15.3	88.2 ± 10.1*
HF (ms ²)	10.1 ± 10.7	1.8 ± 1.4*	11.5 ± 12.7	1.7 ± 2.2*
HF (nu)	42.0 ± 12.8	12.9 ± 7.0*	41.6 ± 15.3	11.7 ± 10.1*
LF/HF ratio	1.6 ± 1.2	11.9 ± 11.8*	1.8 ± 1.4	14.8 ± 12.2*

Values are expressed as means ± SD.

* $P < 0.05$ vs supine position before competition period;

* $P < 0.05$ vs supine position after competition period.

from the lying supine position). During this test, athletes were characterized by increased variations in LF [in normalized units, Fig. 1(d)] and reductions in the oscillations of HF in both absolute [Fig. 1(c)] and normalized [Fig. 1(e)] units. There were also no significant differences between the two time points when comparing the percentages of LF oscillations [Fig. 1(d)] and HF [Fig. 1(e)] variations induced by the tilt test. Similarly, the values of the LF/HF ratio both in the supine position and after the tilt test did not differ.

Discussion

Plateaus and decreases in the maximum performance of elite athletes are often associated with imbalances between workloads and recovery time (Lehmann et al., 1992). Accordingly, several studies have reported the monitoring of stress markers as a means to control the adaptations elicited by training or competition (Garet et al., 2004; Kraemer & Ratamess, 2005; Kiviniemi et al., 2006, 2007; Hartwig et al., 2009).

In our study, we investigated the effects of using the SLPM on HRV autonomic modulation and on the plasma concentrations of catecholamines, cortisol and free testosterone, which are known endogenous markers of physical stress, in volleyball players during a competition period. The main finding of this study was that the workloads used in SLPM during a competition period did not influence the cardiac autonomic modulation, but they did improve the levels of assessed endogenous stress markers.

It is well established in the literature that physical exercise improves cardiac autonomic modulation. This improvement is frequently associated with increased HRV, a fact that is primarily due to the increased parasympathetic autonomic influence on the heart (Migliaro et al., 2001; Raczak et al., 2006; Sztajzel et al., 2008; Collier et al., 2009). However,

the cardiac modulatory balance exerted by autonomic sympathetic and parasympathetic components may be closely related to the type of exercise performed (Collier et al., 2009).

In our study, we did not observe any changes in cardiac autonomic modulation between before and after a competition period. These findings do not indicate a direct relationship to endogenous stress markers analyzed. However, they may be associated with the intensity of training during SLPM and with the type of sport. In fact, little is known about the relationship between training intensity and adaptations involving cardiac autonomic modulation in athletes. Thus, it is possible that our findings result from the fact that the athletes examined in the current study exhibit predominantly anaerobic activity during competitions and are under intense training loads. This hypothesis is consistent with the findings of other studies that have shown no changes in cardiac autonomic control in athletes under intense anaerobic training (Bonaduce et al., 1998; Vinet et al., 2005). The precise cause of the observed results regarding autonomic modulation needs to be investigated, but it is possible that it is associated with the cardiovascular preconditioning of these athletes, that is, an improvement in modulatory cardiac autonomic balance acquired in the preparation phase before of the competition period.

Another finding regarding cardiac autonomic modulation was observed during the tilt test. After the competition period, LF oscillations (in absolute units) did not change from the values observed before the competition period. This behavior seems to have been influenced by the oscillations induced by parasympathetic autonomic modulation because the LF oscillations represent the sum of the autonomic sympathetic and parasympathetic components (Task Force, 1996; Souza et al., 2008). In this case, our results suggest that the absence of changes in LF oscillations (in absolute units) during the tilt test, observed in both periods, can

Fig. 1. (a) Total variance of R-R interval. Spectral power density of R-R interval in low-frequency (LF) and high-frequency (HF) bands in absolute (ms^2 ; b and c) and normalized units (nu; d and e) during supine position and tilt test (with their respective % change) calculated from time series in volleyball players at the two time points examined, that is, before and after the end of the competition period. * $P < 0.05$ vs supine position before competition period; + $P < 0.05$ vs supine position after competition period.

be attributed to modulatory autonomic balance. This balance is characterized by increased modulatory sympathetic influence and by the withdrawal of modulatory parasympathetic influence, resulting in an insignificant change in the absolute value of LF oscillations. This hypothesis is supported by the prominent reduction in HF oscillations observed during the tilt test. On the other hand, LF oscillations in normalized units increased when the tilt test was applied. This stems from the fact that normalized values represent a calculation of the percentage of participation of LF and

HF components in total power after subtracting the VLF component ($\text{VLF} < 0.04 \text{ Hz}$). Consequently, because the absolute number of HF oscillations decreased significantly during the tilt test, the corresponding percentage of LF fluctuations increased significantly. These results were similar in the two periods evaluated, as shown in Fig. 1.

Previous studies have shown that it is possible to identify the level of physical stress imposed by the workloads used in a given period of training or competition by monitoring the blood levels of cate-

cholamines, cortisol and free testosterone (Zouhal et al., 2008; Lane et al., 2010). However, factors such as exercise characteristics (type, duration and intensity), training, age, nutrition and emotional state can also exert influences on the responses of these hormones (Zouhal et al., 2008). In fact, the literature presents conflicting results regarding the effects of training on the responses of these hormones. For example, one study showed that resistance training promotes a reduction in serum adrenaline levels but does not affect the serum levels of noradrenaline (Guezennec et al., 1986). In addition, other authors have shown that a speed training program does not lead to changes in the concentrations of catecholamines (Nevill et al., 1989).

In our study, we found a significant increase in plasma adrenaline levels after a competition period that was accompanied by a reduction in the total catecholamine concentration and the levels of noradrenaline. These results did not show a direct correlation with cardiac autonomic modulation, especially with LF oscillations, which did not change after the end of the competition period (Vlcek et al., 2008). The causes of these findings are not immediately clear, and further research is needed to elucidate this issue. However, because catecholamines are classified as stress marker hormones (Frankenhaeuser et al., 1976), the decreased levels of total catecholamines and noradrenaline may reflect positive adaptations to the workloads used during the competition period. At the same time, as described elsewhere, the observed increase in the levels of adrenaline may be related to receptor adaptations that occur in response to the loads of training and competition. This may reflect a phenomenon called “Sports Adrenal Medulla,” which is characterized by an increase in the ability to secrete adrenaline resulting from alterations in the density and sensitivity of β -adrenergic receptors in trained subjects (Kjaer, 1998; Botcazou et al., 2006; Zouhal et al., 2008).

In addition, the results regarding the levels of free testosterone and cortisol were also interesting. Testosterone is a hormone known to be involved in skeletal muscle anabolic processes, whereas cortisol has catabolic functions (Kraemer & Ratamess, 2005). In our study, we observed a significant increase in the levels of free testosterone and a significant reduction in cortisol levels after the competition period (4:00 hours). These responses indicate a state of anabolism

(Hakkinen, 1989). However, there are no consistent patterns reported in the literature regarding changes in the resting concentrations of these hormones induced by physical training. It has been suggested that the testosterone/cortisol ratio should be used as a potent endocrine biomarker of the “anabolic–catabolic balance” and a diagnostic tool to assess “overreaching” and “overtraining” in athletes (Adlercreutz et al., 1986; Urhausen et al., 1995; Hug et al., 2003). In our study, we observed a significant increase in the testosterone/cortisol ratio after the competition period, which seems to indicate an anabolic trend (Lac & Berthon, 2000).

Finally, our results suggest that the SLPM promotes beneficial adaptations in athletes, including positive changes in the plasma concentrations of endogenous stress markers. In addition, the absence of changes in HRV indicates that there is no direct relationship between cardiac autonomic modulation and endogenous stress markers assessed in the present study.

Perspectives

Detailed knowledge of the adaptive processes triggered by changes in training load and competition can be helpful in the on-going development of an athlete's performance. However, in most cases, the systematization between workloads and the recovery period should be determined empirically according to the practical experience of sports professionals, rather than being based on exercise physiology and the biological individuality of the athlete. Monitoring stress markers helps to improve this systematic approach by assisting in the control and individualization of training loads. The results presented in this study confirm that analysis of the concentrations of endogenous stress markers can be an important tool for diagnosis of both physical stress and cardiovascular conditioning in athletes submitted to SPLM. However, the use of these markers in other training modalities needs to be investigated. In turn, more studies are also needed to assess the importance of using HRV analysis of the autonomic modulation as a physical stress marker in athletes.

Key words: training periodization, cardiac autonomic modulation, stress markers.

References

Adlercreutz H, Härkönen M, Kuoppasalmi K, Näveri H, Huhtaniemi I, Tikkanen H, Remes K, Dessypris A, Karvonen J. Effect of training on plasma anabolic and	catabolic steroid hormones and their response during physical exercise. <i>Int J Sports Med</i> 1986; 7(Suppl. 1): 27–28. Bompa T. Theory and methodology of training: the key to athletic	performance. Boca Raton, FL: Kendall/Hunt, 1984. Bonaduce D, Petretta M, Cavallaro V, Apicella C, Ianniciello A, Romano M, Breglio R, Marciano F. Intensive

Models of periodization and stress markers

- training and cardiac autonomic control in high level athletes. *Med Sci Sports Exerc* 1998; 30(5): 691–696.
- Botcazou M, Zouhal H, Jacob C, Gratas-Delamarche A, Berthon PM, Bentué-Ferrer D, Delamarche P. Effect of training and detraining on catecholamine responses to sprint exercise in adolescent girls. *Eur J Appl Physiol* 2006; 97(1): 68–75.
- Collier SR, Kanaley JA, Carhart R, Frechette V, Tobin MM, Bennett N, Luckenbaugh AN, Fernhall B. Cardiac autonomic function and baroreflex changes following 4 weeks of resistance versus aerobic training in individuals with pre-hypertension. *Acta Physiol* 2009; 195(3): 339–348.
- Ellestad MH. Stress testing: principles and practices, 3rd edn. Philadelphia: FA Davis, 1986.
- Frankenhaeuser M, Dunne E, Lundberg U. Sex differences in sympathetic-adrenal medullary reactions induced by different stressors. *Psychopharmacology* 1976; 47(1): 1–5.
- Garet M, Tournaire N, Roche F, Laurent R, Lacour JR, Barthelemy JC, Pichot V. Individual interdependence between nocturnal ANS activity and performance in swimmers. *Med Sci Sports Exerc* 2004; 36(12): 2112–2118.
- Guezennec Y, Leger L, Lhoste F, Aymonod M, Pesquies PC. Hormone and metabolite response to weight-lifting training sessions. *Int J Sports Med* 1986; 7(2): 100–105.
- Häkkinen K. Neuromuscular and hormonal adaptations during strength and power training. A review. *J Sports Med Phys Fitness* 1989; 29(1): 9–26.
- Hartwig TB, Naughton G, Searl J. Load, stress, and recovery in adolescent rugby union players during a competitive season. *J Sports Sci* 2009; 27(10): 1087–1094.
- Hoffman JR, Kang J, Ratamess NA, Faigenbaum AD. Biochemical and hormonal responses during an intercollegiate football season. *Med Sci Sports Exerc* 2005; 37(7): 1237–1241.
- Hug M, Mullis PE, Vogt M, Ventura N, Hoppeler H. Training modalities: overreaching and over-training in athletes, including a study of the role of hormones. *Best Pract Res Clin Endocrinol Metab* 2003; 17(2): 191–209.
- Issurin V. Block periodization versus traditional training theory: a review. *J Sports Med Phys Fitness* 2008; 48(1): 65–75.
- Issurin V. New horizons for the methodology and physiology of training periodization. *Sports Med* 2010; 40(3): 189–206.
- Kiviniemi AM, Hautala AJ, Kinnunen H, Tulppo MP. Endurance training guided individually by daily heart rate variability measurements. *Eur J Appl Physiol* 2007; 101: 743–751.
- Kiviniemi AM, Hautala AJ, Mäkilä TH, Seppänen T, Huikuri HV, Tulppo MP. Cardiac vagal outflow after aerobic training by analysis of high-frequency oscillation of the R–R interval. *Eur J Appl Physiol* 2006; 96(6): 686–692.
- Kjaer M. Adrenal medulla and exercise training. *Eur J Appl Physiol* 1998; 77(3): 195–199.
- Kraemer WJ, Ratamess NA. Hormonal responses and adaptations to resistance exercise and training. *Sports Med* 2005; 35(4): 339–361.
- Lac G, Berthon P. Changes in cortisol and testosterone levels and T/C ratio during an endurance competition and recovery. *J Sports Med Phys Fitness* 2000; 40(2): 139–144.
- Lane AR, Duke JW, Hackney AC. Influence of dietary carbohydrate intake on the free testosterone: cortisol ratio responses to short-term intensive exercise training. *Eur J Appl Physiol* 2010; 108(6): 1125–1131.
- Lehmann M, Gastmann U, Petersen KG, et al. Training – overtraining: performance, and hormone levels, after a defined increase in training volume versus intensity in experienced middle and long distance runners. *Br J Sports Med* 1992; 26: 233–242.
- Malliani A, Pagani M, Lombardi F, Cerutti S. Cardiovascular neural regulation explored in the frequency domain. *Circulation* 1991; 84: 482–492.
- Migliaro ER, Contreras P, Bech S, Etxagibel A, Castro M, Ricca R, Vicente K. Relative influence of age, resting heart rate and sedentary life style in short-term analysis of heart rate variability. *Braz J Med Biol Res* 2001; 34(4): 493–500.
- Moreira A. La periodización del entrenamiento y las cuestiones emergentes: el caso de los deportes de equipo. *Rev Andal Med Deporte* 2010; 3(4): 170–178.
- Nevill ME, Boobis LH, Brooks S, Williams C. Effect of training on muscle metabolism during treadmill sprinting. *J Appl Physiol* 1989; 67(6): 2376–2382.
- Raczak G, Daniłowicz-Szymanowicz L, Kobuszczyńska-Chwirot M, Ratkowski W, Chmielewska M, Szwoch M. Long-term exercise training improves autonomic nervous system profile in professional runners. *Kardio Pol* 2006; 64(2): 135–140.
- Rubini R, Porta A, Baselli G, Cerutti S, Paro M. Power spectrum analysis of cardiovascular variability monitored by telemetry in conscious unrestrained rats. *J Auton Nerv Syst* 1993; 45: 181–190.
- Souza HC, Martins-Pinge MC, Dias da Silva VJ, Borghi-Silva A, Gastaldi AC, Blanco JH, Tezini GC. Heart rate and arterial pressure variability in the experimental renovascular hypertension model in rats. *Auton Neurosci* 2008; 139(1–2): 38–45.
- Sztajzel J, Jung M, Sievert K, Bayes De Luna A. Cardiac autonomic profile in different sports disciplines during all-day activity. *J Sports Med Phys Fitness* 2008; 48(4): 495–501.
- Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. *Circulation* 1996; 93(5): 1043–1065.
- Tulppo MP, Hautala AJ, Mäkilä TH, Laukkanen RT, Nissilä S, Hughson RL, Huikuri HV. Effects of aerobic training on heart rate dynamics in sedentary subjects. *J Appl Physiol* 2003; 95(1): 364–372.
- Urhausen A, Gabriel H, Kindermann W. Blood hormones as markers of training stress and overtraining. *Sports Med* 1995; 20(4): 251–276.
- Vlcek M, Radikova Z, Penesova A, Kvetnansky R, Imrich R. Heart rate variability and catecholamines during hypoglycemia and orthostasis. *Auton Neurosci* 2008; 143(1–2): 53–57.
- Zouhal H, Jacob C, Delamarche P, Gratas-Delamarche A. Catecholamines and the effects of exercise, training and gender. *Sports Med* 2008; 38(5): 401–423.