**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA E ESPORTE**

**INFLUÊNCIA DE DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE PROVA NA
RECUPERAÇÃO FISIOLÓGICA E NO DESEMPENHO DE CICLISTAS
TREINADOS**

Eduardo Rumenig de Souza

**SÃO PAULO
2011**

**INFLUÊNCIA DE DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE PROVA NA
RECUPERAÇÃO FISIOLÓGICA E NO DESEMPENHO DE CICLISTAS
TREINADOS**

EDUARDO RUMENIG DE SOUZA

Dissertação apresentada à Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Educação Física.

ORIENTADOR: PROF. DR. BENEDITO PEREIRA

Rumenig-Souza, Eduardo

Influência de diferentes estratégias de prova na recuperação fisiológica e no desempenho de ciclistas treinados / Eduardo Rumenig Souza. – São Paulo : [s.n.], 2010.
xiii, 111p.

Dissertação (Mestrado) - Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo.

Orientador: Prof. Dr. Benedito Pereira.

1. Fisiologia do exercício 2. Ciclismo
I. Título.

AGRADECIMENTOS

O caminho da pós-graduação é longo e penoso. Os atalhos que por ventura são utilizados usualmente resultam em fracassos. Portanto, nesse percurso estamos sempre ávidos por alguém que possa nos aconselhar um rumo a seguir. Nessa primeira encruzilhada encontrei dois bons amigos ainda no período em que cursava a graduação, a saber, os professores João Fernando Laurito Gagliardi e o grande amigo Rômulo Cássio de Moraes Bertuzzi. Foram eles que ampliaram [e continuam ampliando] meu horizonte, fazendo reconhecer minhas limitações e, sobretudo, minhas possibilidades. Serei eternamente grato aos dois por tudo que fizeram, sem nunca esperar retribuição.

Posteriormente, com a ajuda dessas duas figuras centrais, fui aos poucos galgando espaço na Escola de Educação Física da Universidade de São Paulo. Inicialmente contando com o auxílio da Profa. Maria Augusta Pedutti Dal`Molim Kiss, que cedeu seu espaço e tempo para que pudesse amadurecer minhas idéias. Obviamente não poderia esquecer o responsável pelo laboratório, Edson Degaki e todos os residentes de medicina do esporte que compartilharam meus momentos de angústia e desespero.

Nesse período fiz grandes amigos, mas por timidez ou oportunidade nunca declarei minha admiração e apreço. Portanto, aproveito o espaço para protestar meus sinceros votos. Inicialmente, ao grande amigo Nilo Massaru Okuno, que sempre demonstrou sabedoria, sinceridade, humildade, honestidade, ética, dignidade, rigorosidade epistemológica e competência acadêmica. A resistente Carla S. Batista, que nunca emudeceu, mesmo nos momentos mais difíceis de sua vida [e sei que foram muitos]. Os amigos Wonder, Célio Sales, Salomão Bueno e Leonardo Pasqua, sempre dispostos a me auxiliar nas horas de necessidade, alguns inclusive participando como sujeitos dessa pesquisa.

Não poderia deixar de incluir a compreensão e paciência dos amigos que por tantas vezes foram solícitos no trabalho, permitindo a conciliação da vida acadêmica e profissional. Minha sincera gratidão aos amigos Alexandre Luzzi e Vitor Tessuti.

Também incluo meus votos de agradecimento a todas as pessoas que participaram direta ou indiretamente dessa pesquisa. Espero que possa retribuir a ajuda que me prestaram, pois sem vocês não seria possível concluir esse trabalho. Em especial, gostaria de destacar a Profa. Dra. Marília Cerqueira Leite Seelaender e seu orientando Marcus Vinícius Giampietro.

Os votos se estendem ao Prof. Dr. Benedito Pereira, que acreditou no meu projeto e na minha capacidade de realizá-lo. Portanto, registro o apreço e gratidão ao meu orientador Benedito Pereira e desejo sinceramente que suas angústias acadêmicas sejam compreendidas algum dia.

Finalmente, gostaria de agradecer as pessoas que me educaram com muito amor e trabalho para que me tornasse uma pessoa digna. Aos meus pais Francisco Ribeiro e Zeazelita Maria. Também registro minha gratidão aos meus irmãos Diego Vinícius, Aline Caroline e a minha esposa Luciana Domenech. A vida seria ainda mais difícil e o futuro improvável se não houvesse vocês.

*Que a sorte sem mérito pouco vale
Um tolo nunca o entenderia;
Tivesse ele a pedra filosofal
E inda o filósofo à pedra faltaria.*

Johann Wolfgang von Goethe (1749-1832).

SUMÁRIO

Página

LISTA DE TABELAS	v
LISTA DE SIGLAS, ABREVIACÕES E SÍMBOLOS	viii
LISTA DE ANEXOS	ix
RESUMO	x
ABSTRACT	xii
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	3
2.1 Objetivos gerais	3
2.2 Objetivos específicos	4
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	4
3.1 Conceitos no esporte e no treinamento físico.....	4
3.2 Ciclismo: Aspectos gerais sobre a modalidade.....	7
3.3 Aspectos fisiológicos do ciclismo e suas implicações para o treinamento	11
3.4 Regulação da estratégia de prova: bioenergética e complexidade.....	19
3.5 Estresse fisiológico e recuperação: Aspectos bioenergéticos e cardiorrespiratórios	28
3.6 Sistema nervoso autônomo e central: Conexões para o controle cardiovascular.....	32
3.7 Variabilidade da frequência cardíaca e demanda metabólica	35
3.8 Tempo limite na frequência cardíaca máxima e desempenho esportivo.....	38
4 METODOLOGIA	42
4.1 Amostra.....	42
4.2 Procedimentos experimentais	43

4.3	Mensuração da frequência e variabilidade cardíaca e lactato sanguíneo	44
4.4	Teste máximo progressivo e teste contra-relógio de 3 km	45
4.5	Tempo limite na FC máxima e estratégia de prova	46
4.6	Cinética da frequência cardíaca	48
4.7	Análise da VFC	49
4.8	Análise estatística	50
5	RESULTADOS	50
5.1	Análise da estratégia de prova	52
5.2	Teste contra-relógio de 3 km	59
5.3	Variabilidade da frequência cardíaca	70
5.4	Correlações entre marcadores fisiológicos e desempenho	74
6	DISCUSSÃO	75
6.1	Tempo limite na frequência cardíaca máxima	76
6.2	Estratégia de prova de 20 km	79
6.3	Teste contra-relógio de 3km	85
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	88
	REFERÊNCIAS	89
	ANEXOS	105

LISTA DE TABELAS

	Página
TABELA 1 - Classificação dos ciclistas considerando as características do treinamento e os anos de experiência dos ciclistas.	16
TABELA 2 - Características antropométricas e etária dos ciclistas amadores.....	51
TABELA 3 – Características fisiológicas dos ciclistas e tempo limite na frequência cardíaca máxima.....	52
TABELA 4 – Potência mecânica média em função da distância total da prova.	55
TABELA 5 – Caracterização da frequência cardíaca em função da estratégia de prova de 20 km.	58
TABELA 6 – Caracterização da resposta cinética de recuperação da frequência cardíaca em função da estratégia de prova.....	59
TABELA 7 - Resposta cinética de recuperação da frequência cardíaca em função da estratégia de prova após teste contra-relógio de 3 km.	69
TABELA 8 - Ajuste linear da fc de recuperação nos testes cr3km em função da estratégia de prova.	70

LISTA DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1 - Aptidão aeróbia de ciclistas em função do tipo de terreno.	8
FIGURA 2 - Características antropométricas dos atletas em função da competição.	9
FIGURA 3 - Ilustração do comportamento alostático do organismo durante o ano.....	12
FIGURA 4 - Distribuição da potência externa durante o período de treinamento físico do atleta.....	17
FIGURA 5 - Modelo de treinamento físico para modalidades predominantemente aeróbias.	18
FIGURA 6 - Descrição das principais estratégias de prova adotadas em modalidades modalidade esportiva predominantemente aeróbias.	20
FIGURA 7 - Depressão da cadeia transportadora de elétrons mitocondrial na situação de repouso (estado 4) e exercício (estado 3).	23
FIGURA 8 - Caracterização dos mecanismos envolvidos na elaboração e controle da estratégia de prova.	25
FIGURA 9 - Simulação da estratégia de prova e seus mecanismos de regulação durante uma tarefa de longa duração.	26
FIGURA 10 - Esquematização hierárquica dos processos envolvidos na regulação da função cardíaca.	33
FIGURA 11 - Economia de movimento de dois corredores submetidos a mesma intensidade de esforço.	40
FIGURA 12 - Representação gráfica do protocolo experimental.....	44
FIGURA 13 - Caracterização das estratégias de provas adotadas pelo ciclista num teste de 20 km.	47
FIGURA 14 – Caracterização da potência, trabalho mecânico, tempo total e cadência em função da estratégia de prova.....	53
FIGURA 15 – Caracterização da potência mecânica para as diferentes estratégias de prova.	54
FIGURA 16 – Caracterização do lactato sanguíneo em função da distância e da estratégia de prova.	56
FIGURA 17 – Caracterização da percepção subjetiva de esforço em função da distância e da estratégia de prova.	57

FIGURA 18 – Representação gráfica das variáveis mecânicas e do tempo total durante os testes contra-relógio de 3 km.	60
FIGURA 19 - Representação da potência mecânica durante teste contra-relógio de 3 km....	61
FIGURA 20 - Caracterização da velocidade empregada durante teste contra-relógio de 3 km.	62
FIGURA 21 – Representação gráfica da cadência adotada durante teste contra-relógio de 3 km.	63
FIGURA 22 - Caracterização da duração do teste contra-relógio de 3 km.	64
FIGURA 23 – Representação da percepção de esforço durante teste contra-relógio de 3 km.	65
FIGURA 24 – Representação do comportamento do lactato sanguíneo mediante teste contra-relógio de 3 km.	66
FIGURA 25 - Caracterização das variáveis mecânicas e fisiológicas mediante teste contra-relógio de 3 km.	68
FIGURA 26 - Análise do comportamento da variabilidade da frequência cardíaca no teste tempo limite na frequência cardíaca máxima.	71
FIGURA 27 - Análise do comportamento da variabilidade da frequência cardíaca no teste contra-relógio de 3 km.	72
FIGURA 28 – Análise do comportamento da variabilidade da frequência cardíaca nos testes de estratégia de prova de 20 km.....	73
FIGURA 29 – Análise do comportamento da variabilidade da frequência cardíaca nos testes de estratégia de prova de 20 km.....	74

LISTA DE SIGLAS, ABREVIACÕES E SÍMBOLOS

[Lac]	Concentração de lactato sanguíneo
CR _{3KM}	Teste contra-relógio de 3 km
EG	Eficiência grosseira
EP	Estratégia de prova
FC	Frequência cardíaca
FC _{max}	Frequência cardíaca máxima
FC _{OFF}	Resposta cinética cardíaca de recuperação
HF	Componente espectral de alta frequência
LF	Componente espectral de baixa frequência
Lim1	Primeiro limiar metabólico
Lim2	Segundo limiar metabólico
O ₂	Oxigênio
SamplEn	Amostragem entrópica
SNA	Sistema nervoso autônomo
TLim ^[FCmax]	Tempo limite na intensidade correspondente a FC máxima
TLim ^[VO₂ max]	Tempo Limite na intensidade correspondente ao VO ₂ max
VFC	Variabilidade da frequência cardíaca
VO ₂ max	Consumo máximo de oxigênio
VO ₂ rec	Consumo de oxigênio de recuperação

LISTA DE ANEXOS

	Página
ANEXO I - Digitalização da carta de aprovação do comitê de ética em pesquisa da escola de educação física e esporte da universidade de são paulo.....	105
ANEXO II - Cópia do termo de consentimento informado fornecido a todos os atletas que participaram do estudo.	106
ANEXO III - Digitalização da ficha do aluno, do planejamento individualizado aprovado e relatório de atividades acadêmicas.....	111

RESUMO

INFLUÊNCIA DE DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE PROVA NA RECUPERAÇÃO FISIOLÓGICA E NO DESEMPENHO DE CICLISTAS TREINADOS

Autor: EDUARDO RUMENIG DE SOUZA

Orientador: PROF. DR. BENEDITO PEREIRA

Esforços físicos prolongados em ritmo dinâmico parecem promover menor demanda metabólica, estresse fisiológico e cardiovascular comparado a tarefas em ritmo constante. Contudo, os mecanismos não são completamente descritos. Além disso, sugere-se que o tempo que o indivíduo é capaz de suportar um exercício em intensidade máxima ($TLim^{[FCmax]}$) correlaciona-se com o desempenho no ciclismo. Assim, os objetivos do presente estudo foram verificar como a estratégia de prova (EP) influencia nas respostas fisiológicas, no controle autonômico cardiovascular e no desempenho de tarefas aeróbias subsequentes. Adicionalmente, verificar se o $TLim^{[FCmax]}$ correlaciona-se com o desempenho em teste contra-relógio de 3 km (CR_{3KM}). Participaram desse estudo oito ciclistas treinados masculinos. Após avaliações antropométricas e familiarização com os cicloergômetros, os indivíduos foram submetidos: (i) teste máximo progressivo para determinação da potência aeróbia máxima e dos limiares metabólicos; (ii) teste $TLim^{[FCmax]}$; (iii) teste de 20 km adotando diferentes EP, mas mantendo a potência média em todas as sessões; (iv) teste CR_{3KM} realizado 30 minutos após as EP. A frequência cardíaca (FC), a variabilidade da FC, a percepção de esforço (PSE) e o lactato sanguíneo [Lac] foram registrados em todas as situações experimentais. A transformada de *Fourier* e a amostragem entrópica foram empregadas para analisar a VFC, ao passo que a FC foi descrita por função exponencial. Adicionalmente, a ANOVA *two way* (estratégia de prova x distância) e a correlação produto momento de *Pearson* foram utilizadas para comparações estatísticas. Para todas as análises, foi assumido um $p < 0,05$. Os principais achados foram que o $TLim^{[FCmax]}$ não correlacionou-se o desempenho do CR_{3KM} , a EP não modificou o teste CR_{3KM} subsequente. No entanto, houve menores incrementos de [Lac], FC e PSE na EP positiva. Possivelmente o início rápido na EP positiva reduz o déficit anaeróbio de oxigênio, reduzindo a contribuição glicolítica nesse período inicial. Finalmente, a VFC

apresentou menor complexidade imediatamente após a tarefa, comparado ao repouso e aos minutos finais de recuperação, indicando maior redundância do sistema na tentativa de evitar eventos catastróficos ao organismo.

Palavras-chave: Estratégia de prova. controle autonômico cardíaco. frequência cardíaca.

ABSTRACT

INFLUENCY OF THE PACING STRATEGY ON THE PHYSIOLOGIC RECOVERY AND PERFORMANCE OF TRAINED CYCLISTS

Author: EDUARDO RUMENIG DE SOUZA

Adviser: PROF. DR. BENEDITO PEREIRA

Prolonged physical efforts in variable pacing promote lower metabolic demand, physiological and cardiovascular stress compared with workouts in even pacing. However, the mechanisms is not completely understanding. Additionally, one suggests that the period of time that someone can support exercises in maximal intensity ($TLim^{[FCmax]}$) could be correlate with performance on the cycling. Thus, the objectives of this study were verified if the pacing strategy (EP) could influence the physiological responses, cardiovascular autonomic control and the performance of the subsequent aerobic exercises. Additionally, to verify the correlation between $TLim^{[FCmax]}$ with the performance on time trials of 3 km (CR_{3KM}). Eight male trained cyclists took part of this study. After anthropometric tests and familiarization with the ergometers, the subjects were submitted: (i) maximal progressive test to determinate the maximal aerobic power and metabolic thresholds; (ii) $TLim^{[FCmax]}$ test; (iii) 20 km test taken different EP, but keeping the average power output in all sessions; (iv) CR_{3KM} test performed 30 minutes after EP. The heart rate (FC), the heart rate variability (VFC), the perceived of effort (PSE) and the blood lactate [Lac] were recorded in all experimental tests. The fast *Fourier* transformer and the sample *entropy* were used to analyze the VFC, whilst the FC was analyzed employing exponential function. Further, the ANOVA two way (pacing strategy x distance) and the Pearson product moment correlation were used to statistical comparison. For all the analysis, we assumed $p < 0,05$. The mains finding were that $TLim^{[FCmax]}$ did not correlate with performance on the CR_{3KM} and the EP did not modify the subsequent CR_{3KM} test . However, there was lower increment for [Lac], FC and PSE on positive EP. Possibly the fast start in the positive EP reduce the anaerobic oxygen deficit, narrowing the glycolytic contribution on the initial effort. Finally, the VFC showed lower complexity immediately after the workout than the rest and the last minutes of recovery,

suggesting higher redundancy of the system, probably trying avoid catastrophic occurrence to the organism.

Keywords: Pacing strategy. autonomic cardiac control. heart rate.

1 INTRODUÇÃO

Em atividades esportivas de média e longa duração, superior a 10 minutos (ATKINSON, OLIVER, ST CLAIR GIBSON & TUCKER, 2007), a distribuição do trabalho e do gasto energético parece variar consideravelmente ao longo da tarefa (ABBISS, QUOD, MARTIN, NETTO, NOSAKA, LEE, SURRIANO, BISHOP & LAURSEN, 2006; GARCIN, DANIEL & BILLAT; 2008). Essa distribuição é usualmente denominada estratégia de prova (EP).

Particularmente no ciclismo, existem evidências que apontam a importância da EP para o sucesso em uma competição (AISBETT, LEROSIGNOL, MCCONELL, ABBISS & SNOW, 2009). Tamanha é a influência da EP para o desempenho que alguns atletas possuem diretores de prova para coordenar o ritmo do atleta na competição, como é o caso do ciclista *Lance News Armstrong*, documentado pela *Discovery Channel* no vídeo “*Lance Armstrong: Resistência e Tecnologia*”.

Porém, existem controvérsias sobre a EP que deve ser adotada nesses eventos de longa duração, pois numa mesma ocasião os atletas podem realizar provas com exigências metabólicas e características físicas distintas. Por exemplo, perseguições, largadas de massa, *sprints* e contra-relógios, com distâncias que variam de 200 m a 100 km são comumente observadas. Além disso, o terreno, percurso, condições ambientais, experiência em competições, fatores psicocognitivos e fisiológicos do atleta e da equipe também podem interferir na decisão sobre que EP adotar.

Apesar dos diversos fatores que influenciam na decisão da EP, algumas proposições são observadas (ATKINSON et al., 2007). Especificamente, esses autores destacam que em situações onde as variações ambientais e topográficas são discretas, como por exemplo em velódromos, os ciclistas vencedores são aqueles que adotam uma EP constante ou ligeiramente randômica; sendo o oposto observado em ambientes instáveis com grandes variações de terreno.

No entanto, mesmo EP constantes em ambientes controlados podem resultar em prejuízo no desempenho. PALMER, BORGHOUTS, NOAKES e HAWLEY (1999) observaram que ciclistas que adotavam uma EP constante em ambiente laboratorial

apresentavam maior depleção de glicogênio muscular comparado a EP randômica (65 vs. 49%).

Similarmente, BILLAT, WESFREID, KAPFER, KORALSZTEIN e MEYER (2006) verificaram menor consumo de oxigênio (VO_2), frequência cardíaca (FC) e lactato sanguíneo pós-esforço ([Lac]) em corredores numa prova de 10 km quando a velocidade era determinada de forma autônoma comparado a velocidade constante, mesmo que essa última fosse estabelecida a partir da velocidade média individual da situação autônoma. É importante destacar que a situação autônoma apresentava maior variabilidade da velocidade.

Considerando que a EP implica em alterações no desempenho, possivelmente o estresse fisiológico desencadeado pelo esforço e, conseqüentemente a recuperação pós-esforço, também pode apresentar comportamento distinto em função da EP adotada.

Apesar da ausência de marcadores padrão-ouro de estresse fisiológico, a variabilidade da FC (VFC) associada a funções matemáticas não-lineares pode ser utilizada como indicador indireto do sistema nervoso autônomo cardíaco (SNA) (TASK FORCE OF THE EUROPEAN SOCIETY OF CARDIOLOGY THE NORTH AMERICAN SOCIETY OF PACING ELECTROPHYSIOLOGY, 1996). Por sua vez, esse parece depender de processos metabólicos, endócrinos, cognitivos e corticais (CRITCHLEY, CORFIELD, CHANDLER, MATHIAS & DOLAN, 2000), que de certo modo poderia fornecer informações acerca do estresse cardiovascular promovido pelo esforço.

Inclusive, KIVINIEMI, HAUTALA, KINNUNEN e TULPPO (2007) demonstraram que a VFC parece ser sensível a sessão de esforço e que poderia ser usado inclusive para periodizar sessões de treinamento aeróbio, além de servir como indicador do período necessário para recuperação do atleta. Portanto, apesar de não haver um marcador de referência para as respostas estressoras promovidas pelo esforço físico, a VFC poderia ser sensível a diferentes EP e indicar possíveis alterações no comportamento autonômico cardíaco.

Finalmente, outros fatores além da EP e da recuperação do atleta parecem interferir no desempenho durante um evento competitivo. Nesse sentido, a predição do desempenho tem sido algo que mobiliza dezenas de pesquisas e recursos. O consumo máximo de oxigênio (VO_{2max}) e o segundo limiar metabólico (Lim2) obtidos a partir de um teste máximo são comumente utilizados nessas pesquisas, mas suas limitações já foram discutidas em trabalhos

anteriores (BENTLEY, HOPPELER & WEIBEL, 1998; KAYSER, 2003; NEWELL, HIGGINS, MADDEN, CRUICKSHANK, EINBECK, MCMILLAN & MCDONALD, 2007).

No intuito de suprir essas limitações, sugeriu-se analisar o tempo que o indivíduo consegue suportar uma tarefa na intensidade correspondente ao $\text{VO}_{2\text{max}}$, por relacionar potência aeróbia e economia de movimento num único teste, denominado tempo limite no $\text{VO}_{2\text{max}}$ (BILLAT & KORALSZTEIN, 1996; MIDGLEY, MCNAUGHTON & CARROLL, 2006). Todavia, o $\text{TLim}^{[\text{VO}_{2\text{max}}]}$ apresenta alto custo, visitas ao laboratório e recurso humano especializado.

Considerando que a FC possui relação direta com o VO_2 , é possível que o uso do tempo limite na intensidade correspondente a FC máxima ($\text{TLim}^{[\text{FCmax}]}$) pudesse ser empregado como uma ferramenta acessível para analisar os efeitos do treinamento e prever o desempenho de ciclistas, e em situações de campo, onde o acesso a técnicas mais sofisticadas é difícil.

Desse modo, os objetivos do presente estudo foram (i) verificar o uso do $\text{TLim}^{[\text{FCmax}]}$ para prever o desempenho em teste contra-relógio de 3 km e (ii) verificar a influência de diferentes EP sobre: (1) a recuperação do sistema autonômico cardíaco, e (2) o desempenho em tarefas subsequentes.

O uso de indicadores para quantificar possíveis efeitos de diferentes EP no estresse fisiológico do organismo ou mesmo prever o desempenho esportivo pode contribuir para elucidar algumas questões desse tópico que tem sido alvo de investigações e controvérsias no cenário mundial.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos gerais

1) Verificar a influência de diferentes estratégias de prova sobre o desempenho subsequente em teste contra-relógio de 3 km.

2) Verificar a influência de diferentes estratégias de prova sobre a recuperação autonômica cardíaca do atleta.

3) Verificar o uso do teste tempo limite na intensidade correspondente a frequência cardíaca máxima como preditor do desempenho em prova contra-relógio de 3 km.

2.2 Objetivos específicos

- 1) Verificar possíveis diferenças em relação à cinética da FC de recuperação em função da manipulação da estratégia de prova;
- 2) Verificar possíveis diferenças em relação ao lactato sanguíneo de recuperação em função da manipulação da estratégia de prova;
- 3) Descrever o comportamento da variabilidade da frequência cardíaca de recuperação em função da manipulação da estratégia de prova.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Conceitos no esporte e no treinamento físico

Para iniciarmos a revisão dos assuntos que permeiam o presente estudo, será importante definir alguns conceitos no intuito de evitar desentendimentos. LOURENÇO (2001) nos alerta sobre o perigo dos conceitos, pois segundo o autor as palavras são símbolos dotados de significado, que podem causar desentendimentos e impedir o progresso da área quando não submetidos a reflexões críticas e padronizações.

Isso é comumente observado na Educação Física e no Esporte, com o uso de termos como força “explosiva”, potência, resistência aeróbia, capacidade aeróbia, *endurance*, flexibilidade, flexionamento, apenas para justificar a inclusão desse capítulo e citar alguns exemplos que resultam em discussões improdutivas que prejudicam a área.

Iniciaremos com o conceito de homeostase, que por definição significa estabilidade dos sistemas fisiológicos por meio de mecanismos regulatórios integrados (RECORDATI & BELLINI, 2004). Todavia, tanto em situações de repouso quanto durante o exercício físico, o organismo encontra-se distante do equilíbrio ou do comumente utilizado “*steady state*”. Na termodinâmica, equilíbrio significa “nenhuma troca de matéria e energia com o ambiente” (RECORDATI & BELLINI, 2004).

O organismo pode ser compreendido como um sistema aberto que troca constantemente matéria, energia e informação com o ambiente (RECORDATI & BELLINI,

2004). Portanto, para organismos vivos não existe equilíbrio termodinâmico, sendo que esse estágio só é atingido quando a vida se extingue.

Portanto, no presente estudo empregaremos alostase para referir os processos fisiológicos que ocorrem para manter a vida e, cujo significado é estabilidade por meio da mudança (MCEWEN & WINGFIELD, 2003).

Todavia, essas mudanças que ocorrem para manter a atividade do organismo acarretam um custo metabólico, que por sua vez desencadeia alterações fisiológicas no organismo, um fenômeno comumente descrito como estresse. Considerando que esses fatores estressores podem prejudicar ou potencializar o funcionamento do organismo, dividiu-se a resposta alostática em carga e sobrecarga alostática.

No primeiro caso (carga alostática) há um prejuízo na alostase do organismo desencadeado por um agente estressor. No entanto, esse prejuízo é suprimido e a resposta observada é o comportamento alostático normal do organismo, potencializando o sistema que foi submetido ao estresse. Poderíamos destacar como exemplo de carga alostática o processo catabólico promovido pelo treinamento de força e sua subsequente supressão, causando hipertrofia muscular.

Já a sobrecarga alostática descreve um acúmulo de carga alostática que compromete o funcionamento normal do organismo e o torna suscetível a uma série de distúrbios patofisiológicos (MCEWEN & WINGFIELD, 2003). Isso é comumente observado em situações onde o atleta não suporta a carga de treinamento, desenvolvendo síndromes como o *overreaching*, supertreinamento, ou ainda lesões por estresse do sistema músculo-esquelético.

Outra distinção que nos parece importante envolve os conceitos de eficiência e economia. Usualmente, eficiência refere-se à energia livre necessária para produzir uma determinada quantidade de trabalho (SALTHER, 2007). Devido a limitações metodológicas, as medidas de trabalho, calor e energia durante exercício físico dinâmico não podem ser obtidas de forma direta. Desse modo, o termo empregado é economia, que por sua vez descreve a demanda energética para suportar uma determinada carga mecânica (SAUNDERS, PYNE, TELFORD & HAWLEY, 2004).

Entretanto, observa-se na literatura o emprego do termo eficiência grosseira (EG), que utiliza medidas indiretas como o consumo de oxigênio (VO_2) para estimar a energia livre necessária para realizar uma dada quantidade de trabalho mecânico. Considerando que o VO_2

não pode quantificar a energia livre necessária para realizar trabalho mecânico, o conceito empregado será economia de movimento.

Com relação ao estresse, MCEWEN e WINGFIELD (2003) o definem como um estado de excitação que implica em alteração da alostasia do organismo. Essa excitação pode ser de natureza física ou psicológica, sendo resultado da avaliação individual [consciente ou inconsciente] entre a demanda e os recursos disponíveis para atender a essa demanda (SLUITER, FRINGS-DRESEN, MEIJMAN & VAN DER BEEK, 2000).

Logo, o organismo possui capacidade de suprimir o estresse, ainda que de modo temporário. Contudo, essa resposta ao estresse dependerá da experiência e, conseqüentemente, memória, tipo, duração e repetição do estímulo estressor, além de condições ambientais e fisiológicas do organismo (GREENWOOD & FLESHNER, 2008).

A dificuldade em quantificar o estresse deflagrado pelo exercício físico e a grande variação entre os indivíduos se deve, em grande parte, por esses fatores. Não existe uma relação de dose-resposta linear do organismo submetido ao estresse do exercício, o que torna a prescrição do treinamento físico uma tarefa extremamente complexa.

Exposição por longos períodos a agentes estressores pode resultar em alterações estruturais e funcionais do organismo. Essa resposta denomina-se adaptação, habituação ou ainda ajustamento. Na teoria evolucionista, adaptação refere-se a mudanças irreversíveis na estrutura ou função da célula, ou ainda na expressão ou silenciamento de alguns genes (SOUZA JUNIOR & PEREIRA, 2008).

Todavia, o conceito foi reformulado e observa-se o emprego de adaptação mesmo em situações que desencadeiam mudanças reversíveis no organismo (MCEWEN, 2000; HAWLEY & STEPTO, 2001). Assim, o termo empregado no presente estudo será adaptação, entendendo-a como processo reversível, como por exemplo, os desencadeados pelo treinamento físico.

Para finalizar, o conceito de fadiga também tem gerado conflitos na literatura especializada e nas discussões acadêmicas. No presente estudo, adotaremos a definição proposta por ENOKA e DUCHATEAU (2008), que considera fadiga como “uma gradual redução na capacidade contrátil do músculo ou a interrupção de uma tarefa motora, desencadeada por um déficit motor, percepção ou declínio da atividade mental...”.

Nesse sentido, a fadiga seria iniciada a partir da primeira contração muscular, visto que contrações subsequentes já estariam comprometidas. Os mecanismos precursores da fadiga

não são bem delimitados, mas parecem depender, sobretudo, do tipo de tarefa realizada, intensidade e duração do estímulo (ENOKA & DUCHATEAU, 2008).

Prolongar a discussão para os demais conceitos empregados no esporte e no treinamento físico foge ao interesse do estudo. Por isso, o capítulo inclui apenas os conceitos mais utilizados nos tópicos seguintes.

3.2 Ciclismo: Aspectos gerais sobre a modalidade

O Ciclismo é uma das formas mais econômicas de locomoção humana terrestre, requerendo menor quantidade de energia por unidade de massa (JEUKENDRUP, CRAIG & HAWLEY, 2000). Existem diferentes bicicletas adequadas para cada competição, destacando o bicicross, a estrada, *mountain bike*, pista, paraolímpico e cicloturismo, sendo que a primeira (bicicross) foi reconhecida recentemente como esporte olímpico em Pequim (2008). Contudo, o presente estudo se restringirá apenas a competições de “estrada”, pois os procedimentos experimentais se assemelham mais a essa modalidade.

O ciclismo de “estrada” possui um número considerável de investigações científicas, sobretudo nas últimas duas décadas. Essas investigações podem ser subdivididas em dois tópicos principais. O primeiro seria orientado para o desenvolvimento de equipamentos para melhorar a eficiência mecânica do atleta; incluindo roupas, capacetes, sapatilhas, pneus, rolamentos, configuração da bicicleta, o material que a compõe. O segundo seria em relação ao treinamento físico e incluiria periodização do treinamento, EP, estratégias nutricionais e biomecânicas do atleta.

Em suma, essas estratégias de treinamento e o desenvolvimento de tecnologias são direcionados a redução das cargas resistivas impostas pela natureza ou pelo próprio equipamento, ou ainda para aumentar a potência mecânica ou metabólica do atleta.

Apesar do ciclismo ser considerado uma modalidade individual, a vitória do atleta depende de um trabalho conjunto da equipe, onde cada integrante possui uma função específica. Basicamente, a especialidade do ciclista pode ser definida quanto ao terreno (JEUKENDRUP, CRAIG & HAWLEY, 2000) ou função (CRAIG & NORTON, 2001).

Em relação ao primeiro (terreno), os ciclistas podem ser subdivididos em (i) terrenos planos (TP), (ii) alicive (A), (iii) contra-relógio (CR) e (iv) todos os terrenos (TT). Ciclistas especialistas em TP apresentam maiores valores para potência mecânica e VO_2max ($\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$),

ao passo que especialistas em A demonstram característica fisiológica inversa, quando expressos em unidades absolutas (FIGURA 1 - modificada de JEUKENDRUP, CRAIG & HAWLEY, 2000).

FIGURA 1 - Aptidão aeróbia de ciclistas em função do tipo de terreno.

Porém, TP e CR apresentam maior estatura, massa e área de superfície corporal comparado aos demais. Logo, quando consideramos a potência aeróbia expressa em termos relativos, ou seja, $W.kg^{-1}$, ciclistas A apresentam maiores valores ($6,47 W.kg^{-1}$) seguidos de CR ($6,41 W.kg^{-1}$), TT ($6,35 W.kg^{-1}$) e finalmente TP ($6,04 W.kg^{-1}$).

Quanto à função, ciclistas *sprinters* possuem menor estatura, ao passo que contrarelogistas e perseguidores possuem maior estatura e relação tronco / perna, reduzindo o arrasto causado pela resistência do ar e possibilitando maiores braços de alavanca (170 vs. 165 mm) e relação de marchas (CRAIG & NORTON, 2001). A figura abaixo retrata graficamente a massa corporal e a estatura de ciclistas, sendo verificado comportamento similar para atletas do gênero feminino.

Modificada de CRAIG e NORTON, 2001; sendo que ● designa valor médio de cada variável em cada evento; □ valor médio dos 4 melhores colocados em cada evento; e ○ valor médio de 4 últimos colocados em cada evento.

FIGURA 2 - Características antropométricas dos atletas em função da competição.

Apesar das diferenças de algumas variáveis antropométricas entre os ciclistas, a quantidade de gordura corporal é similar entre os atletas, sendo aproximadamente 10%. De fato, elevações na massa gorda poderiam resultar em prejuízo no desempenho, por promover maior custo energético nos períodos de aceleração, maior resistência dos rolamentos da bicicleta do atleta e aumento da área frontal, resultando em maior resistência do ar (CRAIG & NORTON, 2001).

Essa última é a maior força resistiva, representando 90% de toda a resistência encontrada pelo ciclista acima de 30 km.h^{-1} (FARIA, PARKER & FARIA, 2005b) e aumentando numa progressão exponencial quadrática em função da velocidade (ATKINSON, DAVISON, JEUKENDRUP & PASSFIELD, 2003). Logo, a potência deveria aumentar numa função cúbica, sendo resultado da velocidade e da resistência do ar. Contudo, numa situação *indoor* o expoente está em torno de 2,6 (BASSETT, KYLE, PASSFIELD, BROKER & BURKE, 1999), visto que outras forças interferem na relação entre potência e velocidade.

A resistência dos rolamentos da bicicleta e atrito são os fatores que menos interferem na potência mecânica, ao passo que a gravidade seria a força que mais influenciaria após a resistência do ar (ATKINSON et al., 2003). Por isso, em terrenos íngremes os ciclistas produzem uma potência elevada e uma velocidade reduzida. Isso justifica o fato de ciclistas UH possuírem baixa estatura e massa corporal, mas elevada razão potência/massa corporal.

Em relação às características fisiológicas, ciclistas de estrada possuem valores elevados de $\text{VO}_{2\text{max}}$ ($\approx 75 \text{ mlO}_2.\text{kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$) e uma razão potência/massa corporal de aproximadamente $5,5 \text{ W.kg}^{-1}$, sendo esta última utilizada como critério de seleção no ciclismo profissional e como ferramenta de predição do desempenho (FARIA, PARKER & FARIA, 2005a).

O Lim2 também pode ser empregado como preditor do desempenho. Usualmente ciclistas possuem o Lim2 muito próximo do $\text{VO}_{2\text{max}}$ (aproximadamente 90% do $\text{VO}_{2\text{max}}$). Isso possibilita que esses atletas mantenham uma potência elevada por longos períodos de tempo, sendo fundamental para o sucesso numa competição (FARIA, PARKER & FARIA, 2005a).

Todavia, apesar das melhores equipes disporem de recurso financeiro e humano para realizar todas as medidas supracitadas, a maior parte dos atletas amadores utilizam como parâmetro a FC ou medidas que podem ser extraídas a partir dessa variável, devido a sua praticidade administrativa, baixo custo financeiro e a facilidade em manusear o equipamento. Isso destaca a importância de se investir em tecnologias que utilizam a FC para prescrição e controle do treinamento físico.

Enfim, fica evidente a importância de investigações orientadas para caracterizar e potencializar os fatores biomecânicos e fisiológicos que podem melhorar o desempenho dos atletas. Muitas vezes um pequeno detalhe na posição do atleta ou mesmo um equipamento acoplado a bicicleta ou ainda a roupa que o atleta utiliza pode resultar em alteração significativa do desempenho. Inclusive, existe um impasse na modalidade sobre priorizar investimentos e esforços para o desenvolvimento de equipamentos ou para o treinamento físico e a estratégia nutricional desses atletas (JEUKENDRUP & MARTIN, 2001).

No cenário mundial, as grandes equipes são compostas por profissionais de diversas áreas (engenheiros, físicos, médicos, fisiologistas, biomecânicos, ex-atletas, nutricionistas) para estruturar a rotina e os equipamentos desses atletas. A universidade deveria ser o principal pólo de desenvolvimento dessas tecnologias e conhecimento científico do esporte,

mas incapaz de adequar-se ao modelo multidisciplinar, segue obsoleta e distante do esporte competitivo.

Portanto, os avanços que ocorrem na modalidade são oriundos de investimentos privados. A maior contribuição das universidades brasileiras, quando há alguma, é fornecer profissionais qualificados para trabalhar nesses grandes centros tecnológicos.

Em suma, pesquisas na área esportiva na quase totalidade das universidades brasileiras são um fim em si mesma, pois não atendem os exigentes critérios do esporte de nível competitivo, nem tampouco as categorias de base e amadora.

Esse é apenas um dos fatores que fazem com que o esporte de alto nível brasileiro permaneça marginalizado no cenário mundial, apesar do vasto recurso humano disponível e de condições climáticas favoráveis para o treinamento durante todo o ano.

3.3 Aspectos fisiológicos do ciclismo e suas implicações para o treinamento

O exercício físico desencadeia uma série de adaptações funcionais e estruturais no organismo que podem interferir positivamente no desempenho esportivo, ou comprometer a integridade física do atleta, ocasionando síndromes (como *overreaching* ou supertreinamento) ou mesmo lesões do aparelho locomotor (FARIA, PARKER & FARIA, 2005a)

Essas respostas adaptativas, ainda que reversíveis, são obtidas submetendo os indivíduos a situações estressoras que se repetem por um determinado período de tempo. Por sua vez, essas sessões de treinamento desencadeiam alterações na resposta alostática do organismo (MCEWEN & WINGFIELD, 2003), promovendo melhora da capacidade aeróbia ou da força muscular, por exemplo.

Todavia, essa mudança alostática que desencadeia uma série de alterações fisiológicas no organismo usualmente são suprimidas, fazendo com que o mesmo retorne próximo aos valores de base pré-esforço (FIGURA 3a). Essa resposta é denominada carga alostática. Inversamente, quando existe a incapacidade do organismo de recuperar-se dos efeitos do agente estressor, instaura-se a sobrecarga alostática. Seria essa última que comprometeria o desempenho e a saúde do atleta, repercutindo em respostas como infecções, síndromes de supertreinamento, amenorréia, distúrbios do sono ou apetite ou mesmo lesões (FIGURA 3b).

Na figura, EG = energia disponível; EI = energia necessária para manter as funções fisiológicas e atividades inerentes à sobrevivência; EE = energia mínima requerida para manter a homeostase do organismo. Na imagem 1a, EG aumenta no verão, ao passo que EI e EE apresentam comportamento inverso. A exposição a algum agente estressor desencadeia uma carga alostática (EO), que não compromete o funcionamento do organismo. Na figura b, a sobrecarga alostática ultrapassa EG, propiciando o surgimento de doenças. Modificada de MCEWEN e WINGFIELD, 2003.

FIGURA 3 - Ilustração do comportamento alostático do organismo durante o ano.

No entanto, o comportamento alostático do organismo não é um simples mecanismo de dose-resposta, e por isso o exercício físico não é estruturado apenas sobre tal preceito. As diversas variáveis que interferem na adaptação e recuperação do organismo não permitem estabelecer consenso sobre como conduzir a sessão de esforço ou o treinamento físico.

Por exemplo, ABBISS et al. (2006) submeteram ciclistas a dois protocolos de 180 km, simulando a maratona *ironman* da Austrália, sendo que um grupo pedalava a favor enquanto outro pedalava contra o vento. Esperava-se que houvesse redução no desempenho dos atletas pedalando contra o vento, pois conforme descrito anteriormente, a resistência do ar constitui a maior força resistiva exercida sobre o ciclista.

No entanto, apesar de não descreverem diferenças significativas para a potência externa (239 ± 25 vs 203 ± 20 W), cadência (89 ± 6 vs 82 ± 8 rpm) e velocidade ($36,5 \pm 0,8$ vs $33,1 \pm 0,8$ km . h⁻¹) em relação à direção do vento, constatou-se maiores valores de desvio-padrão para o torque ($6,8 \pm 1,6$ vs $5,8 \pm 1,3$ N.m) e velocidade ($2,1 \pm 0,5$ vs $1,6 \pm 0,3$ km.h⁻¹) contra o vento comparado a favor do vento.

A alteração na condição ambiental resultou em maior variação da velocidade e torque, mas não comprometeu o desempenho dos atletas. Entretanto, por que a maior variabilidade do torque e da velocidade auxiliaria na manutenção do desempenho? É possível que a maior variabilidade dessas variáveis reduzisse o estresse fisiológico inerente ao exercício físico ou tornasse o indivíduo mais econômico? O indivíduo poderia se tornar mais econômico numa única sessão de esforço ou demandaria maiores períodos de treinamento?

As respostas permanecem desconhecidas, porém indivíduos expostos ao treinamento físico prolongado demonstram algumas alterações que podem influenciar na economia de movimento. Por exemplo, HOPKER, COLEMAN e WILES (2007) submeteram 32 ciclistas, divididos igualmente em treinados e recreacionais a um protocolo de esforço em cicloergômetro, consistindo de dois testes a 50 e 60% da potência mecânica máxima individual e na potência absoluta de 150 W. Durante os testes, analisou-se o VO_2 e quantificou-se o trabalho mecânico para obtenção da EG.

Os atletas treinados demonstraram valores superiores de EG comparado aos sedentários (5,1% para intensidade fixa de 150 W, 8,8 e 8,9% para as intensidades a 50 e 60% da potência mecânica máxima individual, respectivamente). Portanto, claramente os atletas apresentavam maior economia de movimento, mesmo quando a carga era determinada de modo relativo à potência mecânica máxima. Além disso, quanto maior a intensidade de esforço, maior era a discrepância entre treinados e sedentários considerando a economia de movimento.

Contudo, no estudo de HOPKER, COLEMAN e WILES (2007) a cadência de pedal não foi fixada, observando diferença significativa entre os atletas e sedentários (94 ± 6 rpm vs 69 ± 4 rpm). WOOLFORD, WITHERS, CRAIG, BOURDON, STANEF e MCKENZIE (1999) demonstraram que a cadência de pedal poderia influenciar na economia de movimento dos ciclistas, principalmente em função do padrão de recrutamento de unidades motoras, sendo que maiores cadências repercutem em maior recrutamento de fibras do tipo II (ETTEMA, 2000).

Conforme demonstrado por KRUSTRUP, FERGUSON, KJAER e BANGSBO (2003) *in vitro*, fibras tipo II parecem ser mais eficientes em termos bioenergéticos. Além disso, maiores cadências reduziriam a força aplicada sobre cada ciclo de pedal, diminuindo a fadiga promovida pelo esforço físico.

Nesse sentido, a maior economia dos atletas treinados que adotavam maiores cadências de pedal os tornariam mais econômicos em função do maior recrutamento de fibras tipo II. No entanto, controvérsias existem a respeito do tipo de fibra mais eficiente, pois diversos trabalhos relatam que há um menor custo metabólico em ciclistas que apresentam maior porcentagem de fibras tipo I (PRINGLE, DOUST, CARTER, TOLFREY, CAMPBELL & JONES, 2003; MOGENSEN, BAGGER, PEDERSEN, FERNSTROM & SAHLIN, 2006).

Num outro estudo, realizado por PALMER et al. (1999) seis ciclistas desempenharam dois testes contra-relógio de 20 km em dias separados e com intervalo de 7 dias entre cada teste. O primeiro teste foi realizado adotando uma intensidade dinâmica, sendo cinco sessões de 20 minutos a 40 e 85% do VO_{2pico} , separado por um intervalo de 10 minutos, onde os atletas mantinham uma potência externa correspondente a 65% do VO_{2pico} . No segundo teste, os atletas percorriam novamente 20 km, porém na potência média do teste dinâmico, ou seja, 65% do VO_{2pico} (232 ± 44 W).

Apesar de PALMER et al. (1999) imporem a intensidade de esforço em ambas as situações, o exercício intermitente promoveu menor depleção de glicogênio muscular comparado ao constante (74 ± 17 vs. 102 ± 10 mM/kg). Além disso, a solicitação das fibras tipo I e II apresentou comportamento distinto, sendo que na tarefa intermitente a depleção de glicogênio muscular foi superior nas fibras tipo II (20% vs. 15%) e inferior nas fibras tipo I (59% VS. 98%), comparado ao exercício constante.

Logo, a tarefa executada de modo dinâmico resultou em maior mobilização de glicogênio muscular, sobretudo em função do padrão de recrutamento empregado para realizar a tarefa. Possivelmente, ao longo da tarefa as fibras de contração rápida e lenta apresentam prejuízo na eficiência contrátil das pontes cruzadas de miosina de forma distinta (BARCLAY, 1996).

BARCLAY (1996) submeteu o músculo sóleo (fibra lenta) a um protocolo de fadiga que consistia em trinta séries de contração isométrica, com intervalo de 5 s entre cada série e duração da contração de 1 s, sendo que para o músculo extensor longo do dedo (ELD) (fibra rápida) a duração da contração era de 0.2 s.

Após o protocolo de fadiga, observou-se redução de 15% na eficiência contrátil do músculo ELD e 9% para o sóleo. Portanto, maior redução na eficiência contrátil para fibras tipo II. Além disso, houve redução na curva força-velocidade para ambos os músculos, sendo mais pronunciada nas fibras rápidas.

Na ocasião, sugeriu-se que a fadiga seria resultante da diminuição do pH intracelular, acarretando prejuízo na hidrólise de PCr, resultando em menor capacidade de trabalho mecânico e maior dissipação de calor. O prejuízo na hidrólise de PCr reduziu a velocidade de relaxamento da fibra, que por sua vez modificou a curva força-velocidade, prejudicando inclusive a contração subsequente. Possivelmente o menor pH e o prejuízo na hidrólise de PCr também reduziria a recaptação de Ca^{++} , prejudicando o relaxamento das estruturas contráteis e, portanto, a contração subsequente (BARCLAY, 1996; ALLEN, LAMB & WESTERBLAD, 2008).

Possivelmente, o exercício desempenhado de modo dinâmico promoveu maior alternância no recrutamento de unidades motoras, mas não foi suficiente para reduzir a fadiga e os processos por ela desencadeados, elevando a redução do pH celular, o prejuízo na hidrólise de PCr e a menor recaptação de Ca^{++} . Consequentemente haveria maior redução da eficiência contrátil dos músculos envolvidos na tarefa.

A hipótese da maior redução na eficiência contrátil apresentada por BARCLAY (1996), associado aos resultados apresentados por PALMER et al. (1999) parecem suportar evidências de maior demanda metabólica durante exercícios que apresentam variabilidade da intensidade. Contudo, deve haver uma amplitude de variação ótima, de modo que situações que promovessem variações superiores ou inferiores a esse valor crítico desencadeariam maior estresse fisiológico e prejuízo ao desempenho.

O próprio treinamento físico parece obedecer a uma lógica similar, pois a periodização das sessões, as cargas, o volume, a intensidade de exercício e até mesmo o período de recuperação apresentam certa variabilidade.

Analisando volume e frequência de treinamento em nível mundial, ciclistas de estrada percorrem anualmente cerca de 35.000 km, com uma frequência semanal de 5 à 8 vezes, ao passo que ciclistas treinados possuem uma frequência semanal de 2 a 3 vezes, percorrendo cerca de 18.000 km por ano. Maiores detalhes podem ser obtidos na tabela 1 abaixo.

TABELA 1 - Classificação dos ciclistas considerando as características do treinamento e os anos de experiência dos ciclistas.

Categoria	Treinado	Amador	Elite	Classe mundial
Frequência semanal	2 a 3	3 a 7	5 – 8	5 – 8
Duração da sessão (min)	30 – 60	60 – 240	60 – 360	60 – 360
Experiência (anos)	1	3 a 5	5 a 15	5 a 30
Competições (anual)	0 a 10	0 a 20	50 a 100	90 a 110

Modificado de JEUKENDRUP, CRAIG e HAWLEY (2000).

Usualmente o treinamento do ciclista (amador ou profissional) é subdividido em período básico, evolução e polimento, e nos três momentos existe incrementos e depressões da frequência, volume e intensidade do exercício para garantir uma carga alostática adequada.

Especificamente, o período básico é composto por grandes volumes e intensidade moderada. Geralmente essa intensidade é estabelecida a partir de um teste máximo progressivo. A partir disso, utilizando algum marcador fisiológico de desempenho como $VO_2\text{max}$, Lim2 ou ainda a FC correspondente a algum desses parâmetros, estabelece-se a intensidade da sessão de treinamento (FARIA, PARKER & FARIA, 2005a). Nesse primeiro momento, o maior incremento ocorre no volume.

Quando não é mais possível aumentar o volume, inicia-se um incremento na intensidade do exercício. Nesse período o atleta ingressa na segunda fase do treinamento, a evolução. Essa fase é iniciada próximo às competições menos importantes, sendo que nesse momento o treino intermitente começa a ficar mais presente na rotina do atleta.

O treinamento intermitente é realizado próximo ou mesmo supra $VO_2\text{max}$ (FARIA, PARKER & FARIA, 2005a) e resulta em aumento, tanto da capacidade quanto da potência aeróbia. Dentre as principais adaptações associadas a esse tipo de treinamento, podemos destacar a maior oxidação de ácidos graxos e redução no uso de carboidratos, maior atividade de enzimas oxidativas e glicolíticas e menor prejuízo ocasionado por fadiga.

DUPONT, BLONDEL, LENSEL e BERTHOIN (2002) demonstraram que mesmo o treinamento intermitente supra $\text{VO}_{2\text{max}}$, com uma razão esforço pausa de 15 s, promoveu melhora da potência aeróbia máxima e do tempo que o indivíduo suportava no $\text{Tlim}^{[\text{VO}_{2\text{max}}]}$. Portanto, o uso do treino intermitente parece ser interessante e deve compor uma parcela significativa do programa do atleta.

A fase final, denominada polimento, seria uma diminuição sistemática tanto no volume quanto na intensidade de exercício. ATKINSON, DAVISON e NEVILL (2005) sugeriram que atletas bem treinados parecem obter maiores ganhos com uma redução exponencial da intensidade do esforço, ao passo que fisicamente ativos se beneficiam de uma redução linear. Os autores sugerem ainda que incluir pelo menos um dia por semana sem nenhum tipo de exercício físico e reduzir cerca de 80% da carga de treinamento seria suficiente para promover 20% de melhora no desempenho esportivo de um atleta. Um exemplo anual de treinamento e conseqüente redução da intensidade de esforço é apresentado na figura 4.

Modificada de ATKINSON et al. (2003); sendo que □ descreve um ciclistas amador e ■ um ciclista profissional.

FIGURA 4 - Distribuição da potência externa durante o período de treinamento físico do atleta.

Além de potencializar o desempenho dos atletas, o treinamento periodizado também reduz a probabilidade de distúrbios relacionados ao excesso de exercício. SEILER e KJERLAND (2006) propuseram que o treinamento parabólico, onde predominam sessões com intensidade inferior ao primeiro limiar metabólico, seguido de intensidades superiores ao segundo limiar e por último menores quantidades de trabalho em intensidades entre o Lim1 e o Lim2 resultam em melhor desempenho e menor risco de acometimento associado à prática de exercício físico comparado ao treinamento no limiar de lactato (FIGURA 5).

Modificado de SEILER e KJERLAND (2006). A figura a esquerda descreve o treinamento baseado no limiar de lactato. A figura direita o treinamento polarizado.

FIGURA 5 - Modelo de treinamento físico para modalidades predominantemente aeróbias.

Portanto, tanto a sessão de exercício quanto o treinamento periodizado deve estar fundamentados em preceitos fisiológicos, minimizando o risco de acometimentos dos atletas. São evidenciados entre os ciclistas lesões e sintomas como: (i) síndrome patelofemoral, (ii) hiperatividade simpática, (iii) distúrbios de sono e apetite, (iv) redução da FCmax, (v) distúrbios hormonais, principalmente elevação de hormônios estressores como cortisol e catecolaminas, (vi) transtornos de ansiedade e depressão (FARIA, PARKER & FARIA, 2005a).

A FC e os parâmetros obtidos a partir do sistema nervoso autônomo cardíaco parecem fornecer indícios de hiperatividade simpática, que por sua vez estaria relacionado a distúrbios hormonais, do sono ou apetite. Portanto, além de não exigir recursos sofisticados e onerosos,

sua utilização não exige um ambiente laboratorial estéril. Por isso, pesquisas dirigidas para melhor compreensão do comportamento de indicadores do sistema autonômico cardiovascular podem contribuir para reduzir os acometimentos promovidos pelo exercício exacerbado, além de auxiliar na prescrição e controle da sessão de esforço.

3.4 Regulação da estratégia de prova: bioenergética e complexidade

Embora existam inúmeras possibilidades de EP, quatro modelos gerais têm sido descritos na literatura (FIGURA 6). Em linhas gerais, tarefas de longa duração em modalidades como ciclismo e corrida usualmente iniciam a prova em um ritmo que superestima a demanda metabólica, seguido de uma redução como forma de poupar energia e, finalmente, há uma elevação da velocidade ou da potência. Inclusive, o *sprint* final do atleta pode ser superior a intensidade inicial, garantindo que a fadiga exacerbada ocorra apenas no final do percurso (RAUCH, ST CLAIR GIBSON, LAMBERT & NOAKES, 2005). Essa EP é usualmente denominada estratégia parabólica (FIGURA 6d).

Por exemplo, FOSTER, HOYOS, EARNEST e LUCIA (2005) observaram que todos os indivíduos adotavam uma EP parabólica no ciclismo, ao passo que no kaique BISHOP, BONETTI e DAWSON (2002) observaram que remadores iniciavam o trajeto em maior velocidade e a reduziam linearmente em função do tempo (FIGURA 1a). Considerando que na maior parte dos eventos os atletas possuem experiência, características físicas e fisiológicas semelhantes, e que a modulação da EP seja, em parte, dependente dessas variáveis, é muito provável que haja similaridades do ritmo de prova entre os atletas numa mesma competição.

Na figura, as estratégias de prova denominam-se 6 a = tudo / nada, 6 b = início lento, 6 c = contínuo e 6 d = parabólica. Modificada de ST CLAIR GIBSON, LAMBERT, RAUCH, TUCKER, BADEN, FOSTER e NOAKES (2006).

FIGURA 6 - Descrição das principais estratégias de prova adotadas em modalidades modalidade esportiva predominantemente aeróbias.

A determinação da EP durante uma tarefa tem sido atribuída a fatores centrais (GUNNAR & QUEVEDO, 2007), periféricos (ALLEN, LAMB & WESTERBLAD, 2008) ou ambos (NOAKES, ST CLAIR GIBSON & LAMBERT, 2005). Todavia, a investigação do tema torna-se demasiadamente complexa em função da ausência de tecnologia capaz de esclarecer os mecanismos que interferem na modulação da EP pelo indivíduo.

Algumas pesquisas orientadas a questão tem apresentado resultados curiosos e inserido novas questões sobre o assunto. Por exemplo, BILLAT et al. (2006) solicitaram a corredores profissionais ($\text{VO}_{2\text{max}} 60,5 \pm 4,9 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$) que percorressem 10 km no menor tempo possível, dando autonomia para determinarem a EP. Posteriormente, os atletas realizaram o mesmo percurso na velocidade média individual, calculada a partir da prova anterior.

Verificou-se que o VO_2 (53 ± 4 vs $48 \pm 5 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$), o percentual do $\text{VO}_{2\text{max}}$ ($87,4\% \pm 8,2\%$ vs $78,8\% \pm 8,7\%$), o [Lac] de recuperação ($7,5 \pm 1,0$ vs $6,6 \pm 0,9 \text{ mM}$) e a

FCmax (169 ± 14 bpm vs 165 ± 13) apresentavam valores superiores no protocolo de velocidade constante comparado à corrida de ritmo variado.

A conclusão foi de que as informações fisiológicas ignoradas durante a corrida em velocidade constante resultaram em maior estresse do sistema cardiorrespiratório, evidenciado a importância da EP para reduzir a demanda metabólica e garantir a conclusão da tarefa. Visto que o tempo requerido para completar a tarefa, à distância e as condições ambientais eram similares, é possível que a EP dinâmica fizesse com que os indivíduos realizassem a tarefa de modo mais econômico, expresso pelo menor percentual do VO_2max , resultando em menor VO_2 e FC.

Outras evidências também apontam indícios de maior estresse fisiológico quando a tarefa é imposta por agentes externos. LANDER, BUTTERLY e EDWARDS (2009) verificaram que a EP constante comparado a EP autônoma promoveu maiores valores para temperatura corporal ($38,7 \pm 0,3$ vs. $38,5 \pm 0,2$ °C), [Lac] pós-esforço ($6,2 \pm 2,5$ vs. $5,2 \pm 2,2$ mM) e resposta eletromiográfica integrada.

Possivelmente, o fato de impor um ritmo de prova promoveria maior estresse e conseqüentemente maior elevação da atividade simpática acarretando maior liberação de catecolaminas plasmáticas. Por sua vez, a elevação sérica dessas substâncias aumentariam a atividade lipolítica, resultando em menor eficiência mitocondrial e maior estresse cardiovascular.

FERNSTROM, BAKKMAN, TONKONOGLI, SHABALINA, ROZHDESTVENSKAYA, MATTSSON, ENQVIST, EKBLOM e SAHLIN (2007) observaram que ultramaratonistas apresentavam prejuízo na função mitocondrial após 24 h de exercício físico a 60% do VO_2max em função da elevação sérica de ácidos graxos livres. Resumidamente, os atletas recebiam a mesma dieta 3 dias antes do teste, que consistia em 52% de carboidrato, 31% de lipídios e 18% de proteínas e, na noite anterior ao teste, permaneciam em jejum para que na manhã seguinte executassem 24 h de exercício físico. Esse último consistia de 12 blocos subdivididos em 4 blocos de corrida, kaique e ciclismo. Cada bloco tinha duração de 110 minutos de exercício separado por um período de repouso de 10 minutos. Durante a tarefa, foi permitido ingerir uma solução energética padronizada (59% de carboidrato, 29% de lipídio e 12% de proteína).

A biópsia muscular realizada após o teste foi utilizada para (i) avaliar a expressão protéica de UCP3 mitocondrial, translocador dinucleotídeo de adenina e cadeia pesada de

miosina; e (ii) isolar a mitocôndria contida nos músculos envolvidos na tarefa. Depois de isoladas, as mitocôndrias foram submetidas a duas soluções distintas para avaliar a atividade respiratória. A primeira continha 10 μ M de palmitoil carnitina e 2 mM de malato, ao passo que a segunda solução continha 5 μ M de palmitoil carnitina e 4 mM de piruvato.

A eficiência da fosforilação oxidativa (razão P/O) foi estimada pela quantidade de ADP dividido pelo VO_2 mitocondrial. Além disso, amostras de sangue foram coletadas nos últimos 15 minutos de exercício e 24 h após o esforço físico para análise da concentração de ácidos graxos.

Dentre os principais resultados, verificou-se elevação substancial de ácidos graxos sanguíneo, que perdurou por aproximadamente 24 h após a conclusão do esforço. Supostamente, essa elevação seria desencadeada por um aumento de catecolaminas plasmáticas, resultando em maior atividade lipolítica. Concomitantemente, observou-se maior oxidação lipídica e menor eficiência mitocondrial.

A redução na eficiência mitocondrial acompanhada de elevação na concentração sérica de ácidos graxos e peroxidação lipídica poderia aumentar a produção de EROs, que por sua vez induziria a elevação da expressão de proteína desacopladora 3 (UCP3), aumentando o vazamento de prótons na tentativa de reduzir o estresse oxidativo. Assim, o prejuízo na eficiência bioenergética seria um mecanismo protetor contra a peroxidação lipídica (FERNSTROM et al., 2007). A figura 7 descreve o comportamento da cadeia transportadora de elétrons durante o repouso (estado 4) e o exercício (estado 3).

No estado mitocondrial de repouso (estado 4) há uma alta pressão de O_2 e reduzida taxa de fluxo de elétrons na cadeia mitocondrial, aumentando a produção de EROs (figura 7a). Por outro lado, a maior atividade mitocondrial (estado 3) resulta em queda na pressão de O_2 e elevação na taxa de fluxo de elétrons, acarretando menor produção de EROs (figura 7b). Durante o exercício físico intenso, a mitocôndria assume o estado 3. Modificado de (BARJA, 2007).

FIGURA 7 - Representação da cadeia transportadora de elétrons mitocondrial na situação de repouso (estado 4) e exercício (estado 3).

Considerando que no estudo de BILLAT et al. (2006) o trabalho mecânico total e a potência/velocidade foi similar, é possível que situações onde o indivíduo é capaz de impor sua própria EP resulte em menor estresse fisiológico, especificamente no sistema cardiorrespiratório e maior eficiência bioenergética. Assim, o menor VO_2 e FC verificado quando os indivíduos modulavam de forma autônoma a EP poderia ser resultado de mudanças na eficiência mitocondrial, promovendo menor VO_2 sistêmico.

Por outro lado, recentes teorias têm atribuído a fatores centrais a modulação da EP durante competições de longa duração, sobretudo indicando o sistema nervoso central (SNC) como regulador/integrador de todos os processos fisiológicos, psíquicos e ambientais.

Mecanismos corticais e subcorticais integrados a periferia corporal e ao ambiente seriam responsáveis pela antecipação da exaustão durante o esforço, garantindo a execução da tarefa sem acarretar riscos à vida. Primeiramente, mecanismos de controle atuariam previamente ao esforço, considerando informações como características do evento e do ambiente, nível de experiência e condições fisiológicas do organismo.

Durante a realização do esforço, a regulação ocorreria via *feedbacks* aferentes (metabólicos, mecânicos, pressóricos), enviando informações da periferia corporal ao SNC, que adicionaria as informações sobre ambiente, características da prova e do indivíduo para modular o padrão de recrutamento motor dos músculos envolvidos na tarefa (ST CLAIR GIBSON et al., 2006). Desse modo, o indivíduo seria capaz de modificar continuamente a EP para assegurar a conclusão da prova (NOAKES, ST CLAIR GIBSON & LAMBERT, 2005).

Informações previamente ao início do esforço que fornecessem parâmetros como duração e/ou distância, associada à experiência do indivíduo e as condições fisiológicas e psicológicas do atleta modulariam uma “EP padrão”, sendo esse processo denominado “teleantecipação” (ALBERTUS, TUCKER, ST CLAIR GIBSON, LAMBERT, HAMPSON & NOAKES, 2005).

Durante o exercício, vias aferentes sinalizariam ao SNC as mudanças fisiológicas no organismo, permitindo ao indivíduo ajustar-se para garantir a conclusão da tarefa no menor tempo possível. A figura 8 esboça o provável mecanismo.

Na imagem, (A) descreve a teleantecipação envolvendo ambiente, condições fisiológicas e psicológicas do organismo; (B) seria a modulação inicial da intensidade de esforço considerando o período restante para concluir a tarefa; (C) elaboração da PSE de referência; (D e F) mensagens aferentes são enviadas para o SNC para serem processadas considerando o período restante para concluir a tarefa; (E) e modularem a PSE consciente; (G) A PSE consciente é equiparada a PSE de referência; (H) a intensidade do esforço é modificada periodicamente modulando o padrão de recrutamento motor para garantir a conclusão da tarefa. Modificada de TUCKER (2009).

FIGURA 8 - Caracterização dos mecanismos envolvidos na elaboração e controle da estratégia de prova.

Assumindo que a teleantecipação implica em memória e que os centros envolvidos com memória estão localizados nos núcleos da base e regiões corticais (ATKINSON et al., 2007; BEAR, CONNORS & PARADISO, 2008), é possível que a EP seja previamente programada de forma inconsciente e, durante a tarefa, centros superiores ajustem essa programação.

Especificamente, vias aferentes que monitoram as respostas fisiológicas do organismo, tais como frequência respiratória e cardíaca, acidose e taxa metabólica, parecem ativar tálamo e hipotálamo. Fatores ambientais como temperatura e umidade são processados no córtex somatosensorial. Já a memória parece envolver hipocampo, amígdala e córtex temporal (BEAR, CONNORS & PARADISO, 2008).

Todas essas regiões supostamente envolvidas na teleantecipação seriam encarregadas de definir uma EP estável, ao passo que as vias aferentes sensoriais seriam responsáveis pela condução de informações oriundas de metaborreceptores, barorreceptores, nociceptores, termorreceptores e mecanorreceptores que corrigiriam em tempo real a EP, regulando o padrão de recrutamento motor, repercutindo na velocidade ou a potência mecânica ao longo da tarefa.

Portanto, provas de longa duração apresentariam um comportamento cíclico de estabilização ↔ instabilização ↔ estabilização que permitiria a conclusão da tarefa no menor tempo possível, como representado na figura 9 (ST CLAIR GIBSON et al., 2006).

Sendo que C corresponde a programação previamente ao início do esforço (teleantecipação), ao passo que U reflete os ajustes dependentes de aferências (comando central). Modificada de ST CLAIR GIBSON et al. (2006).

FIGURA 9 - Simulação da estratégia de prova e seus mecanismos de regulação durante uma tarefa de longa duração.

Evidentemente, todos os processos envolvidos na regulação da EP previamente e durante a tarefa são dependentes de informações inerentes a competição e consolidação dessas informações na memória (GARCIN, DANIEL & BILLAT, 2008). Um estudo recente descrevendo a importância de informações corretas sobre a tarefa na constituição da referência foi realizado por pesquisadores sul-africanos.

Nesse estudo, MICKLEWRIGHT, PAPADOPOULOU, SWART e NOAKES (2009) dividiram a amostra em três grupos. Todos realizavam a mesma tarefa, que consistia num teste contra-relógio de 20 km repetido três vezes em dias distintos, com um intervalo de 3 a 7 dias entre cada sessão. No entanto, havia algumas particularidades entre os testes e entre os grupos.

O grupo (A) realizava as duas primeiras sessões (CR1 e CR2) sem nenhuma informação a respeito da tarefa (duração, distância, cadência, velocidade ou potência). O grupo (B) tinha acesso a todas as informações, descritas de modo correto. O grupo (C) recebia informações incorretas sobre a tarefa. No entanto, o erro era sistemático para todas as variáveis (5% maior que os valores reais). Na terceira sessão (CR3) era fornecido a todos os grupos informações corretas sobre a tarefa, em tempo real, no intuito de avaliar a importância da experiência na EP.

O grupo A (grupo cego) apresentou maiores valores comparando os testes 2 e 3 para potência (135 ± 43 vs 145 ± 54), cadência (91 ± 9 vs. 87 ± 12) e velocidade média (27 ± 4 vs 28 ± 4); além de menor duração para concluir a tarefa. Para o grupo C (informações falsas) detectou-se diferença significativa apenas para cadência média (90 ± 11 vs 85 ± 9) comparando as situações 2 e 3. O grupo B, que recebeu informação correta em todas as situações não apresentou diferença entre as sessões.

Logo, a teleantecipação e a informação correta durante a tarefa associado à experiência são importantes para o indivíduo elaborar a EP, visto que os grupos privados desses parâmetros modificaram sua EP quando recebiam informação correta. Além disso, fica evidente como a ausência dessas informações pode interferir de modo significativo no desempenho do atleta.

Se o desempenho e as respostas cardiorrespiratórias podem ser modificados em virtude das informações sobre a tarefa e EP, é possível que a recuperação fisiológica do organismo também apresente comportamento distinto em função do ritmo empregado previamente durante o esforço. Os parâmetros autonômicos e cardiovasculares têm sido apontados como

possibilidade para quantificar o estresse fisiológico e o subsequente período de recuperação necessário para uma resposta alostática adequada.

3.5 Estresse fisiológico e recuperação: Aspectos bioenergéticos e cardiorrespiratórios

Estabelecer o período de recuperação necessário para que o atleta esteja apto a receber um novo estímulo após uma sessão de exercício é demasiadamente complexo, em virtude das particularidades existentes entre os indivíduos e entre as tarefas. Aspectos como clima, altitude, tipo de exercício físico, volume, intensidade e frequência do treinamento, experiência, ritmo circadiano, dieta, características morfológicas, fisiológicas e psicológicas influenciam no período necessário para recuperação do organismo. Isso justifica a quantidade de investigações orientadas à questão, na maioria das vezes controversa (SLUITER, FRINGS-DRESEN, MEIJMAN & VAN DER BEEK, 2000; LAC & MASO, 2004; BORRESEN & LAMBERT, 2008).

Algumas evidências apontam que após a execução de exercícios aeróbios intensos, há elevação do VO_2 (LAFORGIA, WITHERS & GORE, 2006), maior FC (JAVORKA, ZILA, BALHAREK & JAVORKA, 2003) e menor VFC de recuperação (CASTIES, MOTTET & LE GALLAIS, 2006; BORRESEN & LAMBERT, 2008) comparado ao período previamente a tarefa. Algumas vezes, esse quadro pode perdurar por até 24 h (LAFORGIA, WITHERS & GORE, 2006).

Sobre o VO_2 de recuperação ($\text{VO}_{2\text{rec}}$), há muito é descrito sua relação com a duração e intensidade do esforço (LAFORGIA, WITHERS & GORE, 2006). Inicialmente, HILL e LUPTON (1923) sugeriram que o comportamento exponencial do VO_2 de recuperação ($\text{VO}_{2\text{rec}}$) estaria associado à remoção de lactato produzido durante o exercício. Alguns anos mais tarde, essa hipótese foi contestada por MARGARIA, EDWARDS e DILL (1933), que descreveram que a cinética do $\text{VO}_{2\text{rec}}$ seria resultado da refosforilação oxidativa.

Atualmente, o $\text{VO}_{2\text{rec}}$ tem sido descrito como resultado de um fenômeno mais amplo, associando os dois anteriores a alterações na temperatura corporal, metabolismo de ácidos graxos e eficiência mitocondrial. É possível que a redução na eficiência mitocondrial e a maior concentração sanguínea e metabolização de ácidos graxos sejam os responsáveis pelo maior VO_2 de base observado no período de recuperação.

Talvez a cinética do VO_{2rec} seja o resultado de diversos fatores expressos numa única variável. Como proposto por MARGARIA, EDWARDS e DILL (1933), a primeira fase do VO_{2rec} corresponderia a refosforilação oxidativa, ao passo que a segunda seria resultante da remoção de metabólitos e catecolaminas. Finalmente, a terceira fase da cinética do VO_2 , que persistiria por até 24 horas, seria resultante da menor eficiência mitocondrial na tentativa de reduzir a peroxidação lipídica no organismo, desencadeando valores de VO_{2rec} superiores aos valores de base pré-esforço.

A cinética de recuperação da FC (FC_{OFF}) apresenta um comportamento similar ao do VO_{2rec} (BEARDEN & MOFFATT, 2001), além de ser uma variável pouco invasiva, de baixo custo financeiro e sensível a intensidade do esforço (BORRESEN & LAMBERT, 2008). Entretanto, os mecanismos envolvidos na FC_{OFF} parecem ser distintos e dependentes, inclusive, do SNA.

A FC_{OFF} assume um comportamento exponencial que pode variar dependendo da intensidade do esforço adotada (RUMENIG, BERTUZZI, NAKAMURA, FRANCHINI, MATSUSHIGUE & KISS, 2007). Em intensidades acima do Lim2, comumente descrito como domínio muito pesado de esforço, a FC_{OFF} pode ser caracterizada por duas fases. A primeira (fase rápida) reflete a restauração da atividade autonômica vagal, ao passo que a fase subsequente (fase lenta) reflete a retirada simpática e remoção de catecolaminas e metabólitos sanguíneos (JAVORKA et al., 2003).

Além da intensidade do esforço, outros fatores como (i) aspectos hemodinâmicos, estruturais e funcionais cardíacos (ACHTEN & JEUKENDRUP, 2003), (ii) fatores inerentes ao SNA (GREEN, WANG, PURVIS, OWEN, BAIN, STEIN, GUZ, AZIZ & PATERSON, 2007), (iii) características do indivíduo, tais como aptidão física, idade, sexo, e (iv) tipo de exercício e volume de treinamento (AUBERT, SEPS & BECKERS, 2003) podem interferir na resposta cinética do ritmo cardíaco.

Por exemplo, HAUTALA, TULPPO, MAKIKALLIO, LAUKKANEN, NISSILA e HUIKURI (2001) investigaram o efeito do exercício físico prolongado sobre a VFC, submetendo 10 esquiadores *cross country* a um protocolo de 75 km. Analisando a VFC previamente, 24 h e 48 h após a conclusão da competição, verificaram que o componente espectral de alta frequência (HF), representativo da resposta autonômica parassimpática, foi significativamente inferior no primeiro dia comparado ao período anterior ao teste. O componente espectral de baixa frequência (LF), representativo da modulação simpática

(apesar de não haver consenso sobre essa afirmação), apresentou comportamento inverso. No segundo dia pós-esforço, houve uma acentuação do componente parassimpático, mas não foi suficiente para reduzir a FC em relação aos valores pré-competição.

Num estudo mais recente, KIVINIEMI et al. (2007) utilizaram a VFC para prescrever o treinamento físico aeróbio. No referido artigo, dividiram o grupo em treinamento preestabelecido ($n = 8$), treinamento orientado pela VFC ($n = 9$) e controle ($n = 9$); submetendo os dois primeiros a 4 semanas de exercício físico aeróbio. O grupo com o programa preestabelecido desempenhava uma sessão semanal de 40 minutos, com intensidade moderada (65% da FCmax) e duas de 30 minutos com alta intensidade (85% da FCmax).

O grupo VFC desempenhou o treinamento baseado na VFC diária, iniciando com intensidade moderada (65% da FCmax; 40 min) seguido de alta intensidade (85% da FCmax; 30 min). Caso a VFC apresentasse redução do espectro, indicando elevação simpática ou retirada vagal, repetia-se o treinamento de intensidade moderada. Se a redução da VFC persistisse, o indivíduo permanecia em repouso por até dois dias. Por outro lado, se o exercício de alta intensidade não resultasse em diminuição da VFC, repetia-se o treinamento, seguido do exercício de intensidade moderada.

O grupo VFC obteve maiores ganhos para o VO_{2max} , Lim2 e componente espectral HF da VFC comparado ao grupo periodizado e ao grupo controle, evidenciando que a VFC é sensível às respostas desencadeadas pela sessão de esforço.

Além disso, utilizando a VFC foi possível individualizar as cargas e maximizar os benefícios promovidos pelo treinamento prolongado. Isso demonstra que tanto para a recuperação quanto para a prescrição da sessão de esforço, a VFC pode ser empregada.

Provavelmente, exercícios aeróbios alteraram a resposta autonômica cardíaca em vários níveis de regulação. Por exemplo, elevam a excitabilidade dos receptores muscarínicos no nódulo sinusal (MCARDLE, KATCH & KATCH, 2003, p. 339); aumentam a eficiência contrátil do miocárdio, principalmente em função da maior liberação, trânsito e recaptação de cálcio (BUENO, FERREIRA, PEREIRA, BACURAU & BRUM, 2010), promovem alterações estruturais como aumento da cavidade cardíaca e hipertrofia miocárdica, repercutindo inclusive em redução da FC durante o repouso, exercício e acelerando a cinética de recuperação.

Portanto, tanto sessões de exercício quanto o treinamento físico prolongado desencadeiam modificações no VO_{2rec} , na FC_{OFF} e VFC. Esses indicadores, sensíveis a

intensidade e volume de esforço, além de características fisiológicas particulares de cada indivíduo, poderiam ser utilizados para descrever como a manipulação da EP influencia no desempenho e na recuperação desses atletas (AUBERT, SEPS & BECKERS, 2003).

As alterações na resposta autonômica cardíaca também são dependentes da atividade do SNC, sobretudo via eixo hipotalâmico – hipofisário – adrenal (HHA) (SLUITER et al., 2000). Além do SNA, o eixo HHA e as respostas neuroendócrinas por ele desencadeadas interferem em diversos fenômenos fisiológicos, incluindo metabolismo, atividade imunológica e resposta inflamatória (GUYTON & HALL, 2007).

No SNC, exposição a situações estressantes promovem liberação de corticotropina em regiões extra-hipotalâmicas, especificamente no terminal estriado do núcleo rubro. Em animais, essa região está associada a transtornos de ansiedade (GRILLON, DUNCKO, COVINGTON, KOPPERMAN & KLING, 2007). A liberação de corticotropina induz a maior atividade do eixo HHA e do SNA simpático, resultando em elevação do cortisol, pressão sanguínea e FC (GRILLON et al., 2007).

O cortisol pode ainda potencializar a ação de corticotropina no núcleo rubro, excitando as respostas comportamentais associadas ao estresse, como alerta, ansiedade ou medo (GRILLON et al., 2007). Essas emoções são largamente observadas entre os atletas em eventos competitivos, principalmente previamente ao início do evento.

No metabolismo de substratos, o cortisol previne a reesterificação de ácidos graxos (URHAUSEN, GABRIEL & KINDERMANN, 1995), que como citado anteriormente, apresenta elevação em virtude da maior atividade catecolaminérgica sobre os adipócitos (FERNSTROM et al., 2007). Além disso, atua no catabolismo protéico e na gliconeogênese hepática, favorecendo a manutenção da glicêmica, igualmente importante durante o esforço (URHAUSEN, GABRIEL & KINDERMANN, 1995).

É importante destacar que exercícios com intensidade superior a 60% do $VO_2\text{max}$ e executados por mais de 20 minutos são suficientes para promover elevação do cortisol sanguíneo (URHAUSEN, GABRIEL & KINDERMANN, 1995) e as repostas fisiológicas supracitadas. Contudo, intensidades inferiores a 60% do $VO_2\text{max}$ sustentadas por longos períodos e que resultem em mudanças na glicemia também são capazes de induzir a elevação de hormônios contrarregulatórios (SLUITER et al., 2000). Tarefas de curta duração e intensidade elevada também promovem elevação sérica de cortisol.

Nesse sentido, os mecanismos desencadeadores parecem ser dependentes de acidose metabólica (DUCLOS, CORCUFF, RASHEDI, FOUGERE & MANIER, 1997). Provavelmente quimiorreceptores periféricos sinalizariam ao SNC alterações no pH celular, resultando em liberação de adrenocorticotropina (ACTH), que por sua vez estimularia a produção de cortisol (VIRU & VIRU, 2004).

Portanto, mecanismos centrais corticais e subcorticais, o aparato cardiorrespiratório e a periferia do organismo se integrariam para promover uma carga alostática que mantivesse a glicemia estável, mobilizando AGL como substrato energético e estimulando o córtex motor e o SNA simpático para promover o recrutamento de unidades motoras dos músculos inerentes a tarefa e elevar as respostas inotrópicas e cronotrópicas cardíacas. Subsequentemente deveria haver um período para que essas respostas retornassem próximo aos valores de base, prevenindo uma sobrecarga alostática e conseqüente redução do desempenho.

Possivelmente, os índices obtidos a partir da análise indireta do comportamento do SNA cardíaco esclareçam algumas questões referentes a esses processos descritos acima, sendo importante abordarmos as particularidades da regulação cardíaca.

3.6 Sistema nervoso autônomo e central: Conexões para o controle cardiovascular

O SNA constitui uma complexa rede de neurônios e gânglios responsáveis pelo controle dos órgãos (FURNESS, 2006). Isso ocorre por meio de vias aferentes que sinalizam ao SNA as condições ambientais e fisiológicas dos tecidos e órgãos. Em seguida, as vias eferentes atuam na tentativa de manter a homeostase do organismo. Logo, a regulação do SNA inclui desde respostas mecânicas até respostas endócrinas, evidenciando a dificuldade inerente a sua investigação.

O SNA está subdividido em simpático, parassimpático ou vagal e entérico (FURNESS, 2006). O SNA entérico é pouco explorado em investigações que possuem como objeto de estudo o exercício físico. Em função disso, não será discutido no presente estudo.

Segundo KUKANOVA e MRAVEC (2006), a regulação da FC é hierarquicamente organizada em três níveis, sendo eles: (i) regulação intracardíaca realizada por uma complexa rede de neurônios e gânglios, principalmente no nóculo sinusal; (ii) regulação a partir do tronco cerebral, que por sua vez é dependente de *feedbacks* oriundos de barorreceptores,

quimiorreceptores e respostas neuro-humorais; e (iii) controle a partir de centros neurais superiores, envolvendo núcleos da base e córtex.

No repouso, o coração apresenta atividade contrátil mediada por mecanismos intrínsecos, sendo pouco influenciado por centros superiores. Porém, durante o exercício físico informações ambientais e fisiológicas são enviadas e processadas no sistema nervoso central (SNC), sobretudo para desencadear elevação do débito cardíaco e garantir o suprimento adequado de oxigênio e nutrientes aos tecidos e órgãos. A figura 10 caracteriza graficamente essa hipótese.

Na figura à direita, o organograma esquematiza as regiões e os mecanismos de controle para regulação do ritmo cardíaco, sendo que as linhas sólidas descrevem as vias eferentes de regulação, ao passo que as linhas tracejadas as vias aferentes; HG = gânglio cardíaco, DRG = gânglio da raiz dorsal da medula espinal, SG = gânglio simpático, NG = gânglio nodal (modificada de KUKANOVA & MRAVEC, 2006). A figura à esquerda exemplifica o envolvimento do sistema límbico na resposta autonômica cardíaca, especialmente do tálamo (modificada de GUYTON & HALL, 2006).

FIGURA 10 - Esquematização hierárquica dos processos envolvidos na regulação da função cardíaca.

As regiões responsáveis pelos mecanismos de modulação da FC e pressão sanguínea não parecem diferir em função do estresse que o organismo é submetido, seja ele de ordem emocional ou física. Por exemplo, CRITCHLEY et al. (2000) não observaram diferenças em relação a resposta pressória e cronotrópica cardíaca em indivíduos submetidos à condição de exercício físico e estresse mental.

A respeito do protocolo, o primeiro procedimento consistia num teste de preensão manual em dinamômetro, mantendo uma contração isométrica do braço dominante por aproximadamente 5 minutos, a 40% da força máxima voluntária. O segundo seria um teste de estresse mental, consistindo em realizar testes aritméticos o mais rápido possível.

Em ambas as situações, houve aumento tanto da pressão arterial quanto da FC, além de elevação do fluxo sanguíneo nas mesmas regiões do SNC, sendo eles o cíngulo direito anterior, o tronco cerebral e o vérmis cerebelar. Sugere-se que essas áreas estão associadas ao comportamento cognitivo e emocional (BEAR, CONNORS & PARADISO, 2008), além de estarem envolvidas no controle do balanço simpátovagal e das respostas cardiovasculares.

De fato, diversas áreas do cérebro parecem estar envolvidas no controle cardiovascular, incluindo o córtex sensorial, o córtex pré-frontal, o hipocampo, as amígdalas e as estruturas hipotalâmicas (CRITCHLEY et al., 2000; MCDOUGALL, WIDDOP & LAWRENCE, 2005).

Por exemplo, a estimulação farmacológica do hipotálamo dorso medial em ratos anestesiados causou taquicardia e elevação da atividade nervosa simpática adrenal. Inversamente, sua inibição farmacológica atenuou as respostas cardiovasculares em situação de estresse (MCDOUGALL, WIDDOP & LAWRENCE, 2005).

Em relação às regiões corticais, duas áreas em especial têm sido investigadas extensivamente em modelo animal (MCDOUGALL, WIDDOP & LAWRENCE, 2005; REDGRAVE & GURNEY, 2006; GREENWOOD & FLESHNER, 2008), sendo o córtex pré-frontal medial e o córtex cingulado. Foi evidenciado que o primeiro estabelece conexões com o hipotálamo dorso medial e outras regiões envolvidas na regulação da resposta autonômica (MCDOUGALL, WIDDOP & LAWRENCE, 2005). Além disso, interfere na função do eixo HHA, que influencia na atividade simpatoadrenal (KUKANOVA & MRAVEC, 2006).

Por sua vez, o córtex cingulado parece estar envolvido com a emoção, sendo um dos componentes do “*circuito de Papez*” (BEAR, CONNOR & PARADISO, 2008). O córtex cingulado afeta o hipotálamo, enquanto que o hipotálamo afeta o córtex cingulado via tálamo

anterior; ou seja; todas regiões relacionadas ao sistema límbico e, como descrito anteriormente, associadas a modulação do SNA e da resposta cardíaca.

Em estudos envolvendo humanos, algumas questões sobre a atividade do SNC durante exercício físico (usualmente isométricos) têm sido investigadas empregando a tomografia de emissão de pósitrons (PETscan). Em linhas gerais, esse equipamento permite avaliar, em tempo real e com uma resolução espaço-temporal satisfatória, a atividade metabólica do SNC. Contudo, investigações com PETscan são onerosas e exige recurso humano especializado, tornando a técnica incomum no cenário da educação física e do esporte.

Até o presente, a principal ferramenta de análise para inferir sobre os mecanismos centrais durante o esforço tem sido a percepção subjetiva de esforço (PSE) (ESTON, FAULKNER, MASON & PARFITT, 2006; GARCIN, DANIEL & BILLAT, 2008). Porém, vários fatores parecem limitar o uso dessa ferramenta; principalmente os aspectos cognitivos (GROSLAMBERT & MAHON, 2006) e emocionais (ST CLAIR GIBSON, 2006).

Com o avanço nos modelos matemáticos e softwares de análise, outros indicadores além da PSE têm sido utilizados. A VFC caracteriza-se como uma possibilidade para descrever as alterações do SNA cardíaco em situações de repouso e exercício físico (DE MEERSMAN, REISMAN, DAUM, ZOROWITZ, LEIFER & FINDLEY, 1993; AUBERT, SEPS & BECKERS, 2003; PAREKH & LEE, 2005). Por sua vez, o balanço autonômico cardíaco é influenciado por centros superiores e periferia, conforme citado anteriormente (KUKANOVA & MRAVEC, 2006). Portanto, a VFC seria um indicador indireto objetivo da integração central-periférica do organismo durante o esforço.

3.7 Variabilidade da frequência cardíaca e demanda metabólica

A importância de mensurar o padrão rítmico cardíaco é reconhecida há séculos, sendo empregada em investigações clínicas e científicas. Porém, foi difundida apenas no século XX principalmente devido a limitações técnicas (BERNTSON, BIGGER, ECKBERG, GROSSMAN, KAUFMANN, MALIK, NAGARAJA, PORGES, SAUL, STONE & VAN DER MOLEN, 1997). Um dos primeiros equipamentos utilizados para registrar a condutividade elétrica cardíaca data do início do século XIX. A partir de elaborações de Luigi Galvani e Alessandro Volta, utilizando os princípios de André-Marie Ampère, desenvolveram o galvanômetro. Isso permitiu mensurar as mudanças na voltagem do sinal cardíaco.

Subsequentemente, Ludwing desenvolveu o quimógrafo para estudar o funcionamento mecânico do aparato cardíaco. Contudo, foi no início do século XX que Einthoven integrou o polígrafo com o galvanômetro, elaborando o primeiro eletrocardiógrafo, usado até o presente para mensurar e registrar a condutividade do sinal elétrico cardíaco batimento a batimento (BERNTSON et al., 1997).

Por volta de 1970, iniciou-se uma série de investigações sobre a possibilidade de utilizar o sinal eletrocardiográfico associado a ferramentas matemáticas como indicativo prognóstico de doenças cardiovasculares (BERNTSON et al., 1997). Entretanto, essas técnicas apresentavam limitações que dificultam seu uso em situações onde o sinal apresenta um comportamento não estacionário, como durante o exercício. Assim, houve um esforço dirigido ao desenvolvimento de modelos que possibilitassem analisar o sinal eletrocardiográfico em condições diferentes do repouso.

Atualmente, modelos de análise não linear têm sido descritos para estudar a VFC em situações onde esse sinal apresenta um padrão dinâmico (RAJENDRA ACHARYA, PAUL JOSEPH, KANNATHAL, LIM & SURI, 2006). Dentre as principais ferramentas matemáticas, destacam-se a plotagem de *Poincaré*, análise fractal, a transformada *wavelet*, o expoente de *Lyapunov* e a amostragem entrópica (SamplEn).

A principal vantagem das técnicas como transformada *wavelet*, expoente de *Lyapunov* ou SamplEn em relação às funções que exigem dados estacionários é a possibilidade de analisar a janela de sinal parcialmente, sem necessidade de desprezar o restante, fornecendo uma resolução espaço-temporal satisfatória. Outra vantagem é a possibilidade de detecção de alterações repentinas, como as que ocorrem durante o exercício físico.

Alguns aparelhos portáteis empregados no treinamento esportivo são capazes de registrar a FC batimento a batimento numa frequência de aquisição aceitável. Desde então, a investigação da VFC em situações de campo aumentou consideravelmente. Para indivíduos saudáveis submetidos ao esforço físico que incite uma FC superior a 100 bpm, a regulação do ritmo e da contratilidade cardíaca é dependente do SNA e de mecanismos humorais (ALMEIDA & ARAÚJO, 2003).

Dentre as principais substâncias produzidas, destacam-se a acetilcolina e a epinefrina. A primeira liga-se a receptores muscarínicos, desencadeando uma série de reações que resultam na ativação dos canais transmembranares de potássio e redução da FC (BERNTSON et al., 1997). Por outro lado, a epinefrina liga-se aos receptores β_1 adrenérgicos, resultando em

maior liberação de Ca^{++} e estimulando a frequência e a contratilidade do coração (KEMI et al., 2008).

Com o aumento da demanda metabólica decorrente do esforço, existe uma diminuição da VFC, significando uma retirada do SNA vagal ou elevação simpática, com consequente elevação do débito cardíaco e do VO_2 . A elevação no débito cardíaco em intensidade moderada ocorre principalmente devido à retirada vagal (RUMENIG et al., 2007). Com a progressão da intensidade do esforço, há elevação da contribuição simpática, sendo que a partir de 60% do $\text{VO}_{2\text{max}}$, a contribuição simpática é predominante (ALMEIDA & ARAÚJO, 2003).

Entretanto, independente da intensidade do esforço, as alterações repentinas da VFC observadas no início e imediatamente após a interrupção do exercício parecem estar envolvidas com o componente parassimpático, ao passo que o SNA simpático responde com certo atraso. SPEAR, KRONHAUS, MOORE e KLINE (1979) observaram que o disparo vagal exercia um efeito máximo em 0,5 s e retornava para valores basais em aproximadamente 1 s. Inversamente, a atividade simpática apresentava 1s de atraso antes de exercer efeito máximo, que perdurava em torno de 4 s, para então retornar aos valores basais em aproximadamente 20 s.

HILL-SMITH e PURVES (1978) sugeriram que o tempo de atraso não estava relacionado ao processo de difusão da acetilcolina ou da norepinefrina, mas aos processos moleculares que ocorrem no nódulo sinusal após a ligação desses com seus respectivos receptores. Desse modo, cogitaram que a ativação dos receptores muscarínicos e a subsequente mudança na corrente iônica da célula envolvessem menor quantidade de mediadores celulares, ao passo que a estimulação dos receptores β_1 demonstrava comportamento inverso.

Outros dois fatores que influenciam significante no balanço simpatovagal são a resposta pressórica sanguínea (ROWELL, 2004) e o ritmo respiratório do indivíduo (TASK TASK FORCE OF THE EUROPEAN SOCIETY OF CARDIOLOGY THE NORTH AMERICAN SOCIETY OF PACING ELECTROPHYSIOLOGY, 1996). Mesmo durante o esforço máximo ou próximo do máximo, onde se verifica uma redução da VFC para valores próximos de zero e uma contribuição vagal quase nula, a influencia da pressão sangüínea e do ritmo respiratório foram identificados (CASTIES, MOTTET & LE GALLAIS, 2006).

Nesse estudo, analisou-se o espectro e a complexidade da VFC durante e subsequentemente a tarefa desempenhada em três diferentes intensidades submáximas (40, 70 e 90% do VO_2max). Os índices obtidos a partir da análise de domínio de tempo apresentaram redução da VFC para valores próximos de zero, correspondendo a uma parassimpátólise quase total. Contudo, quando esse sinal foi analisado empregando funções não lineares (*Largest Lyapunov Exponent*, *Detrended Fluctuation Analysis*, *Minimum Embedding Dimension*), verificou-se que a VFC apresentava mais de uma dimensão, que por sua vez representaria a influencia de outros fatores além do SNA cardíaco.

Cogitaram a pressão sangüínea e a frequência respiratória como os principais responsáveis pela alteração do sinal, que como já demonstrado em investigações anteriores, parece influenciar no comportamento simpátovagal (PERSSON, 1996; HARMS, 2000; AUBERT, SEPS & BECKERS 2003).

É importante salientar que todas essas respostas são dependentes de fatores como aptidão física, idade, gênero, período de treinamento, intensidade, duração e tipo de exercício físico (ZOUHAL, JACOB, DELAMARCHE & GRATAS-DELAMARCHE, 2008). Por exemplo, MARTINELLI, CHACON-MIKAHIL, MARTINS, LIMA-FILHO, GOLFETTI, PASCHOAL e GALLO-JUNIOR, (2005) verificaram diferença significativa de um índice representativo da atividade autonômica vagal entre ciclistas e sedentários ($p < 0,05$), sendo que os primeiros demonstraram maior atividade vagal durante o repouso e o teste *head up tilt*; além de menores valores para FC de repouso. Inversamente, indivíduos submetidos ao treinamento de força excêntrica demonstraram maior atividade simpática após o treinamento, mesmo quando havia redução da pressão arterial sistólica (MELO, QUITERIO, TAKAHASHI, SILVA, MARTINS & CATAI, 2008).

De qualquer modo, a análise de sinais biológicos empregando procedimentos matemáticos não lineares pode desvelar novos caminhos para elucidar algumas questões envolvendo regulação e integração dos sistemas central ↔ periférico durante o repouso, o exercício físico e a recuperação.

3.8 Tempo limite na frequência cardíaca máxima e desempenho esportivo

O interesse em predizer o desempenho de atletas praticantes de modalidades predominantemente aeróbias e de longa duração data dos primórdios da pesquisa científica

envolvendo o esporte e o exercício físico (STROMME, INGJER & MEEN, 1977; HAGAN, SMITH & GETTMAN, 1981). Apesar de existirem dezenas de indicadores fisiológicos que foram propostos para essa finalidade, todos em linhas gerais remetem à capacidade e a potência aeróbia máxima dos atletas.

Apenas para destacar alguns marcadores, para potência aeróbia podemos citar o $VO_2\text{max}$ (STROMME; INGJER & MEEN, 1977), a $FC\text{max}$ (AUBERT, SEPS & BECKERS, 2003), a potência mecânica ou velocidade aeróbia máxima (MIDGLEY, MCNAUGHTON & JONES, 2007), ao passo que para a capacidade aeróbia destacam-se o Lim2, o máximo estado estável de lactato (SVEDAHL & MACINTOSH, 2003) e a potência crítica (MORTON, 2006).

Todavia, considerar apenas o $VO_2\text{max}$ ou o Lim2 para predizer o desempenho durante uma competição de longa duração pode ser insuficiente. Conforme destaca SAUNDERS et al. (2004), outros fatores fisiológicos incluindo a intensidade e a duração em que o atleta pode suportar o esforço em uma intensidade próxima do $VO_2\text{max}$ ou a capacidade de utilizar AGL e poupar glicogênio em intensidades pesadas de esforço, ou ainda a tolerância ao acúmulo de [Lac] podem influenciar significativamente o desempenho do atleta.

Portanto, tão relevante quanto disponibilizar energia para que o trabalho seja realizado, é aproveitar essa energia de modo eficiente; pois indivíduos distintos com $VO_2\text{max}$ similares podem apresentar um consumo de oxigênio distinto para a mesma tarefa, ou seja, uma demanda metabólica diferente para o mesmo trabalho mecânico, conforme apresentado na figura 11 (modificada de SAUNDERS et al., 2004).

FIGURA 11 - Economia de movimento de dois corredores submetidos a mesma intensidade de esforço.

Baseado nos pressupostos acima da importância de se aproveitar a energia que é disponibilizada pelo sistema, foi criado um índice denominado tempo limite na intensidade do VO_{2max} ($TLim^{[VO_{2max}]}$), que por sua vez parece predizer com maior acurácia o desempenho numa competição de longa duração, por relacionar num único teste potência aeróbia e economia de movimento (SAUNDERS et al., 2004).

Esse índice considera tanto a potência energética do sistema quanto a economia de movimento do atleta. Considerando que a intensidade de esforço, em termos fisiológicos, é máxima para todos os indivíduos, é provável que aquele que suporte a tarefa por maior período de tempo seja mais econômico (SAUNDERS et al., 2004).

Por exemplo, MIDGLEY, MCNAUGHTON e CARROLL (2006) verificaram correlação significativa entre Lim2 (determinado a partir do lactato sanguíneo) e $TLim^{[VO_{2max}]}$ ($r = 0,87$). A importância dessa relação reside no fato de que maiores valores de Lim2 e $TLim^{[VO_{2max}]}$ estão associados a maior ressíntese de ATP pela cadeia transportadora de elétrons mitocondrial e menores valores de tempo para cinética do VO_2 no início do exercício.

Consequentemente, haveria menor redução de piruvato a lactato e menor déficit anaeróbio de oxigênio na transição do repouso para o início do exercício (MIDGLEY, MCNAUGHTON & CARROLL, 2006).

Além de predizer com maior acurácia o desempenho esportivo, o $\text{TLim}^{[\text{VO}_2^{\text{max}}]}$ também é sensível a aptidão física e a modalidade esportiva analisada. CAPUTO, MELLO e DENADAI (2003) constataram que tanto ciclistas quanto corredores podem se beneficiar do uso do $\text{TLim}^{[\text{VO}_2^{\text{max}}]}$. No referido estudo, foi observado que ciclistas treinados apresentavam maior permanência na intensidade do VO_2max comparado a ciclistas não treinados (384 ± 66 vs. 311 ± 105 s). Já os corredores apresentaram comportamento inverso, sendo que os indivíduos treinados obtiveram valores inferiores a não treinados a respeito do $\text{TLim}^{[\text{VO}_2^{\text{max}}]}$ (309 ± 176 vs. 439 ± 104 s).

Entretanto, os indivíduos treinados em ambas as modalidades demonstraram menores valores para constante de tempo da cinética do VO_2 (ciclistas: 28 ± 4 vs. 64 ± 25 e corredores: 28 ± 8 vs. 59 ± 12 s; respectivamente treinados e não treinado). Menores constantes de tempo para a cinética na transição *on* do VO_2 deveriam resultar em menor déficit de O_2 e, conseqüentemente, maior permanência na tarefa em função dos menores efeitos da solicitação da via anaeróbia.

Entretanto, parece haver uma relação inversa entre VO_2max e $\text{TLim}^{[\text{VO}_2^{\text{max}}]}$ para corredores e positiva entre ciclistas (CAPUTO, MELLO & DENADAI, 2003). Possivelmente, a especificidade mecânica da tarefa seja a responsável por tais diferenças, pois a corrida possibilita maior armazenamento e aproveitamento de energia elástica pelas unidades contráteis, principalmente durante a fase subsequente a contração excêntrica, reduzindo os efeitos da fadiga e da potência aeróbia máxima sobre o $\text{TLim}^{[\text{VO}_2^{\text{max}}]}$. Nesse caso o indivíduo apresentaria maior economia de movimento em função do componente neuromuscular e não do componente metabólico (CAPUTO, MELLO & DENADAI, 2003).

Inversamente, o ciclista apresentaria maior pressão intramuscular e, conseqüentemente, maior oclusão parcial da artéria femoral; repercutindo em maior solicitação de fibras do tipo II e produção de metabólitos oriundos do metabolismo anaeróbio. Visto que indivíduos que demonstram maior potência aeróbia máxima são capazes de remover esses metabólitos e ressintetizar maior quantidade de ATP por unidade de tempo (BERTUZZI & RUMENIG, 2009), essa maior capacidade fosforilativa oxidativa poderia ser responsável pela maior permanência no $\text{TLim}^{[\text{VO}_2^{\text{max}}]}$ e a correlação positiva entre VO_2max e $\text{TLim}^{[\text{VO}_2^{\text{max}}]}$.

Existem algumas limitações em relação ao uso do $TLim^{[VO_2 \max]}$. A primeira seria a grande variabilidade intra e inter-sujeito descrita em estudos anteriores (SAUNDERS et al., 2004; MIDGLEY, MCNAUGHTON & CARROLL, 2007). A segunda diz respeito à incapacidade de determinar os fatores que influenciam o $TLim^{[VO_2 \max]}$ e a importância do protocolo empregado para determinação do $VO_2 \max$ (HILL & ROWEL, 1996). Terceiro, no Brasil poucos atletas têm acesso a um analisador de gases, por se tratar de um equipamento oneroso e exigir recurso humano especializado. Por isso, desenvolver tecnologias que podem ser incluídas ou já fazem parte da rotina do atleta seria importante e contribuiria para o progresso do ciclismo.

A FC seria uma solução interessante para a questão supracitada, visto que possui relação linear com o VO_2 (ASTRAND & SALTIN, 1961), já faz parte da rotina do ciclista (FOSTER et al., 2005; NEUMAYR, PFISTER, MITTERBAUER, GAENZER, STURM & HOERTNAGL, 2003; EARNEST, JURCA, CHURCH, CHICHARRO, HOYOS & LUCIA, 2004), contribui para uma prescrição individualizada do treinamento físico (KIVINIEMI et al., 2007), e não exige recurso humano especializado nem tampouco um grande investimento financeiro para aquisição de equipamentos.

Portanto, apesar de não existir nenhum estudo investigando o emprego do $TLim^{[FC \max]}$ para predição do desempenho e controle do treinamento, parece que sua utilização suprimiria as deficiências do $TLim^{[VO_2 \max]}$ e contribuiria de modo significativo para treinadores e atletas envolvidos com o ciclismo.

4 METODOLOGIA

4.1 Amostra

Participaram desse estudo 8 ciclistas amadores masculinos praticantes da modalidade por no mínimo 12 meses, com uma frequência mínima de 3 vezes por semana e que desempenhavam um volume semanal superior a 50 km. Previamente ao início do protocolo experimental, todos os sujeitos receberam o termo de consentimento informado. Este foi aprovado pelo comitê de ética local da Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo (ANEXO I). Todos os procedimentos e os riscos associados ao estudo foram

relatados de forma verbal e escrita. Fatores como doença cardiovascular, tabagismo, uso de medicamentos ou qualquer sintoma que comprometesse a prática de atividade física intensa foram considerados critérios de exclusão.

4.2 Procedimentos experimentais

Inicialmente, os indivíduos foram submetidos a uma série de avaliações antropométricas e a familiarização com o ciclosimulador (Technogym®). Com relação à análise morfológica mensurou-se estatura (estadiômetro de madeira), massa corporal (Filizola® ID 1500, São Paulo, Brasil) e composição corporal (Adipômetro Harpenden®). A medida de dobras cutâneas foi feita pelo sistema de rodízio, sendo realizada 3 coletas para cada ponto anatômico. Utilizou-se a equação de GUEDES (1985) para estimativa da densidade corporal, enquanto o percentual de gordura corporal (%GC) foi estimado pela equação de SIRI (1961). As equações empregadas são descritas abaixo:

$$D = 1,1714 - 0,0671 \text{ Log}_{10}(Tr + SI + Abd) \quad (1.1)$$

$$\%GC = (495 / D) - 450 \quad (1.2)$$

Sendo que D = densidade corporal; Tr = dobra cutânea tricipital, SI = dobra cutânea suprailíaca e Abd = dobra cutânea abdominal.

A familiarização ocorreu em seguida, consistindo de um teste contra-relógio de 3 km em ciclosimulador e ajustes em cicloergômetro, no intuito de reduzir algum possível efeito da aprendizagem sobre o desempenho físico e o estresse desencadeado pela tarefa.

Em visitas subsequentes foi realizado (i) teste máximo progressivo em cicloergômetro eletromagnético para determinação da FCmax, da potência aeróbia máxima (PAM) e dos limiares metabólicos; (ii) tempo limite na intensidade correspondente a FCmax; (iii) teste contra-relógio de 3 km (CR_{3KM}); (iv) EP constante; (v) EP positiva; e (vi) EP parabólica, sendo os 3 últimos seguidos do CR_{3KM}, conforme mostra a figura 12. Foi mantido um intervalo mínimo de 48 h entre as sessões.

Na imagem, ■ corresponde a todos os testes realizados em cicloergômetro, ao passo que □ todos empregando cicloergômetro; EP é estratégia de prova. Detalhes sobre os procedimentos podem ser encontrados no texto.

FIGURA 12 - Representação gráfica do protocolo experimental

Com exceção da familiarização e do teste máximo progressivo, todos os demais testes foram distribuídos aleatoriamente, mas sempre no mesmo período e horário do dia, evitando possíveis influências sobre a VFC. Além disso, as condições laboratoriais foram mantidas constantes (higrômetro Instrutherm® - HT200).

Para todos os procedimentos, foi recomendado aos sujeitos evitar atividade física extenuante, além da abstenção de álcool ou cafeína 48h antes do teste. Os sujeitos realizaram os procedimentos aproximadamente 2 h após a última refeição.

4.3 Mensuração da frequência e variabilidade cardíaca e lactato sanguíneo

A FC e a VFC foi registrada por meio de um cardiofrequencímetro (Polar S810-i), que permite a mensuração do intervalo temporal entre as sístoles ventriculares (R-R), com uma

frequência de aquisição de 250 Hz extrapolada para 1000 Hz. Posteriormente esses dados foram transmitidos a um microcomputador para análise.

Previamente e imediatamente após a interrupção dos testes CR_{3KM} e da EP constante, positiva e parabólica, foram coletados 25 µl de sangue para mensuração do [Lac], por incisão no lóbulo da orelha, após assepsia local e utilização de pomada vasodilatadora (Finalgon® - Boehringer Ingelheim, Alemanha).

As amostras sanguíneas foram imediatamente analisadas em um lactímetro validado (Yellow Springs Sport® - modelo 1500, Ohio, EUA). O aparelho foi calibrado com uma concentração conhecida de lactato de 5 mmol, conforme a recomendação do fabricante.

4.4 Teste máximo progressivo e teste contra-relógio de 3 km

A respeito do teste máximo progressivo, inicialmente os sujeitos permaneceram cinco minutos em repouso para obtenção da linha de base da FC e do [Lac]. Subsequentemente executaram um aquecimento de 5 minutos com a resistência inercial do equipamento, seguido de um incremento de 70 W. Os incrementos subsequentes eram de 30 W a cada estágio de três minutos, até a fadiga ou incapacidade de manter a cadência de pedal de 80 rpm por cinco ou mais segundos (LUCIA, HOYOS, PEREZ, SANTALLA, EARNEST & CHICHARRO, 2004).

A FC_{max} foi estabelecida a partir da média dos três maiores valores registrados durante o teste máximo progressivo (BOUDET, GARET, BEDU, ALBUISSON & CHAMOUX, 2002) e a PAM foi estabelecida como a maior carga de trabalho durante o teste máximo progressivo. Na incapacidade de completar o estágio, a seguinte equação foi utilizada:

$$W_{pico} = W_a + [(t \div 180 \cdot 30)] \quad (2)$$

Sendo que W_{pico} = potência aeróbia máxima; W_a = potência mecânica no estágio anterior a interrupção do teste; t = tempo (s) que o indivíduo sustentou o estágio incompleto; 180 = duração de cada estágio (em segundos); 30 = incremento de carga entre cada estágio consecutivo (em Watts). Equação adaptada de PADILLA, MUJICA, CUESTA e GOIRIENA (1999).

Considerando que a resposta cinética cardíaca apresenta distinções em esforços de carga constante dependendo da zona metabólica na qual se encontra, é importante determinar a intensidade de exercício correspondente ao Lim1 e Lim2. O Lim1 foi identificado como uma elevação de $1,5 \text{ mmol.l}^{-1}$ na [Lac] em relação ao valor de repouso (MEYER, AURACHER, HEEG, URHAUSEN & KINDERMANN, 2007), ao passo que o Lim2 foi determinado quando a [Lac] atingiu um valor de $3,5 \text{ mmol.l}^{-1}$ (DENADAI, FIGUERA, FAVARO & GONCALVES, 2004).

O teste CR_{3KM} foi realizado em um ciclocimulador (Technogym®, Itália) que permite o incremento da inclinação, resultando em elevação da potência mecânica. Os sujeitos não foram avisados que haveria um teste subsequente, evitando que houvesse uma antecipação da tarefa. Foi estabelecida uma inclinação de 2% para todos os indivíduos, e em todas as situações foi adotada a mesma relação de marcha. Nesse procedimento, foi registrada PSE, tempo, cadência, velocidade e potência mecânica a cada 500 m, além da VFC e FC durante todo o período, para posterior análise.

4.5 Tempo limite na FC máxima e estratégia de prova

O TLim^[FCmax] foi iniciado a 50 W, mantendo a cadência de 80 rpm por 30 s. Imediatamente após esse período, era imposto a carga correspondente a FCmax, estabelecida previamente pelo teste máximo progressivo. Foi registrado o tempo que o indivíduo foi capaz de suportar a tarefa nessa intensidade, sendo que o teste era interrompido na incapacidade de sustentar o ritmo previamente estabelecido.

Em dias subsequentes, os atletas executavam 3 testes de 20 km separados por um intervalo de 48h entre cada sessão. A ordem dos testes foi aleatoriamente distribuída entre os sujeitos e em todas as sessões os indivíduos permaneciam 10 minutos em repouso para obtenção dos valores de base da FC, VFC e [Lac]. No entanto, somente os 5 minutos finais foram incluídos nas análises.

Após o repouso e um aquecimento de 3 minutos com a resistência inercial do equipamento, os indivíduos iniciavam a tarefa, que consistia na execução de 20 km em cicloergômetro (Ergofit modelo 167, Alemanha) de modo distinto, porém mantendo a mesma potência média e o mesmo trabalho mecânico total.

O teste de carga constante foi realizado na potência correspondente ao Lim2. O teste positivo foi iniciado a 110% da potência média individual e declinou para 100, 97, 95 e 94% nas distâncias 5, 10, 15 e 20 km, respectivamente. Na terceira e última sessão os indivíduos realizaram o esforço adotando uma estratégia parabólica, iniciando a 105% da potência média individual do teste constante, reduzindo para 100 e 95%, para novamente aumentar para 97 e 103% da potência do Lim2, respectivamente nas distâncias 5, 10, 15 e 20 km.

Independentemente da sessão, a cada 5 km eram coletados 25 μ l de sangue do lóbulo da orelha para determinação da [Lac], além do registro da FC, potência e cadência a cada 500 m. A figura abaixo auxilia na compreensão do comportamento da potência do ciclista ao longo da tarefa.

Na imagem, a figura superior esquerda representa a EP constante, a figura superior direita a EP positiva e a imagem inferior a EP positiva.

FIGURA 13 - Caracterização das estratégias de provas adotadas pelo ciclista num teste de 20 km.

Após a interrupção do esforço, a FC e a VFC de recuperação foram mensuradas por 30 minutos. Além disso, amostras de [Lac] no primeiro, terceiro e quinto minuto de recuperação foram obtidas para determinação da [Lac].

Os indivíduos estavam munidos do cardiofrequencímetro em todos os testes e nos períodos de repouso e recuperação todos foram orientados a permanecer sentados em uma cadeira posicionada ao lado do cicloergômetro.

Seguido os 30 minutos de recuperação, os indivíduos realizavam o CR_{3KM} para verificar qual seria o protocolo que promovia maior prejuízo no desempenho subsequente. Esse teste seguia os mesmos procedimentos descritos no capítulo anterior.

4.6 Cinética da frequência cardíaca

A descrição do comportamento da FC na transição do exercício para o estado de repouso foi obtida a partir da função exponencial, comumente observada em outros estudos (ENGELN, PORSZASZ, RILEY, WASSERMAN, MAEHARA & BARSTOW, 1996; BEARDEN & MOFFATT, 2001). A equação abaixo foi extraída do estudo de RUMENIG et al. (2007), com modificações:

Para transição *off* cardíaca:

$$FC_t = (A_1 \cdot e^{(-t / T_1)}) + \text{Componente rápido} \\ (A_2 \cdot e^{(-t / T_2)}) + L_B \quad \text{Componente lento} \quad (3)$$

Sendo que FC_t representa a FC em função do tempo (s), L_B corresponde aos valores de base da FC; A₁ e A₂ representam a amplitude; e T₁ e T₂ a constante de tempo para os componentes rápido e lento, respectivamente.

Alguns pesquisadores (ENGELN et al., 1996; JAVORKA et al., 2003; RUMENIG et al. 2007) recomendam ajustar a FC_{OFF} com funções mono e biexponenciais antes de determinar a função que será efetivamente empregada, selecionando o ajuste que produzir a menor somatória de resíduos ao quadrado.

Todavia, é bem descrito na literatura que intensidades superiores ao Lim2 promoveriam a manifestação do componente lento (RUMENIG et al. 2007). Portanto, optou-se pela equação biexponencial nos testes CR_{3KM}, ao passo que para EP utilizou-se apenas a função superior (monoexponencial).

4.7 Análise da VFC

A VFC foi analisada por uma função denominada transformada rápida de *Fourier* (FFT). Essa função identifica alterações repentinas observadas em sinais lineares, porém é recomendada para situações em que o sinal apresenta um comportamento não estacionário, como é o caso do comportamento da VFC durante o esforço (MUTHUSWAMY & THAKOR, 1998). Sua principal desvantagem em relação a métodos de análise não-lineares é que a FFT não possui uma relação tempo-frequência satisfatória para curtos períodos de registro (RAJENDRA ACHARYA et al., 2006; COOREVITS, DANNEELS, CAMBIER, RAMON, DRUYTS, STEFAN KARLSSON, MOOR & VANDERSTRAETEN, 2008).

Todavia, considerando que o período de aquisição do sinal ultrapassa os valores mínimos necessários para obtenção de uma relação tempo-frequência satisfatória, a saber 750 pontos ou 300 s (CASTIES, MOTTET & LE GALLAIS, 2006), o uso do FFT parece ser adequado.

Os parâmetros de referência utilizados para descrever o balanço simpátovagal empregando a FFT são subdivididos em componente espectral de baixa frequência (LF) e componente espectral de alta frequência (HF) (PICHOT, GASPOZ, MOLLIEUX, ANTONIADIS, BUSSO, ROCHE, COSTES, QUINTIN, LACOUR & BARTHELEMY, 1999).

O espectro HF considera uma banda de frequência entre 0.15 e 1.0 Hz, ao passo que LF situa-se entre 0.04 e 0.15 Hz (TASK FORCE OF THE EUROPEAN SOCIETY OF CARDIOLOGY THE NORTH AMERICAN SOCIETY OF PACING ELECTROPHYSIOLOGY, 1996). Entretanto, a contribuição simpática analisada pelo componente LF parece refletir tanto um aumento simpático quanto uma redução vagal. Assim, esse índice foi desconsiderado na análise (TASK FORCE OF THE EUROPEAN SOCIETY OF CARDIOLOGY THE NORTH AMERICAN SOCIETY OF PACING ELECTROPHYSIOLOGY, 1996).

Em intensidades máximas ou próximas do máximo (aproximadamente 90% do VO_2max), foi demonstrado que a VFC apresenta um comportamento dinâmico caótico que perdura até 50 minutos após a interrupção do esforço (CASTIES, MOTTET & LE GALLAIS, 2006).

Assim, também foi empregado a SamplEn para analisar a complexidade da VFC após o exercício. Maiores valores de SamplEn representam complexidade ou irregularidade da série temporal. Inversamente, menores valores de SamplEn caracterizam regularidade ou menor complexidade da VFC (RAJENDRA ACHARYA et al., 2006). É importante destacar que menores valores não estão necessariamente associados a espectro HF.

4.8 Análise estatística

Os dados foram analisados utilizando os softwares estatísticos STATISTICAL (6.0) e SPSS (13.0). Os resultados são descritos como média e $\pm$ desvios-padrão.

As variáveis mecânicas, a [Lac] e a PSE obtidos nos testes $\text{CR}_{3\text{KM}}$ e EP foram comparado por análise de variância dois fatores (distância e estratégia de prova), seguido pelo teste *post hoc Scheffe*. Entretanto, a resposta cardíaca foi previamente segmentada antes de ser analisada pelo mesmo procedimento estatístico.

A correlação produto-momento de *Pearson* foi utilizada para avaliar a correlação entre as variáveis mecânicas, fisiológicas e indicativas do desempenho. Para todas as análises, foi adotado um nível de significância menor que 5% ($p < 0,05$).

5 RESULTADOS

As características antropométricas dos sujeitos são descritas na tabela 2, de forma individual expresso por média e $\pm$ desvio-padrão. Na tabela 3 são apresentados os índices fisiológicos obtidos a partir do teste máximo progressivo e do teste $\text{TLim}^{[\text{FCmax}]}$. Os valores também são apresentados por média e $\pm$ desvio-padrão. O sujeito 8 foi excluído das análises, pois não completou o protocolo experimental.

A FCmax no teste $\text{TLim}^{[\text{FCmax}]}$ foi inferior ao valor apresentado pelos sujeitos no teste máximo progressivo ($p = 0,02$). Adicionalmente, a potência mecânica também foi ligeiramente

inferior no $TLim^{[FC_{max}]}$ comparado ao teste máximo progressivo. Possivelmente, os menores valores da FC no $TLim^{[FC_{max}]}$ é resultado da menor potência mecânica.

TABELA 2 - Características antropométricas e etária dos ciclistas amadores.

Sujeitos	Idade (anos)	MC (kg)	EST (cm)	IMC	$\sum$ DC (mm)	% GC
1	28	78,2	185	23	114,5	16,7
2	34	53,9	157,1	22	56,6	8,3
3	30	64,9	177,6	21	71,9	11,2
4	41	94,8	190,6	26	140,2	18,3
5	36	75,7	174	25	159,5	23,0
6	45	81,4	180,4	25	103,6	16,8
7	35	79,8	182,2	24	94,2	15,0
8	28	68,1	172	23	74,0	13,7
Média	34,6	74,6	177,4	23,6	101,8	15,4
$\pm$ DP	6,1	12,3	10,1	1,8	35,3	4,5

Sendo que MC = massa corporal; EST = estatura; IMC = índice de massa corporal; $\sum$ DC = somatória de dobras cutâneas; % GC = percentual de gordura corporal.

TABELA 3 – Características fisiológicas dos ciclistas e tempo limite na frequência cardíaca máxima.

Variável	Média	± DP
Frequência cardíaca máxima (bpm)	181	15
Potência aeróbia máxima absoluta (W)	295	35
Potência aeróbia máxima relativa ($W \cdot kg^{-1}$)	4,1	0,8
Frequência cardíaca do Lim1 (bpm)	130	13
Potência do Lim1 (W)	172	43
Frequência cardíaca do Lim2 (bpm)	154	13
Potência do Lim2 (W)	242	37
Potência do tempo limite (W)	279	32
Tempo limite (s)	403	151
$TLim^{[FCmax]}$ (bpm)	175*	11

Sendo que Lim1 e Lim2 = primeiro e segundo limiar metabólico; $TLim^{[FCmax]}$ = tempo limite na frequência . Os valores são expressos em média e $\pm$ desvio-padrão. * = diferença significativa comparado ao teste máximo progressivo ($p < 0,05$).

5.1 Análise da estratégia de prova

Sobre a EP, foi verificada diferença significativa para potência mecânica absoluta comparando a EP constante em relação a EP positiva e parabólica (FIGURA 14 – superior direita), sendo que os valores foram 213 ± 25 ; 208 ± 26 ; e 210 ± 24 W, respectivamente. Similar a potência mecânica absoluta, o trabalho total na EP constante (estimado por meio da potência média e do tempo total) também foi superior ao parabólico, conforme expresso na figura 14 (superior esquerda). No entanto, não foi observado diferença para cadência e tempo total de prova, independente da EP.

FIGURA 14 – Caracterização da potência, trabalho mecânico, tempo total e cadência em função da estratégia de prova.

A representação gráfica das EP adotadas pelos ciclistas é descrito na figura 15 (média $\pm$ DP). Considerando a EP, não foi detectado diferença significativa entre a situação constante e parabólica no 4 km e 18 km ($p = 1,00$), ao passo que no 5 km e 5,5 km a ausência de diferença se restringiu a EP constante e positiva ($p = 0,33$ e $p = 0,19$; respectivamente). Adicionalmente, não houve diferença entre o 12 km ($p = 0,75$) até o 13 km ($p = 0,33$) entre as EP positiva e parabólica. Para todas as demais situações, observou-se diferença significativa para potência mecânica entre as EP ($p \leq 0,05$). Portanto, é evidente que a EP diferiu consideravelmente entre as sessões.

FIGURA 15 – Caracterização da potência mecânica para as diferentes estratégias de prova.

A análise da potência mecânica para mesma EP é descrito na tabela 4. Os valores foram agrupados a cada 5 km, ou seja, 25% do total da prova, para facilitar a comparação e compreensão da análise.

Obviamente, para a EP constante não foi verificada nenhuma diferença. Todavia, para a EP positiva observou-se valores superiores nos quilômetros iniciais, diminuindo progressivamente até a conclusão da tarefa, de modo que para todas as distâncias houve diferença significativa. O mesmo comportamento foi observado na EP parabólica.

TABELA 4 – Potência mecânica média em função da distância total da prova.

Distância (%)	Constante		Positivo		Parabólico	
	Média	± DP	Média	± DP	Média	± DP
25	206	26	212	28	210	26
50	206	26	200 ^a	27	199 ^a	25
75	206	26	195 ^{a b}	26	198 ^{a b}	25
100	206	26	193 ^{a b c}	26	205 ^{a b c}	26

Sendo que a = diferente do percentil 25; b = diferente do percentil 50; c = diferente do percentil 75.

A [Lac] apresentou respostas distintas em virtude da EP adotada, sobretudo a EP positiva. Como pode ser observado, nessa EP houve menor elevação do [Lac], sendo que a partir do décimo quilômetro essa diferença foi significativa (FIGURA 17 - inferior direita). Quando a análise se restringiu a distância, os valores de repouso e de recuperação usualmente foram inferiores aos demais, independente da EP.

Em síntese, a EP positiva foi a que resultou em menor produção de lactato e, consequentemente, menor solicitação da via glicolítica para atender a demanda energética da tarefa. Por outro lado, as EP constante e parabólica apresentaram respostas similares, especialmente no final da prova, mesmo considerando maiores valores para potência mecânica na EP parabólica.

Sendo que a = diferença significativa comparado ao repouso; b = diferença comparado aos 5 km; c = diferença comparado aos 10 km; d = diferença comparado aos 15 km; e = diferença comparado ao 5º minuto de recuperação. Para a EP, † = diferença entre constante e positivo; ‡ = diferença entre constante e parabólico; e * = diferença entre positivo e parabólico.

FIGURA 16 – Caracterização do lactato sanguíneo em função da distância e da estratégia de prova.

Nos quilômetros iniciais, a percepção de esforço apresentou valores inferiores a todas as demais distâncias. Especificamente, na EP constante esses valores aumentaram significativamente a partir do terceiro quilômetro, ao passo que nas EP positiva e parabólica houve elevações mais discretas. Para esses dois últimos, as primeiras diferenças foram encontradas apenas a partir do 13 km em relação ao quilômetro inicial. Possivelmente porque nas EP positiva e parabólica os valores iniciais eram significativamente superiores a EP constante.

Comparando a EP, os 3 km iniciais da EP constante apresentaram menores valores comparado a EP positiva e parabólica. Todavia, a partir do 10 km observa-se o comportamento inverso, de modo que as EP positiva e parabólica apresentam menores valores de PSE comparado a EP constante. Adicionalmente, apenas no 17 km observou-se diferença entre as EP positiva e parabólica (FIGURA 17).

Analisando a distância, a = diferença em relação ao 1 km; b = diferença em relação ao 2 km; c = diferença em relação ao 3 km; d = diferença em relação ao 4 km; e = diferença em relação ao 5 km; f = diferença em relação ao 6 km; g = diferença em relação ao 7 km; h = diferença em relação ao 8 km; i = diferença em relação ao 9 km; j = diferença em relação ao 10 km; l = diferença em relação ao 11 km; m = diferença em relação ao 12 km; n = diferença em relação ao 13 km; o = diferença em relação ao 14 km; p = diferença em relação ao 15 km; q = diferença em relação ao 16 km; r = diferença em relação ao 17 km. Para EP, † = diferença entre constante e positivo; ‡ = diferença entre constante e parabólico; e * = diferença entre positivo e parabólico.

FIGURA 17 – Caracterização da percepção subjetiva de esforço em função da distância e da estratégia de prova.

A FC durante a tarefa é apresentada na tabela abaixo, expresso por meio de média e $\pm$ desvio padrão. Em todas as situações, a FC nos últimos 5 km foi superior aos quilômetros iniciais. Entretanto, para a EP constante a diferença também foi observada no percentual 75.

Tabela 5 – Caracterização da frequência cardíaca em função da estratégia de prova de 20 km.

		Percentual do total de prova			
EP		25	50	75	100
Constante FC (bpm)	Média	140	152	158 ^a	162 ^a
	$\pm$ DP	10	13	13	15
Positivo FC (bpm)	Média	142	151	155	156 ^a
	$\pm$ DP	10	12	12	13
Parabólico FC (bpm)	Média	143	151	155	161 ^a
	$\pm$ DP	11	12	13	14

Sendo que ^a corresponde a diferença em relação ao percentil 25; EP significa estratégia de prova. Expresso em média e $\pm$ desvio padrão. FC (bpm) = frequência cardíaca em batimentos por minuto.

Não foi verificada diferença nos parâmetros cinéticos da FC de recuperação em função da EP. Note que o desvio padrão para a constante de tempo foi consideravelmente elevado, dificultando a possibilidade de diferença estatística.

Considerando que a EP positiva resultou em menores elevações do [Lac], a cinética de recuperação dessa estratégia deveria expressar menores constantes de tempo em relação às EP constante e parabólica. Porém, isso não foi observado, conforme destaca a tabela 6.

TABELA 6 – Caracterização da resposta cinética de recuperação da frequência cardíaca em função da estratégia de prova.

FC _{OFF} exponencial					
EP		Lb (bpm)	A1 (bpm)	T1 (s)	R ²
Constante	Média	87	65	185	0,81
	± DP	14	9	87	0,05
Positivo	Média	85	57	256	0,80
	± DP	14	7	208	0,05
Parabólico	Média	87	62	209	0,80
	± DP	14	10	94	0,07

Sendo Lb = linha de base; A1 = amplitude de incremento da FC em relação aos valores de base; T1 = tempo necessário para a FC apresentar um comportamento assintótico.

5.2 Teste contra-relógio de 3 km

As variáveis mecânicas do teste CR_{3KM} são descritas na figura 18. Para os valores totais não foi verificado diferença significativa tanto para as variáveis mecânicas, ou seja, potência, velocidade e cadência, quanto para o tempo total.

Na figura, Ct = controle; Cs = constante; Ps = positivo; e Pb = parabólico. Não houve diferença significativa para as variáveis supracitadas.

FIGURA 18 – Representação gráfica das variáveis mecânicas e do tempo total durante os testes contra-relógio de 3 km.

Todavia, analisando as parciais foi possível identificar algumas diferenças significantes para potência mecânica, velocidade, cadência e tempo, conforme observados nas figuras a seguir. O último quilômetro do CR_{3KM} apresentou maiores valores de potência mecânica, independente da EP executada anteriormente, com exceção da situação parabólica. Porém, a velocidade apresentou um comportamento inverso, sobretudo porque na EP parabólica o primeiro quilômetro foi estatisticamente inferior em relação ao segundo e terceiro quilômetro, conforme destacado na figura 19.

Sendo que as figuras superiores direita e esquerda correspondem aos testes CR_{3KM} controle e constante, ao passo que as inferiores direita e esquerda aos testes CR_{3KM} positivo e parabólico, respectivamente.

FIGURA 19 - Representação da potência mecânica durante teste contra-relógio de 3 km.

Sendo que as figuras superiores direita e esquerda correspondem a teste 3km controle e constante, ao passo que as inferiores direita e esquerda aos testes 3km positivo e parabólico, respectivamente.

FIGURA 20 - Caracterização da velocidade empregada durante teste contra-relógio de 3 km.

Analisando a cadência, os maiores valores foram observados no último quilômetro (FIGURA 21) para todas as situações, que por sua vez resultou em maior velocidade e menores períodos de tempo para concluir essa parcial. Houve exceção para o tempo apenas no CR3_{KM} controle (FIGURA 22), talvez em virtude da ausência de exercício prévio.

Sendo que as figuras superiores direita e esquerda correspondem a teste 3km controle e constante, ao passo que as inferiores direita e esquerda aos testes 3km positivo e parabólico, respectivamente.

FIGURA 21 – Representação gráfica da cadência adotada durante teste contra-relógio de 3 km.

Sendo que as figuras superiores direita e esquerda correspondem a teste 3km controle e constante, ao passo que as inferiores direita e esquerda aos testes 3km positivo e parabólico, respectivamente.

FIGURA 22 - Caracterização da duração do teste contra-relógio de 3 km.

A percepção de esforço também aumentou progressivamente ao longo do percurso, similar ao comportamento observado para potência mecânica. Em todas as situações os indivíduos relataram maiores valores no último quilômetro, sendo a diferença significativa. Adicionalmente, a tarefa promoveu um aumento significativo da [Lac] quando comparado ao repouso, de modo que os 5 minutos de coleta após o esforço não foram suficientes para que a [Lac] retornasse aos valores de base, caracterizando uma intensidade de esforço considerável.

Sendo que as figuras superiores direita e esquerda correspondem a teste 3km controle e constante, ao passo que as inferiores direita e esquerda aos testes 3km positivo e parabólico, respectivamente.

FIGURA 23 – Representação da percepção de esforço durante teste contra-relógio de 3 km.

Sendo que * = diferença significativa comparado ao repouso ($p < 0,05$). As figuras superiores direita e esquerda correspondem a teste 3km controle e constante, ao passo que as inferiores direita e esquerda aos testes 3km positivo e parabólico, respectivamente.

FIGURA 24 – Representação do comportamento do lactato sanguíneo mediante teste contra-relógio de 3 km.

Restringindo a análise a EP; verificou-se que as principais diferenças foram evidenciadas no quilômetro final (3 km). Em relação à potência mecânica, apenas o CR_{3KM} parabólico foi inferior a situação controle. No entanto, o período de tempo para concluir o primeiro quilômetro foi inferior no CR_{3KM} controle comparado às situações constante e positiva. Entretanto, nos quilômetros finais a diferença não foi significativa.

Finalmente, a [Lac] no CR_{3KM} controle foi superior a todas as demais situações imediatamente após a interrupção do esforço, conforme destacado na figura 25. Entretanto, o mesmo comportamento não foi verificado para a percepção de esforço, sobretudo porque a

diferença encontrada se limitou ao terceiro quilômetro em relação aos CR_{3KM} controle e positivo.

Possivelmente a ausência de exercício prévio na situação controle tenha contribuído para os maiores valores de [Lac], sobretudo devido a inércia do metabolismo oxidativo no início do esforço.

A tabela 7 descreve a FC_{OFF} do CR_{3KM} em função da EP realizada previamente. Não houve diferença significativa, conforme destacado a seguir.

Nas figuras, * = diferença em relação ao controle; † = diferença em relação ao positivo; ‡ = diferença significativa em relação ao parabólico. Nas imagens, Ct / Cs / Ps / Pb correspondem aos testes CR controle, constante, positivo e parabólico, respectivamente. As figuras superiores direita e esquerda descrevem potência e velocidade, ao passo que a inferiores [Lac] e percepção de esforço e, finalmente, as centrais representam cadência e tempo.

FIGURA 25 - Caracterização das variáveis mecânicas e fisiológicas mediante teste contra-relógio de 3 km.

TABELA 7 - Resposta cinética de recuperação da frequência cardíaca em função da estratégia de prova após teste contra-relógio de 3 km.

CR_{3KM}		Lb (bpm)	A1 (bpm)	T1 (s)	A2 (bpm)	T2 (s)	R²
Controle	Média	100	39	75	38	75	0,95
	± DP	15	3	13	6	13	0,02
Constante	Média	102	46	71	35	86	0,96
	± DP	9	14	11	15	37	0,02
Positivo	Média	97	41	69	41	69	0,95
	± DP	11	4	12	4	12	0,03
Parabólico	Média	97	43	79	39	114	0,96
	± DP	11	18	41	18	93	0,02

Lb = linha de base; A1 e A2 = amplitude da redução da FC; T1 e T2 = constante de tempo de recuperação da FC. CR_{3KM} representa o teste contra-relógio de 3 km realizado 30 minutos após as diferentes estratégias de prova.

Não foi possível ajustar a FC_{OFF} com a função biexponencial para os sujeitos 2 e 7 no CR_{3KM} controle, sujeito 3 no CR_{3KM} constante, sujeitos 2 e 4 no CR_{3KM} positivo e sujeitos 4 e 5 no CR_{3KM} parabólico, devido ao coeficiente de inclinação no período final da cinética de recuperação.

Visto que a estimativa das constantes de tempo 1 e 2 foram comprometidas, utilizou-se ajuste linear para caracterizar o comportamento da FC_{OFF} quando a curva apresentava uma tendência do coeficiente de inclinação negativo, determinado inicialmente por análise visual e, posteriormente, empregando um ajuste linear. Os ajustes lineares são expressos por meio de média e ± DP na tabela 8.

TABELA 8 - Ajuste linear da FC de recuperação nos testes CR_{3km} em função da estratégia de prova.

CR _{3KM}	Sujeitos	Inter (s)	InterY	CI	R ²	P
Controle	S2	500 – 600	148	-0,12	0,45	< 0,01
	S7	490 – 600	88	0,03	0,26	< 0,01
Constante	S3	450 – 600	120	-0,03	0,11	< 0,01
Positivo	S2	500 – 600	99	-0,03	0,07	0,01
	S4	500 – 600	105	-0,01	0,01	0,14
Parabólico	S4	550 – 600	137	-0,08	0,13	0,01
	S5	420 – 600	78	0,00	0,00	0,60

Inter significa intervalo que foi excluído da função exponencial; InterY o intercepto, e CI o coeficiente de inclinação da reta, obtido a partir de ajuste linear simples. CR_{3km} representa o teste contra-relógio realizado 30 minutos após as diferentes estratégias de prova.

5.3 Variabilidade da frequência cardíaca

A VFC no TLim^[FCmax] não apresentou diferença comparando o repouso e a recuperação nos cinco minutos finais, ao passo que os minutos iniciais de recuperação diferiram significativamente (FIGURA 26 direita).

Por outro lado, analisando as séries temporais a partir da SamplEn, foi possível verificar que há maior desordem ou complexidade no sinal previamente ao esforço, expresso pelo maior índice (1,21), ao passo que subsequente a interrupção do esforço esse valor se aproxima de zero (0,13). Esse último diferiu tanto do repouso quanto dos 5 finais de recuperação (FIGURA 26 esquerda).

Sendo que Rec 1 e Rec 2 descrevem os cinco minutos iniciais e finais de recuperação.

FIGURA 26 - Análise do comportamento da variabilidade da frequência cardíaca no teste tempo limite na frequência cardíaca máxima.

Considerando a recuperação dos testes CR_{3KM} , não foi verificado diferença em relação ao índice representativo do componente parassimpático (HF). Quanto a complexidade da VFC, foi verificada diferença entre os cinco minutos iniciais e finais em todos os testes CR_{3KM} , ao passo que não houve discrepâncias entre os diferentes CR_{3KM} . Os maiores valores de Samplen foram invariavelmente nos cinco minutos finais de recuperação.

Sendo que PRE1 e PRE2 = teste CR_{3KM} sem esforço prévio; CS1 e CS2 = teste CR_{3KM} constante; PS1 e PS2 = teste CR_{3KM} positivo; PB1 e PB2 = teste CR_{3KM} parabólico.

FIGURA 27 - Análise do comportamento da variabilidade da frequência cardíaca no teste contra-relógio de 3 km.

Referente à VFC nas EP de 20 km foi observado que o indicador representativo da atividade vagal (HF) não diferiu entre as provas ou entre os diferentes períodos de recuperação e repouso. Quando a análise se restringiu a complexidade do sinal, verificou-se que os valores de repouso foram superiores aos 15 primeiros minutos de recuperação para EP constante. Adicionalmente, nas EP positiva e parabólica os valores de repouso diferiram dos 10 primeiros minutos de recuperação.

Possivelmente, a incapacidade de identificar distinções no componente HF se deve ao elevado desvio-padrão, expresso na figura 28. Porém, é evidente que existe uma contribuição simpática durante e imediatamente após a interrupção do exercício, destacado pela SamplEn (FIGURA 29).

Os minutos finais da recuperação não diferiram do repouso, evidenciando que 30 minutos foram suficientes para que a VFC retornasse aos valores de base. Além disso, as diferenças ficaram restritas ao período de recuperação, pois os valores de SamplEn entre as diferentes EP foram similares. As figuras abaixo representam graficamente essas informações supracitadas.

As imagens superiores direita e esquerda descrevem análise da VFC a partir da análise espectral de alta frequência das EP constante e positiva; ao passo que a imagem inferior faz referência ao espectro HF da EP parabólica. Em todas as figuras, Rep = repouso; Rec1-6 = período de recuperação pós-exercício segmentado em blocos de 5 minutos.

FIGURA 28 – Análise do comportamento da variabilidade da frequência cardíaca nos testes de estratégia de prova de 20 km.

As imagens superiores direita e esquerda descrevem análise da VFC a partir da amostragem entrópica da EP constante e positiva; ao passo que a imagem inferior faz referência a SamplEn da EP parabólica. Em todas as figuras, Rep = repouso; Rec1-6 = período de recuperação pós-exercício segmentado em blocos de 5 minutos; * = diferença em relação ao repouso; † = diferença em relação ao Rec1.

FIGURA 29 – Análise do comportamento da variabilidade da frequência cardíaca nos testes de estratégia de prova de 20 km.

5.4 Correlações entre marcadores fisiológicos e desempenho

Nenhuma associação foi encontrada entre o tempo que os indivíduos permaneceram no $TLim^{[FCmax]}$ e potência mecânica máxima ($r = -0,021$ e $p = 0,64$) e potência correspondente ao $Lim2$ ($r = -0,06$ e $p = 0,89$), evidenciando que o $TLim^{[FCmax]}$ não pode ser explicado por esses dois marcadores fisiológicos de desempenho.

A atividade parassimpática também não apresentou correlação com o $TLim^{[FCmax]}$. A hipótese de que indivíduos com maior capacidade aeróbia (e, portanto maior atividade vagal)

permaneceriam um maior período na potência aeróbia máxima pode ser contestada no presente trabalho ($p > 0,05$).

Por outro lado, a FCmax correlacionou positivamente com o TLim^[FCmax] ($r = 0,77$ e $p = 0,04$). Portanto, é a única variável no presente trabalho que explicou a permanência no TLim^[FCmax].

Não foi verificada correlação entre TLim^[FCmax] e constante de tempo da FC_{OFF}. Porém, houve uma leve tendência para indivíduos que apresentavam menores constantes de tempo permanecerem por maiores períodos no TLim^[FCmax].

Finalmente, a FC_{OFF} nos testes CR_{3KM} e nos testes EP não apresentaram correlação com a potência mecânica máxima e associada ao Lim2. O mesmo pode ser descrito para constante de tempo da FC_{OFF} e espectro HF, representativo da atividade vagal ($p > 0,05$).

6 DISCUSSÃO

Os objetivos centrais do presente estudo foram (i) verificar o uso do TLim^[FCmax] como preditor do desempenho em prova CR_{3KM}; (ii) verificar a influência de diferentes EP sobre a recuperação autonômica cardíaca; e (iii) verificar a influência de diferentes EP sobre o desempenho subsequente em teste CR_{3KM}.

Para verificar as duas questões envolvendo EP, a equidade das variáveis mecânicas seria condição *sine qua non* no desenho metodológico do estudo. Porém, no presente estudo foi observada diferença estatisticamente significativa para o trabalho total e para potência média entre as diferentes EP. Logo, vamos iniciar a discussão esclarecendo esses resultados.

A estimativa da EP foi realizada a partir de funções matemáticas exponenciais e parabólicas, permitindo alterações na potência mecânica inferior a 1 W. Todavia, o cicloergômetro somente possibilitava alterações superiores a 5 W, de modo que os valores de potência mecânica deveriam ser ajustados devido a limitações do equipamento.

Considerando que a diferença encontrada para a potência média entre as diferentes EP foi igual ou inferior a 5 W, e que o equipamento permitia alterações na carga apenas a partir desse valor, é possível dizer que o erro é resultante de uma limitação do cicloergômetro, e não de equívocos na estimativa da carga mecânica.

Adicionalmente, visto que o trabalho total é dependente da potência média, é razoável esperar igualmente diferença estatística entre as EP. Entretanto, as EP constante e positiva não apresentaram diferença. Portanto, a discreta superioridade da potência média na EP constante parece ser insuficiente para desencadear alterações na resposta autonômica cardíaca e no desempenho subsequente, visto que não modificou consideravelmente o trabalho total da tarefa.

Outro aspecto importante antes de respondermos os objetivos propostos no início do trabalho refere-se a caracterização do grupo experimental. No presente estudo, os indicadores fisiológicos de desempenho, especificamente a FC e a potência mecânica correspondente ao Lim2 estão entre 80 a 85% dos valores máximos. Portanto, por esse critério é possível classificar os sujeitos como ciclistas treinados (JEUKENDRUP, CRAIG & HAWLEY, 2000).

Em relação a PAM, ciclistas profissionais apresentam valores entre 400 e 600 W ou cerca de 6 a 8 W.kg⁻¹ de massa corporal (JEUKENDRUP, CRAIG & HAWLEY, 2000). Os sujeitos engajados no estudo expressaram menos de 300 W de PAM e cerca de 4 W.kg⁻¹, muito abaixo dos valores observados para ciclistas profissionais. Portanto, essas evidências restringem as inferências do presente estudo a ciclistas treinados.

A seguir discutiremos os resultados em tópicos de acordo com os objetivos, no intuito de facilitar a organização do trabalho.

6.1 Tempo limite na frequência cardíaca máxima

No presente estudo utilizou-se um índice denominado TLim^[FCmax] no intuito de verificar se indivíduos capazes de suportar maiores períodos de tempo na intensidade correspondente a FCmax seriam aqueles que apresentariam melhor desempenho no CR_{3KM}. Uma medida análoga (TLim^[VO₂max]) tem sido utilizada como preditor do desempenho de provas de média e longa duração, sobretudo por avaliar em um único teste economia de movimento e potência aeróbia (BILLAT & KORALSZTEIN, 1996).

O emprego de medidas como o VO₂max para predizer o desempenho do atleta tem sido questionado há anos (NOAKES, 1988), devido a possibilidade de mudanças no desempenho do atleta promovida pelo treinamento físico sem alteração do VO₂max. Assim, sugere-se que o TLim^[VO₂max] seria uma possibilidade de atender as limitações de testes que avaliam exclusivamente potência aeróbia.

Considerando que o $TLim^{[VO_2^{max}]}$ consiste num teste oneroso, que exige equipamentos de difícil acesso e recurso humano especializado e assumindo que a FCmax possui associação com o VO_2^{max} , sendo ambos utilizados para representar a PAM, investigou-se se o $TLim^{[FCmax]}$ poderia ser utilizado como indicador do desempenho do CR_{3KM}.

Inicialmente é importante destacar que o período que os indivíduos suportaram o $TLim^{[FCmax]}$ assemelha-se aos valores comumente descritos na literatura para o $TLim^{[VO_2^{max}]}$, ou seja, aproximadamente 6 minutos (BILLAT & KORALSZTEIN, 1996). No entanto, observou-se um coeficiente de variação elevado entre os sujeitos (37%), superior ao preconizado na literatura para o $TLim^{[VO_2^{max}]}$ (25%).

Contrariando nossa hipótese inicial, não foi verificada associação entre o desempenho no teste CR_{3KM}, PAM ou potência do Lim2. A única variável que apresentou correlação com o $TLim^{[FCmax]}$ foi a FCmax. Possivelmente maiores valores para FCmax estão associados a maior tolerância ao esforço em protocolos realizados em cicloergômetro, visto que a solicitação de membros inferiores é maior e que conseqüentemente a fadiga periférica manifesta-se antes do indivíduo atingir o VO_{2max} , levando-o a interrupção do exercício antes do platô.

A tolerância ao esforço em cicloergômetro implica em maior solicitação do metabolismo anaeróbio láctico e, conforme destacado por MEDBO, MOHN, TABATA, BAHR, VAAGE e SEJERSTED (1988) o $TLim^{[VO_2^{max}]}$ depende tanto do déficit anaeróbio de oxigênio quanto do VO_{2max} . Portanto, assumindo o $TLim^{[FCmax]}$ como medida análoga do $TLim^{[VO_2^{max}]}$, é provável que indivíduos que apresentam maior FCmax em teste máximo em cicloergômetro e, conseqüentemente, maior contribuição do metabolismo anaeróbio láctico, também suportem maiores períodos de tempo no $TLim^{[FCmax]}$.

Adicionalmente, houve diferença entre a FCmax no teste máximo progressivo e a FC atingida no $TLim^{[FCmax]}$, indicando que o indivíduo era incapaz de sustentar a tarefa mesmo antes de atingir a FCmax. De certa forma, isso demonstra a fadiga de membros inferiores mesmo abaixo da FCmax.

Sobre a VFC no teste $TLim^{[FCmax]}$, a análise espectral HF nos 5 minutos imediatamente após o esforço foi inferior aos 5 minutos finais de recuperação, evidenciando uma parassimpatólise durante o esforço máximo e uma rápida reativação parassimpática. Adicionalmente, a $Samplen$ imediatamente após o esforço diferiu do repouso e dos minutos finais de recuperação, mostrando uma perda de complexidade do sinal.

ATLAN (1996) sugere que a perda de complexidade do organismo pode desencadear eventos catastróficos no sistema. Todavia, a variabilidade do organismo também pode comprometer o funcionamento adequado do organismo e desencadear um comportamento caótico. Assim, um mecanismo estressor compreendido na teoria da complexidade como ruído poderia promover tanto uma carga quanto uma sobrecarga alostática, resultando em adaptação do exercício físico ou síndromes como *overreaching* ou supertreinamento.

Quanto maior é a redundância do sistema, menor é a variabilidade e sua capacidade de organização. Portanto, as mudanças metabólicas e neuromusculares desencadeadas pelo esforço físico elevariam a quantidade de informações sinalizadas ao SNC por meio de *feedbacks* aferentes, aumentando a atividade autonômica simpática e desencadeando alterações no sistema cardiovascular até o indivíduo ser incapaz de atender a demanda.

Nesse momento o indivíduo ficaria mais suscetível a eventos catastróficos, como arritmias, fibrilações ou mesmo síncope. Essa maior atividade das vias aferentes resultaria em maior redundância do sistema e menor capacidade de adaptação do organismo as respostas estressoras. Por outro lado, a menor redundância do sistema e a maior variabilidade permitiriam maior possibilidade de organização e assimilação do estresse.

É evidenciado que indivíduos que apresentam maior VFC e, conseqüentemente maior atividade autonômica vagal, apresentam menores riscos de manifestarem doenças cardiovasculares (TASK FORCE OF THE EUROPEAN SOCIETY OF CARDIOLOGY THE NORTH AMERICAN SOCIETY OF PACING ELECTROPHYSIOLOGY, 1996). Fatores como idade, obesidade, doenças metabólicas e baixa aptidão aeróbia diminuem a VFC, ao passo que o treinamento físico aeróbio promove o comportamento inverso (RAJENDRA ACHARYA et al., 2006).

Portanto, é possível que em sistemas abertos distantes do equilíbrio, como o organismo humano, o ruído seja fundamental para promover adaptações (ainda que reversíveis) benéficas aos indivíduos. Mesmo numa sessão de esforço, a redundância do sistema e a menor variabilidade, conforme apresentado pelos sujeitos no $TLim^{[FC_{max}]}$ logo após sua conclusão, possa resultar em interrupção do esforço na tentativa de evitar que eventos catastróficos ocorram, conforme sugerido por NOAKES, ST CLAIR GIBSON e LAMBERT (2005).

6.2 Estratégia de prova de 20 km

Verificou-se que a EP positiva foi a que resultou em menores incrementos de [Lac], FC e PSE. Os maiores valores observados na EP constante sugerem que nessa situação há maior contribuição anaeróbia láctica. Contudo, o componente espectral parassimpático HF não diferiu entre os testes ou entre os períodos de recuperação, ao passo que a SamplEn apresentou diferença comparando o repouso e os primeiros 15 de recuperação na EP constante e os primeiros 10 minutos das EP positiva e parabólica. Logo, a EP constante apresentou uma recuperação mais lenta da VFC em relação as demais situações.

Supostamente, a maior potência mecânica no início do exercício observada durante a EP positiva promoveria uma redução na constante de tempo da cinética cardiorrespiratória durante a transição do repouso para o início do esforço. Menores constantes de tempo estão associados a um menor déficit anaeróbio de oxigênio e, conseqüentemente, menor produção de [Lac] (HANON, LEVEQUE, THOMAS & VIVIER, 2008).

HANON et al. (2008) descreve outras alterações que resultam em maior contribuição aeróbia no início do esforço, incluindo maior vasodilatação muscular e portanto maior fluxo sanguíneo, maior disponibilidade de O_2 muscular e aumento no número total de fibras musculares envolvidas na tarefa.

Assim, o início do exercício em intensidades ligeiramente superiores a velocidade ou potência média poderiam reduzir a inércia metabólica aeróbia comumente observada no início do esforço (GRASSI, 2005). É possível que maiores potências mecânicas iniciais resultem em redução na razão ATP / ADP, que por sua vez estimule a glicólise. Concomitantemente, a maior degradação de ATP e acúmulo de prótons estimularia a refosforilação de creatina fosfato pela via oxidativa, resultando em diminuição da cinética do VO_2 e conseqüentemente, menor produção de lactato (GRASSI, 2005).

Outra vantagem da carga inicial superior a média é a redução na resistência inercial, repercutindo no tempo necessário para o ciclista vencer esse período inercial (AISBETT et al., 2009). Quanto maior a massa e a velocidade, maior seria a demanda metabólica para acelerar o ergômetro da situação estacionária, ao passo que manter a potência constante resultaria em menor custo metabólico (ABBISS & LAURSEN, 2008).

No entanto, é importante destacar que essa menor contribuição do sistema glicolítico não implica necessariamente em melhor desempenho, conforme apresentado em nosso estudo.

Similarmente, HANON et al. (2008) também verificaram que corredores em provas de 1500 m não obtiveram melhor desempenho quando empregavam maiores velocidades iniciais.

Avaliando ciclistas, HAM e KNEZ (2009) evidenciaram que indivíduos que iniciavam a tarefa com velocidade $> 5\%$ da velocidade média suportavam menores períodos de tempo num teste contra-relógio subsequente de 30 km na velocidade média, embora não houvesse diferença para o desempenho comparado ao grupo que iniciava a tarefa numa velocidade inferior a 5% da velocidade média.

O estudo de HAM e KNEZ (2009) contraria parcialmente nossos achados, pois a EP positiva apresentava uma potência inicial 10% superior a média estabelecida individualmente, ao passo que na EP parabólica os indivíduos assumiam uma potência inicial 5% superior a média. Mesmo não resultando em diferenças para o desempenho, a EP positiva reduziu significativamente a FC, PSE e [Lac].

É comumente descrito que maiores velocidades ou potência no início da tarefa resultam em vantagens táticas ou melhor aproveitamento de energia cinética (HAM & KNEZ, 2009), além de menor déficit anaeróbio de oxigênio (HANON et al., 2008). Todavia, em eventos de longa duração essa intensidade deve ser discreta, pois grandes incrementos ou depressões na carga de trabalho resultariam em prejuízo para o desempenho.

No presente estudo, o início rápido com uma potência mecânica 10% maior que a média na EP constante resultou em menor carga alostática sem comprometimento do desempenho subsequente. Apesar de controvérsias a respeito da intensidade ideal, pode-se dizer que cargas entre 5 a 10% superior a média resultariam em benefícios para atletas amadores.

A EP parabólica deveria apresentar um comportamento similar, visto que a potência inicial também foi superior a EP constante. Porém o incremento de carga ao final da tarefa elevou a demanda metabólica, promovendo incrementos na [Lac], PSE e FC. Todavia, a resposta fisiológica na EP parabólica foi menor que a observada na situação constante, corroborando a importância de um início rápido.

Similar ao lactato sanguíneo, os maiores incrementos da PSE também foram detectados na EP constante, ao passo que os menores valores ficaram restritos a EP positiva. Possivelmente, o maior acúmulo de metabólitos na EP constante resulta em maior atividade dos grupos aferentes III e IV (metaborreceptores, nociceptores e fibras C), que por sua vez

influenciam na atividade do SNC, resultando em mudanças na PSE (AMANN, PROCTOR, SEBRANEK, PEGELOW & DEMPSEY, 2009).

Há ainda outros mecanismos que podem influenciar na PSE. Por exemplo, CEFARELLI (1977) investigou como o padrão de recrutamento motor influenciava na PSE. No referido estudo, o autor estabeleceu um protocolo onde os ciclistas pedalavam numa mesma potência mecânica adotando diferentes cadências de pedal. Verificou-se que menores cadências resultavam em maiores PSE, sobretudo em função da inadequada perfusão sanguínea promovida pela contração muscular concêntrica prolongada em menores velocidades de pedal.

Décadas depois MARCORA, STAIANO e MANNING (2009) questionaram a influência das respostas periféricas sobre PSE. Sua hipótese era de que a PSE seria mais dependente de fatores psicológicos do que *feedbacks* aferentes. Todavia, apesar de não desconsiderar a importância psicológica sobre a PSE, o presente estudo parece suportar que *feedbacks* aferentes influenciam a PSE, sobretudo em função da tendência de maiores PSE mediante maiores valores de [Lac].

TUCKER (2009) estabeleceu um modelo teórico que conjectura uma integração de diferentes sistemas (fisiológicos e psicológicos) que influenciam na modulação da PSE. Nesse modelo, informações sobre a tarefa (distância e tempo), fatores psicológicos (motivação, importância afetiva), fisiológicos (glicemia, metabólitos) e experiência prévia contribuiriam para criar uma PSE “padrão”. Caso a PSE instantânea fosse significativamente diferente da PSE “padrão”, a tarefa seria reprogramada, garantindo sua conclusão com reduzido risco de eventos catastróficos para o organismo. Além disso, o modelo de TUCKER (2009) possibilita novas abordagens investigativas, desqualificando propostas que restringem a PSE em fatores psicológicos ou fisiológicos.

Finalmente, a FC apresentou um comportamento similar a PSE e ao [Lac]. Portanto, obviamente a EP positiva promoveu menores incrementos dessa variável, seguido da EP parabólica e constante. Porém a diferença observada não foi significativa, possivelmente porque a carga de trabalho imposta aos atletas foi insuficiente para produzir respostas cardiovasculares distintas entre as situações.

PALMER et al. (1999) sugerem que a FC não seria um parâmetro adequado para quantificar alterações fisiológicas e metabólicas promovidas pelo esforço, pois a resposta cardíaca pode modificar-se independente de fatores mecânicos. Todavia, o desempenho e o

treinamento esportivo não refletem exclusivamente fatores mecânicos e, o fato da FC não relacionar-se apenas a potência ou velocidade parece ser uma vantagem na prescrição e controle da sessão de exercício físico.

Por exemplo, CRITCHLEY et al. (2000) demonstraram que indivíduos submetidos a estresse mental ou a esforço físico moderado apresentaram incrementos similares tanto da FC quanto da pressão arterial. Além disso, aumentaram a atividade de regiões semelhantes do SNC, sobretudo associadas ao controle cardiovascular.

No referido artigo os autores destacaram cíngulo anterior, ponte e *vermis* cerebelar, sendo estes dois últimos localizados no tronco cerebral. Logo, tanto o componente psico-afetivo quanto a resposta fisiológica interferiria no comportamento cronotrópico e inotrópico do aparato cardíaco.

Outra investigação (KIVINIEMI et al., 2007) empregou a VFC para prescrever a intensidade de exercício num programa de treinamento aeróbio para indivíduos saudáveis sedentários. Inicialmente dividiram a amostra em três grupos, sendo o primeiro o grupo sedentário (S), o segundo o grupo treinado com uma periodização previamente estabelecida (TP) e o terceiro o grupo treinado utilizando a VFC para delimitar o protocolo de exercício (TVFC). Este último registrou a VFC todas as manhãs, tendo os valores pré-exercício como referência.

A partir disso, iniciavam o treinamento numa intensidade correspondente a 65% da FCmax por 40 min. Caso a VFC apresentasse redução, os indivíduos repousavam e no dia seguinte realizavam novamente o exercício. Inversamente, se a VFC apresentasse uma elevação, os indivíduos realizavam 30 min. de esforço a 85% da FCmax. O grupo TP também se exercitava nessas intensidades de trabalho.

Em síntese, os autores descreveram maiores incrementos no VO_2max e Lim2 para o grupo TVFC comparado ao grupo periodizado. Portanto, a FC e a VFC parecem ser limitadas para quantificar a demanda metabólica promovida pelo esforço. Porém, deveria ser utilizada para investigar a alteração alostática decorrente da sessão de exercício, ou ainda para prescrição e controle do treinamento físico. Isso porque contempla uma gama de variáveis que podem influenciar no desempenho esportivo, incluindo fatores respiratórios, metabólicos endócrinos, psicológicos e centrais.

Similarmente, no presente trabalho a VFC também não diferiu estatisticamente entre as diferentes EP quando a análise se restringiu ao componente espectral HF, representativo da

atividade autonômica vagal (TASK FORCE OF THE EUROPEAN SOCIETY OF CARDIOLOGY THE NORTH AMERICAN SOCIETY OF PACING ELECTROPHYSIOLOGY, 1996). Adicionalmente, não foi verificado diferença entre os índices HF de repouso e recuperação.

Possivelmente, esse comportamento decorre do elevado desvio-padrão apresentado pelo espectro HF. Houve uma tendência de discreta redução do componente HF mediante o exercício físico, sendo que os maiores valores foram registrados pré-exercício. Logo, é possível inferir uma maior atividade vagal no período de repouso e redução da contribuição parassimpática durante e após o exercício físico. Sobre o componente LF, seu uso tem sido desencorajado e parece não refletir a atividade autonômica simpática (ECKBERG, 1997). Por isso, esse índice foi desconsiderado no presente estudo.

O sistema nervoso autonômico cardíaco simpático e vagal também respondem a estímulos psicológicos, fisiológicos e cognitivos, que por sua vez implicam na sessão de esforço e no desempenho esportivo. A regulação cardiovascular envolve regiões superiores do SNC como hipotálamo e córtex cerebral, regiões inferiores como tronco cerebral e medula espinal, e gânglios intra e extra cardíacos (KUKANOVA & MRAVEC; 2006).

A atividade nervosa simpática influencia a reposta hormonal, reduzindo a liberação de insulina e estimulando glucagon, contribuindo para manutenção da glicemia durante o esforço, além de estimular a lipólise por aumento na concentração plasmática de catecolaminas (CHRISTENSEN, 1983). No aparato cardíaco, as catecolaminas exercem efeito na liberação e recaptção de cálcio, causando aumentos inotrópicos e cronotrópicos que repercutem em elevação do débito cardíaco. Finalmente, estimula o metabolismo glicolítico e redireciona o fluxo sanguíneo de regiões esplâncnicas para os músculos envolvidos na tarefa (CHRISTENSEN, 1983).

Isso justifica a importância do uso da FC e da VFC na sessão de exercício físico, pois apesar da dificuldade de identificar cada componente utilizando a VFC, é possível avaliar o estresse desencadeado pelo esforço físico.

Quando a VFC foi analisada a partir de uma função que considera séries temporais não estacionárias (SamplEn), evidenciou-se que imediatamente após a interrupção do esforço esse índice aproximava-se de zero, significando a perda de complexidade ou regularidade do sinal (RAJENDRA ACHARYA et al., 2006). Pacientes com doenças cardiovasculares apresentam

menores valores de *SamplEn* comparado a indivíduos saudáveis (KRSTACIC, KRSTACIC, SMALCELJ, MILICIC & JEMBREK-GOSTOVIC, 2007).

Similar aos nossos achados, CASTIES, MOTTET e LE GALLAIS (2006) também observaram uma perda de complexidade organizada do sinal e concomitante acréscimo de dimensões sobre a VFC. Isso significaria a interferência de outros componentes na VFC além do sistema nervoso autônomo cardíaco. No referido trabalho apresentaram como hipótese *feedbacks* oriundos do sistema respiratório e locomotor.

Esse incremento de dimensões no sinal da VFC representaria uma maior redundância do sistema, que por sua vez estaria relacionado à diminuição da complexidade do sinal. Portanto, o sistema aumentaria os mecanismos de controle no sentido de diminuir a possibilidade de eventos catastróficos (ATLAN, 1992).

Inicialmente devemos considerar o organismo como um sistema aberto, ou seja, que troca calor, informação e energia, além de ser um sistema distante do equilíbrio (PRIGOGINE, 2002). A variabilidade nesse sistema seria desencadeada por um ruído que promoveria a desorganização do organismo, sobretudo distanciando o sistema do estado de equilíbrio. No entanto, esse ruído possibilitaria ao sistema adaptar-se aos fatores estressores, garantindo o funcionamento adequado do organismo mesmo em situações adversas, como por exemplo durante o exercício físico.

Portanto, o sistema seria capaz de organizar-se a partir do ruído (ATLAN, 1992). No presente estudo, a complexidade organizada a partir do ruído seria representada pelos maiores valores de *SamplEn* no repouso. Com o início do esforço físico, a redução na complexidade da VFC repercutiria em diminuição da *SamplEn* para valores próximos de zero, aumentando a redundância do sistema e restringindo a capacidade do organismo de organizar-se mediante fatores estressores (ATLAN, 1992).

Indivíduos submetidos a intensidades severas de esforço (COTTIN, MEDIGUE, LEPRETRE, PAPELIER, KORALSZTEIN & BILLAT, 2004), portadores de cardiopatias, doenças vasculares, simpaticotonia (RAJENDRA ACHARYA et al., 2006) aumentariam a redundância do sistema, reduzindo a complexidade e predispondo o organismo a eventos catastróficos. Por outro lado, o treinamento aeróbio prolongado (KIVINIEMI et al., 2007), indivíduos saudáveis e atletas (AUBERT, SEPS & BECKERS, 2003) apresentariam maior VFC, maiores valores de *SamplEn* e conseqüentemente maior complexidade do organismo,

resultando maior assimilação de fatores estressores sem comprometimento do funcionamento do organismo (PAKENAS, SOUZA-JUNIOR & PEREIRA, 2007).

Em síntese, a interrupção do esforço seria uma forma de evitar a ocorrência de um evento catastrófico (NOAKES, ST CLAIR GIBSON & LAMBERT, 2004). Contudo, evidências experimentais ainda não são contundentes e as hipóteses supracitadas têm sido desqualificadas.

6.3 Teste contra-relógio de 3km

Contrariando a hipótese inicial, a EP não influenciou no desempenho da tarefa subsequente, que consistia em testes CR_{3KM}. Adicionalmente, as variáveis mecânicas expressas de forma absoluta do CR_{3KM} controle não diferiram dos demais CR_{3KM} realizados após as EP. Isso sugere que ou a intensidade de esforço da EP não foi suficiente para induzir os ciclistas a fadiga, ou o intervalo de recuperação de 30 minutos entre a EP e o CR_{3KM} possibilitou que os ciclistas se recuperassem da fadiga promovida pela tarefa.

Corroborando nossos achados, PALMER et al. (1999) também constataram que a tarefa prévia não implicava em prejuízo no desempenho subsequente. No referido estudo, os ciclistas pedalavam 140 minutos numa intensidade constante ou intermitente, adotando uma potência mecânica de aproximadamente 60% PAM em ambas as situações. Após 60 s de recuperação, os indivíduos iniciavam um teste contra-relógio de 20 km.

É importante destacar que após o protocolo de 140 minutos, observaram que a tarefa intermitente resultava em menor depleção de glicose comparado ao exercício constante. Todavia, isso não foi suficiente para comprometer o teste contra-relógio de 20 km. Os autores atribuem esse resultado a variabilidade da amostra, pois alguns indivíduos foram melhores no teste intermitente comparado ao constante, sendo que o inverso também ocorreu. Entretanto, no estudo de PALMER et al. (1999), houve uma tendência de uma menor potência mecânica no contra-relógio seguido da EP intermitente.

Entretanto, talvez o trabalho total seja importante na recuperação pós esforço e no desempenho subsequente. Visto que no presente estudo o trabalho mecânico total foi similar, não foi verificado diferença no desempenho. As únicas diferenças encontradas foram restritas as parciais do teste CR_{3KM}. Observou-se que a EP positiva resultou em menor potência mecânica e menor PSE no último quilômetro do CR_{3KM} comparado a situação controle.

O tempo total também não diferiu entre os CR_{3KM}. Contudo, comparando os CR_{3KM} em relação às parciais, verificou-se uma tendência a menores valores para os 2 km iniciais do CR_{3KM} controle. Como não foi significativo, é possível dizer que a tarefa prévia não foi suficiente para fadigar os ciclistas e comprometer o desempenho subsequente.

As respostas fisiológicas no CR_{3KM} também foram similares entre os testes. Entretanto, a [Lac] no CR_{3KM} controle foi superior comparado as demais situações, supostamente associado a menor taxa de remoção de metabólitos ou ainda maior déficit anaeróbio de O₂ no início do exercício, devido a ausência de atividade física prévia.

BEARDEN e MOFFAT (2001) observaram menores constantes de tempo para a cinética do VO₂ quando os indivíduos realizavam uma atividade física prévia. Isso porque no início do exercício ocorre uma elevação na degradação de ATP, sobretudo devido ao suprimento de O₂ aumentar numa proporção menor que a demanda metabólica. Assim, a tarefa prévia resultaria em produção de metabólitos, que por sua vez promoveriam vasodilatação do leito vascular dos músculos ativos, facilitando o suprimento de O₂ e reduzindo o déficit anaeróbio de O₂ comumente observado no início do exercício.

Possivelmente os menores valores de [Lac] sanguíneo no CR_{3KM} subsequente ao exercício estaria relacionado aos fatores descritos por BEARDEN e MOFFAT (2001). De qualquer modo, essa elevação do [Lac] no CR_{3KM} controle não parece ter influenciado na PSE, pois em todas as situações as respostas foram similares. Conforme discutido no capítulo anterior, a PSE não depende exclusivamente de fatores mecânicos ou metabólicos.

A FC_{OFF} e a VFC de recuperação nos testes CR_{3KM} não diferiram em função da EP realizada previamente. Além disso, a VFC pré teste CR_{3KM} nas situações experimentais e controle também não diferiram estatisticamente, sugerindo que os 30 minutos foram suficientes para que o balanço simpato-vagal retornasse próximo aos valores de base.

A SamplEn de recuperação nos primeiros 5 minutos foram significativamente inferiores aos 5 minutos finais, independente do teste CR_{3KM} analisado. Logo, é possível inferir que havia uma perda de complexidade decorrente do esforço e que, após um período de repouso, essa complexidade do sinal retornava a valores próximos aos observados previamente a tarefa.

Talvez o esforço de 20 km na intensidade do Lim2 não fosse suficiente para promover uma carga alostática que modificasse o balanço autonômico simpato-vagal após o esforço, fazendo com que nossos resultados divergissem de HAUTALA et al. (2001). Nesse estudo, o

período de tempo para o espectro HF retornar aos valores de base era de aproximadamente 4 h, sendo que essa resposta era inversamente proporcional a capacidade aeróbia dos indivíduos. Contudo, no protocolo os atletas percorriam 75 km na modalidade *cross country*, e a distância pode ter contribuído para o maior período de recuperação.

Por outro lado, CASTIES, MOTTET e LE GALLAIS (2006) descreveram que 30 minutos foram suficientes para que o espectro HF retornasse aos valores pré-esforço. Nesse protocolo os ciclistas iniciavam a tarefa a 60% do VO_2max por 3 minutos, seguidos de 8 minutos de exercício a 40, 70 e 90% do VO_2max . Interessante destacar que utilizando técnicas de análise não lineares (*Detrended Fluctuation Analysis, Largest Lyapunov Exponent, Embedding Dimension*; para maiores detalhes, consulte RAJENDRA ACHARYA et al., 2006) verificou-se que outros fatores além do sistema nervoso autônomo cardíaco interferiram na VFC.

Os autores sugeriram que a mecânica ventilatória e o recrutamento neuromuscular seriam os principais responsáveis pelo ruído e incremento de dimensões na VFC, sendo que esses indicadores permaneceram por 50 minutos após a interrupção do esforço antes de retornar aos valores de base.

No presente estudo tanto a análise estacionária (análise espectral) quanto a não estacionária (amostragem entrópica) retornaram aos valores de base em 30 minutos. Além disso, não foi detectada nenhuma relação entre FC_{OFF} e VFC. Portanto, indivíduos com maior variabilidade dos intervalos R-R não apresentavam, necessariamente, repostas cinéticas mais rápidas.

Todos os sujeitos adotavam uma EP parabólica no teste $\text{CR}_{3\text{KM}}$, sobretudo analisando as variáveis mecânicas. O lactato sanguíneo e a PSE assumiram um comportamento similar, sendo que os maiores valores foram registrados no terceiro quilômetro. A única variável que apresentou valores inferiores no quilômetro final foi o tempo, obviamente em função da elevação da cadência e velocidade.

Isso sugere que quando os indivíduos podem selecionar a forma de executar um exercício de média e longa duração, usualmente adotam uma estratégia parabólica, provavelmente para certificar-se de que serão capazes de concluir a tarefa (NOAKES, ST CLAIR GIBSON & LAMBERT, 2005).

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Podemos concluir que:

(i) O teste $TLim^{[FCmax]}$ não foi capaz de prever o desempenho no teste CR_{3KM} . A única associação observada foi restrita a $FCmax$, sobretudo devido a tolerância a acidose metabólica periférica influenciar o tempo que o indivíduo é capaz de sustentar intensidades severas de esforço em cicloergômetro;

(ii) Contrariando a hipótese inicial, a EP não exerceu efeitos sobre a recuperação do sistema autonômico cardíaco parassimpático nem tampouco para o teste CR_{3KM} subsequente. Possivelmente resultado do trabalho total similar entre as sessões. Todavia, houve uma tendência da EP positiva apresentar elevações mais discretas para $[Lac]$, FC e PSE , sugerindo que a intensidade de esforço no início do exercício poderia reduzir o déficit anaeróbio de oxigênio e resultar em menor solicitação da via glicolítica durante o exercício;

(iii) A VFC apresentou um comportamento interessante, sobretudo porque a análise espectral HF representativa da atividade autonômica cardíaca parassimpática não demonstrou diferença independente do período analisado (repouso, exercício ou recuperação) ou da EP. Todavia, quando os mesmos dados foram submetidos à análise não linear, especificamente a $SamplEn$, foi verificado que imediatamente após a conclusão da tarefa a complexidade do sinal aproximava-se de zero. Portanto, indicando maior redundância do sistema e menor capacidade de auto-organização a partir do estresse. Essa análise não linear fornece informações que permitem explorar novos campos teóricos relacionados ao controle autonômico cardiovascular.

REFERÊNCIAS

ABBISS, C.R.; QUOD, M.J.; MARTIN, D.T.; NETTO, K.J.; NOSAKA, K.; LEE, H.; SURRIANO, R.; BISHOP, D.; LAURSEN, P.B. Dynamic pacing strategies during the cycle phase of an Ironman triathlon. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v.38, n.4, p.726-734, 2006.

ABBISS, C.R.; LAURSEN, P.B. Describing and understanding pacing strategies during athletic competition. **Sports Medicine**, Auckland, v.38, n.3, p.239-252, 2008.

ACHTEN, J.; JEUKENDRUP, A.E. Heart rate monitoring: applications and limitations. **Sports Medicine**, Auckland, v.33, n.7, p.517-538, 2003.

AISBETT, B.; LEROSIGNOL, P.; MCCONELL, G.K.; ABBISS, C.R.; SNOW, R. Influence of all-out and fast start on 5 min cycling time trial performance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v.41, p.1965-1971, 2009.

ALBERTUS, Y.; TUCKER, R.; ST CLAIR GIBSON, A.; LAMBERT, E.V.; HAMPSON, D.B.; NOAKES, T.D. Effect of distance feedback on pacing strategy and perceived exertion during cycling. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v.37, n.3, p.461-468, 2005.

ALLEN, D.G.; LAMB, G.D.; WESTERBLAD, H. Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms. **Physiological Review**, Baltimore, v.88, n.1, p.287-332, 2008.

ALMEIDA, M.B.; ARAÚJO, C.G.S. Efeitos do treinamento aeróbico sobre a frequência cardíaca. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, São Paulo, v.9, n.2, p.104-112, 2003.

AMANN, M.; PROCTOR, L.T.; SEBRANEK, J.J.; PEGELOW, D.F.; DEMPSEY, J.A. Opioid-mediated muscle afferents inhibit central motor drive and limit peripheral muscle fatigue development in humans. **Journal of Physiology**, Cambridge, v.587, n.1, p.271-283, 2009.

ASTRAND, P.O.; SALTIN, B. Maximal oxygen uptake and heart rate in various types of muscular activity. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.16, p.977-981, 1961.

ATKINSON, G.; DAVISON, R.; JEUKENDRUP, A.; PASSFIELD, L. Science and cycling: current knowledge and future directions for research. **Journal of Sports Science**, Londres, v.21, n.9, p.767-787, 2003.

ATKINSON, G.; DAVISON, R.C.; NEVILL, A.M. Performance characteristics of gas analysis systems: what we know and what we need to know. **Internatinal Journal of Sports Medicine**, Stuttgart, v.26, n.1, p.S2-10, 2005.

ATKINSON, G.; PEACOCK, O.; ST CLAIR GIBSON, A.; TUCKER, R. Distribution of power output during cycling: impact and mechanisms. **Sports Medicine**, Auckland, v.37, n.8, p.647-667, 2007.

ATLAN, H. **Entre o cristal e a fumaça**: ensaio sobre a organização do ser vivo. Tradução de Vera Ribeiro. Rio de Janeiro: Jorge Zahar editora, 1992.

AUBERT, A.E.; SEPS, B.; BECKERS, F. Heart rate variability in athletes. **Sports Medicine**, Auckland, v.33, n.12, p.889-919, 2003.

BARCLAY, C. J. Mechanical efficiency and fatigue of fast and slow muscles of the mouse. **Journal of Physiology**, Cambridge, v.497 , n.3, p.781-794, 1996.

BARJA, G. Mitochondrial oxygen consumption and reactive oxygen species production are independently modulated: implications for aging studies. **Rejuvenation research**, v.10, n.2, p.215-224, 2007.

BASSETT, J.R.; KYLE, C.R.; PASSFIELD, L.; BROKER, J.P.; BURKE, E.R. Comparing cycling world hour records, 1967 – 1996. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v.31, p.1665-1676, 1999.

BEAR, M. F.; CONNORS, B. W.; PARADISO, M.A. **Neurociências**: desvendando o sistema nervoso. Tradução Carla Dalmaz, Carlos A. S. Gonçalves, Carmem Göttfried, Denise Zancan, Jorge A. Quillfeldt, Matilde Achaval Elena, Renata Menezes Rosat, Tadeu Mello e Souza. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2008.

BEARDEN, S.E.; MOFFATT, R.J. VO₂ and heart rate kinetics in cycling: transitions from an elevated baseline. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.90, n.6, p.2081-2087, 2001.

BENTLEY, D.J.; MCNAUGHTON, L.R.; BATTERHAM, A.M. Prolonged stage duration during incremental cycle exercise: effects on the lactate threshold and onset of blood lactate accumulation. **European Journal of Applied Physiology**, Heidelberg, v.85, n.3-4, p.351-357, 2001.

BERNTSON, G.G.; BIGGER, J.T., JR.; ECKBERG, D.L.; GROSSMAN, P.; KAUFMANN, P.G.; MALIK, M.; NAGARAJA, H.N.; PORGES, S.W.; SAUL, J.P.; STONE, P.H.; VAN DER MOLEN, M.W. Heart rate variability: origins, methods, and interpretive caveats. **Psychophysiology**, Champaign, v.34, n.6, p.623-648, 1997.

BERTUZZI, R.C.M.; RUMENIG, E. Resposta cinética do consumo de oxigênio: relação entre metabolismo aeróbio e ATP-CP. **Arquivos em Movimento**, Rio de Janeiro, v.5, n.1, p.99-118, 2009.

BILLAT, L.V.; KORALSZTEIN, J.P. Significance of the velocity at VO₂max and time to exhaustion at this velocity. **Sports Medicine**, Auckland, v.22, n.2, p.90-108, 1996.

BILLAT, V.L.; WESFREID, E.; KAPFER, C.; KORALSZTEIN, J.P.; MEYER, Y. Nonlinear dynamics of heart rate and oxygen uptake in exhaustive 10,000 m runs: influence of constant vs. freely paced. **Journal of Physiological Sciences**, Tokyo, v.56, n.1, p.103-111, 2006.

BISHOP, D.; BONETTI, D.; DAWSON, B. The influence of pacing strategy on VO₂ and supramaximal kayak performance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v.34, n.6, p.1041-1047, 2002.

BORRESEN, J.; LAMBERT, M.I. Autonomic control of heart rate during and after exercise: measurements and implications for monitoring training status. **Sports Medicine**, Auckland, v.38, n.8, p.633-646, 2008.

BOUDET, G.; GARET, M.; BEDU, M.; ALBUISSON, E.; CHAMOUX, A. Median maximal heart rate for heart rate calibration in different conditions: laboratory, field and competition. **Internatinal Journal of Sports Medicine**, Stuttgart, v.23, n.4, p.290-297, 2002.

BUENO, C.R.JR., FERREIRA, J.C.; PEREIRA, M.G.; BACURAU, A.V.; BRUM, P.C. Aerobic exercise training improves skeletal muscle function and Ca²⁺ handling-related protein expression in sympathetic hyperactivity-induced heart failure. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.109, n.3, p.702-709, 2010.

CAPUTO, F.; MELLO, M.T.; DENADAI, B.S. Oxygen uptake kinetics and time to exhaustion in cycling and running: a comparison between trained and untrained subjects. **Archives of Physiology and Biochemistry**, Lisse, v.111, n.5, p.461-466, 2003.

CASTIES, J.F.; MOTTET, D.; LE GALLAIS, D. Non-linear analyses of heart rate variability during heavy exercise and recovery in cyclists. **Internatinal Journal of Sports Medicine**, Stuttgart, v.27, n.10, p.780-785, 2006.

CEFARELLI, E. Peripheral and central inputs to the effort sense during cycling exercise. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, Berlim, v.37, p.181-189, 1977.

CHRISTENSEN, N.J. Sympathetic nervous activity during exercise. **Annual Review of Physiology**, Palo Alto, v.45, p.139-152, 1983.

COOREVITS, P.; DANNEELS, L.; CAMBIER, D.; RAMON, H.; DRUYTS, H.; STEFAN KARLSSON, J.; MOOR, G.D.; VANDERSTRAETEN, G. Correlations between short-time Fourier- and continuous wavelet transforms in the analysis of localized back and hip muscle fatigue during isometric contractions. **Journal of electromyography and kinesiology**, Nova York, v.18, n.4, p.637-644, 2008.

COTTIN, F.; MEDIGUE, C.; LEPRETRE, P.M.; PAPELIER, Y.; KORALSZTEIN, J.P.; BILLAT, V. Heart rate variability during exercise performed below and above ventilatory threshold. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v.36, n.4, p.594-600, 2004.

CRAIG, N.P.; NORTON, K.I. Characteristics of track cycling. **Sports Medicine**, Auckland, v.31, n.7, p.457-468, 2001.

CRITCHLEY, H.D.; CORFIELD, D.R.; CHANDLER, M.P.; MATHIAS, C.J.; DOLAN, R.J. Cerebral correlates of autonomic cardiovascular arousal: a functional neuroimaging investigation in humans. **Journal of Physiology**, Cambridge, v.523, n.1, p.259-270, 2000.

DE MEERSMAN, R.E.; REISMAN, S.S.; DAUM, M.; ZOROWITZ, R.; LEIFER, M.; FINDLEY, T. Influence of respiration on metabolic, hemodynamic, psychometric, and R-R interval power spectral parameters. **American Journal of Physiology: Heart and Circulatory Physiology**, Bethesda, v.269, n.4, p.H1437-H1440, 1995.

DENADAI, B.S.; FIGUERA, T.R.; FAVARO, O.R.; GONCALVES, M. Effect of the aerobic capacity on the validity of the anaerobic threshold for determination of the maximal lactate steady state in cycling. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, Ribeirão Preto, v.37, n.10, p.1551-1556, 2004.

DUCLOS, M.; CORCUFF, J.B.; RASHEDI, M.; FOUGERE, V.; MANIER, G. Trained versus untrained men: different immediate post-exercise responses of pituitary adrenal axis: a preliminary study. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, Berlin, v.75, n.4, p.343-350, 1997.

DUPONT, G.; BLONDEL, N.; LENSEL, G.; BERTHOIN, S. Critical velocity and time spent at a high level of VO₂ for short intermittent runs at supramaximal velocities. **Canadian Journal of Applied Physiology**, Champaign, v.27, n.2, p.103-115, 2002.

EARNEST, C.P.; JURCA, R.; CHURCH, T.S.; CHICHARRO, J.L.; HOYOS, J.; LUCIA, A. Relation between physical exertion and heart rate variability characteristics in professional cyclists during the Tour of Spain. **British Journal of Sports Medicine**, Loughborough, v.38, n.5, p.568-575, 2004.

ECKBERG, D.L. Sympathovagal balance: a critical appraisal. **Circulation**, Baltimore, v.96, p.3224-3232, 1997.

ENGELN, M.; PORZASZ, J.; RILEY, M.; WASSERMAN, K.; MAEHARA, K.; BARSTOW, T.J. Effects of hypoxic hypoxia on O₂ uptake and heart rate kinetics during heavy exercise. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.81, n.6, p.2500-2508, 1996.

ENOKA, R.M.; DUCHATEAU, J. Muscle fatigue: what, why and how it influences muscle function. **Journal of Physiology**, Cambridge, v.586, n.1, p.11-23, 2008.

ESTON, R.G.; FAULKNER, J.A.; MASON, E.A.; PARFITT, G. The validity of predicting maximal oxygen uptake from perceptually regulated graded exercise tests of different durations. **European Journal of Applied Physiology**, Heidelberg, v.97, n.5, p.535-541, 2006.

ETTEMA, G.; LORAS, H.W. Efficiency in cycling: a review. **European Journal of Applied Physiology**, Heidelberg, v.106, n.1, p.1-14, 2009.

FARIA, E.W.; PARKER, D.L.; FARIA, I.E. The science of cycling: physiology and training – part 1. **Sports Medicine**, Auckland, v.35, n.4, p.285-312, 2005a.

_____. The science of cycling: factores affecting performance – part 2. **Sports Medicine**, Auckland, v.35, n.4, p.313-337, 2005b.

FERNSTROM, M.; BAKKMAN, L.; TONKONOGI, M.; SHABALINA, I.G.; ROZHDESTVENSKAYA, Z.; MATTSSON, C.M.; ENQVIST, J.K.; EKBLOM, B.; SAHLIN, K. Reduced efficiency, but increased fat oxidation, in mitochondria from human skeletal muscle after 24-h ultraendurance exercise. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.102, n.5, p.1844-1849, 2007.

FOSTER, C.; HOYOS, J.; EARNEST, C.; LUCIA, A. Regulation of energy expenditure during prolonged athletic competition. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v.37, n.4, p.670-675, 2005.

FURNESS, J.B. The organization of the autonomic nervous system: peripheral connections. **Autonomic Neuroscience: basic e clinical**, Amsterdam, v.130, n.1-2, p.1-5, 2006.

GARCIN, M.; DANIEL, M.; BILLAT, V. Perceptual responses in free vs. constant pace exercise. **Internatinal Journal of Sports Medicine**, Stuttgart, v.29, n.6, p.453-459, 2008.

GRASSI, B. Delayed metabolic activation of oxidative phosphorylation in skeletal muscle at exercise onset. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v.37, n.9, p.1567-1573, 2005.

GREEN, A.L.; WANG, S.; PURVIS, S.; OWEN, S.L.; BAIN, P.G.; STEIN, J.F.; GUZ, A.; AZIZ, T.Z.; PATERSON, D.J. Identifying cardiorespiratory neurocircuitry involved in central command during exercise in humans. **Journal of Physiology**, Cambridge, v.578, n.2, p.605-612, 2007.

GREENWOOD, B.N.; FLESHNER, M. Exercise, learned helplessness, and the stress-resistant brain. **Neuromolecular Medicine**. v.10, n.2, p.81-98, 2008.

GRILLON, C.; DUNCKO, R.; COVINGTON, M.F.; KOPPERMAN, L.; KLING, M.A. Acute stress potentiates anxiety in humans. **Biological Psychiatry**, Amsterdam, v.62, n.10, p.1183-1186, 2007.

GROSLAMBERT, A.; MAHON, A.D. **Perceived exertion : influence of age and cognitive development**. **Sports Medicine**, Auckland, v.36, n.11, p.911-928, 2006.

GUEDES, D. P. Estudo da gordura corporal através da mensuração dos valores de densidade corporal e da espessura de dobras cutâneas em universitários. **Kinesis**, Santa Maria, v.2, p.183-212, 1985.

GUNNAR, M.; QUEVEDO, K. The neurobiology of stress and development. **Annual Review of Psychology**, Palo Alto, v.58, p.145-173, 2007.

GUYTON, A.C., HALL, J.E. **Tratado de fisiologia médica**. Tradução Alcides Marinho Junior, Alexandre Vianna Aldighieri Soares, Andrea Delcorso et al. 11. ed. São Paulo: Elsevier, 2007.

HAGAN, R.D.; SMITH, M.G.; GETTMAN, L.R. Marathon performance in relation to maximal aerobic power and training indices. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v.13, n.3, p.185-189, 1981.

HAM, D.J.; KNEZ, W.L. An evaluation of 30-km cycling time trial (TT30) pacing strategy through time-to-exhaustion at average TT30 pace. **Journal of strength and conditioning research**, Colorado Springs, v.23, n.3, p.1016-1021, 2009.

- HANON, C.; LEVEQUE, J.M.; THOMAS, C.; VIVIER, L. Pacing strategy and VO₂ kinetics during a 1500-m race. **International Journal of Sports Medicine**, Stuttgart, v.29, n.3, p.206-211, 2008.
- HARMS, C.A. Effect of skeletal muscle demand on cardiovascular function. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v.32, n.1, p.94-99, 2000.
- HAUTALA, A.; TULPPO, M.P.; MAKIKALLIO, T.H.; LAUKKANEN, R.; NISSILA, S.; HUIKURI, H.V. Changes in cardiac autonomic regulation after prolonged maximal exercise. **Clinical Physiology**, Oxford, v.21, n.2, p.238-245, 2001.
- HAWLEY, J.A.; STEPTO, N.K. Adaptations to training in endurance cyclists: implications for performance. **Sports Medicine**, Auckland, v.31, n.7, p.511-520, 2001.
- HILL, A.V.; LUPTON, H. Muscular exercise, lactic acid, and the supply and utilization of oxygen. **Quarterly Journal of Medicine**, Oxford, v.16, p.135-171, 1923.
- HILL, D.W.; ROWELL, A.L. Running velocity at VO₂max. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v.28, p.114-9, 1996.
- HILL-SMITH, I.; PURVES, R.D. Synaptic delay in the heart: an iontophoretic study. **Journal of Physiology**, Cambridge, v.279, p.31-34, 1978.
- HOPKER, J.G.; COLEMAN, D.A.; WILES, J.D. Differences in efficiency between trained and recreational cyclists. **Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism**, v.32, n.6, p.1036-1042, 2007.
- JAVORKA, M.; ZILA, I.; BALHAREK, T.; JAVORKA, K. On- and off-responses of heart rate to exercise - relations to heart rate variability. **Clinical Physiology and Functional Imaging**, v.23, n.1, p.1-8, 2003.
- JEUKENDRUP, A.E.; CRAIG, N.P.; HAWLEY, J.A. The bioenergetics of World Class Cycling. **Journal of Science and Medicine in Sport**, Belconnen, v.3, n.4, p.414-433, 2000.
- JEUKENDRUP, A.E.; MARTIN, J. Improving cycling performance: how should we spend our time and money. **Sports Medicine**, Auckland, v.31, n.7, p.559-569, 2001.

KAYSER, B. Exercise starts and ends in the brain. **European Journal of Applied Physiology**, Heidelberg, v.90, n.3-4, p.411-419, 2003.

KEMI, O.J.; ELLINGSEN, O.; SMITH, G.L.; WISLOFF, U. Exercise-induced changes in calcium handling in left ventricular cardiomyocytes. **Frontiers in Bioscience**, v.13, n.1, p.356-368, 2008.

KIVINIEMI, A.M.; HAUTALA, A.J.; KINNUNEN, H.; TULPPO, M.P. Endurance training guided individually by daily heart rate variability measurements. **European Journal of Applied Physiology**, Heidelberg, v.101, n.6, p.743-751, 2007.

KROGH, A.; LINDHARD, J. The regulation of respiration and circulation during the initial stages of muscular work. **Journal of Physiology**, Cambridge, v.47, n.1-2, p.112-136, 1913.

KRSTACIC, G.; KRSTACIC, A.; SMALCELJ, A.; MILICIC, D.; JEMBREK-GOSTOVIC, M. The "Chaos Theory" and nonlinear dynamics in heart rate variability analysis: does it work in short-time series in patients with coronary heart disease? **Annals of noninvasive electrocardiology**, v.12, n.2, p.130-136, 2007.

KRUSTRUP, P.; FERGUSON, R.A.; KJAER, M.; BANGSBO, J. ATP and heat production in human skeletal muscle during dynamic exercise: higher efficiency of anaerobic than aerobic ATP resynthesis. **Journal of Physiology**, Cambridge, v.549, n.1, p.255-269, 2003.

KUKANOVA, B.; MRAVEC, B. Complex intracardiac nervous system. **Bratislavské lekárske listy**, v.107, n.3, p.45-51, 2006.

LAC, G.; MASO, F. Biological markers for the follow-up of athletes throughout the training season. **Pathologie-biologie**, Paris, v.52, n.1, p.43-49, 2004.

LAFORGIA, J.; WITHERS, R.T.; GORE, C.J. Effects of exercise intensity and duration on the excess post-exercise oxygen consumption. **Journal of Sports Science**, Londres, v.24, n.12, p.1247-1264, 2006.

LANDER, P.J.; BUTTERLY, R.J.; EDWARDS, A.M. Self-paced exercise is less physically challenging than enforced constant pace exercise of the same intensity: influence of complex central metabolic control. **British Journal of Sports Medicine**, Loughborough, v.43, n.10, p.789-795, 2009.

LOURENÇO, O. The danger of words: A Wittgensteinian lesson for developmentalists. **New Ideas in Psychology**, v.19, n.2 p.89-115, 2001.

LUCIA, A.; HOYOS, J.; PEREZ, M.; SANTALLA, A.; EARNEST, C.P.; CHICHARRO, J.L. Which laboratory variable is related with time trial performance time in the Tour de France? **British Journal of Sports Medicine**, Loughborough, v.38, n.5, p.636-640, 2004.

MARCORA, S.M.; STAIANO, W.; MANNING, V. Mental fatigue impairs physical performance in humans. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.106, n.3, p.857-864, 2009.

MARGARIA, R.; EDWARDS, H.T.; DILL, D.B. The possible mechanisms of contracting and paying the oxygen debt and the role of lactic acid in muscular contraction. **American Journal of Physiology**, Baltimore, v.106, n.3, p.689-715, 1933.

MARTINELLI, F.S.; CHACON-MIKAHIL, M.P.; MARTINS, L.E.; LIMA-FILHO, E.C.; GOLFETTI, R.; PASCHOAL, M.A.; GALLO-JUNIOR, L. Heart rate variability in athletes and nonathletes at rest and during head-up tilt. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, Ribeirão Preto, v.38, n.4, p.639-647, 2005.

MCARDLE, W.D.; KATCH, F.I.; KATCH, V.L. **Fisiologia do exercício: energia, nutrição e metabolismo**. Tradução Giuseppe Taranto. 5 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2003.

MCDUGALL, S.J.; WIDDOP, R.E.; LAWRENCE, A.J. Central autonomic integration of psychological stressors: focus on cardiovascular modulation. **Autonomic Neuroscience: basic e clinical**, Amsterdam, v.123, n.1-2, p.1-11, 2005.

MCEWEN, B.S. Allostasis and allostatic load: implications for neuropsychopharmacology. **Neuropsychopharmacology: official publication of the American College of Neuropsychopharmacology**, v.22, n.2, p.108-124, 2000.

MCEWEN, B.S.; WINGFIELD, J.C. The concept of allostasis in biology and biomedicine. **Hormones and Behavior**, Nova York, v.43, n.1, p.2-15, 2003.

MEDBO, J.I., MOHN, A.C., TABATA, I., BAHR, R., VAAGE, O., SEJERSTED, O.M. Anaerobic capacity determined by maximal accumulated O₂ deficit. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.64, n.1, p.50-60, 1988.

MELO, R.C.; QUITERIO, R.J.; TAKAHASHI, A.C.; SILVA, E.; MARTINS, L.E.; CATAI, A.M. High eccentric strength training reduces heart rate variability in healthy older men. **British Journal of Sports Medicine**, Loughborough, v.42, n.1, p.59-63, 2008.

MEYER, T.; AURACHER, M.; HEEG, K.; URHAUSEN, A.; KINDERMANN, W. Effectiveness of low-intensity endurance training. **Internatinal Journal of Sports Medicine**, Stuttgart, v.28, n.1, p.33-39, 2007.

MICKLEWRIGHT, D.; PAPADOPOULOU, E.; SWART, J.D.; NOAKES, T.D. Previous experience influences pacing during 20-km time trial cycling. **British Journal of Sports Medicine**, Loughborough, v.44, n.13, p.952-960, 2009.

MIDGLEY, A.W.; MCNAUGHTON, L.R.; CARROLL, S. Physiological determinants of time to exhaustion during intermittent treadmill running at vV_{O2max} . **Internatinal Journal of Sports Medicine**, Stuttgart, v.28, n.4, p.273-280, 2006.

MIDGLEY, A.W.; MCNAUGHTON, L.R.; JONES, A.M. Training to enhance the physiological determinants of long-distance running performance: can valid recommendations be given to runners and coaches based on current scientific knowledge? **Sports Medicine**, Auckland, v.37, n.10, p.857-880, 2007.

MOGENSEN, M.; BAGGER, M.; PEDERSEN, P.K.; FERNSTROM, M.; SAHLIN, K. Cycling efficiency in humans is related to low UCP3 content and to type I fibres but not to mitochondrial efficiency. **Journal of Physiology**, Cambridge, v.571, n.3, p.669-681, 2006.

MORTON, R.H. The critical power and related whole-body bioenergetic models. **European Journal of Applied Physiology**, Heidelberg, v.96, p.339-354, 2006.

MUTHUSWAMY, J.; THAKOR, N.V. Spectral analysis methods for neurological signals. **Journal of Neuroscience Methods**, Amsterdam, v.83, n.1, p.1-14, 1998.

NEUMAYR, G.; PFISTER, R.; MITTERBAUER, G.; GAENZER, H.; STURM, W.; HOERTNAGL, H. Heart rate response to ultraendurance cycling. **British Journal of Sports Medicine**, Loughborough, v.37, n.1, p.89-90, 2003.

NEWELL, J.; HIGGINS, D.; MADDEN, N.; CRUICKSHANK, J.; EINBECK, J.; MCMILLAN, K.; MCDONALD, R. Software for calculating blood lactate endurance markers. **Journal of Sports Science**, Londres, v.25, n.12, p.1403-1409, 2007.

NOAKES, T.D. Implications of exercise testing for prediction of athletic performance: a contemporary perspective. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v.20, p.319-330, 1988.

NOAKES, T.D.; ST CLAIR GIBSON, A.; LAMBERT, E.V. From catastrophe to complexity: a novel model of integrative central neural regulation of effort and fatigue during exercise in humans. **British Journal of Sports Medicine**, Loughborough, v.38, n.4, p.511-514, 2004.

NOAKES, T.D.; ST CLAIR GIBSON, A.; LAMBERT, E.V. From catastrophe to complexity: a novel model of integrative central neural regulation of effort and fatigue during exercise in humans: summary and conclusions. **British Journal of Sports Medicine**, Loughborough, v.39, n.2, p.120-124, 2005.

PADILLA, S.; MUJICA, I.; CUESTA, G.; GOIRIENA, J.J. Level ground and uphill cycling ability in professional road cycling. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v.31, n.6, p.878-885, 1999.

PAKENAS, A.; SOUZA JR, T.P.; PEREIRA, B. Dinâmica não-linear e exercício físico: conceitos e aplicações. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, São Paulo, v.13, p.331-335, 2007.

PALMER, G.S.; BORGHOOTS, L.B.; NOAKES, T.D.; HAWLEY, J.A. Metabolic and performance responses to constant-load vs. variable-intensity exercise in trained cyclists. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.87, n.3, p.1186-1196, 1999.

PAREKH, A.; LEE, C.M. Heart rate variability after isocaloric exercise bouts of different intensities. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v.37, n.4, p.599-605, 2005.

PERSSON, P.B. Modulation of cardiovascular control mechanisms and their interaction. **Physiological Reviews**, Baltimore, v.76, n.1, p.193-244, 1996.

PICHOT, V.; GASPOZ, J.M.; MOLLIEUX, S.; ANTONIADIS, A.; BUSSO, T.; ROCHE, F.; COSTES, F.; QUINTIN, L.; LACOUR, J.R.; BARTHELEMY, J.C. Wavelet transform to quantify heart rate variability and to assess its instantaneous changes. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.86, n.3, p.1081-1091, 1999.

PRIGOGINE, I. **As leis do caos**. Tradução Roberto Leal. São Paulo: UNESP, 2002.

PRINGLE, J.S.; DOUST, J.H.; CARTER, H.; TOLFREY, K.; CAMPBELL, I.T.; JONES, A.M. Oxygen uptake kinetics during moderate, heavy and severe intensity "submaximal" exercise in humans: the influence of muscle fibre type and capillarisation. **European Journal of Applied Physiology**, Heidelberg, v.89, n.3-4, p.289-300, 2003.

RAJENDRA ACHARYA, U.; PAUL JOSEPH, K.; KANNATHAL, N.; LIM, C.M.; SURI, J.S. Heart rate variability: a review. **Medical and Biological Engineering and Computing**, Stevenage, v.44, n.12, p.1031-1051, 2006.

RAUCH, H.G.; ST CLAIR GIBSON, A.; LAMBERT, E.V.; NOAKES, T.D. A signalling role for muscle glycogen in the regulation of pace during prolonged exercise. **British Journal of Sports Medicine**, Loughborough, v.39, n.1, p.34-38, 2005.

RECORDATI, G.; BELLINI, T.G. A definition of internal constancy and homeostasis in the context of non-equilibrium thermodynamics. **Experimental Physiology**, Nova York, v.89, n.1, p.27-38, 2004.

REDGRAVE, P.; GURNEY, K. The short-latency dopamine signal: a role in discovering novel actions? **Nature reviews: Neuroscience**, Londres, v.7, n.12, p.967-975, 2006.

ROWELL, L. B. Ideas about control of skeletal and cardiac muscle blood flow (1876 – 2003): cycles of revision and new vision. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.97, p.384-392, 2004.

RUMENIG, E.; BERTUZZI, R.C.M.; NAKAMURA, F.Y.; FRANCHINI, E.; MATSUSHIGUE, K.Y.; KISS, M.A.P.D. Cinética e variabilidade da frequência cardíaca mediante exercício físico predominantemente aeróbio: influência da intensidade e do tempo de análise. **Revista Brasileira de Educação Física e Esporte**, São Paulo, v.21, n.3, p.205-218, 2007.

SALTHER, S. N. The natural philosophy of work. **Entropy**, v. 9, p. 83-99, 2007.

SAUNDERS, P.U.; PYNE, D.B.; TELFORD, R.D.; HAWLEY, J.A. Factors affecting running economy in trained distance runners. **Sports Medicine**, Auckland, v.34, n.7, p.465-485, 2004.

SEILER, K.S.; KJERLAND, G.O. Quantifying training intensity distribution in elite endurance athletes: is there evidence for an "optimal" distribution? **Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports**, v.16, n.1, p.49-56, 2006.

SIRI, W.E. Body composition from fluids spaces and density: analysis of two methods. In: BROZEK, J.; HENSCHER, A. **Techniques for measuring body composition**. Washington: National Academy of Sciences/National Research Council, 1961. p.223-44.

SLUITER, J.K.; FRINGS-DRESEN, M.H.; MEIJMAN, T.F.; VAN DER BEEK, A.J. Reactivity and recovery from different types of work measured by catecholamines and cortisol: a systematic literature overview. **Occupational and environmental medicine**, Londres, v.57, n.5, p.298-315, 2000.

SOUZA-JUNIOR, T.P.; PEREIRA, B. Conceitos fisiológicos do treinamento físico-esportivo: estresse homeostase e alostase. **Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano**, Florianópolis, v.10, n.2, p.206-213, 2008.

SPEAR, J.F.; KRONHAUS, K.D.; MOORE, E.N.; KLINE, R.P. The effect of brief vagal stimulation on the isolated rabbit sinus node. **Circulation Research**, Baltimore, v.44, p.75-88, 1979.

ST CLAIR GIBSON, A.; LAMBERT, E.V.; RAUCH, L.H.; TUCKER, R.; BADEN, D.A.; FOSTER, C.; NOAKES, T.D. The role of information processing between the brain and peripheral physiological systems in pacing and perception of effort. **Sports Medicine**, Auckland, v.36, n.8, p.705-722, 2006.

STROMME, S.B.; INGJER, F.; MEEN, H.D. Assessment of maximal aerobic power in specifically trained athletes. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v.42, n.6, p.833-837, 1977.

SVEDAHL, K.; MACINTOSH, B.R. Anaerobic threshold: the concept and methods of measurement. **Canadian Journal of Applied Physiology**, Champaign, v.28, n.2, p.299-323, 2003.

TASK FORCE OF THE EUROPEAN SOCIETY OF CARDIOLOGY THE NORTH AMERICAN SOCIETY OF PACING ELECTROPHYSIOLOGY. Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. **Circulation**, Baltimore, v.93, n.5, p.1043-1065, 1996.

TUCKER, R. The anticipatory regulation of performance: the physiological basis for pacing strategies and the development of a perception-based model for exercise performance. **British Journal of Sports Medicine**, Loughborough, v.43, n.6, p.392-400, 2009.

URHAUSEN, A.; GABRIEL, H.; KINDERMANN, W. Blood hormones as markers of training stress and overtraining. **Sports Medicine**, Auckland, v.20, n.4, p.251-276, 1995.

VIRU, A.; VIRU, M. Cortisol-essential adaptation hormone in exercise. **Internatinal Journal of Sports Medicine**, Stuttgart, v.25, n.6, p.461-464, 2004.

WOOLFORD, S.M.; WITHERS, R.T.; CRAIG, N.P.; BOURDON, P.C.; STANEF, T.; MCKENZIE, I. Effect of pedal cadence on the accumulated oxygen deficit, maximal aerobic power and blood lactate transition thresholds of high-performance junior endurance cyclists. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, Berlim, v.80, n.4, p.285-291, 1999.

ZOUHAL, H.; JACOB, C.; DELAMARCHE, P.; GRATAS-DELAMARCHE, A.
Catecholamines and the effects of exercise, training and gender. **Sports Medicine**, Auckland,
v.38, n.5, p.401-423, 2008.

ANEXO I - Digitalização da carta de aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa da Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA E ESPORTE

Of. CEP05809/EEFE/28052009

São Paulo, 28 de maio de 2009.

Senhor Pesquisador,

O Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo, em reunião ordinária realizada em 28 de maio de 2009, **aprovou o Protocolo 2009/17 – “Influência da estratégia de velocidade na estimativa da demanda metabólica e recuperação de ciclistas recreacionais”**, sob sua responsabilidade.

Atenciosamente,

Prof. Dra. Suely dos Santos
Presidente do Comitê de Ética em Pesquisa

Ilmo. Sr.
Prof. Dr. Benedito Pereira
EEFEUSP - EFE

Av. Professor Mello Moraes, 65
CEP 05508-030 - São Paulo - SP - Brasil
Fone/Fax: 55 11 3091-3097
e-mail: comunidade@eeefe.usp.br

ANEXO II - Cópia do termo de consentimento informado fornecido a todos os atletas que participaram do estudo.

ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA E ESPORTE DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Comitê de Ética em Pesquisa

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO
(Instruções para preenchimento ao final)

I - DADOS DE IDENTIFICAÇÃO DO SUJEITO DA PESQUISA OU RESPONSÁVEL LEGAL

1. NOME DO INDIVÍDUO: _____

Documento de identidade Nº: _____

Sexo: ☐ M ☐ F

Data de nascimento: _____

Endereço: _____

Nº _____ APTO

Bairro: _____

Cidade: _____

CEP: _____

Telefone: _____

2. RESPONSÁVEL LEGAL:

Natureza (grau de parentesco, tutor, curador, etc.)

Documento de identidade Nº:

Sexo: ☐ M ☐ F

Data de nascimento:

Endereço:

Nº _____ APTO

Bairro:

Cidade:

CEP:

Telefone:

II - DADOS SOBRE A PESQUISA CIENTÍFICA

1. Título do Projeto de Pesquisa

Influência de diferentes estratégias de prova na recuperação fisiológica e no desempenho de ciclistas treinados

2. Pesquisador Responsável

Prof. Dr. Benedito Pereira

ANEXO II - Cópia do termo de consentimento informado fornecido a todos os atletas que participaram do estudo (continuação).

3. Cargo/Função
Professor Doutor

4. Avaliação do risco da pesquisa:
RISCO MÍNIMO ☒ RISCO BAIXO ☐ RISCO MÉDIO ☐ RISCO MAIOR ☐
(probabilidade de que o indivíduo sofra algum dano como consequência imediata ou tardia do estudo)

5. Duração da Pesquisa
O prazo estimado é junho de 2009 a junho de 2010.

III - EXPLICAÇÕES DO PESQUISADOR AO INDIVÍDUO OU SEU REPRESENTANTE LEGAL SOBRE A PESQUISA, DE FORMA CLARA E SIMPLES, CONSIGNANDO:

O protocolo que você está prestes a se submeter consistirá de testes simples, que causarão apenas desconforto leve e/ou fadiga momentânea, semelhantes às percepções obtidas no treinamento físico que você está habituado. Principalmente durante e após esforços físicos de máxima intensidade ou de intensidade submáxima e longa duração (superior a 30 minutos).

Os testes serão realizados utilizando sua bicicleta particular acondicionada a um ciclosimulador (“rolo”) e uma bicicleta ergométrica, dependendo da sessão experimental. Na primeira visita, será feita uma série de medidas antropométricas (massa corporal, estatura, composição corporal) e uma familiarização com o “rolo”. Nas demais sessões, em dias subseqüentes, serão realizados: (i) um teste máximo progressivo até a exaustão; (ii) quatro testes contra-relógio de 3 km; (iii) três testes de 20 km adotando ritmos de prova distintos; e (iv) teste para verificar a tolerância ao esforço na intensidade correspondente a frequência cardíaca máxima.

No teste de 20 km, você será orientado a desempenhar a tarefa mantendo a intensidade do exercício constante. Aproximadamente 48 a 72 horas após a conclusão desse procedimento, novamente desempenhará a tarefa sob condições similares, porém com uma intensidade distinta calculada a partir do teste anterior.

O teste de tolerância na intensidade correspondente a frequência cardíaca máxima consistirá no tempo que você é capaz de sustentar o exercício físico na máxima intensidade. Talvez esse índice possa ser empregado para predizer o desempenho em provas de longa duração, justificando desse modo sua investigação (FIGURA 1).

ANEXO II - Cópia do termo de consentimento informado fornecido a todos os atletas que participaram do estudo (continuação).

Figura 1. Descrição gráfica do protocolo experimental, sendo que a linha tracejada representa a maior intensidade de esforço. Portanto, serão desempenhados 6 testes máximos e 3 testes submáximos. Maiores informações consulte os pesquisadores ou o texto supraescrito.

Em todos os procedimentos serão coletadas amostras de sangue (aproximadamente duas gotas) do lóbulo da orelha para análise do lactato sanguíneo. Essa substância permitirá estimar a contribuição do metabolismo anaeróbio, ou seja, a produção de energia sem a participação do oxigênio. Também será registrada a frequência cardíaca, para classificar sua aptidão física e os efeitos do exercício físico sobre o sistema cardiovascular.

Ao final do protocolo experimental, que terá uma duração média de três semanas, você receberá um relatório contendo informações sobre alguns índices que auxiliarão na elaboração de seu programa de treinamento aeróbio. Especificamente esses incluem: a) indicativo da potência aeróbia máxima; b) frequência cardíaca máxima; c) segundo limiar metabólico, que em síntese descreve a intensidade a partir da qual a produção de energia sem a participação do oxigênio começa a aumentar gradativamente, causando desconforto muscular, elevação da respiração e fadiga; d) tempo, velocidade média e ritmo de prova durante o teste de 20 km.

Adicionalmente, forneceremos orientações sobre como esses índices podem ser empregados na prescrição e monitoramento do treinamento físico, sem nenhum ônus. Caso manifeste interesse, podemos elaborar um programa de treinamento físico até dois meses após a conclusão do projeto. Contudo, as reuniões organizadas para delinear esses programas de treinamento deverão ser agendadas com pelo menos 24 horas de antecedência, em comum acordo entre o pesquisador gerente e o sujeito.

O principal objetivo desse estudo será esclarecer algumas questões sobre como a manipulação do ritmo de prova pode influenciar no estresse fisiológico desencadeado pelo esforço físico de longa duração. Essa proposta é fomentada pela necessidade de aprimorar as técnicas e metodologias inerentes ao treinamento físico. Particularmente, esse trabalho poderá contribuir para elaboração de métodos

ANEXO II - Cópia do termo de consentimento informado fornecido a todos os atletas que participaram do estudo (continuação).

de treinamento que maximizem o desempenho e acarretem menor estresse fisiológico ao organismo, reduzindo o período de recuperação e os riscos inerentes ao esforço físico exacerbado (lesões e síndromes associadas ao treinamento excessivo).

IV - ESCLARECIMENTOS DADOS PELO PESQUISADOR SOBRE GARANTIAS DO SUJEITO DA PESQUISA:

Previamente ao início de qualquer procedimento experimental, você deverá receber o termo de consentimento, esclarecendo de forma verbal e escrita os benefícios e riscos inerentes à participação no estudo. No caso de intercorrências desencadeadas pela execução do protocolo experimental, você poderá usufruir da assistência médica do Hospital Universitário (HU) ou Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina (HCFMUSP) da Universidade de São Paulo, enquanto vigorar o estudo. O pesquisador gerente disponibilizará todos os seus contatos para que seja contatado em qualquer período do dia, caso sinta necessidade.

Adicionalmente, você poderá desistir dos procedimentos experimentais por qualquer motivo, sem comunicação prévia ou prejuízo de qualquer espécie. Isso implica que mesmo desistindo de participar do estudo, poderá acessar as informações obtidas até o momento da desistência.

As informações obtidas durante os procedimentos experimentais serão empregadas apenas para fins acadêmico-científicos. Em nenhum momento sua identidade será revelada. Apenas os pesquisadores terão acesso a essas informações, sob risco de processo caso seja constatado desrespeito desse regulamento.

V - INFORMAÇÕES DE NOMES, ENDEREÇOS E TELEFONES DOS RESPONSÁVEIS PELO ACOMPANHAMENTO DA PESQUISA, PARA CONTATO EM CASO DE INTERCORRÊNCIAS CLÍNICAS E REAÇÕES ADVERSAS.

Você poderá contatar em qualquer horário do dia o pesquisador gerente Eduardo Rumenig Souza, residente da Rua Ares, 04 – São Paulo – SP; CEP 04930-045; no telefone (11) 89006404 e email erumenig@usp.br ou ainda o pesquisador responsável Benedito Pereira, residente da Alameda Rubi, 236 – Vinhedo - SP; CEP: 13280-000; no telefone (019) 38262937 e email benepe@usp.br para esclarecimentos, intercorrências ou qualquer outro motivo que considere pertinente.

VI. - OBSERVAÇÕES COMPLEMENTARES

ANEXO II - Cópia do termo de consentimento informado fornecido a todos os atletas que participaram do estudo (continuação).

VII - CONSENTIMENTO PÓS-ESCLARECIDO

Declaro que, após convenientemente esclarecido pelo pesquisador e ter entendido o que me foi explicado, consinto em participar do presente Projeto de Pesquisa.

São Paulo, ____ de _____ de 20__.

assinatura do sujeito da pesquisa
ou responsável legal

assinatura do pesquisador
(carimbo ou nome legível)

INSTRUÇÕES PARA PREENCHIMENTO (Resolução Conselho Nacional de Saúde 196, de 10 outubro 1996)

1. Este termo conterá o registro das informações que o pesquisador fornecerá ao sujeito da pesquisa, em linguagem clara e acessível, evitando-se vocábulos técnicos não compatíveis com o grau de conhecimento do interlocutor.
2. A avaliação do grau de risco deve ser minuciosa, levando em conta qualquer possibilidade de intervenção e de dano à integridade física do sujeito da pesquisa.
3. O formulário poderá ser preenchido em letra de forma legível, datilografia ou meios eletrônicos.
4. Este termo deverá ser elaborado em duas vias, ficando uma via em poder do paciente ou seu representante legal e outra deverá ser juntada ao prontuário do paciente.
5. A via do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido submetida à análise do Comitê de Ética em Pesquisa - CEP deverá ser idêntica àquela que será fornecida ao sujeito da pesquisa.

ANEXO III - Digitalização da ficha do aluno, do planejamento individualizado aprovado e relatório de atividades acadêmicas.

Para uso da Comissão de Pós-Graduação				
Planejamento Individualizado analisado em reunião da CPG, realizada em <u>29/07/08</u> , sendo:				
☒ APROVADO ☐ APROVADO, com alteração. ☐ solicitada reformulações, retornando posteriormente para análise do colegiado				
Título	do	Projeto	de	Pesquisa apresentado:
<u>"Respostas cinéticas on e off cardíacas e variabilidade da frequência cardíaca: influência da aptidão física e do domínio de esforço"</u>
Presidente da CPG Prof. Dr. Valmor Alberto Augusto Tricoli Comissão de Pós Graduação - EEFPE - USP Presidente				