
Bacharelado em Educação Física

Julia Porto Federmann

**O efeito da modalidade prévia sobre a subsequente
em provas de triatlo: aspectos fisiológicos e
biomecânicos.**



Rio Claro
2008

Julia Porto Federmann

O efeito da modalidade prévia sobre a subsequente em provas de triatlo: aspectos fisiológicos e biomecânicos

Orientador: Camila Coelho Greco

Co-orientador: Jailton Gregório Pelarigo

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Biociências da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Câmpus de Rio Claro, para obtenção do grau de Bacharel em Educação Física.

Rio Claro
2008

796.077 Federmann, Julia Porto

F293e O efeito da modalidade prévia sobre a subsequente em
provas de triatlo : aspectos fisiológicos e biomecânicos /
Julia Porto Federmann. - Rio Claro: [s.n.], 2008
65 f. : il., tabs.

Trabalho de conclusão (bacharelado - Educação Física)
– Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de
Rio Claro

Orientador: Camila Coelho Greco

Co-orientador: Jailton Gregório Pelarigo

1. Esportes - Treinamento técnico. 2. Treinamento
concorrente. 3. Fadiga. I. Título.

AGRADECIMENTOS:

Agradeço a minha orientadora Camila Coelho Greco, pelo estímulo não só no trabalho como nos treinos, pela atenção, paciência, compreensão e amizade. Ao meu co-orientador Jailton Gregório Pelarigo, a todos aqueles que fizeram os dias em Rio Claro valer apenas! A toda a turma de Educação Física de 2005 mais em especial: Mo, Cy, Ro, Kat, Tijolo e Breno! A minha família e todos aqueles que contribuíram de maneira direta ou indireta na elaboração deste trabalho!

“Sucesso é a capacidade de vencer barreiras
que nem sabíamos que existiam.
Desafiadora é aquela pessoa que insiste
em ir em busca do sucesso”

O.A. Bertolletti

RESUMO

O triatlo é uma modalidade combinada envolvendo outras três modalidades de *endurance*: natação, ciclismo e corrida, o que torna as necessidades biomecânicas e fisiológicas da modalidade combinada diferente das demandas e adaptações sofridas por treinamentos realizados nas modalidades de forma isolada. A fadiga imposta pela modalidade prévia poderá ser determinante no bom desempenho do atleta nas modalidades subseqüentes e neste sentido é importante analisarmos não apenas a influência do ciclismo sobre a corrida onde existe maior semelhança entre as fibras musculares recrutadas predominantemente, como a influência da natação sobre as demais modalidades. Algumas estratégias podem ser adotadas afim de minimizar a perda de performance que uma modalidade irá exercer sobre a subseqüente relacionadas a especificidade do treinamento e geração de adaptações específicas, estratégias de ritmo de prova, possibilidade de utilização do vácuo durante o percurso de ciclismo e da esteira na natação, utilização de roupas de neoprene na natação e adaptações na geometria do quadro da bicicleta.

Palavras-Chaves: Triatlo, Fisiologia, Biomecânica, Fadiga, Treinamento.

SUMÁRIO:

1. INTRODUÇÃO.....	7
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	10
2.1. NATAÇÃO.....	10
2.1.1. A importância da modalidade no resultado final da competição: estratégias de ritmo.....	11
2.1.2. Posicionamento em relação a outros competidores.....	12
2.1.3. Benefícios da utilização da “esteira”.....	13
2.1.4. Utilização de roupas de borracha.....	14
2.1.5. Influência do percurso.....	16
2.2. CICLISMO.....	18
2.2.1. A importância da modalidade no resultado final da competição: estratégias de ritmo.....	19
2.2.2. Características do percurso.....	20
2.2.3. Posicionamento do atleta em relação à bicicleta.....	21
2.2.4. Possibilidade de utilização do vácuo: alterações biomecânicas e fisiológicas.....	24
2.2.5. Cadência.....	25
2.2.6. Influência do ritmo: constante x variável.....	27
2.3. CORRIDA.....	29
2.3.1. A importância da modalidade no resultado final da competição: estratégias de ritmo.....	30
2.3.2. Material esportivo.....	32
2.4. FADIGA MUSCULAR.....	34
2.4.1 Fadiga central.....	34
2.4.2. Fadiga periférica.....	36
2.4.3. Fadiga metabólica.....	37
2.5. INFLUENCIA DE UMA MODALIDADE SOBRE AS OUTRAS.....	42
2.5.1. Primeira transição: natação- ciclismo.....	42
2.5.2. Segunda transição: ciclismo-corrída	46
3. CONCLUSÃO.....	52
4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53

1. INTRODUÇÃO

O triatlo é um esporte que combina três modalidades de *endurance* (natação, ciclismo e corrida), e é realizado com competições de diferentes distâncias. Parte do rendimento neste esporte está relacionado a altas capacidades de consumir oxigênio, à resposta do lactato sanguíneo, a fração de utilizada de oxigênio e a economia de movimento, como também a forma de distribuição do ritmo nas diferentes modalidades. Da mesma forma, para que se tenha bons rendimentos, um bom nível de treinamento e habilidade nas três modalidades parece ser bastante importante.

O atleta deverá cumprir no menor tempo possível um percurso de natação, ciclismo e corrida sem que o cronômetro seja parado durante a transição de uma modalidade para a outra, o que faz com que estas transições tenham que ser executadas de maneira extremamente rápida para não influenciarem no resultado final da competição (FORTES; ANDRIES, 2006).

Apesar de envolver modalidades que são tradicionalmente disputadas de forma isolada, no triatlo o treinamento através de sessões combinadas parece ser um importante fator a ser considerado, como forma de diminuir a perda de rendimento nas transições. Por precisarem treinar três modalidades, o tempo de treinamento em cada modalidade isolada acaba sendo menor em relação ao tempo dedicado para a modalidade por atletas da modalidade isolada (ROALSTAD, 1989). Outra característica específica do triatlo são alguns equipamentos utilizados em cada etapa da competição. Alguns exemplos podem ser as roupas de borracha utilizadas durante o percurso de natação, os acessórios como o *clip*, utilizados durante o ciclismo, a diferença no ângulo do *seat tube* existente entre bicicletas de estrada e das utilizadas em competições de triatlo, entre outros.

Outro fator que irá exercer influência sobre o volume e a intensidade do treinamento será a distância da competição foca do atleta que dentro da modalidade é muito variável. As principais distâncias são a *Super Sprint* (350m de natação, 10km de ciclismo e 2,5km de corrida três vezes com intervalo de no mínimo 15 minutos e no máximo 20 minutos entre o fim de uma bateria e o início da próxima a partir da chegada do ultimo colocado), o *Short triatlo* (750m de natação, 20km de ciclismo e 5km de corrida), a distância olímpica (1,5km de natação, 40km de ciclismo e 10km de corrida), o *Ironman 70,3* (1,9km de natação, 90km de ciclismo e 21km de corrida), as provas de longa distância (2,5km de natação, 80km de ciclismo e 20km de corrida) o *Ironman* (3,8km de natação, 180km de ciclismo e 42km de

corrida), além de competições envolvendo diversas provas *Ironman* que são realizadas em mais de um dia, como o *Ultraman* e o *Deca Ironman*.

Apesar de o tempo que os atletas levam para cumprir estas distâncias ser pouco previsível e a comparação entre tempos obtidos em competições diferentes ser inviável, mesmo quando realizadas no mesmo local em função de fatores relacionados ao clima no local e hora da competição, das condições do percurso, é importante que se tenha uma base das durações aproximadas de cada competição no geral e de cada modalidade em separado. Este aspecto pode ser bastante importante para atender as demandas da prova, detecção de possíveis pontos fracos e elaboração de estratégia de prova.

A tabela 1 esquematiza as principais distâncias e durações das competições tendo como referência o tempo médio dos 10 primeiros colocados no principal campeonato mundial, realizado em 2007 (Realizadas em: Hamburgo 30/08/2007, Hamburgo 30/08/2007, Lorient 15/07/2007, Clearwater 10/11/2007, Hawai 13/10/2007).

Tabela 1. Principais distâncias e suas respectivas durações médias para ambos os gêneros (duração para o masculino / duração para o feminino) das competições de triatlo com base no tempo médio dos dez primeiros colocados no principal campeonato mundial da distância em 2007 (ITU, 2008).

	Distância			Duração			
	Natação	Ciclismo	Corrida	Natação	Ciclismo	Corrida	Final
Modalidade	(km)	(km)	(km)	(min)	(min)	(min)	(min)
Short	0,75	20	5	*9,0/10,0	*28,7/32,1	*15,7/17,2	*54,6/60,6
Olímpico	1,5	40	10	17,4 / 18,0	54,2 / 61,2	30,1 / 33,8	103,4/ 114,9
Longa							
Distância	2,5	80	20	37,8/ 40,9	108,9 / 125,1	67,8 / 79,1	217,2 / 248,6
Ironman							
70,3	1,9	90	21	23,4 / 26,6	123,6 / 137,7	74,5 / 84,8	226,1 / 254,2
Ironman	3,8	180	42	52,3/ 56,7	276,8 / 313,7	171,5 / 190,8	505,2 / 566,8

* Dados da categoria Júnior (20-24 anos).

As adaptações em função do treinamento são específicas ao modo de exercício utilizado. As transferências de adaptações cardiorrespiratórias são parciais e ocorrem principalmente entre o ciclismo e a corrida (CAPUTO E DENADAI, 2004), porém da natação para as outras modalidades esta transferência é praticamente inexistente (MILLET *et al.*, 2002). Isso faz com que a técnica ou economia de movimento (EM) dos triatletas bem como o consumo máximo de oxigênio ($VO_2\text{max}$) e o limiar de lactato (LL) (DIEFENTHAELER, 2007), fatores que são determinantes para um bom desempenho em provas de longa distância, sejam inferiores quando comparado aos valores de atletas exclusivos de uma das modalidades envolvidas (CAPUTO; DENADAI, 2004).

A maior semelhança existente no que se refere à demanda muscular entre o ciclismo e a corrida, um aspecto que explica parte da influência negativa que pode ocorrer na etapa da corrida. Diversos estudos já vêm analisando o efeito negativo sobre a *performance* que o ciclismo pode representar para a *performance* de corrida subsequente (MILLET *et al.*, 2000). Embora menos trabalhos analisem a influência da natação sobre o ciclismo, algumas evidências já indicam a possibilidade da fadiga proveniente do percurso de natação influenciar o desempenho nas etapas posteriores da competição, principalmente em competições mais curtas onde a intensidade em que a natação é realizada é maior em relação à praticada em provas de longa duração (DELESTRAT *et al.*, 2003).

Estes fatores não impedem que triatletas treinem juntamente com atletas de cada uma das três modalidades envolvidas no triatlo, porém existe a necessidade da formação de profissionais que não sejam especialistas em uma das modalidades, mas que saibam transitar pelas três, e que percam menos eficiência de uma etapa para a outra.

A crescente popularização do esporte, principalmente entre os amadores após o *Ironman* de 1982 quando o mundo todo acompanhou o sofrimento de Julie Moss para cruzar a linha de chegada perdendo a primeira colocação para Kathleen McCartney, mas sendo considerada uma vencedora por ter superado seus limites e recentemente, após o triatlo ter se tornado um esporte olímpico, torna crescente as demandas no mercado por profissionais que tenham conhecimento relacionado à prescrição do treinamento especificamente para o triatlo.

Neste sentido o objetivo deste trabalho foi detectar as diferenças entre as modalidades isoladas e as mesmas modalidades desenvolvidas de maneira combinada no triatlo, fornecendo informações para a elaboração de um programa de treinamento específico para a modalidade.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. NATAÇÃO

Diferentemente das outras modalidades envolvidas no triatlo a natação é realizada em meio líquido o que faz com que o atleta tenha que vencer a resistência da água ao invés da resistência do ar para se locomover, além da existência de um grande dispêndio de energia para a locomoção de uma massa de água, o que não ocorre em esportes terrestres, já que nestes a força propulsiva é aplicada ao solo que por sua vez não se movimenta (CAPUTO *et al.*, 2006). Isto que torna o deslocamento em meio aquático muito mais lento quando comparado aos deslocamentos terrestres como é o caso das demais modalidades envolvidas no triatlo.

Apesar de ser a modalidade em que os atletas se deslocam em velocidades mais lentas, a etapa da natação costuma representar percentuais menores em relação ao tempo total de prova quando comparado ao tempo gasto nas demais modalidades envolvidas (ciclismo e corrida), sendo gastos para cumprir o percurso de natação em média 18% do tempo total nas provas mais curtas e 10% nas provas mais longas (DELESTRAT *et al.*, 2003). Isso acontece devido à pequena distância destinada ao percurso de natação em relação ao ciclismo ou a corrida.

No entanto, mesmo tendo uma duração curta em relação à duração total da prova, as particularidades da natação fazem com que o aspecto da técnica seja bastante enfatizado no treinamento, para melhorar a eficiência propulsiva do atleta. Um dos aspectos bastante importantes neste treinamento é a aquisição de uma posição mais hidrodinâmica sendo capaz de combinar o melhor alinhamento horizontal e a menor superfície de resistência frontal a máxima eficiência propulsiva. Isso resultara em uma melhor resultante das forças aplicadas à água a fim de obter um menor gasto energético ao deslocar-se a uma dada velocidade ou um aumento da velocidade nado, ou seja, uma melhor EM.

Quanto ao perfil físico, os atletas que costumam ser bem sucedidos nesta etapa da competição são os mais altos, já que estes possuem os membros maiores o que lhes permite uma maior superfície de contato para exercer força propulsiva, possibilitando uma diminuição na frequência de braçadas o que resulta em um menor gasto energético (GARRETT; KIRKENDALL, 2003). Na etapa de natação, um valor de percentual de gordura um pouco maior, parece representar prejuízos menores à *performance* em relação ao prejuízo nas demais modalidades (STAGER; CORDAIN, 1984), já que nesta etapa a gordura poderá auxiliar na fluidez do atleta.

As influências do desempenho na etapa de natação não estão ligadas apenas a alterações fisiológicas que possam prejudicar o ciclismo, decorrentes da falta de habilidade ao cumprir o percurso, mas também a aspectos táticos relacionados ao posicionamento na água e também no início da etapa de ciclismo, o que se torna ainda mais importante em competições onde o vácuo é permitido nesta etapa.

2.2.1. A importância da modalidade no resultado final da competição: estratégias de ritmo.

Estudos menos recentes, anteriores à liberação do vácuo no percurso de ciclismo e investigando provas mais longas onde o vácuo também não é permitido, que analisaram a importância de cada modalidade no desempenho final da competição verificaram uma baixa correlação entre o desempenho nesta modalidade e o resultado final obtido na competição como um todo (DANGEL *et al.*, 1989; SLEVERT *et al.*, 1993; KNECHTLE *et al.*, 2007). A partir de 1995, quando o vácuo na etapa de ciclismo foi liberado pela primeira vez em competições com a distância olímpica (MILLET; BENTLEY; VLECK, 2007), maior importância foi dada por parte da comunidade científica a competições envolvendo a distância olímpica e com o vácuo permitido. Como exemplo disto, Landers *et al.* (2008) sugerem que pode ser interessante se obter um bom rendimento na etapa de natação para o resultado final da prova quando o vácuo é liberado durante a etapa de ciclismo.

Esta maior importância se daria pelo fato de esta etapa preceder a etapa de corrida e ao pedalam juntos os atletas conseguirem uma economia de energia de aproximadamente 30% (FARIA, 1992) fazendo com que o primeiro grupo de atletas a deixarem a água trabalhem juntos para que outros não possam os alcançar.

Sendo assim, o bom nadador mesmo que não seja um bom ciclista conseguiria se manter entre os líderes e resolver a competição na etapa de corrida (VLECK *et al.*, 2007) o que não ocorre com os indivíduos que não têm bons rendimentos na natação, que fazem uma etapa de ciclismo forte para alcançar o primeiro grupo de atletas, porém acabam esta etapa sob maior nível de fadiga o que poderá comprometer o desempenho na etapa de corrida (VLECK *et al.*, 2007).

Segundo Vleck, Burgi e Bentley (2005), esta diferença entre o primeiro grupo de atletas a deixarem o percurso de natação e iniciar a etapa de ciclismo e os demais atletas envolvidos na competição é estabelecida logo nos primeiros 400m do percurso de natação o que permite que estes atletas cruzem a primeira bóia que delimita o percurso de natação mais rapidamente e sem ter que disputar espaço com os demais competidores.

O atleta poderia ainda ganhar alguns segundos entrando na área de transição antes da maior parte dos competidores, portanto, o menor número de atletas na área de transição proporcionaria mais espaço para realizar a troca de material esportivo o que tornaria esta troca mais rápida.

A possibilidade de formação de grupos não é o único aspecto que pode influenciar a tática de variação de ritmo para a etapa de natação. É preciso levar em consideração as características do percurso e do atleta em relação aos demais envolvidos na competição.

Em grupos bastante heterogêneos como é o caso de triatletas amadores, o bom desempenho na etapa de natação pode ser ainda mais importante para o bom desempenho geral já que estar entre o primeiro grupo de atletas pode permitir ao indivíduo pedalar com um grupo que apresente uma velocidade maior durante a etapa de ciclismo.

2.1.2. Posicionamento em relação a outros competidores

Os benefícios de se posicionar bem durante a etapa de natação estão relacionados a nadar a frente do grande grupo de atletas envolvidos na competição, já que não existe um espaço determinado para cada atleta, como é o caso do espaço delimitado pelas raias nas provas de natação que ocorrem nas piscinas, o que faz com que haja uma disputa por espaço entre o grande grupo de atletas gerando atrito entre eles, o que pode levar à perda de *performance*.

Não se sabe ao certo até que ponto o desempenho do atleta é prejudicado pela situação ou quais as mudanças fisiológicas decorrentes do atrito entre atletas, porém este aspecto ainda deverá permanecer sem ser estudado devido à dificuldade de se reproduzir a situação sem infringir os aspectos da ética.

Na tentativa de nadar à frente do grande grupo de atletas, bons nadadores no triatlo costumam nadar os primeiros 400m da prova mais rápido, e para conseguir isso mantêm 6 pernadas por ciclo de braçada (BENTLEY *et al.*, 2002). Vleck *et al.* (2005) verificaram uma forte correlação entre o desempenho nos primeiros 400m de natação em uma competição na distância olímpica onde o vácuo era permitido e o resultado final da competição.

Embora estudos demonstrem que para locomover-se na água a uma mesma velocidade a pernada representa um custo energético significativamente maior se comparada à mesma velocidade percorrida apenas com a braçada, o maior gasto energético no início da etapa de natação parece ser compensado em função do aumento da velocidade de nado, fazendo com que o atleta consiga nadar à frente do grupo de atletas diminuindo a disputa por espaço e conseqüentemente o atrito com os demais atletas envolvidos na competição.

Após esta fase inicial, os atletas costumam adotar 2 pernadas por ciclo de braçada (BENTLEY *et al.*, 2002), tal estratégia pode ser uma tentativa não apenas de poupar energia como também de utilizar menos a musculatura de membros inferiores já que esta será requisitada predominantemente ao decorrer das próximas modalidades, no entanto não foram encontrados estudos que analisem a influência da frequência de pernada na natação sobre o ciclismo.

2.1.3. Benefícios da utilização da “esteira”

A característica do triatlo de não ter um espaço determinado para cada indivíduo não apresenta apenas influências negativas sobre o desempenho do atleta, pois pode haver uma influência positiva quando o atleta consegue nadar imediatamente atrás ou ao lado de outro nadador o que resulta numa diminuição do arrasto passivo acarretando um menor gasto energético para se deslocar a uma mesma velocidade.

Estudos demonstraram uma melhora de 3,2% no tempo final de 400m dos triatletas (CHATARD *et al.*, 1998) com diminuição da concentração sanguínea de lactato e aumento do comprimento de braçada (CHATARD *et al.*, 1998, CHOLLET *et al.*, 2000), com a utilização da esteira. Chatard *et al.* (1998) verificaram ainda uma diminuição na frequência de braçada o que não foi observado no outro estudo. Basset *et al.* (1991) verificaram ainda diminuição significativa no consumo de oxigênio (VO_2). Estes benefícios parecem ser diferentes em atletas que apresentam diferentes níveis de *performance*, e em diferentes velocidades, promovendo benefícios maiores em velocidades maiores o que pode acarretar benefícios diferentes nas diversas distâncias do triatlo e nos níveis de habilidade em executar a técnica.

Para se entender os benefícios da esteira, é importante que estes sejam analisados nas condições o mais próxima possíveis daquela vividas por atleta em situações reais de competição. No estudo de Ribeiro *et al.* (2001), os autores verificaram uma diminuição significativa ($3,95 \pm 0,33$ vs. $2,10 \pm 0,21$ mM) na concentração de lactato sanguíneo quando os atletas nadaram 800m sozinhos em relação à situação onde nadaram na esteira em velocidade correspondente ao limiar anaeróbio, uma velocidade muito próxima à praticada em competições de *short* triatlo (DENADAI; BALIKIAN, 1995).

Quanto a habilidade em executar a técnica Chatard e Wilson (2003) ao comparar os benefícios do vácuo quando o atleta nadava a 50cm, 100cm, 150cm do líder e 40cm na lateral do líder, mostraram maiores benefícios quando o atleta se posicionava a 50 cm do líder em relação às demais posições. Millet *et al.* (2000) ao analisarem a possibilidade de influência da turbulência gerada pela pernada sobre o vácuo não encontraram diferenças quando os atletas

nadaram atrás de um nadador que executava 6 pernadas por ciclo de braçada quando comparado a um nadador que executava 2 pernadas por ciclo de braçada.

Apesar de não terem sido observadas relações entre o desempenho e o aumento da turbulência gerada pelo maior número de pernada dos atletas não se sabe qual pode ser a influência de turbulências maiores que podem ocorrer em águas abertas sobre a *performance*. Existem evidências de que o nado possa ser prejudicado pelo aumento a turbulência na água, porém em provas realizadas no mar os atletas geralmente também conseguem obter benefícios utilizando as ondas ao voltarem em direção à praia. Existe também a possibilidade da existência de correntes de água ao longo do percurso podendo ajudar (quando estão a favor da direção em que os atletas estão nadando) ou prejudicar (quando estão contra a direção em que os atletas se deslocam) o desempenho do atleta.

2.1.4. Utilização de roupas de borracha

Outro aspecto que parece diminuir o dispêndio de energia durante o percurso de natação é a possibilidade de uso da roupa de borracha. A natação do triatlo é realizada em águas abertas (rios, lagos e mar) onde não somos capazes de controlar a temperatura, portanto a ITU (união internacional de triatlo) estabelece que em temperaturas abaixo de 22 graus é permitido o uso de roupas de borracha, sendo o uso da mesma obrigatório quando a temperatura da água for inferior a 16 graus e a distância da prova for entre 3000m e 4000m ou a temperatura da água for inferior a 15 graus e a distância da prova for entre 2000m e 3000m ou ainda quando a temperatura da água for inferior a 14 graus em distâncias inferiores a 2000m, devendo a etapa de natação ser suspensa caso a temperatura da água seja inferior a 13 graus (DALLAN *et al.*, 2005).

Além da função de aquecimento, protegendo o atleta contra a hipotermia principalmente nas provas mais longas onde o tempo de exposição à água, onde se perde calor mais rapidamente, é maior, aumentando o risco de hipotermia, vários estudos mostraram que a tecnologia que esta por traz das roupas de borracha desenvolvidas para a modalidade faz com que a *performance* dos atletas seja aumentada com o uso da roupa (CHATARD *et al.*, 1995; HUE *et al.*, 2003; LOWDON *et al.*, 1992; DE LUCAS *et al.*, 2000) devido ao aumento da flutuabilidade e da melhora do alinhamento horizontal do atleta (BENTLEY *et al.*, 2002).

Em outras palavras, a roupa de borracha proporciona ao atleta uma melhora na *performance* sem promover alterações fisiológicas, o que é possível através de uma melhora da eficiência propulsiva relacionada a ganhos de flutuabilidade e redução do arrasto

(TOMICAWA; NOMURA, 2007) o que se dá pela alteração da superfície que está em contato com a água e pela melhora do alinhamento horizontal.

Esta melhora no alinhamento horizontal proporcionada pela roupa, com conseqüente diminuição da força oferecida pela água contrária ao deslocamento do atleta, torna as melhoras na *performance* provenientes da utilização de roupas de borracha maiores em atletas menos habilidosos. Chatard *et al.* (1995) ao compararem os benefícios da utilização de roupas de borracha na *performance* de 400m de nadadores e triatletas verificaram para os nadadores apenas uma diminuição no VO_2 e na concentração de lactato sanguíneo enquanto para os triatletas houve também redução no tempo final despendido para nadar os 400m e aumento na frequência de braçada.

Devido ao aumento da flutuabilidade proporcionado pelo equipamento, os benefícios proporcionados pelo uso da roupa de borracha são maiores em atletas que possuem um menor percentual de gordura corporal já que o tecido adiposo possui densidade menor e o tecido muscular apresenta densidade maior em relação à densidade da água, atletas com menor percentual de gordura tem mais dificuldade em flutuar em relação aos que tem maior percentual de gordura e por isso são mais beneficiados pelo uso da roupa de borracha (CORDAIN; KOPRIVA, 1991).

Quanto a alterações biomecânicas provenientes da roupa de borracha, Hue *et al.* (2003) verificaram melhora no índice de braçada e uma diminuição na fase de puxada ao comparar a biomecânica de nado com e sem roupa de borracha a uma velocidade igual a que os atletas mantinham nos 800m. Este aumento no comprimento de braçada pode ser explicado não apenas pela posição mais horizontal adquirida pelo atleta na água como também por uma maior extensão dos cotovelos proporcionada pela roupa (PERRIER, 2004).

Agindo proporcionando uma melhora sobre o alinhamento horizontal do atleta, e em alguns casos aumentando a superfície frontal de resistência do atleta devido a restrições na flexibilidade da articulação do ombro, as roupas de borracha promovem benefícios maiores em atletas que apresentam menores níveis de habilidade técnica, o que ficou evidente no trabalho de Chatard *et al.* (1995) que compararam os benefícios da utilização da roupa de borracha em nadadores e triatletas observando maiores benefícios no grupo de triatletas em relação ao grupo de nadadores. Incluir um trecho aqui que fale que o efeito da roupa é maior nos nadadores menos habilidosos.

Ao comparar o mesmo atleta se deslocando em diferentes velocidades, Toussaint *et al.* (1989) verificaram reduções nos benefícios provenientes do uso da roupa com o aumento da velocidade de nado, de maneira complementar, mostrando que as diferenças entre os

percentuais de ganho de desempenho que ocorrem entre os vários estudos avaliando os benefícios da utilização da roupa de borracha (3,2%, CORDAIN; KOPRIVA, 1991 e 10%, LOWDON *et al.*, 1992) são decorrentes dos diferentes níveis de habilidade técnica dos nadadores envolvidos, e não de diferenças proporcionadas pelas alterações de velocidade de nado (1,41m/s vs 0,93m/s).

Isso se torna importante na medida em que nas mais variadas distâncias envolvidas na natação do triatlo as velocidades de nado são diferentes porem os benefícios proporcionados pela utilização da roupa de borracha parecem ser menores para um mesmo nadador que se desloca em velocidades maiores.

Tomikawa *et al.* (2008) ao comparar o custo energético da natação nas velocidades correspondentes a 60 e 80% do $VO_2\text{max}$ quando os atletas não utilizavam a roupa, verificaram uma redução de 14% no custo energético entre as situações com roupa de borracha e com roupa de natação quando os atletas se deslocavam a uma velocidade correspondente a 60% do $VO_2\text{max}$, já quando esta velocidade foi aumentada para a velocidade correspondente a 80% do $VO_2\text{max}$ estes benefícios se reduziram a 7,5%.

Cientes de todos estes benefícios para o rendimento atletas se utilizam da roupa mesmo quando a água esta relativamente quente e a temperatura externa e a umidade relativa do ar estão elevadas. Kerr *et al.* (1998) não verificaram influência de nadar com ou sem roupa de borracha sobre o ciclismo e a corrida quando a temperatura da água era de 25,4° C e a temperatura externa de 32° e a umidade relativa do ar a 65%.

2.1.5. Influência do percurso

Outro fator que diferencia a natação do triatlo, das provas de natação convencionais está relacionado ao percurso. Enquanto nas piscinas os atletas vão e voltam várias vezes até cumprir a distância estabelecida para a prova, tendo as raias e uma faixa de azulejo de cor diferenciada para se orientar, no triatlo o percurso é demarcado por bóias e surge a necessidade de que o atleta tenha um bom senso de navegação. A orientação na água é feita através de respirações frontais onde o atleta visualiza a bóia ou outros pontos da paisagem que possa tomar como ponto de referencia (DALLAN *et al.*, 2005). Atletas amadores também utilizam o nado peito para se localizar optando pela facilidade em função da respiração frontal em detrimento da melhor eficiência propulsiva proporcionada pelo crawl.

Além disso, esta diferenciação do percurso faz com que no triatlo, durante o percurso de natação, os atletas não executem as chamadas viradas olímpicas e não tenham a oportunidade de impulsionar-se através da parede. Em nadadores de elite, as viradas parecem

melhorar o tempo gasto para percorrer uma determinada distância, basta comparar os recordes mundiais em piscinas longas (50m) com os de piscina curta (25m) onde são realizadas mais viradas para cumprir a mesma distancia e verificar que os recordes de piscinas curtas são mais baixos. Porem não se pode afirmar que a ausência de viradas torna o tempo necessário para cumprir o percurso de natação maior no caso de triatletas, pois não se sabe se estes apresentam o mesmo nível de habilidade técnica para realizar as viradas que os nadadores.

Ao tornar-se um esporte olímpico, surgiu também a necessidade de tornar o triatlo um esporte rentável e para tanto atraente ao público. Isto vem eliminando a tendência de realizar a prova em apenas uma volta contendo toda a distância estabelecida para a prova, pois sendo realizada em mais voltas o público pode acompanhar melhor a passagem dos atletas por um determinado ponto ou pela praia no caso do percurso de natação.

Normalmente o percurso de natação é realizado em 2 voltas sendo que o atleta se levanta e executa uma pequena corrida para contornar uma bóia que está fora da água. Empiricamente é notável que a frequência cardíaca do atleta neste momento sofre um aumento havendo também plausibilidade científica para a ocorrência de tal fato devido a alterações fisiológicas pressóricas (FIND YOURSELF, 2008) já que o atleta vinha se deslocando com o corpo na horizontal e portanto, não tinha de vencer a força da gravidade para impulsionar o sangue para a cabeça e membros superiores e agora se desloca na posição vertical.

Como no percurso de natação os músculos dos membros inferiores tão sendo predominantemente ativados, e por isso o fluxo sanguíneo é maior nesta região. Ao deixar a água correndo a musculatura dos membros inferiores precisará ser irrigada o que faz com que alguns técnicos aconselhem seus atletas a aumentar a frequência de pernada ao final do percurso de natação a fim de proporcionar um aumento gradual do fluxo sanguíneo nos membros inferiores e possibilitar que o atleta consiga impor maior velocidade na corrida (FERRARO, 2008)

O mesmo aumento de frequência cardíaca deverá ocorrer quando o atleta deixar a água e executar sua corrida para pegar seu equipamento e iniciar o percurso de ciclismo, portanto estudos são necessários a fim de definir quais as alterações fisiológicas que ocorrem neste momento bem como orientar o desenvolvimento de treinamentos visando diminuir o desconforto sentido pelos atletas neste momento.

2.2. CICLISMO

O ciclismo é a modalidade do triatlo que exige o maior percentual de tempo para ser cumprida, representando em média 52% das provas mais curtas e 56% das provas mais longas (DELESTRAT *et al.*, 2003) fator que, atrelado à grande possibilidade da fadiga proveniente desta etapa influenciar negativamente o desempenho na modalidade seguinte dada à semelhança de grupos musculares predominantemente ativados na etapa de corrida. Portanto, o ciclismo tem uma grande importância quando se deseja obter um bom desempenho no triatlo como um todo, o que torna os treinos de ciclismo mais longos em relação aos demais devido à necessidade de especificidade do treinamento.

Apesar do maior volume de treinamento, assim como acontece na natação, triatletas não apresentam adaptações apresentadas por ciclistas experientes, apresentando pior controle dos músculos recrutados, principalmente em cadências mais altas o que pode ser resultado da influência do treinamento de uma modalidade sobre a aprendizagem da outra (CHAPMAN, 2007). Além deste aspecto, as respostas cardiorrespiratórias de triatletas são proporcionalmente inferiores às de ciclistas treinados (CAPUTO; DENADAI, 2004), em parte pela carga total de treinamento, já que os triatletas têm que distribuir a carga total de treinamento em três modalidades.

Desde o surgimento da primeira máquina que se assemelhava a uma bicicleta (a “máquina de andar”) em 1817 (ROLDAN, 2000) aos tempos atuais, muitos estudos foram feitos e a tecnologia evoluiu muito tanto no sentido de empregar materiais mais leves e resistentes na construção destas máquinas quanto no sentido de adaptar o formato ao objetivo para o qual a bicicleta será utilizada, seja conforto, *performance* em trilhas, *performance* em estrada, com ou sem a possibilidade de utilização do vácuo, tornando a bicicleta cada vez mais específica para o objetivo que será utilizada, a ponto da bicicleta utilizada em provas de triatlo ser diferente das demais.

Este nível de especificidade atingido na construção das bicicletas torna-se importante na medida em que a técnica de pedalada está relacionada à intensidade do exercício (ZAMEZIATI *et al.*, 2006), ao nível de fadiga do atleta (AMOROSO; SANDERSON, 1993) e aos ajustes na bicicleta na tentativa de promover uma interação ideal entre aspectos mecânicos do corpo humano e do equipamento para atingir o melhor rendimento possível o que no caso do triatlo está bastante relacionado à aquisição de uma posição mais aerodinâmica, principalmente quando o vácuo não é permitido.

Segundo MOSS *et al.* (2005), a força que oferece resistência ao movimento no ciclismo depende: da massa do ciclista (relacionada com a ação da gravidade) que por sua vez está relacionada à geografia do percurso, e a área frontal que oferece resistência ao movimento (relacionada à resistência do ar) que por sua vez depende da altura do ciclista, da distância entre os ombros, do ângulo do tronco em relação a uma superfície horizontal e o ângulo do *seat tube*. Desta forma, com o avanço da tecnologia, as bicicletas de triatlo atuais são projetadas de forma a proporcionar uma posição aerodinâmica para o atleta.

2.2.1. A importância da modalidade no resultado final da competição: estratégias de ritmo

O ciclismo, que é a modalidade que ocupa maiores percentuais do tempo total despendido na competição entre as três modalidades, além de ser a maneira mais rápida de deslocamento durante a prova, representava grande importância no desempenho final do atleta quando o vácuo não era permitido, e ainda continua sendo em provas de longa distância nas quais o vácuo permanece não sendo permitido.

Já com a permissão da utilização do vácuo nesta etapa da competição, a importância do rendimento na modalidade foi bastante reduzida, com os atletas adotando estratégias que lhes permitam poupar energia para que a etapa de ciclismo exerça a menor influência possível sobre o desempenho na etapa de corrida.

Vleck, Bürgi e Bentley (2004) verificaram em um grupo de 24 atletas, que aqueles que obtiveram os 12 melhores finais de prova, apresentaram um tempo despendido durante a etapa de ciclismo superior ao tempo gasto pelos atletas que obtiveram os 12 piores tempos finais de prova. Esta diferença foi observada devido à maior velocidade dos atletas que obtiveram *performance* pior ao final das três modalidades principalmente nos 13,4km iniciais da etapa de ciclismo.

Tal fato foi justificado pelos autores em função dos 12 atletas com maior tempo final de prova no geral, obtiveram um pior desempenho na etapa de natação e, portanto, tentaram alcançar o grupo dos líderes pedalando mais rápido durante os primeiros quilômetros da etapa de ciclismo. Porém, o preço pago por esta quebra de ritmo na etapa de ciclismo pôde ser observado através da perda de desempenho durante a etapa de corrida.

Outro aspecto interessante para a elaboração de uma estratégia para a adoção do ritmo ou quebra de ritmo ao decorrer do percurso de ciclismo está relacionada ao percurso, sendo considerados pontos interessantes para a quebra de ritmo: subidas mais íngremes e curvas, o que deve ser estudado por atletas e técnicos afim de definir a melhor estratégia para o atleta

em específico, levando em conta características do percurso e dos demais atletas envolvidos na competição.

Embora alguns trabalhos demonstrem que adotar baixas cadências no final da etapa de ciclismo e permitir uma recuperação para a etapa de corrida (BENTLEY *et al.*, 2007), pode ser interessante terminar a etapa de ciclismo à frente do primeiro grupo de atletas, dependendo das características individuais do atleta, para se obter um bom desempenho na etapa de corrida. Até os atletas que apresentem uma boa *performance* na etapa de corrida podem ser beneficiados através de uma passagem pela área de transição com a presença de menos atletas, permitindo maior rapidez devido ao fato do atleta não precisar desviar dos demais competidores que estejam realizando a troca de materiais esportivos (LANDERS *et al.*, 2008).

Atletas que não apresentem um bom desempenho na etapa de corrida podem obter benefícios fazendo o final da etapa de corrida mais rápido em relação ao pelotão, pois apesar de não permitir esta recuperação para iniciar a etapa de corrida, esta estratégia permitiria ao atleta abrir uma distância considerável dos demais competidores que impossibilitaria a recuperação dos demais atletas, resolvendo a competição na etapa de ciclismo, já que se ele aguardasse para ser resolvido durante a etapa de corrida teria grandes chances de insucesso.

Já para o atleta que deseje passar pela área de transição sem a presença dos demais competidores, estar bem posicionado no primeiro pelotão é suficiente, permitindo que o atleta realize o final do percurso de ciclismo mais leve e permita uma recuperação para fazer uma boa corrida.

2.2.2. Características do percurso

Quanto à relação entre massa do ciclista e geografia do percurso, Lucia *et al.* (2001) demonstraram que a massa de ciclistas especialistas em escalada de montanhas é inferior a de ciclistas especialistas em percursos mais planos. Tal resultado pode ser explicado devido à menor influência da ação da força da gravidade em percursos mais planos em relação a percursos que apresentem mais subidas onde o atleta devera “carregar” seu peso ao topo da subida.

Em geral ciclistas mais leves se dão melhor em percursos com mais subidas e com a possibilidade de utilização do vácuo o que é uma tendência atual dentro do triatlo principalmente após ter se tornado um esporte olímpico, com a liberação do vácuo devido a dificuldades em controlá-lo ao longo de todo o percurso. Porém, apesar de vir apresentando uma tendência a ser realizado em várias voltas tornando-se mais atraente ao público, o percurso ainda representa uma área bastante extensa para ser fiscalizada pelos dirigentes da

prova e a inclusão de subidas e percursos mais técnicos afim de valorizar o bom ciclista e diminuir o número de ciclistas andando junto em um mesmo pelotão e com isso os riscos de acidentes.

As subidas no percurso de ciclismo, assim como curvas, representam uma boa oportunidade ao atleta para aumentar o ritmo e tentar se distanciar do restante dos atletas envolvidos na competição.

Por outro lado, ciclistas mais pesados se dão melhor em percursos mais planos como geralmente ocorria antigamente quando a maioria das provas não liberava a utilização do vácuo no percurso de ciclismo, em percursos planos, estima-se que apenas 10% ou menos da resistência ao movimento seja imposta pela ação da gravidade, sendo 80 a 90% da resistência imposta pela resistência do ar (FARIA, 1992).

Desde que bem posicionados em relação à bicicleta o que vem sendo realizado através de uma técnica chamada BIKE FIT, o atleta mesmo apresentando uma maior estatura apresenta apenas um pequeno aumento na superfície frontal que está em contato com o ar exercendo resistência ao movimento e uma massa muscular maior. Portanto uma maior capacidade de gerar potência o que os torna mais eficientes em relação a atletas menores neste tipo de percurso (GARRETT; KIRKENDALL, 2003).

De qualquer maneira o técnico de triatlo interessado em detectar talentos para a modalidade ou visando melhorar o desempenho de seu atleta em uma determinada competição não deverá levar em conta o aspecto peso apenas sobre o percurso de ciclismo como também sobre a corrida subsequente, sendo necessária uma relação ideal, pensando nas três modalidades envolvidas, entre as variáveis peso e potência.

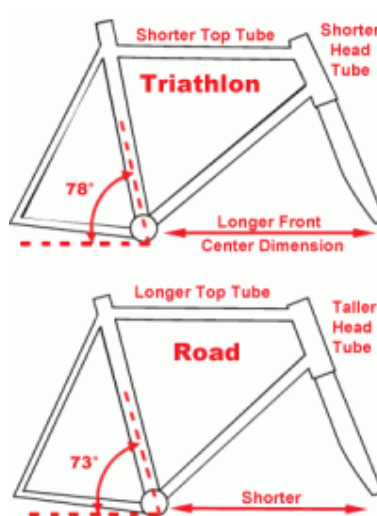
2.2.3. Posicionamento do atleta em relação à bicicleta

Quanto à área frontal que oferece resistência ao movimento, as bicicletas de triatlo estão equipadas com clips- suportes posicionados a cima do guidon, nos quais o atleta apóia os antebraços fechados diminuindo o ângulo do tronco e consequentemente a superfície corporal de contato com o vento que oferece resistência ao movimento tanto no sentido vertical (promovendo uma posição mais horizontal do tronco) quanto horizontal (através da adução dos ombros) proporcionando menor resistência ao movimento (KYLE, 1989).

Em princípio, sugeriu-se que as alterações biomecânicas decorrentes da utilização de clips promoveria alterações na mecânica ventilatória portanto, para compensar as mudanças de posicionamento que ocorrem com a instalação dos clips nas bicicletas de triatlo o ângulo do *seat tube* – ângulo que determina o posicionamento do selim em relação ao eixo dos

pedais- é aumentado para valores superiores a 76° enquanto nas bicicletas tradicionais de estrada este ângulo fica entre 70° e 76° (BURKE, 1994) (figura 1), fazendo com que o atleta esteja sentado mais em cima do eixo dos pedais enquanto ciclistas estão sentados mais para traz em relação ao eixo dos pedais o que aumenta o ângulo formado entre as coxas e o tronco minimizando a contração do diafragma que ocorreria em decorrência da maior horizontalidade do tronco proporcionada pelo clip (SHERMAN, 2005).

Figura 1: comparação entre os quadros de bicicletas tradicionais de estrada e as bicicletas utilizadas em competições de triatlo.



Fonte: (SHERMAN, 2005).

Desta maneira alguns estudos laboratoriais, onde o atleta realiza ciclismo de forma estacionária, não vêm demonstrando influências da utilização do clip no consumo de oxigênio e consequentemente na mecânica ventilatória (JOHNSON *et al.*, 1990, BERRY *et al.*, 1994) enquanto outros mostram perdas que seriam compensadas caso o ciclista estivesse em movimento (GNEHM *et al.*, 1997). Porém, testes realizados com o ciclista em movimento e portanto, em condições mais próximas às vividas pelos atletas em condições de prova vêm mostrando os possíveis benefícios da utilização dos clips (SHEEL *et al.*, 1996).

As perdas em termos de economia energética proporcionadas pela utilização do clip observadas em estudos onde o atleta pedala de maneira estacionária, podem estar relacionadas ao grau de inclinação do tronco assumido pelo ciclista. Heil *et al.* (1997) mostraram através de estudos eletromiográficos, que dentre as posições de -5° , 0° e 5° em relação à superfície do solo, a posição de -5° apesar de ser a mais aerodinâmica proporciona maior ativação dos

músculos deltóide anterior, deltóide posterior e tríceps braquial o que pode ocasionar um maior consumo de oxigênio em relação às outras duas posições.

De maneira geral, triatletas costumam adotar o ângulo do tronco em relação à superfície horizontal paralela ao solo entre 10 e 20°, com a tendência de ângulos maiores principalmente em provas mais longas. O ângulo adotado é aquele que permite ao ciclista a melhor combinação entre conforto (proporcionado por ângulos maiores) e aerodinâmica.

A adoção de clips altera o ângulo do *seat tube* que por sua vez também promove alterações no ciclismo. Estudos demonstraram menores frequências cardíacas com ângulos de *seat tube* maiores (HEIL, 1995), provavelmente por uma posição mais horizontal assumida pelo tronco proporcionando menor esforço ao coração para que o sangue chegue à cabeça e membros superiores, já que este não tem que vencer a força da gravidade.

Outro estudo mostrou menores valores de consumo de oxigênio quando o ângulo do *seat tube* era mais próximo daquele utilizado pelos atletas durante os treinamentos para uma mesma potência empregada na pedalada, não havendo relação entre o consumo de oxigênio e ângulos maiores ou menores de *seat tube*, mas sim entre as adaptações proporcionadas pelo treinamento (HEIL, 1997).

O aumento do ângulo do *seat tube* parece proporcionar também uma menor ativação os músculos que serão ativados no percurso de corrida, já que Heiden e Burnett (2003) verificaram através de estudos eletromiográficos maior ativação dos vastos laterais e menor ativação dos bíceps femurais quando compararam a corrida pós ciclismo com a corrida prolongada. Além disso, Richard *et al.* (2006) verificaram menor ativação de bíceps femural com o ângulo do *seat tube* de 82° em relação ao ângulo de 72°.

De maneira complementar, Garside e Doranl (2000) ao comparar a *performance* de atletas em 40km de ciclismo seguidos de 10km de corrida nas condições em que o ângulo do *seat tube* era de 73° e 81° verificaram melhor *performance* no geral e principalmente nos primeiros 5 km da corrida subsequente na condição 81° em relação à posição 73°.

Ao afastar o tronco permitindo maior expansão do diafragma em uma posição aerodinâmica, a linha perpendicular ao solo a partir do centro da patela da perna que está à frente quando os pedais estão paralelos ao solo, que em ciclistas de estrada passa pela base da falange proximal do halux, é deslocada cerca de 3 cm à frente na maioria dos triatletas (BURKE, 1994).

As conseqüências do aumento do ângulo do *seat tube* para o quadro da bicicleta são: a diminuição do comprimento do *top tube*, além de em alguns casos a utilização de rodas 650-cm ao invés de 700-cm, devido à diminuição do espaço disponível para a roda proporcionada

pelo aumento deste ângulo o que também possibilita a diminuição do número de raios diminuindo a resistência que as rodas oferecem ao movimento. O *head tube* nas bicicletas de triatlo também é menor, diminuindo a superfície frontal de resistência.

2.2.4. Possibilidade de utilização do vácuo: alterações biomecânicas e fisiológicas

Todas estas alterações biomecânicas no posicionamento do ciclista tentando adquirir uma posição mais aerodinâmica tornam-se mais importantes em provas onde o vácuo não é permitido. Em provas da ITU (União Internacional de Triatlo) o vácuo é permitido nas categorias Elite, Sub 23 e Júnior (16-19 anos) e não é permitido em provas de longa distância ou para atletas que competem em suas faixas etárias. Nas provas onde o vácuo não é permitido, os competidores devem manter uma distância mínima de sete m de comprimento e três m de largura do competidor que se desloca a sua frente podendo entrar nesta zona, apenas por motivo de segurança ou para ultrapassar seu oponente tendo para isso apenas 15 s (INTERNATIONAL TRIATHLON UNION, 2008).

Nas provas em que o vácuo é liberado não existe um regulamento para a utilização de cliques, porém nas provas em que existe a possibilidade do atleta se beneficiar do vácuo este não poderá ultrapassar o eixo da roda da frente em mais de 15 cm além de não poder ultrapassar a linha dos freios e não apresentar nenhuma ponta no final. Além disso as rodas devem ser construídas por raios nas provas em que o vácuo é permitido sendo permitidas rodas “fechadas” apenas nas competições onde o vácuo não é permitido além de não conterem mecanismos capazes de acelerá-las e um freio para cada roda.

Outro fator que parece ser influenciado pela possibilidade ou não de utilização do vácuo é a cadência (numero de rotações do pedal em um determinado período de tempo) ideal de pedalada a ser adotada pelo atleta. Determinar qual é a cadencia ideal para um indivíduo é uma tarefa complexa já que depende do nível de aptidão aeróbia do indivíduo (MARSH; MARTIN, 1997), do tamanho do pé-de-vela, da força do ciclista das características topográficas do percurso (LUCIA; HOYOS; CHICHARRO, 2001).

Enquanto cadências maiores estarão relacionadas a um maior gasto energético e consumo de oxigênio, cadências menores estão relacionadas à aplicação de grandes forças para uma mesma potência externa (DENADAI, RUAS e FIGUEIRA, 2005), o que poderia acarretar maiores desgastes musculares, ou seja, fadiga periférica, sendo a cadência ideal aquela que no momento melhor se adapta as condições do atleta e do percurso.

A possibilidade da utilização do vácuo no percurso de ciclismo não promove apenas alterações biomecânicas - no posicionamento do ciclista e na cadência adotada para cumprir o

percurso - e beneficia indivíduos com determinadas características antropométricas, como torna diferentes as demandas fisiológicas da etapa de ciclismo.

Ao comparar ciclistas se deslocando a uma mesma velocidade Hausswirth *et al.* (1999) observaram queda no consumo de oxigênio, frequência cardíaca, concentração de lactato sanguíneo e ventilação, demonstrando o menor custo energético ao comparar a situação em que o atleta pedala no vácuo com relação à situação em que o atleta pedala sozinho.

O percentual de benefícios obtidos através da utilização do vácuo parece ser bastante variável e estar relacionado a diversos outros fatores. McCole *et al.* (1990) verificaram maiores benefícios quando o ciclista se deslocava em um grupo de 8 ciclistas em relação a quando o mesmo se deslocava em fila atrás de 1, 2 ou 4 ciclistas, além dos dados obtidos sugerirem maiores benefícios proporcionado pela técnica ao se deslocar em velocidades maiores em relação a velocidades menores já que o estudo também comparou na condição atrás de apenas um ciclista o consumo de oxigênio nas velocidades de 32, 37 e 40km/h.

Este fato pode ser justificado pela existência de uma relação quadrática entre a resistência do ar contrária ao deslocamento e a velocidade de deslocamento do ciclista, ou seja, o aumento da velocidade proporciona um aumento da resistência oferecida pelo ar contrária ao movimento elevada ao quadrado (TOO *et al.*, 1990). Se a resistência do ar for maior em maiores velocidades e a técnica do vácuo reduz a resistência do ar então seus benefícios são maiores em maiores velocidades de deslocamento.

Isso torna necessário a análise dos benefícios do vácuo em condições específicas às que o atleta irá ser submetido em condições reais, considerando as diferenças que possam existir entre o percurso e as diferentes distâncias de competições que irão alterar a velocidade de deslocamento do atleta na etapa de ciclismo.

2.2.5. Cadência

Existem duas maneiras de se alterar a potência e conseqüentemente a velocidade durante um percurso de ciclismo, aumentando-se a cadência ou número de voltas que o indivíduo executa com o pedal em um minuto e aumentando-se a relação de marcha, fazendo com que o atleta tenha que executar maior força a cada pedalada.

Estudos biomecânicos e fisiológicos vêm determinando a cadência ideal e demonstrando valores diferentes. A melhor cadência em termos biomecânicos estaria em torno de 89,6 $\pm$ 1,1 rotações por minuto (RPM), enquanto a melhor cadência em termos

fisiológicos e que portanto, proporcionaria maior economia de energia estaria entre 50 e 80 RPM (CHAVARREN; CALBET, 1999; BRISSWALTER *et al.*, 2000).

Os animais tendem a realizar sua locomoção de maneira otimizada e quando o objetivo é permanecer em movimento por um longo período de tempo dentre as possibilidades existentes naturalmente optam por aquela que será mais econômica energeticamente, só utilizando combinações de cadência e resistência menos econômicas em situações que realmente demandem tal gasto energético para conseguir maior velocidade de deslocamento (PRILUTSKY *et al.*, 1997).

Ao se deslocar correndo ou andando o ser humano também parece adotar a maneira mais econômica em termos energéticos tanto no sentido de escolher o caminhar ou o correr para se deslocar a uma determinada velocidade ou na combinação entre comprimento e frequência de passada (BRISSWALTER *et al.*, 2000) o que não acontece no ciclismo.

Contrariando estas idéias, no ciclismo os atletas adotam cadências que provocam um gasto energético maior, principalmente no início da atividade onde Vercruyssen *et al.* (2001) encontraram uma cadência preferida de 90,1 $\pm$ 10,7 RPM e 82,8 $\pm$ 8,7 após uma hora de ciclismo em triatletas.

Denadai *et al.* (2005) ao compararem a resposta lactacidêmica de indivíduos ativos, pedalando a 50 e 100 RPM verificaram uma maior concentração de lactato sanguíneo na situação em que os indivíduos pedalavam a 100 RPM em relação à situação em que os sujeitos pedalavam a 50 RPM para a manutenção de uma mesma potência relativa.

Tais respostas podem apresentar resultados diferentes, refletindo adaptações relacionadas ao treinamento ao se trabalhar com triatletas treinados (LEPERS *et al.*, 2001). Em 30 minutos de exercício a uma intensidade relativa a 80% da potência máxima em três situações distintas (adotando a cadência preferida, uma cadência 20% a cima e 20% a baixo da preferida), Lepers *et al.* (2001) não verificaram alterações na frequência cardíaca, consumo de oxigênio e volume expirado entre as situações, demonstrando a capacidade dos atletas em se adaptar às diversas situações de cadência induzidas pelo treinamento já que as variações de cadência são adotadas por atletas visando adaptações de força específica ou economia energética.

Este fato vem sendo explicado através da aparente preferência dos atletas por um maior gasto energético em detrimento da possibilidade de diminuição da força aplicada ao pedal a cada pedalada (ATKINSON *et al.*, 2003) o que diminuiria a ativação de fibras musculares do tipo II e trabalharia mais com as fibras do tipo I que por sua vez são mais

resistentes à fadiga e promover alterações hemodinâmicas favoráveis (ATKINSON *et al.*, 2003).

Outro fator que justifica aquisição de uma maior frequência de pedaladas pode ser a melhor distribuição da pressão entre pé e pedal e sapatilha (SANDERSON *et al.*, 2000).

2.2.6. Influência do ritmo: constante x variável

Estudos mostram (FOSTER *et al.*, 1993; PALMER *et al.*, 1994; PALMER *et al.*, 1997) que a melhor maneira para se cumprir um percurso de média ou longa distância é a adoção de um ritmo constante. PALMER *et al.* (1994) verificaram que o ciclista ganhador da medalha de ouro olímpica nos 80km contra relógio, mesmo em um percurso com muitas ondulações conseguia manter sua frequência cardíaca relativamente constante durante todo o percurso, indicando um nível de esforço constante.

PALMER *et al.* (1997) ao comparar dois grupos que realizaram previamente 150 minutos de ciclismo, o primeiro em uma velocidade constante e o segundo mantendo a mesma potência final porém variando a intensidade de esforço entre 12% para mais ou para menos durante posteriores 20km contra relógio verificou que aqueles que realizaram os primeiros 150 minutos de maneira constante apresentaram um desempenho em média 1 minuto e 36 s mais rápido em relação aos que o fizeram variando as intensidades de esforço.

Embora a adoção de um ritmo constante seja a melhor estratégia em competições contra relógio - onde a utilização do vácuo não é permitida - quando os atletas podem andar imediatamente atrás de outro ciclista a adoção de um ritmo também envolve aspectos táticos.

Geralmente quando se deslocam em pelotões - grupos de ciclistas andando no vácuo - existem alterações de ritmo e intensidades de esforço ao longo do percurso, seja por estar à frente do grupo de ciclistas e portanto precisar fazer mais força para se deslocar a uma mesma velocidade, seja por alterações de velocidade de deslocamento impostas por um ou mais atletas sabendo que não irão ter condições de ganhar a prova caso deixem para decidir a competição na etapa de corrida dentre outros aspectos táticos que possam justificar alternâncias nas intensidades de esforço durante a etapa de ciclismo.

As mudanças de ritmo geralmente ocorrem em momentos estratégicos do percurso, como subidas e curvas onde é mais fácil fazer com que os demais atletas acompanhem a nova velocidade imposta e acabem ficando para trás.

A perda de rendimento ao se alternar o ritmo em relação a situações onde se consegue manter um nível constante de esforço que ocorre em função de alterações nas demandas fisiológicas do exercício parece ser compensada pela economia causada por deslocar-se no

vácuo de outro atleta sendo que são obtidos melhores tempos na etapa de ciclismo quando o vácuo é liberado em relação a situações onde o vácuo não é liberado conforme foi discutido no item 2.2.4.

2.3. Corrida

A etapa de corrida representa em média 30% nas provas mais curtas e 34% nas provas mais longas (DELEXTRAT *et al.*, 2003). Ao contrário do que acontece nas modalidades anteriores, a aprendizagem desta modalidade ocorre de forma bastante precoce e não existem evidências de que existam diferenças entre os parâmetros de recrutamento muscular entre corredores e triatletas (CHAPMAN, 2008).

A liberação do vácuo na etapa de ciclismo em algumas competições atribui maior importância a esta etapa da competição já que diversos atletas iniciam juntos a última etapa da prova que é a de corrida. Então quem obtiver o melhor desempenho nesta fase será o vencedor, fato que vem tornando os triatletas indivíduos com características físicas mais próximas das encontradas entre corredores fundistas (GARRET; KIRKENDALL, 2003), ou seja, indivíduos leves pois desta maneira menos força deverá ser feita afim de vencer a força da gravidade já que o indivíduo ao correr tem o objetivo de deslocar seu centro de gravidade no sentido horizontal, porém o deslocamento no sentido vertical é inevitável.

Indivíduos que apresentam uma estatura menor também costumam obter melhor desempenho nesta etapa da competição já que a baixa estatura também pode representar um peso menor e uma menor área de secção transversa dos músculos tornando mais fácil o suprimento de oxigênio e a remoção de subprodutos do metabolismo (ASTRAND; RODAHL, 1992).

Um aspecto que ainda permanece controverso é o possível maior comprimento de passada apresentado por corredores com maior estatura e, portanto maior comprimento de membro inferior, o que poderia acarretar em aumento da velocidade de corrida. Por um lado Hay (1981) verificaram maior comprimento de passada em atletas mais altos, porém Bus (2003) não encontrou relação entre o comprimento de passada e o tamanho do atleta.

Outro fator que será determinante para o bom desempenho na etapa de corrida e exercerá influência sobre o comprimento de passada será o nível de desgaste imposto pelas modalidades previas e neste sentido o atleta que se utilizou mais do vácuo nas duas etapas anteriores ou teve uma melhor estratégia alimentar e de hidratação deverá ter um menor desgaste e uma maior probabilidade de obter um melhor desempenho na etapa de corrida.

Dependendo do nível de treinamento do indivíduo e do método de treinamento empregado é possível melhorar a capacidade de produção de energia de forma aeróbia sem

alterar a máxima capacidade de consumir oxigênio (MARTIN *et al.*, 1995) ou até mesmo conseguir melhoras em ambos e melhorar o desempenho na etapa de corrida.

2.3.1. A importância da modalidade no resultado final da competição: estratégias de ritmo

A corrida é a última modalidade realizada na competição, representando percentuais intermediários de tempo despendido durante as etapas isoladas. É a etapa da competição onde ocorrem maiores variações de rendimento, o que contribui para a atribuição de grande importância a um bom desempenho na modalidade isolada quando se deseja obter um bom desempenho no triatlo como um todo (LANDERS *et al.*, 2008).

Outro aspecto que pode contribuir para a necessidade de um bom desempenho na etapa de corrida diz respeito ao fato de que com a permissão do vácuo durante o percurso de ciclismo, diversos atletas iniciam juntos esta etapa da competição, sendo o desempenho nesta etapa o fator que irá determinar o atleta campeão entre este grupo.

Diversos trabalhos demonstram que o ciclismo prévio influencia negativamente o desempenho do atleta na etapa de corrida (MILLET; VLECK, 2000), e que algumas estratégias de treinamento e a serem adotadas durante a própria competição como a cadência adotada, a manutenção de um ritmo o mais constante possível e a utilização do vácuo durante a etapa de ciclismo podem diminuir a fadiga possibilitando menor influência e melhor desempenho na etapa de corrida, o que determinaria o sucesso ou o fracasso do atleta na competição.

A economia de movimento, ou seja, o gasto energético do atleta em uma determinada velocidade, também parece exercer uma grande influência na *performance* desta etapa. Ilustrando a importância da economia de movimento no desempenho de corrida, Frederick (1984) mostrou que uma redução de 2% no consumo de oxigênio a uma determinada velocidade poderia acarretar em uma melhora do recorde mundial de 10km de 32 s e na maratona de 2 minutos, tempo que pode significar uma diferença importante principalmente quando se trata de esporte de alto rendimento onde se trabalha com uma população bastante homogênea.

A economia de movimento na corrida pode ser melhorada através de um aprimoramento da técnica de corrida o que deve ser feito de maneira cuidadosa já que os atletas possuem características antropométricas, níveis de flexibilidade, força e até mesmo personalidades diferentes. Ao tentar melhorar a economia de movimento na corrida de

triatletas corre-se o risco de perder a especificidade do treinamento ao se executar este tipo de treinamento quando o atleta esta descansado, já que na competição esta etapa já terá início sob condições de fadiga impostas pelas etapas anteriores. Por isso O'Toole e Douglas (1995) sugerem que este tipo de treinamento seja realizado sobre um desgaste prévio de ciclismo.

Para melhor intervenção sobre a técnica de corrida utiliza-se hoje a cinemetria e para facilitar a interpretação dos dados adquiridos através desta técnica dividi-se a ação das pernas durante o ciclo de passada em: fase de suporte (instante de contato do pé com o solo), fase de impulsão (tempo de permanência do pé em contato com o solo) e fase de recuperação (momento em que o pé não está em contato com o solo).

Em provas longas como é o caso das corridas do triatlo os corredores costumam tocar o solo com o calcanhar, ao contrário do que ocorre em provas mais curtas onde os corredores costumam tocar o solo com as pontas dos pés. Nesta fase deve-se evitar passadas muito largas, pois nestas situações o contato do pé com o solo gera uma força contraria ao movimento (CAVANAGH, 1990).

Outra característica que diferencia provas longas de provas curtas é o grau de elevação do joelho durante a fase aérea da corrida, neste sentido corredores fundistas optam por realizar uma pequena flexão do joelho e manter os pés mais próximos ao solo em todas as fases da passada (MARTIN; COE, 1995).

Com a instalação da fadiga, Mizrahi *et al.* (2000) verificaram além do menor grau de flexão dos joelhos após o contato com o solo, um aumento na extensão dos joelhos na fase em que o atleta toca o solo, o que juntamente com as alterações que ocorrem no ângulo da articulação do tornozelo e o aumento da atividade excêntrica pode estar relacionado com a maior incidência de lesões em situações de fadiga.

Em situações onde o atleta deseje um aumento de velocidade deverá ocorrer inclinação do tronco à frente, porém em situações onde se deseje manter a mesma velocidade o tronco deverá ser mantido ereto e a cabeça deverá estar alinhada com os ombros, que deverão estar relaxados, e o quadril (MARTIN;COE, 1995).

A velocidade desenvolvida na corrida depende da frequência (número de passos que o indivíduo executa em um determinado espaço de tempo) e da amplitude (comprimento percorrido desde que o pé deixa o solo até o momento em que o toca novamente) da passada. E ao contrário do ciclismo a energia gasta para vencer resistência do ar é relativamente pequena sendo de aproximadamente 7,5%, podendo este valor ser reduzido em até 80% através da utilização do vácuo (DANIELS, 1985).

Elliot e Ackland (1981), verificaram uma diminuição do comprimento da passada de corredores no último quarto de uma corrida de 10km com conseqüente diminuição da velocidade de corrida decorrente da fadiga.

2.3.2. Material esportivo

Dentre os equipamentos necessários para etapa de corrida do triatlo o tênis é o material esportivo que vem sendo foco do maior número de discussões principalmente pela possibilidade do uso de um calçado adequado promover melhora no desempenho, maior conforto e diminuir as possibilidades de lesão do atleta (LAFORTUNE *et al.*, 1996), o que é conseguido através de alterações na altura, no formato e na densidade do material da entressola do calçado.

Ao correr, as articulações estão expostas à forças que variam de 2 a 3 vezes o peso corporal (FREDERICK, 1986) elemento que sozinho não pode ser considerado uma sobrecarga muito grande quando comparada a outras modalidades esportivas mas que quando se leva em conta que a cada quilômetro esta força é vivenciada pelo atleta cerca de 625 vezes (BRUNET *et al.*, 1990) a sobrecarga pode ser considerada intensa e pode-se sugerir que estes impactos repetidos podem ser um dos causadores de lesão em corridas.

Os calçados vêm sendo fabricados na tentativa de minimizar este impacto e para verificar a eficiência da tecnologia empregada tem-se realizado testes mecânicos - sem levar em conta a interação do material com o ser humano - e biomecânicos - levando em conta os efeitos do equipamento no movimento.

Os testes mecânicos mostram que entressolas mais macias seriam mais efetivas na absorção do impacto devido a maior deformação sofrida pelo material, aumentando a superfície de contato e promovendo melhor absorção do impacto. Cook, Kester e Brunet (1985) utilizando testes de compressão mecânica verificaram que após 241km o tênis perdia 20% de sua capacidade de absorção do impacto e após 805km esta perda era de 30%.

Uma possível explicação para este fato é que as repetidas contrações ocasionariam deformações reversíveis ou não podendo acarretar a diminuição da capacidade de absorção do impacto (FREDERICK, 1986).

Ao contrário do que acontece em estudos mecânicos os estudos biomecânicos ainda são bastante controversos, alguns verificando diminuição no primeiro pico de força que ocorre quando o calcanhar toca solo quando os indivíduos utilizavam calçados mais macios (HENNING *et al.*, 1996) e outros que não verificaram diferenças significantes (CLARKE,

1983). Serrão *et al.* (1999) sugerem que o aparelho locomotor é capaz de se ajustar às cargas mecânicas impostas pelo movimento, independente das características do tênis utilizado.

Outro aspecto importante relativo ao calçado utiliza em competições de triatlo é a rapidez com que este pode ser colocado. Diversas estratégias vêm sendo utilizadas para que os atletas possam calçar o tênis mais rápido e dentre elas a utilização de cadarços elásticos, calçar os tênis com cadarço já amarrado, acessórios que permitem ao atleta não amarrar o cadarço, combinações entre estas técnicas e até o desenvolvimento de calçados específicos para o triatlo vêm sendo desenvolvidos (WANG, 2001).

2.4. FADIGA MUSCULAR

A fadiga muscular é um processo bastante comum não apenas nas atividades físicas como na vida do ser humano de maneira geral que ainda é pouco conhecido o que pode ao menos em parte ser justificado pela complexidade dos processos envolvidos nos mecanismos geradores da fadiga e por sua etiologia multifatorial.

Ela pode ter um caráter crônico, quando é resultado de uma sequência de treinamentos ou competições sem o devido período de recuperação ou um caráter agudo, sendo fruto da repetida atividade muscular onde o percentual da força exercida em relação à máxima capacidade do grupo muscular em questão irá determinar o tempo necessário para a instalação da fadiga (SILVA *et al.*, 2006).

A instalação do processo de fadiga será caracterizada então pela incapacidade em manter o nível de rendimento esperado e é importante que o processo seja visto não como um vilão que limita o rendimento humano, mas como um mecanismo de preservação que impede que sejam provocados danos irreversíveis ao sistema que poderiam ocorrer caso a intensidade de exercício fosse mantida (ROBERGS; ROBERS, 1997).

Estas alterações em função do exercício ocorrem a nível do sistema nervoso central caracterizando a fadiga central ou a nível da musculatura estriada esquelética, caracterizando a fadiga periférica.

2.4.1. Fadiga central

A fadiga central se caracteriza pela falha na habilidade de geração ou propagação do potencial de ação que irá gerar a contração muscular. Diversos trabalhos vêm atribuindo estas limitações ao aumento das concentrações de serotonina no cérebro (ROHLFS *et al.*, 2005).

A formação de serotonina no cérebro esta relacionada à quantidade de triptofano, um precursor da serotonina, que consegue transpor a barreira hemato-encefálica através do transportador L.

Neste sentido, o triptofano compete com os BCAAs (leucina, isoleucina e valina) e com a tirosina e a fenilalanina pelo transportador L o que tem feito com que a suplementação destes aminoácidos venha sendo empregada na tentativa de diminuir a fadiga central (BLOMSTRAND *et al.*, 1997). BLOMSTRAND *et al.*, (1989) verificaram aumento na proporção triptofano/BCAAs após a fadiga em ratos, porem não foram encontradas pesquisas semelhantes e humanos.

A suplementação de aminoácidos deve ser feita de maneira cuidadosa já que esta pode promover um efeito negativo sobre o rendimento já que a degradação de aminoácidos para a produção de energia gera um aumento nas concentrações de amônia nos músculos e na corrente sanguínea (MACLEAN; GRAHAN, 1993).

Outra estratégia nutricional que visa postergar a instalação da fadiga central é a suplementação de carboidratos. Para que o triptofano possa ser transportado pelo transportador L ele deverá estar na forma livre. Em situações de repouso a maior parte do triptofano encontra-se ligada a albumina, porém em situações de atividade física existe um aumento das concentrações de ácidos graxos livres que possuem maior afinidade pela albumina o que o triptofano levando a um aumento na concentração de triptofano livre e consequentemente uma maior formação de serotonina no cérebro.

A função dos carboidratos na inibição deste mecanismo seria proporcionar a estimulação da produção de insulina o que levaria a uma diminuição da lipólise e da concentração de ácidos graxos livres (WRIGHT *et al.*, 1991).

A glicose sérica, assim como o glicogênio hepático são fontes preferências de suprimento de energia pelo cérebro já que os estoques de glicose/ glicogênio do cérebro são limitados, tornando necessário um sistema contínuo de fornecimento de energia para o cérebro (IBRAHIM, 1975).

A glicemia em atividades de longa duração pode atingir valores entre 40-50mg /dl. Com a hipoglicemia induzida pelo exercício a captação de glicose pelo cérebro fica reduzida (NYBO; SECHER, 2004), neste sentido a suplementação de carboidratos pode exercer um papel importante no fornecimento de energia necessário para atividade cerebral.

A hipertermia é outro fator que parece apresentar relação com a fadiga central já que Nybo e Niesen (2001) verificaram um a diminuição da força gerada durante máxima contração voluntária por redução do percentual de ativação muscular voluntário, porém a relação entre os mecanismos geradores da fadiga e a hipertermia não estão estabelecidos. Nybo *et al.* (2003) não verificaram alterações na captação de triptofano pelo cérebro com a hipertermia.

Estudos também vêm demonstrando alterações na atividade dopaminérgica durante exercício e principalmente durante exercícios prolongados e sua importância na ativação neuromotora (NYBO; SECHIER 2004) o que sugere uma relação da dopamina com a fadiga que ainda não está muito bem estabelecida.

A atividade de citosinas, como a interleucina 6, parecem exercer importante papel sobre a fadiga central. Nybo & Nielsen (2002) verificaram que a produção de interleucina 6 é

maior em exercícios de longa duração a maior produção desta citosina pelos músculos e consequentemente maior captação pelo cérebro levaria a fadiga central já que Wallenius *et al.* (2002) ao injetarem interleucina 6 no cérebro de ratos verificaram aumento no consumo de oxigênio.

2.4.2. Fadiga periférica

O potencial de ação proveniente do sistema nervoso central chega aos músculos pelas vias aferentes através da junção neuromuscular e se propaga pela membrana da célula do músculo estriado esquelético e ao se propagar pelos túbulos T, a inversão de cargas próximo ao retículo sarcoplasmático promove a abertura de canais de cálcio no retículo sarcoplasmático fazendo com que ele deixe o retículo sarcoplasmático em direção ao citoplasma da célula. Os íons cálcio se ligam a troponina fazendo com que esta mude de configuração expondo o sítio de ligação da miosina no filamento de actina. A cabeça da miosina então se liga a actina formando as pontes cruzada e fazendo com que a actina deslize sobre a miosina promovendo o encurtamento das fibras e a contração muscular (GUYTON, 1976).

Diversas enzimas estão envolvidas neste processo e parecem exercer papel importante no desenvolvimento da fadiga periférica. Uma delas é a Ca^{2+} -ATPase do retículo sarcoplasmático que exerce a função de regulação da bomba de cálcio através da captação de cálcio citoplasmático de volta para o retículo sarcoplasmático, restabelecendo as concentrações normais de cálcio (por volta de 100nM) após a contração muscular promovendo o relaxamento (STOKES; WAGENKNECHT, 2000).

Booth *et al.* (1997) verificaram através da biópsia muscular uma redução de 17 a 21% na captação de cálcio e que estas mudanças persistiam até 60 minutos depois de cessado o exercício o que pode explicar o maior enrijecimento muscular que ocorre com a fadiga bem como a inabilidade em na geração de forças máximas.

Outra enzima que parece ser importante no desenvolvimento da fadiga é a Na^{+} K^{+} -ATPase que controla a ação da bomba de sódio e potássio. Após a passagem do potencial de ação a membrana celular encontra-se com a polaridade invertida sendo esta bomba a responsável pela rápida repolarização da membrana permitindo que o músculo seja capaz de responder a um novo estímulo (BLANCO; MERCER, 1998).

Esta bomba que em situações de repouso trabalha a cerca de 2-8% de sua capacidade máxima exerce a função de repolarização de membrana através do bombeamento de 3

moléculas de sódio para fora da célula e 2 moléculas de potássio para dentro da célula às custas de ATP, processo que é catalisado pela $\text{Na}^+ \text{K}^+ \text{ATPase}$.

FOWELES *et al.* (2002) verificaram diminuição na atividade desta enzima de 12% após corrida até fadiga fato que pode ser ainda mais acentuado em situações de hipóxia (SANDIRORD *et al.*, 2004). O mau funcionamento da bomba de sódio e potássio com conseqüente aumento da concentração de potássio na corrente sanguínea chegando a 4,81mmol/l, pode ser um dos mecanismos geradores da fadiga periférica.

Outras alterações como mudanças na estrutura da proteína que compõe as moléculas de actina e miosina, decorrentes da hipertermia induzida pelo exercício, podem inibir a manutenção de capacidade de ação do músculo estriado esquelético como foi demonstrado por Zolkiewski *et al.* (1995) em coelhos; além nas mudanças que ocorrem nas concentrações de metabólitos como as concentrações de fosfato inorgânico e redução de pH (STIENEN *et al.*, 1999) e óxido nítrico.

2.4.3. Fadiga metabólica

Durante o exercício, a adenosina trifosfato (ATP) é a fonte de energia para as contrações musculares, como seus estoques são limitados existe a necessidade de regeneração desta molécula. Em exercícios de alta intensidade a regeneração do ATP se dá por vias anaeróbicas como a via glicolítica, na qual o glicogênio muscular é levado a lactato, e a via de regeneração do ATP onde o ADP e a creatina fosfato são responsáveis pela regeneração do ATP.

Em atividades de baixa intensidade e longa duração a regeneração do ATP se dá de maneira principalmente aeróbia, onde o ATP é produzido através da oxidação de glicogênio muscular, glicose sérica, ácidos graxos livres provenientes do tecido adiposo e dos músculos e em menor proporção pelos aminoácidos dos músculos via ciclo de Krebs.

Nestes processos, a depleção os substratos ou acúmulo dos subprodutos do metabolismo podem contribuir para uma diminuição da taxa de ressíntese do ATP levando a falta de energia para a contração muscular e auxiliando no desenvolvimento da fadiga.

Estudos não vêm demonstrando grandes alterações nas concentrações de ATP e fosfocreatina com a fadiga (BALDWIN *et al.*, 2003), além de o corpo humano aparentemente possuir substrato suficiente para a produção de energia por um longo período de tempo, mesmo após a fadiga.

Em homens adultos normais existe aproximadamente 9000g de gordura o que equivale a 81000 kcal os estoques de glicogênio são mais limitados sendo de aproximadamente 350g o que equivale a 1400 kcal podendo ser aumentando através de dieta hiperglicídica o que resulta em um aumento da glicogenólise durante o exercício (HARGREAVES *et al.*, 1995) e aumento na *performance*.

Apesar da aparente disponibilidade de substrato para dar continuidade ao exercício, a velocidade de ressíntese do ATP e consequentemente o desempenho, estão relacionadas a via pela qual o ATP será ressintetizado. Enquanto a produção de energia por vias oxidativas é quase ilimitada, esta forma de produção é bastante lenta o que leva em alguns momentos a ativação de outras vias como a glicolítica e a de regeneração do ATP, a qual exerce papel menos importante em atividades de longa duração, que apresentam capacidade de fornecimento de energia mais limitada, porém este fornecimento é feito de maneira mais rápida.

O desempenho de um indivíduo pode ser comprometido pela depleção dos estoques de glicogênio (SAHLIN *et al.*, 1989) o que pode ser atenuado através da suplementação de carboidratos melhorando o desempenho em atividades de longa duração (COYLE *et al.*, 1983). O treinamento de *endurance* é capaz ainda de promover adaptações importantes promovendo o aumento da atividade de uma enzima chamada carnitina palmitoil transferase que proporcionará um aumento da oferta de lipídios a mitocôndria acarretando uma maior produção de energia através de lipídios diminuindo a solicitação dos estoques de glicogênio e consequentemente retardando o aparecimento da fadiga o que é chamado de efeito poupador do glicogênio (COSTIL *et al.*, 1977).

Outro fator que pode contribuir para a diminuição da taxa de ressíntese do ATP é o acúmulo dos subprodutos do metabolismo como o aumento das concentrações de H^+ , ADP, Mg^{2+} , espécies reativas de oxigênio e amônia.

Com o aumento da intensidade da atividade física, para que o suprimento de energia seja mantido nos níveis necessários aumenta a atividade da via glicolítica havendo maior conversão de piruvato a lactato o que resulta em um aumento das concentrações de íons H^+ , reduzindo o pH no músculo (KARLSSON, 1971) e na corrente sanguínea.

A diminuição do pH leva a uma diminuição do número de pontes cruzadas que se formam e da força que cada uma delas é capaz de exercer durante a contração muscular (EDMAN; LOU, 1990) além de diminuir as ligações entre o Ca^{2+} e a troponina, pois o H^+ compete com o Ca^{2+} pelo sitio de ligação, impedindo a interação entre os filamentos de actina e miosina e a contração muscular (ALLEN *et al.*, 1990).

Um mecanismo para impedir a queda no pH é o tamponamento através do HCO_3^- , que leva a um aumento da ventilação e da quantidade de CO_2 expirado. A capacidade de tamponamento do ácido láctico parece sofrer influência do treinamento (WESTON *et al.*, 1997).

O acúmulo de Mg^{2+} está relacionado com a inibição da liberação de Ca^{2+} pelo retículo sarcoplasmático (DUTKA e LAMB, 2004), já as espécies reativas de oxigênio exercem efeito regulatório sobre algumas enzimas, sendo as pequenas quantidades importantes para a regulação da função do músculo estriado esquelético, porém seu acúmulo pode estar relacionado com o processo de fadiga (CROWDER e COOKE, 1984).

Principalmente em exercícios prolongados pode haver um aumento da concentração de amônia, resultante da utilização de aminoácidos para a formação de acetil-CoA para alimentar o ciclo de Krebs (SNOW *et al.*, 2000). O aumento da concentração de amônia leva a uma redução na concentração de glutamato, um neurotransmissor excitatório e precursor ácido y aminobutírico. O acúmulo de amônia estaria então ligado ao aparecimento da fadiga central (NYBO *et al.*, 2004).

A fadiga é um processo bastante comum na vida do ser humano, porém ainda muito pouco compreendida apesar de muito estudada o que pode ser explicado pelo menos em parte por sua etiologia multifatorial e pela complexidade dos processos envolvidos nos mecanismos geradores da fadiga principalmente em atividades de longa duração envolvendo contrações submáximas (CHIN; ALLEN, 1997).

Definida em diversos trabalhos como a “incapacidade de manter o poder de rendimento” (EDWARDS, 1981); pode ocorrer em diversas etapas desde a origem do impulso nervoso no cérebro até o maquinário contrátil intramuscular (GIANNESINI *et al.*, 2003) podendo ser fruto das mais diferentes alterações metabólicas que impeçam a ressíntese de energia química (ATP), sejam estas a falta de substrato para a produção de ATP (principalmente CP em atividades de curta duração e glicogênio em atividades de longa duração) ou acúmulo dos subprodutos do metabolismo (principalmente lactato e íons H^+) gerando problemas nos mecanismos contráteis (MaCLAREN *et al.*, 1989)

A capacidade de manter o nível de rendimento em provas de *endurance* como é o caso do triatlo pode estar relacionada a perdas na capacidade de geração de força máxima por um determinado grupo muscular. Este fato vem sendo bastante explorado na literatura nas mais diversas modalidades aeróbias como é o caso da corrida (MILLET *et al.*, 2004), ciclismo (BOOTH *et al.*, 1997; LEPERS *et al.*, 2000; BENTLEY *et al.*, 2000), do esqui *cross country*

(FORSBERG *et al.*, 1979) entre outras, que vem servindo como um parâmetro de mensuração do grau de fadiga muscular presenciado pelo indivíduo (ENOKA, 2002).

A máxima capacidade de geração de tensão que um determinado grupo muscular é capaz de exercer é dependente, entre outros fatores, da velocidade de contração muscular, o que faz com que diversos trabalhos tentando minimizar esta influência, analisem a perda de força em contrações isométricas ou empreguem aparelhos isocinéticos (MILLET *et al* 2004).

Esta perda de força pode estar relacionada a mecanismos centrais e periféricos relacionados com o aparecimento da fadiga e incapacidade de contração muscular ao mesmo nível anterior. O que irá determinar se o fator limitante para a *performance* do indivíduo será central ou periférico será determinado basicamente pela combinação entre duração e intensidade da atividade, a estratégia nutricional do atleta, o nível características do treinamento do indivíduo e o tipo de contração predominantemente envolvido na atividade.

Em modalidades como o triatlo, com durações longas e demandas musculares diferentes em cada uma das modalidades não só quanto ao grupo muscular predominantemente solicitado, mas também quanto ao tipo de contração muscular, a possibilidade de influência de uma modalidade sobre a subsequente pode ser determinada não apenas pelas microlesões musculares proporcionadas pelas consecutivas contrações que irão proporcionar fadiga na modalidade previa como também por fatores centrais relacionados a estratégia nutricional e de treinamento do indivíduo.

Os mecanismos centrais de perda de rendimento podem ser considerados como todas as perdas que ocorrem nos mecanismos de transmissão do impulso nervoso sendo identificado experimentalmente através de duas técnicas: a eletromiografia e a técnica chamada de contrações interpoladas (MILLET *et al.*, 2004).

A utilização da eletromiografia para a detecção da fadiga central ainda é um pouco problemática, não apenas no sentido do conhecimento necessário para aquisição e interpretação do sinal eletromiográfico como também quanto a detecção da possível origem da fadiga já que a excitabilidade do sarcolema também se altera em situações de fadiga, não nos permitindo concluir até que ponto as reduções na eletromiografia integrada são fruto da fadiga central ou de alterações periféricas (MILLET *et al.*, 2004).

Na tentativa de manter a *performance* em exercícios prolongados envolvendo contrações submáximas como é o caso dos exercícios aeróbios o organismo se utiliza de uma estratégia que consiste em recrutar maior número de unidade motoras já que as que estavam sendo recrutadas anteriormente apresentam sinais de fadiga periférica tais como alterações metabólicas e danos estruturais no músculo estriado esquelético, não respondendo mais com a

mesma eficiência o que acaba causando um aumento na amplitude e uma diminuição na frequência de disparo do sinal eletromiográfico (HAKKINEN; KOMI, 1983).

Por isso diversos estudos verificam a influência das modalidades aeróbias sobre a máxima contração voluntária onde o indivíduo utilizaria todas as unidades motoras que pudessem auxiliar no movimento para a produção de força.

Em uma fase posterior, ocorreria uma diminuição na capacidade de recrutamento de unidades motoras o que resultaria em um decréscimo nos registros de eletromiografia integral e RMS. Fato que já foi observado durante corridas longas como a maratona (NICOL *et al.*, 1991), corrida de 10km (PAAVOLAINEN *et al.*, 1999) ambos em situação de competição e 2 horas de ciclismo a 65% do consumo máximo de oxigênio (LEPERS *et al.*, 2000).

Não foram encontrados estudos da mesma natureza envolvendo o triatlo ou modalidades combinadas porém é bastante provável que encontremos resultados bastante semelhantes aos obtidos nas pesquisas anteriores dada a natureza predominantemente aeróbia e as longas durações da atividade.

Já na técnica de contrações interpoladas, compara-se a força máxima que o sujeito é capaz de gerar voluntariamente com a força produzida através da eletro-estimulação exógena do mesmo músculo. O aumento do produto da diferença entre a máxima força produzida através da eletro-estimulação e a máxima contração voluntária em situações de fadiga vem sendo atribuída a mecanismos de feedback sensorial que inibem a taxa de descarga dos motoneuronios.

Este mecanismo pode ser explicado através da ação dos fusos neuromusculares e órgão tendinosos de Golgi, das terminações nervosa do tipo III e IV, que são sensíveis ao acúmulo de alguns metabólitos gerados durante o exercício (DAVIS; BAILEY, 1997), além de mecanismos do sistema nervoso central como a diminuição da ativação cortical, falhas na condução córtico espinhal e maior ativação de áreas responsáveis pela produção de dopamina (DAVIS; BAILEY, 1997) o que vem sendo identificado através da técnica de ressonância magnética transcraniana.

Todas estas alterações que ocorrem no organismo de um atleta acarretam perda de desempenho com o objetivo de impedir que danos maiores sejam causados, preservando a vida, porem quando se trata de rendimento esportivo, estas alterações prejudicam a *performance* do atleta e no caso do triatlo poderão determinar uma queda no rendimento da modalidade subsequente.

2.5. INFLUENCIA DE UMA MODALIDADE SOBRE AS OUTRAS

Inúmeras pesquisas demonstram que a execução de uma modalidade prévia pode gerar respostas fisiológicas, biomecânicas e sensório-motoras diferentes na modalidade que será executada posteriormente (MILLET, 2000) o que faz do triatlo uma modalidade diferente da soma das modalidades envolvidas na competição.

Atualmente, poucas pesquisas investigaram a transição da natação para o ciclismo e sua influência sobre a *performance* geral da prova. Na etapa de natação, existe utilização de membros superiores e inferiores para exercer força propulsiva porém a prevalência é da utilização de membros superiores enquanto nas etapas de ciclismo e corrida existe a prevalência da utilização de membros inferiores, no ciclismo na posição sentado e na corrida em uma posição ereta (RICARD *et al.*, 2006). Isso diminui as possibilidades de influência da natação sobre as demais modalidades, o que pode justificar a menor importância por parte das pesquisas científicas a esta etapa da competição.

Outro fator que pode estar relacionada à pequena atenção dada a etapa de natação bem como a transição para o ciclismo pela comunidade científica, pode ser o fato de que em provas onde o vácuo não é permitido durante o percurso de ciclismo, o tempo gasto no percurso de natação não tem influência significativa sobre o resultado final da prova (BORCHERS *et al.*, 1987). Já quando o vácuo é permitido, são necessários um bom desempenho na etapa de natação principalmente no início (VLECK *et al.*, 2005), um bom início na etapa de ciclismo e uma transição (troca de materiais esportivos utilizados em cada etapa) rápida e precisa, pois pedalar junto com o primeiro grupo de atletas é uma estratégia interessante já que a utilização do vácuo possibilita ao atleta uma melhor economia de movimento.

No que diz respeito à segunda transição que envolve a troca do ciclismo para a corrida inúmeros estudos vem sendo desenvolvidos abordando aspectos fisiológicos (GUEZENNEC *et al.*, 1996; HAUSSWIRTH *et al.*, 1996; HUE *et al.*, 1998), biomecânicos (HAUSSWIRTH *et al.*, 1997) e sensório motoras (LEPERS *et al.*, 1997), o que vem ganhando força com o desenvolvimento do esporte que ganhou muita força após o triatlo ter se tornado um esporte olímpico em Sydney 2000.

2.5.1. Primeira transição: natação- ciclismo

Para facilitar esta etapa da competição os atletas devem ter um ponto de referência que o permita localizar mais fácil sua bicicleta. As bicicletas já devem estar na relação de marcha

mais adequada para o início da etapa de ciclismo, de acordo com o perfil geográfico do início desta etapa e posicionadas de uma maneira que seja fácil retirá-la na chegada da natação, com o material esportivo organizado da maneira em que fique mais rápido vesti-lo. Neste sentido os capacetes geralmente são colocados com a fivela aberta sobre a bicicleta e as sapatilhas de ciclismo ficam bem abertas e presas ao pedal, podendo também ser presas ao quadro da bicicleta com elásticos facilitando na hora de calçá-la. Quando o atleta começa a pedalar o elástico que prendia a sapatilha ao quadro da bicicleta se estica muito até não agüentar a força e então estoura e deixa o atleta pedalar normalmente (FERRARO, 2008).

Todas estas técnicas fazem com que em atletas de elite esta transição seja realizada em 1min e 12s (16s) em provas que envolvem a distância olímpica o que representa 1%(0,2) do tempo total de prova para estes atletas, sendo grande parte deste tempo destinado a percorrer o espaço do local destinado a transição (MILLET; VLECK, 2000), o que exige do atleta um treinamento para a automatização dos procedimentos a serem executados durante a troca de materiais esportivos além da concentração no momento em que esta está sendo realizada. Em provas envolvendo distâncias mais longas esta troca é feita de maneira mais lenta.

Laursen *et al.* (2000) ao analisarem a influência de uma natação prolongada (3000 m) sobre o ciclismo (3 horas) subsequente não encontraram diferenças estatisticamente significantes nas variáveis fisiológicas controladas pelo estudo ao compararem o ciclismo isolado ao ciclismo pós natação.

Um aspecto polemico entre amadores da modalidade está relacionado a utilização da pernada durante a etapa de natação já que as pernas serão predominantemente solicitadas durante as etapas posteriores e existe a possibilidade de poupar esta musculatura se deslocando utilizando menos a pernada na etapa de natação. Investigando esta possibilidade, Delextrat *et al.* (2003) em contravenção ao apresentado pelos estudos anteriores verificaram um aumento no gasto energético do ciclismo após a natação em relação ao ciclismo isolado, demonstrando a possibilidade de influência da etapa de natação sobre o ciclismo, porem não verificou alterações no ciclismo quando os atletas utilizaram apenas as braçadas para se locomover em comparação com a situação onde os atletas utilizaram o nado completo.

De maneira complementar, outros estudos já apontam para a necessidade de mais pesquisas sobre esta etapa da competição. Margaritis (1996) sugeriu que as condições fisiológicas em que a transição da natação para o ciclismo é feita pode limitar o desempenho do atleta nas duas modalidades subsequentes o que sugere a necessidade de mais estudos a respeito do tema.

Em distâncias mais curtas (750m) como é o caso do trabalho de Delextrat *et al.* (2003), onde a intensidade da etapa de natação é mais alta, alguns autores têm apontado a possibilidade de influência da etapa de natação sobre o ciclismo subsequente sugerindo que a intensidade praticada na etapa de natação pode determinar a influência ou não sobre a etapa de ciclismo. Além disso, a impossibilidade de hidratação durante o percurso de natação faz com que o atleta chegue desidratado no início do ciclismo o que leva a uma perda de *performance* no início desta modalidade (Dallan *et al.*, 2005).

Peeling *et al.* (2005) ao estudar a influência da intensidade nos 750m de natação sobre os 20km de ciclismo e sobre a *performance* total no *short* triatlo verificaram que indivíduos treinados que realizaram o percurso de natação a 80% do máximo foram significativamente mais rápidos ao final da prova (3658,1 s) quando comparados a indivíduos que nadaram a 100% do máximo (3763,4 s) neste sentido, mais estudos são necessários afim de determinar um percentual do máximo que acarrete no menor tempo de prova já que o percentual onde os indivíduos apresentaram melhor *performance* foi o menor utilizado pelos autores (80%) e não foram encontrados estudos utilizando indivíduos com níveis de treinamento diferentes que por isso poderiam apresentar diferentes valores percentuais durante a etapa de natação representando o menor tempo final de prova.

O estudo mostrou ainda diferença estatisticamente significante entre o desempenho na etapa de ciclismo quando comparados os tempos dos atletas quando nadaram a 80 e 90 % do tempo da *performance* máxima dos 750m (1654,1 e 1682,3 s respectivamente) quando comparados a situação em que realizaram o percurso de natação a 100% da *performance* máxima de 750m (1808.7 segundos).

É possível ainda influenciar a intensidade de esforço durante a etapa de natação de outras maneiras, mantendo o tempo gasto para o cumprimento da etapa através da melhora da economia de movimento, aprimorando a técnica de nado que é um dos fatores que pode ser melhorado em triatletas (SLEIVERT, 1996), a utilização do vácuo (situação em que o atleta nada imediatamente atrás de outro atleta que forma uma área de baixa pressão facilitado o deslocamento do atleta que vai atrás) e/ou da roupa de borracha já, foram abordados por Delextrat *et al.* (2003).

Eles verificaram através da utilização da roupa de borracha uma redução de 11% na frequência cardíaca, 47% na concentração de lactato sanguíneo e 14% na frequência de braçada para a manutenção da mesma *performance* nos 750m de natação o que acarretou uma melhora de 12% na eficiência dos 10 minutos de ciclismo subsequentes.

Com a utilização de um protocolo experimental diferente, onde os atletas não recebiam feedback para cumprir o percurso de natação na mesma velocidade nas situações onde utilizavam ou não a roupa de borracha, Peeling e Landers (2007) verificaram que ao utilizar as roupas de borracha os atletas apresentaram uma melhora de 3,2% no desempenho de natação sem comprometer a potência empregada nos 30 minutos de ciclismo subsequente.

No que diz respeito a utilização do vácuo Delextrat *et al.* (2003) não encontraram diferenças estatisticamente significantes nas variáveis biomecânicas tais como o comprimento de braçada e na frequência de braçada ao comparar as situações onde o atleta realizava o percurso sozinho ou imediatamente atrás de outro atleta na mesma velocidade, porem foi encontrada uma redução de 7% na frequência cardíaca nos 4 minutos finais do percurso de natação na situação em que o atleta nadava no vácuo. O estudo mostrou ainda uma redução nos valores de lactato sanguíneo, consumo de oxigênio e frequência cardíaca além de um aumento de 4,8% na eficiência mecânica na situação de vácuo quando comparada a situação em que os indivíduos nadaram sozinhos.

Em outro estudo os mesmos autores verificaram que as mudanças no gasto energético provenientes do uso da esteira na etapa de natação, promovem alterações biomecânicas no início da etapa de ciclismo. Eles verificaram uma diminuição na cadência preferida e um aumento da força exercida em cada pedalada ao comparar a situação em que os indivíduos realizavam o percurso de natação na esteira, a situação em que o percurso de natação era realizado sem a ajuda do outro atleta (DELEXTRAT *et al.*, 2005).

Isso sugere que a natação induz alterações metabólicas de acordo com a intensidade praticada durante o percurso de natação, podem ocorrer alterações metabólicas que levam o atleta a adotar cadências mais próximas a melhor fisiologicamente, optando por um menor gasto energético, o que reforça o proposto por O'Toole e Douglas (1995) que seria necessário treinar economia de movimento no ciclismo com triatletas sobre um determinado nível de fadiga preferencialmente causada por uma sobrecarga de natação dadas as diferentes demandas impostas pela situação.

Apesar de os estudos indicarem uma possível influencia da intensidade em que a etapa de natação é realizada sobre o nível de influencia sobre o percurso de ciclismo, Bentley *et al.* (2007) verificaram que ao realizar 400m de natação a 100% em velocidade máxima, no mesmo tempo despendido anteriormente porem atrás de outro atleta o que diminui a intensidade do exercício e a 90% da velocidade máxima, porem sozinhos, não houve alteração no rendimento dos indivíduos ao comprar as três situações, porem foram encontradas diferenças de ambas as situações sobre o ciclismo isolado. Uma possível explicação para este

fato pode estar relacionada as altas intensidades praticadas no estudo, mesmo nas situações onde a intensidade foi reduzida.

A técnica de posicionar-se imediatamente atrás de outro indivíduo a fim de aumentar a eficiência em uma modalidade não ocorre apenas na natação. Estudos demonstram benefícios ainda maiores em outras atividades como o esqui *cross country*, a patinação de velocidade e as outras modalidades também presente no triatlo, ou seja, o ciclismo e a corrida.

O aumento dos benefícios proporcionados pela possibilidade de utilização do vácuo no ciclismo ou até mesmo na corrida com relação a natação podem ser atribuídos a maior velocidade de deslocamento do ciclismo e da corrida em relação a natação, a posição horizontal adquirida pelo corpo no deslocamento na água diminuído a superfície corporal que está em contato com a resistência da água em relação a superfície corporal que fica em contato com o ar no ciclismo e na corrida e até mesmo a turbulência gerada pelas pernadas do indivíduo que nada a frente.

Outro fator que merece ser citado nesta etapa da competição é o fato de que no percurso de natação o atleta vinha se deslocando com o corpo na horizontal e ao finalizar esta etapa irá ficar em pé e realizar uma corrida para pegar sua bicicleta na área de transição. Embora Gonzáles *et al.* (2005) não tenham verificado alterações nas concentrações de lactato sanguíneo, metabólicas e cardiorrespiratórias entre o final do percurso de natação e o final da transição, é possível que alterações ocorram quando o atleta altera sua maneira de se locomover, promovendo um aumento na frequência cardíaca já que agora o indivíduo encontra-se em pé e o coração deverá exercer mais força a fim de vencer a força da gravidade e um aumento do consumo de oxigênio já que o consumo máximo de oxigênio a corrida em triatletas costuma ser maior que para o ciclismo e para a natação, nesta ordem (GARRET; KIRKENDALL, 2003).

2.5.2. Segunda transição: ciclismo-corrida

Nos últimos metros do percurso de ciclismo os atletas retiram seus pés da sapatilha, ficam em pé com as duas pernas de um lado da bicicleta e ao chegar a linha que demarca o início da área de transição descem da bicicleta e a carregam até o espaço destinado a colocá-la. Neste momento é importante que o atleta esteja atento ao local onde irá deixar sua bicicleta (FERRARO, 2008).

Ao deixar seu equipamento de ciclismo o atleta veste então seu tênis e pega o que mais ele irá precisar utilizar no percurso de corrida. Os números de corrida que geralmente ficam

em fitas elásticas sob os tênis são colocados quando o atleta já está correndo assim como bonés e outros acessórios que o indivíduo possa querer utilizar (FERRARO, 2008).

Isso leva em média em competição envolvendo a distância olímpica 56 s o que representa 0,8% do tempo total despendido para o cumprimento total da prova, sendo apenas 8 segundos gastos na troca de material esportivo e o restante é gasto para percorrer a distância destinada a transição (MILLET; VLECK, 2000), exigindo do atleta automatização dos procedimentos realizados durante a transição assim como concentração.

Hausswirth *et al.* (1999) analisaram a influência do vácuo no percurso de ciclismo e na corrida subsequente. No estudo, foram controladas as variáveis frequência cardíaca, consumo de oxigênio, lactacidemia, cadência no percurso de ciclismo e o tempo gasto para realizar os percursos durante uma corrida isolada de 5000m e duas provas de short triatlo uma delas onde o voluntário realizava a prova sozinho e outra em que um ciclista profissional mantinha a mesma velocidade mantida pelo voluntário na prova anterior que se posicionava atrás do ciclista.

Eles encontraram diferenças nos valores referentes ao lactato durante o percurso de ciclismo que foi de 4mmol na situação de vácuo comparado a 8,4mmol/l na situação em que os atletas pedalaram sozinhos além de uma redução de 14% nos valores de consumo de oxigênio e 7% nos valores de frequência cardíaca na situação em que os voluntários pedalaram no vácuo em relação a situação em que pedalaram sozinhos além de um aumento na cadência na situação de vácuo (95rpm) quando comparada a situação em que os indivíduos pedalaram sozinhos (89rpm) durante o percurso de ciclismo.

Com relação a corrida subsequente ao realizar a prova no vácuo os indivíduos apresentaram um aumento de 6% no consumo de oxigênio e 3,9% na frequência cardíaca em relação a prova realizada sozinho, sendo os tempos gastos para percorrer os 5km iguais a 16min e 50seg e 17min e 30 s respectivamente, demonstrando que a utilização do vácuo possibilitou aos triatletas uma economia de energia durante o percurso de ciclismo que possibilitou uma melhor *performance* na corrida subsequente.

Ao comparar a corrida isolada ao triatlo realizado na situação de vácuo foram encontrados valores de frequência cardíaca 1,3% maiores e de consumo de oxigênio 3,7% maiores na corrida isolada, e quando comparada ao triatlo realizado sozinho apresentou valores de frequência cardíaca 4,9% maiores e consumo de oxigênio 9,5% maiores.

Outro fator apontado pela literatura como possível fonte de aumento ou diminuição da influência do ciclismo sobre a corrida é a cadência (número de rotações por minuto) adotada durante o percurso de ciclismo em decorrência de uma possível alteração na demanda

metabólica através do aumento ou diminuição da cadência ou da alteração das unidades motoras recrutadas para pedalar em função nas diferentes situações.

Neste sentido, Vercuyssen *et al.* (2001) controlaram a cadência nos 10 minutos finais dos 30 minutos totais de ciclismo do estudo sendo que em uma das situações os atletas realizaram os 30 minutos na cadência de sua preferência, em outra realizavam os 10 minutos finais com uma cadência 20% acima da cadência livremente escolhida nos 20 minutos anteriores e em uma terceira situação pedalavam os 10 minutos em uma cadência 20% a baixo da que escolheram nos 20 minutos anteriores.

Eles não verificaram diferenças significantes no consumo de oxigênio, ventilação pulmonar e frequência cardíaca nos valores obtidos entre o terceiro e o quinto minuto de ciclismo quando comparados aos dois últimos minutos na situação onde os atletas pedalaram com uma cadência 20% menor do que a de sua preferência, porém os valores foram significativamente maiores na situação em que os atletas pedalaram na cadência 20% acima da cadência de sua preferência para todas as variáveis e na cadência escolhida pelos atletas exceto para VE.

Estas variáveis apresentaram ainda valores significativamente menores na situação em que os atletas pedalaram a uma cadência 20% abaixo da que eles escolheram quando comparada a situação em que pedalaram a uma cadência 20% acima da escolhida (consumo de oxigênio 5,3%, ventilação pulmonar 18,2% e frequência cardíaca 6,8%) e valores de lactacidemia mais altos na situação em que pedalaram 20% acima da cadência escolhida em relação as outras duas situações analisadas pelo estudo (31,2 na situação em que a cadência era livremente escolhida e 55,5% na situação em que a cadência era 20% abaixo da escolhida).

Após esta etapa de ciclismo os atletas realizavam uma corrida a 85% do consumo máximo de oxigênio até exaustão voluntária. O tempo até a exaustão foi significativamente maior na situação em que os atletas pedalaram a uma cadência 20% abaixo da cadência escolhida em relação às outras duas situações. O estudo controlou nesta etapa, variáveis biomecânicas como a frequência e comprimento de passada onde não foram encontradas diferenças estatisticamente significantes.

Em oposição ao encontrado por estes autores Lepers *et al.* (2001) ao utilizar uma potência maior durante o percurso de ciclismo (superior a 300W vs 260-265W), não encontraram influência da mudança na cadência na corrida subsequente o que pode ser explicado devido ao fato de para se manter uma potência alta os atletas recrutam todas as unidades motoras que possam contribuir para a realização do movimento e para manter

potências mais baixas selecionam as unidades motoras para a realização do movimento alternando a seleção destas unidades motoras de acordo com a cadência adotada (ERICSON *et al.*, 1985) podendo ativar mais ou menos as unidades motoras utilizadas na corrida influenciando a fadiga destas unidades e com isso determinando o desempenho nesta etapa da competição.

Tew (2005) também não verificou influência das alterações de cadência (cadência preferida, cadência preferida +15%, cadência preferida -15%) nos 65 minutos de ciclismo a 70% da potência máxima no desempenho de 10km de corrida, porém nos primeiros 5km controlados pelo estudo os atletas foram mais eficientes quando pedalarão na cadência preferida (84,5+ou – 3,6 rpm), embora a situação em que pedalarão com uma cadência 15% a baixo da preferida tenha gerado demandas cardiorrespiratórias mais favoráveis.

De maneira complementar, Bernard *et al.* (2006) ao compararem a *performance* nos 3km de corrida pós 20 minutos de ciclismo a 80% do consumo máximo de oxigênio não encontraram diferenças estatisticamente significantes quando os sujeitos mantiveram 60, 80 e 100 RPM porém apesar de não terem sido encontradas diferenças no desempenho em termos de tempo foi verificada uma maior contribuição do sistema aeróbio durante a etapa da corrida na condição em que os sujeitos pedalarão a 60 RPM o que pode indicar que esta condição possa ser mais eficiente em uma distância de corrida superior.

Nas condições onde os sujeitos pedalarão a 80 e 100 RPM eles foram mais rápidos no início (primeiros 500m) da corrida em relação a quando pedalarão a 60 RPM porém esta diferença inicial foi compensada posteriormente pois na situação em que pedalarão a 60 RPM os indivíduos foram capazes de manter uma *performance* mais constante enquanto nas outras duas condições os atletas apresentaram perda de desempenho.

Um fator interessante com relação a cadência no ciclismo é o fato de a melhor cadência em termos de economia energética, o que poderia ser um fato interessante já que as provas apresentam longa duração, estar entre 50 e 80 rpm, porém triatletas escolhem pedalar a uma cadencia entre 85 e 95rpm o que vem sendo justificado por esta cadencia permitir ao atleta a manutenção de um desempenho recrutando menos fibras do tipo II o que diminuiria a fadiga periférica (BRISSWALTER *et al.*, 2000).

Alterações fisiológicas também parecem ocorrer ao se alterar o ritmo durante o percurso de ciclismo em relação a quando se consegue manter um ritmo constante o que pode influenciar o desempenho na corrida subsequente. Este fato apesar de já ter sido alvo de interesse de pesquisadores anteriormente (SURIANO *et al.*, 2006, BERNAR *et al.*, 2006) ainda permanece bastante controverso.

Suriano *et al.* (2006) ao comparar o tempo de corrida até a fadiga a uma velocidade constante (16 $\pm$ 0,7km/h) após uma etapa de ciclismo constante na potência equivalente a 90% do limiar de lactato e após uma etapa de ciclismo onde a potência variava em 20% a cada 5 minutos em relação a potência mantida no ciclismo constante, não verificaram alterações metabólicas durante a etapa de ciclismo, porem os atletas foram capazes de correr por mais tempo na situação em que a potência variava durante a etapa de ciclismo o que foi justificado pelos próprios autores pelo fato dos últimos 5 minutos da etapa de ciclismo netas situação terem sido executados a uma potência menor o que seria suficiente para promover a recuperação necessária para que os atletas suportassem correr por mais tempo.

Por outro lado, Bernard *et al.* (2007) ao comparar rendimento de atletas nos 5km de corrida após 20km de ciclismo a 80% da potência máxima e com esta potência variando entre 68 e 92% da potência máxima, verificaram um melhor desempenho na etapa de corrida quando a potência era mantida constante na etapa de ciclismo. Como não foram verificadas alterações fisiológicas entre as situações durante a etapa de ciclismo, os autores atribuem a diferença de rendimento mudanças nas alterações centrais e periféricas que possam ocorrer em função da natureza do exercício (constante ou com variações de potência).

Outro fator que parece exercer influencia sobre o desempenho na etapa de corrida é o ângulo do *seat-tube*. O aumento do ângulo do *seat-tube* faz com que o selim fique posicionado mais a cima do eixo dos pedais (BURKE, 1994), promovendo uma extensão do quadril em uma posição mais linear e aerodinâmica o que pode ser fundamental, principalmente em altas velocidades (GNEHM et al., 1997).

A extensão do quadril pode ser um aspecto importante já que o bíceps femural, um músculo que é menos ativado na corrida pós ciclismo (HEIDEN; BRUNETT, 2003) devido a fadiga, é um músculo biarticular que pode ser poupado através da extensão do quadril na etapa de ciclismo (HEIDEN; BRUNETT, 2003).

Garside e Doran (2000) ao comparar a eficiência dos atletas para cumprir um percurso de 10km de corrida após ciclismo em duas situações distintas, uma onde o atleta pedalava com um ângulo de *seat-tube* de 73° e outra onde o ângulo do *seat-tube* era 81° verificaram que os atletas foram significativamente mais rápidos na situação onde o ângulo do *seat-tube* era de 81° onde eram capazes de manter um comprimento de passada maior sem alterações fisiológicas. A diferença que pode ser observado no desempenho dos atletas ao cumprir os 10km de corrida ocorreu em função principalmente da velocidade em que os atletas percorreram o primeiros 5km do percurso de corrida.

Dependendo das demandas musculares impostas pelo ciclismo, este poderá gerar padrões de recrutamento muscular diferente dos padrões de recrutamento de uma corrida isolada. Heiden e Brunett (2003) verificaram diferenças no recrutamento dos músculos bíceps femoral, vasto lateral, vasto medial e reto femoral ao comparar os padrões de uma corrida executada após 40km de ciclismo a mesma distância executada após 10km de corrida.

De maneira complementar, Chapman *et al.* (2007) verificaram aumento no grau de recrutamento do músculo tibial anterior ao comparar 30 minutos de corrida realizados anteriormente a 20 minutos de ciclismo em relação ao grau de ativação deste músculo nos 30 minutos de corrida após estes 50 minutos de exercício. Não foram verificadas alterações cinemáticas que pudessem justificar as alterações de função muscular e as alterações também não foram relacionadas pelos autores à fadiga. As alterações foram vinculadas a uma possível alteração nos comandos motores e perda de coordenação motora provocada pelo ciclismo na corrida.

A habilidade de transitar de uma modalidade para a outra parece ser treinável. Neste sentido ao manipular o número de transições executadas pelos atletas mantendo-se o volume a intensidade do treinamento não foram verificadas diferenças no desempenho geral entre os grupos que realizaram diversas vezes pequenas e o grupo que realizou o mesmo treinamento porem cumprindo de uma só vez os volumes propostos de ciclismo e corrida, porem o grupo que realizou diversas pequenas transições foi mais eficiente nesta etapa (HUE *et al.*, 2002).

Os treinos envolvendo diversas pequenas transições em relação aos que dividem o volume total em duas etapas, uma de ciclismo e uma de corrida, parecem gerar respostas lactacidêmicas semelhantes, porém nos treinos onde são feitas diversas pequenas transições a frequência cardíaca e o equivalente respiratório da produção de gás carbônico parecem ser maiores (além da maior produção de epinefrina nesta situação (HUE *et al.*, 2000).

Fracionar os treinamentos fazendo diversas pequenas transições pode gerar adaptações fisiológicas específicas para esta etapa da competição fazendo com que o atleta a realize com maior eficiência e diminuindo os riscos de lesões que possam vir a acontecer nesta etapa da competição.

3. CONCLUSÃO

O desempenho em provas combinadas como é o caso do triatlo está relacionado não apenas com a habilidade do atleta de obter um bom desempenho nas modalidades isoladamente como também a habilidade de combinar as modalidades envolvidas sem deixar que aspectos táticos ou fadiga da modalidade prévia exerça influência sobre o desempenho da modalidade que será executada posteriormente.

Esta habilidade de unir as modalidades é um fator treinável e como a possibilidade de influência do ciclismo sobre a corrida é maior que a da natação sobre o ciclismo, maior ênfase deve ser dada a transição ciclismo corrida, porém a transição natação ciclismo não deve ser desprezada pelos técnicos nos treinamentos.

Diversos fatores são capazes de minimizar o nível de fadiga imposto por uma modalidade, mantendo-se o desempenho do atleta, como é o caso das roupas de borracha e da possibilidade do uso da esteira na natação e do uso de uma cadência adequada, dos clips, da possibilidade de se beneficiar do vácuo, a manutenção de um ritmo o mais constante possível ao longo da competição sempre que possível sem perder contato com o grupo de atletas para não perder os benefícios do vácuo e do ângulo do *seat-tube* no ciclismo, fatores que os técnicos devem ficar atentos e orientar seus atletas não apenas no sentido de melhorar sua *performance* na modalidade isolada, mas também como um meio de postergar a ocorrência da fadiga e determinar uma menor influência sobre as modalidades subseqüentes.

Uma estratégia de hidratação e alimentar adequada também serão aspectos importantes para diminuir os efeitos da fadiga e determinar uma menor influência de uma modalidade sobre a outra.

Quanto aos aspectos antropométricos, é necessário considerar a importância relativa de cada evento da competição sobre o resultado final da prova para que o atleta não seja apenas uma mistura dos atletas que se dão bem em cada etapa da competição, mas apresente características que o assemelhe mais dos atletas que obtém melhor desempenho na etapa da competição que apresenta uma maior relevância sobre o rendimento geral da competição.

4. Referências

ALLEN, D.G.; LEE, J.A.; WESTERBLAD, H. Intracellular calcium and tension during fatigue in isolated single muscle fibres from *Xenopus laevis*. **Journal of Physiology**, v.415, p.433-458, 1989.

AMOROSO, A; SANDERSON, D. Ciclismo, pelo auxílio na fase de coleta de dados. Kinematic and kinetic changes in cycling resulting from fatigue. **Proceedings of XIVth ISB Congress**, p.186-187, 1993.

ASTRAND, P.O.; RODAHL, K. **Textbook of work physiology: Physiological bases of exercise**. 3rd ed. New York McGraw-Hill. 1986.

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

BASSETT, D; FLOUR, J; DUEY, W. *et al.* Metabolic responses to drafting during front crawl swimming. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.23, p.744-747, 1991.

BALDWIN, J.; SNOW, R.J.; GIBALA, M.J. *et al.* Glycogen availability does not affect the TCA cycle or TAN pools during prolonged fatiguing exercise. **Journal of Applied Physiology**, v. 94, n. 4, p. 2181-2187, 2003.

BLANCO, G; MERCE, R.W. Isozymes of the Na-K-ATPase: heterogeneity in structure, diversity in function. **The American Physiological Society**, v.275, p.633-650, 1998.

BENTTLEY, D; MILLET, G; VLECK, V. *et al.* Specific aspects of contemporary triathlon. Implications for physiological and performance. **Sports Medicine**, v.32, p.345-59, 2002.

BLOMSTRAND, E.; HASSMÉN, P.E.K.S; EKBLOM, B. *et al.* Influence of ingesting a solution of branched-chain amino acids on perceived exertion during exercise. **Acta Physiologica Scandinavica**, v.159, p.41-49, 1997.

BLOMSTRAND, E.; PERRETT, D.; PARRY-BILLINGS, M. *et al.* Effect of sustained exercise on plasma amino acid concentrations and 5-hydroxytryptamine metabolism in six different brain regions of the rat. **Acta Physiologica Scandinavica**, v.136, p.473-481, 1989.

BOOTH, J.; MCKENNA, M.J.; RUELL, P.A. *et al.* Impaired calcium pump function does not slow relaxation in human skeletal muscle after prolonged exercise. **Journal of Applied Physiology**, v.83, p.511-521, 1997.

BORCHERS, G.E.; BUCKENMEYER, P.J. Triathlon: the swim to bicycle transitions. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.19, p.S49, 1987.

BENTLEY, D.; LIBICZ, S.; JOUGLA, A. *et al.* The effects of exercise intensity or drafting during swimming on subsequent cycling performance in triathletes. **Journal of Science and Medicine in Sport**, v.10, p.234-243, 2007.

BENTLEY, D.J.; SMITH, P.A.; DAVIE, A.J. *et al.* Muscle activation of the knee extensors following high intensity endurance exercise in cyclists. **European Journal of Applied Physiology**, v.81, p.297-302, 2000.

BERNARD, T.; VERCROYSEN, F.; MAZURE, C. *et al.* Constant versus variable intensity during cycling: effects on subsequent running performance. **European Journal of Applied Physiology**, v.99, p.103-111, 2007.

BERNARD, T.; VERCROYSEN, F.; GREGO, F. Effect of cycling cadence on subsequent 3 km running performance in well trained triathletes. **British Journal of Sports Medicine**, v.37, p.154-158, 2003.

BERRY, M.; POLLOCK, W.; NEIUWENHUIZEN, K. *et al.* A comparison between aero and standard racing handbars during prolonged exercise. **International Journal of Sports Medicine**, v.15, p.16-20, 1994.

BOOTH, F.W.; MCKENNA, M.J.; RUELL, P.A. *et al.* Impaired calcium pump function does not slow relaxation in human skeletal muscle after prolonged exercise. **Journal of Applied Physiology**, v.83, p.511-21, 1997.

BRISWALTER, J.; HAUSWIRTY, C.; SMITH, D. *et al.* Energetic optimal cadence vs. freely chosen cadence during cycling. Effects of exercise duration. **International Journal of Sports Medicine**, v.21, p.60-64 2000.

BRUNET, M.E.; COOK, S.D.; BRINKER, M.R. *et al.* A survey of running injuries in 1505 competitive and recreational runners. **Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, v.30, p.307-15, 1990.

BUS, S.A. Ground reaction forces and kinematics in distance running in older-aged men. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.35, p.1167-1175, 2003.

BURKE, E.R. Proper fit of the bicycle. **Clinical Sports Medicine**, v.13, p.1-14, 1994.

CAPUTO, F.; DENADAI, B.S. Effects of aerobic endurance training status and specificity on oxygen uptake kinetics during maximal exercise. **European Journal of Applied Physiology**, v.93, p.87-95, 2004.

CAPUTO, F.; FERNANDES, M.; DENADAI, B.; GRECO, C. Fatores intrínsecos do custo energético da locomoção durante a natação **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v.12, p.399-404, 2006.

CAVANAGH, P.; KRAM, R. Strait length in distance running: velocity, body dimensions and added mass effects. **Biomechanics of distance running**. Human Kinetics: Champaign Illinois, p.35-64, 1990.

CHAPMAN, A.; VICENZINO, B.; BLANCH, P. *et al.* Does cycling effect motor coordination of the leg during running in elite triathletes? **Journal of Science and Medicine in Sport**, v.25, p.371-380, 2007.

CHAPMAN, A.; VICENZINO, B.; BLANCH, P. *et al.* Leg muscle recruitment during cycling is less developed in triathletes than cyclists despite matched cycling training loads. **Experimental Brain Research**, v.181, p.503-518, 2007.

CHAPMAN, A.; VICENZINO, B.; BLANCH, P. *et al.* Is running less skilled in triathletes than runners matched for running training history? **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.40, p.557-565, 2008.

CHATARD, J.; WILSON, B. Drafting distance in swimming. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.35, p.1176-1181, 2003.

CHATARD, J.; CHOLLET, D.; MILLET, G. Performance and drag during drafting swimming in highly trained triathletes. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.30, p.1276-1280, 1998.

CHATARD, J.; SENEGAS, X.; SALLES, M. *et al.* wet suit effect: a comparison between competitive swimmers and triathletes. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.27, p.580-586, 1995.

CHAVARREN, J.; CALBET, J. Cycling efficiency and pedalling frequency in road cyclists. **European Journal of Applied Physiology**, v.80, p.555-563, 1999.

CHOLLET, D.; HUE, O.; AUCLAIR, F. The effects of drafting on stroking variation during swimming in elite male triathletes. **European Journal of Applied Physiology**, v.82, p.465-471, 2000.

CHIN E.R.; ALLEN D.G. Effects of reduced muscle glycogen concentration on force, Ca^{2+} release and contractile protein function in intact mouse skeletal muscle. **Journal of Physiology**, v. 498, p. 17-29, 1997.

CROWDER M.S.; COOKE R. The effect of myosin sulphydryl modification on the mechanics of fibre contraction. **Journal of Muscle Research and Cell Motility**, v.5, p.131-146, 1984.

CLARKE, T.E.; FREDERICK, E.C; COOPER, L.B. Biomechanical measurement of running shoe cushioning properties. **International Journal of Sports Medicine**, v.4, p. 247-251, 1983.

CORDAIN, L.; KOPRIVA, R. Wetsuits, body density and swimming performance. **British Journal of Sports Medicine**, v.25 p.31-3, 1991.

COSTILL, D.; COYLE, E.; DALSKY, G. *et al.* Effects of elevated plasma FFA and insulin on muscle glycogen usage during exercise. **Journal of Applied Physiology**, v.48, p.695-9, 1977.

COOK, S.; KESTER, M.; BRUNET, M. Shock absorption characteristics of running shoes. **American Journal of Sports Medicine**, v.13, p.248-253, 1985.

COYLE, E.F.; HAGBERG, J.M.; HURLEY, B. F. *et al.* Carbohydrate feeding during prolonged strenuous exercise can delay fatigue. **Journal of Applied Physiology**, v.55, p.230-235, 1983.

DALLAM, D.; STEVEN, J.; MILLER, T. Medical Considerations in triathlon competition. Recommendations FOR TRIATHLON ORGANISERS, COMPETITORS AND COACHES. **Sports Medicine**, v.35, p.143-161, 2005.

DENGEL, D.; FLYNN, M.; COSTILL, D *et al.* Determinants of success during triathlon competition. **Research Quarterly for Exercise and Sport**, v.60, p.234-238, 1989.

DELEXTRAT, A.; TRICO, V.; BERNARD, T *et al.* Modification of cycling biomechanics during a swim-to-cycle trail. **Journal of Applied Biomechanics**, v.21, p.297-308, 2005.

DELEXTRAT, A.; TRICO, V.; BERNARD, T *et al.* Drafting during swimming improves efficiency during subsequent cycling. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.35, p.1612-1619, 2003.

DENADAI, B.; BALIKIAN, P. Relação entre limiar anaeróbio e performance no short triathlon. **Reista Paulista de Educação Física**, v.9, p.10-15, 1995.

DENADAI, B.; RUAS, V.; FIGUEIRA, T. Efeito da cadência de pedalada sobre as respostas metabólica e cardiovascular durante o exercício incremental e de carga constante em indivíduos ativos. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v.11, p. 286-90, 2005.

DANIELS, J. A physiologist view of running economy. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.17, p.332-338, 1985.

DAVIS, J. M.; BAILEY, S. P. Possible mechanisms of central nervous system fatigue during exercise. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.29, n.1, p.45-57, 1997.

DELEXTRAT, A.; BERNARD, T.; VERCUYSEN, F *et al.* Effects of swimming with a wet suit on energy expenditure during subsequent cycling. **Canadian Journal of Applied Physiology**, v.28, p.356-359, 2003.

DELEXTRAT, A.; BERNARD, T.; VERCUYSEN, F. *et al.* Influence des caractéristiques de la natation sur la performance lors d'un enchainement natation-cyclisme. **Science & Sports**, v.18, p.188-195, 2003.

DIEFENTHAELER, F.; CANDOTTI, C.; RIBEIRO, J *et al.* Comparação de respostas fisiológicas absolutas e relativas entre ciclistas e triatletas. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, vol.13, p.205-208, 2007.

DUTKA, T.; LAMB, G. Effect of low cytoplasmic [ATP] on excitation-contraction coupling in fast-twitch muscle fibres of the rat. **Journal of Physiology**, v.560, p.451-468, 2004.

EDMAN, K.A.P.; LOU, F. Changes in force and stiffness induced by fatigue and intracellular acidification in frog muscle fibres. **Journal of Physiology**, v.424, p.133-49, 1990.

EDWARDS, R.H. Human muscle function and fatigue. Human muscle fatigue: physiological mechanisms. **Pitman Medical**, v.82, p. 1-18, 1981.

ENOKA, R. The force-motion relation. In: ENOKA, R. **Neuromechanics of human movement**. 3rd edition. Human kinetics, p.1-56, 2002.

ERICSON, M.O.; NISELL, R.; ARBORELIUS, U *et al.* Muscular activity during ergometer cycling. **Scandavian Journal of Rehabilitation and Medicine**, v.17, p.53-61, 1985.

ELLIOT, B.; ACKLAND, T. Biomechanical effects of fatigue on 10,000 meter running technique. **Research Quarterly for Exercise and Sport**, v.52, p.160-166, 1981.

LUCAS, R.; BALIKIAN, P.; NEIVA, C.; GRECO, C.; DENADAI, B. The effects of wet suits on physiological and biomechanical indices during swimming. **Journal of Science and Medicine in Sport**, v.3, p.1-8, 2000.

FARIA, E. Energy expenditure, aerodynamics and medical problems in cycling. **Sports Medicine**, v.14, p.43-63, 1992.

FERRARO, C. Saiba como ganhar tempo na transição do *triathlon*. WV produções Disponível em: <http://www.webrun.com.br/triathlon/index.php?destinocomum=dicas2_mostra&id_noticias=5345&id_noticias_textos=3> acesso em 30 de julho de 2008.

INTERNATIONAL TRIATHLON UNION. The official triathlon resource. Disponível em: <<http://www.triathlon.org/?call=TVRrdw==&keep=sh>> acesso em 28 de setembro de 2008.

INTERNATIONAL TRIATHLON UNION. ITU competition rules. Disponível em: <<http://www.triathlon.org/docs/competition-rules-20080601-vf.pdf?ts=1223134645>> Acesso em 28 de setembro de 2008.

FORTES, J.; ANDRIES, O. Análise quantitativa dos tempos despendidos nas transições das provas de *triathlon* olímpico e sua relação com o resultado. **Movimento e percepção**, v.6, p.109-123, 2006.

FOSTER, C.; SNYDER, A.; THOMPSON, N. *et al.* Effect of pacing strategy on cycle time trial performance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.25, p.383-388, 1993.

FORSBERG, A.; TESCH, P.; KARLSSON, J. Effect of prolonged exercise on muscle strength performance. In: Asmussen E, Jorgensen K, editors. Biomechanics VI-A. Baltimore (MD): University Park Press, 1979: 62-7

FOWLES, J.R.; GREEN, H.J.; SCHERTZER, J.D. *et al.* Reduced activity of muscle Na-K-ATPase after prolonged running in rats. **Journal of Applied Physiology**, v.93, p.1703-1703, 2002.

FOWLES, J.R.; GREEN, H.J.; TUPLING, R; *et al.* Human neuromuscular fatigue is associated with altered Na-K-ATPase activity following isometric exercise. **Journal of Applied physiology**, v.92, p. 1585-1593, 2002.

FREDERICK, E. physiological and ergonomic factors in running shoes design. **Applied Ergonomis**, v.15, p.281-287, 1984.

FREDERICK, E.C. Kinematically mediated effects of sport shoe design: a review. **Journal of Sports Science**, v.4, p.169-184, 1986.

GAYTON, A. Contração do músculo esquelético. **In: Tratado de Fisiologia Médica**. 5ª ed. Guanabara Koogan: Rio de Janeiro, p.117- 126, 1976.

GARSIDE, I.; DORAN, D. Effects of bicycle frame ergonomics on triathlon 10km running performance. **Journal of Sports Science**, v.18 p.825-833, 2000.

GARRET, W.; KIRKENDALL, D. **A ciência do exercício e dos esportes**. Artmed: Porto alegre. 2003.

GIANNESINI, B.; COZZONE, P.J.; BENDAHAN, D. Non-invasive investigations of muscular fatigue: metabolic and electromyographic components. **Biochimie**, v.85, p.873-883, 2003.

GONZALEZ, C.; GONZALEZ, M.; PADULLES, M. *et al.* Physiological adaptation during short distance triathlon swimming and cycling sectors simulation. **Physiological & Behavioral**, v.15, p.467-474, 2005.

GUEZENNEC, Y.; VALLIER, J.; BIGARD, A. *et al.* Increase in energy cost of running at the end of a triathlon. **European Journal of Applied Physiology**, v.73, p.440-445, 1996.

GNEHM, P.; REICHENBACH, S.; ALPTER, E. *et al.* Influence of different racing position on metabolic cost of elite cyclists. **Medicine in Science and Sports Exercise**, v.29, p.818-823, 1997.

HARGREAVES, M.; MCCONELL, G.; PROIETTO, J. Influence of muscle glycogen on glycogenolysis and glucose uptake during exercise in humans. **Journal of Applied Physiology**, v.78, p.288-292, 1995.

HAKKINEN, K.; KOMI, P. Electromyographic changes during strength training and detraining. **Medicine in Science and Sports Exercise**, v.15, p. 455-460, 1983.

HAUSSWIRTH, C.; LEHÉNAFF, D.; DRÉANO P. *et al.* Effects of cycling alone or in a sheltered position on subsequent running performance during a triathlon. **Medicine in Science and Sports Exercise**, v.31, p.599-604, 1999.

HAUSSWIRTH, C.; BIGARD, A.; GUEZENNEC, C. Relationships between running mechanics and energy cost of running at the end of a triathlon and a marathon, **International Journal of Sports Medicine**, v.18, p.330-339, 1997.

HAUSSWIRTH, C.; BIGARD, A.; BERTHELOT, M. *et al.* Variability in energy cost of running at the end of a triathlon and a marathon. **International Journal of Sports Medicine**, v.17, p.572-579, 1996.

HAY, G. **Biomecânica das técnicas desportivas**. 2^a ed. Interamericana: Rio de Janeiro, 1981.

HEIDEN, T.; BURNETT, A. The effects of cycling on muscle activation in the running leg of an Olympic distance triathlon. **Sports Biomechanics**, v.2, p.35-49, 2003.

HEIL, D.; DERRICK, T.; WHITTLESEY, S. The relationship between preferred and optimal positioning during submaximal cycle ergometry. **European Journal of Applied Physiology**, v.75, p.160-165, 1997.

HEIL, D.; WILCOX, A.; QUINN, C. Cardiorespiratory responses to seat-tube angle variation during steady-state cycling. **Medicine in Science and Sports Exercise**, v. 27, p.730-735, 1995.

HENNIG, E. M.; VALIANT, G. A.; LIU, Q. Biomechanical variables and the perception of cushioning for running in various types of footwear. **Journal of Applied Biomechanics**, v.12, p.143-150, 1996.

HUE, O.; VALLUET, A.; BLONC, S. *et al.* Effects of multicycle-run training on triathletes performance. **Research Quarterly for Exercise and Sport**, v.73 p.289-295, 2002.

HUE, O.; GALLAIS, D.; BOUSSANA, A. *et al.* Catecholamine, blood lactate and ventilatory responses to multi-cycle-run blocks. **Medicine in Science and Sports Exercise**, v.32, p.1582-1589, 2000.

HUE, O.; GALLAIS, D.; BOUSSANA, A. *et al.* The effects of multi-cycle-run blocks on pulmonary function in triathletes. **Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, v.41 p.300-305, 2001.

HUE, O.; BENAVENTE, H.; CHOLLET, D. The effect of wet suit use by triathletes: an analysis of the different phases of arm movement. **Journal of Sports Sciences**, v.21, p.1025-1030, 2003.

HEIDEN, T.; BURNETT, A. The effect of cycling on muscle activation on running leg of Olympic distance triathlon. **Sports Biomechanics**, v.2, p.35-49, 2003.

IBRAHIM, M. Glycogen and its related enzymes of metabolism in central nervous system. **Advances in Anatomy, Embryology, and Cell Biology**, v.52, p.3-89, 1975.

JOHNSON, S.; SCHULTZ, B. The physiological effects of aerodynamic handlebars. **Cycling Science**, v.2, p.9-12, 1990.

KARLSSON, J. Lactate and phosphagen concentrations in working muscles of man. **Acta Physiologica Scandinavica**, v.358, p.1-72, 1971.

KERR, C.; TRAPPE, T.; STARLING, R. *et al.* Hyperthermia during Olympic triathlon: influence of body heat storage during the swimming stage. **Medicine in Science and Sports Exercise**, v.31, p. 99-104, 1998.

KYLE, C.R. The aerodynamics of helmets and handlebars. **Cycling Science**, v.1, p.22- 26, 1989.

KNECHTLE, B.; DUFF, B.; AMTMANN, G. *et al.* Cycling and running not anthropometric factors, are associated with race performance in a Triple Iron Triathlon. **Research in Sports Medicine**, v.15, p. 257-69, 2007.

LAFORTUNE, M. A.; LAKE, M. J.; HENNIG, E. M. Differential shock transmission response of the human body to impact severity and lower limb posture. **J Biomech**. v.29, p.1531-1537, 1996.

LANDER, G.; BLANKSBY, B.; ACKLAND, T. *et al.* Swim positioning and influence on triathlon outcome. **International Journal of Exercise Science**, v.1, p. 96-105, 2008.

LAURSEN, P.B.; RHODES, E.C.; LANGILL, R.H. The effects of 3000-m swimming on subsequent 3-h cycling performance: implications for ultraendurance triathletes. **European Journal of Applied Physiology**, v.83, p.28-33, 2000.

LEPERS, R.; MILLET, G.; MAFFIULETTI, N. *et al.* Effects of pedaling rate on physiological responses during endurance cycling. **European Journal of Applied Physiology**, v.85, p. 392-395, 2001.

LEPERS, R.; POUSSON, M.L.; MAFFIULETTI, N.A. *et al.* The Effects of a Prolonged Running Exercise on Strength Characteristics. **International Journal of Sports Medicine**, v.2, p. 275–280, 2000.

LOWDON, B.; MCKENZIE, D.; RIDGE, B. Effects of clothing and water temperature on swimming performance. **Australian Journal of Science and Medicine in Sports**, v.24, p.33-38, 1992.

LUCIA, A.; HOYOS, J.; CHICHARRO, J. Physiology of professional road cycling. **Sports Medicine** v.31, p.325-337, 2001.

LUCIA, A.; HOYOS, J.; CHICHARRO, J. Preferred pedalling cadence in professional cycling. **Medicine in Science and Sports Exercise**, v.33, p.1361-1366, 2001.

MacLAREN, D.P.; GIBSON, H.; PARRY-BILLINGS, M. *et al.* A review of metabolic and physiological factors in fatigue. **Exercise and Sports Science Reviews**, v.17, p.29-66, 1989.

MACLEAN, D.; GRAHAM, T. Branched-chain amino acids augments plasma ammonia responses during exercise in humans. **Journal of Applied Physiology**, v.74, p.2711-2777, 1993.

MARGARITIS, I. Facteurs limitants de la performance en triathlon. **Canadian Journal of Applied Physiology**, v.21, p.11-15, 1996.

MARSH, A.; MARTIN, P. Effect of cycling experience, aerobic power, and power output on preferred and most economical cycling cadences. **Medicine in Science and Sports Exercise**, v.29, p.1225-1232, 1997.

MARTIN, N.; COE, P. **Better training for distance runners**. 1^a ed. Human Kinetics: Champaign, Illinois. 1995.

MCCOLE, S.; CLANEY, K.; CONTE, J. *et al.* Energy expenditure during bicycling. **Journal of Applied Physiology**, v.68, p.748-753, 1990.

MILLET, D.; BENTHLEY, D.; VLECK, V. The relationship between science and sport: application in triathlon. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v.2, p.315-22, 2007.

MILLET, G.; CANDAU, R.; BARBIER, B. *et al.* Modelling the transfers of training effects on performance in elite triathletes. **International Journal of Sports Medicine**, v.23, p.55-63, 2002.

MILLET, G.; CHOLLET, D.; CHATARD, D. Effects of drafting behind a two or a six beat kick swimmer in elite female triathletes. **European Journal of Applied Physiology**, v.82, p. 465-71, 2000.

MILLET, G.; VLECK, V. Physiological and biomechanical adaptations to the cycle to run transition in Olympic triathlon: review and practical recommendations for training. **British Journal of Sports Medicine**, v.34, p.384-390, 2000.

MILLET, G.; LEPELIER, R. Alteration of neuromuscular function after prolonged running, cycling and skiing exercise. **Sports Medicine**, v.34, p.105-116, 2004.

MIZRAHI, J.; VERBITSKY, Q.; ISAKOV, E. Fatigue induced changes in distance running. **Clinical Biomechanics**, v.16, p.207-212, 2001

MOSS, A.; JUERGENSEN, C.; MCKENZIE, J. *et al.* Predicting projected frontal area for cycling in women competing at the 2004 Hawaiian Ironman Triathlon. **Medicine in Science and Sports Exercise**, v.37, p. 37-45, 2005.

NICOL, C.; KOMI, P.V.; MARCONNET, P. Effects of marathon fatigue on running kinematics and economy. **Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports**, v.1, p.195-204, 1991.

NYBO, L.; NIELSEN, B. Perceived exertion during prolonged exercise with progressive hyperthermia is associated with an altered electrical activity of the brain. **Journal of Applied Physiology**, v.91, p. 2017-2023, 2001.

NYBO, L.; SECHER, N. Cerebral perturbations provoked by prolonged exercise. **Progress in Neurobiology**, v.72, p. 223-261, 2004.

NYBO, L.; NIELSEN, B.; BLOMSTRAND, E. *et al.* Neurohumoral responses during prolonged exercise in humans. **Journal of Applied Physiology**, Vol. 95, p.1125-1131, 2003.

O'TOOLE, M.; DOUGLAS, P. Applied physiology of triathlon. **Sports Medicine**, v.19, p.251-267, 1995.

PAAVOLAINEN, L.; HÄKKINEN, K.; HÄMÄLÄINEN, I. *et al.* Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. **Journal of Applied Physiology**, v. 6, p.1527-1533, 1999.

PALMER, G.S.; BORGHOUTS, L.B.; NOAKES, T.D. *et al.* Metabolic and performance responses to constant-load vs variable intensity exercise in trained cyclists. **Journal of Applied Physiology**, v.87, p.1186-1196, 1999.

PALMER, G.S.; NOAKES, T.D.; HAWLEY, J.A. Effects of steady state versus stochastic exercise on subsequent cycling performance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.29, p.684-687, 1997.

PALMER, G.; HAWLEY, J.; DENNIS, S. *et al.* Heart rate responses during a 4-d cycle stage race. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.26, p.1278-1283, 1994.

PEELING, P.; LANDERS, G. The effect of a one piece competition speedsuit on swimming performance and thermoregulation during a swim-to cycle trial in triathletes. **Journal of Science and Medicine in Sport**, v.7, p.327-333, 2006.

PEELING, P.D.; BISHOP, D.J.; LANDERS, G.J. Effect of swimming intensity on subsequent cycling and overall triathlon performance. **British Journal of Sports Medicine**, v.39, p.960-964, 2005.

PERRIER, D.; MONTEIL, K. Triathlon wetsuit and technical parameter at the start and end of a 1500m swim. **Journal of Applied Biomechanics**, v.20, p. 2672-2678, 2004.

PRILUSTSKY, B.; HERZOG, W.; ALLINGER, T. Forces of individual cat ankle extensor muscles during locomotion predicted using static optimization. **Journal of Biomechanics**, v.30, p.1025-1033, 1997.

RIBEIRO, L.; GALDINO, R.; BALIKIAN, P. Resposta lacatacídica de nadadores e triatletas em função da utilização de esteira durante a natação em velocidade correspondente ao limiar anaeróbio. **Revista Paulista de Educação Física**, v.15, p.55-62, 2001.

RICARD, M.; HILL-MEYER, P.; MILLER, M. *et al.* The effect of bicycle frame geometry on muscle activation and Power during a Wingate anaerobic test. **Journal of Sports Science and Medicine**, v.5, p.25-32, 2006.

ROLDAN, T. **Cicloturismo: planejamento e treinamento**. Editora UNICAMP: Campinas, 2000.

ROASTAD, M. Physiologic testing of the ultraendurance triathlete. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.21, p.205-208, 1989.

ROBERGS, R.A.; ROBERTS, S.O. **Exercise physiology, exercise, performance, and clinical applications**. 1st William C. Brown Pub: McGraw-Hill, p.546-563, 1997.

ROHLFS, I.; MARA, L.; LIMA, W. *et al.* Relação da síndrome do excesso de treinamento com estresse, fadiga e serotonina. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v.11, p.367-372, 2005.

SAHLIN, K.; REN, J. M. Relationship of contraction capacity to metabolic changes during recovery from a fatiguing contraction. **Journal of Applied Physiology**, v.67, p.648, 1989.

SANDERSON, D.; HENNIG, E.; BLACK, A. The influence of cadence and power output on force application and in-shoe pressure distribution during cycling by competitive and recreational cyclists. **Sport & Exercise Science**, v.18, p.173 - 181, 2000.

SANDIRORD, S.; GREEN, H.; DUHAMEL, T. *et al.* Inactivation of human muscle Na-k-ATPase in vitro during prolonged exercise is increased with hypoxia. **Journal of Applied Physiology**, v. 96, p.1767-1775, 2004.

SERÃO, J.C.; AMADIO A.C.; DE SÁ M.R. Análise da influência da construção do calçado esportivo no desempenho do movimento humano. **Anais do VIII Congresso Brasileiro de Biomecânica**. Florianópolis: UDESC, 1999.

SHERMAN, E. Saddle height positioning for triathletes using road cyclist methods. Trabalho de conclusão de curso. School of health promotion and human performance. Michigan, 2005.

SHEEL, W.A.; LAMA, I.; POTVIN, P. *et al.* Comparison of aero-bars versus traditional cycling postures on physiological parameters during submaximal cycling. **Canadian Journal of Applied Physiology**, v.21, p.16-22, 1996.

SILVA, A.; SANTHIAGO, V.; GOBATTO, C. Compreendendo o *overtraining* no desporto: da definição ao tratamento. **Revista Portuguesa de Ciências do Desporto**, v.6, p.229-238, 2006.

STOKES, D. L.; WAGENKNECHT, T. Calcium transport across the sarcoplasmic reticulum: Structure and function of Ca²⁺-ATPase and the ryanodine receptor. **European Journal of Biochemistry**, v.267, p.5274-5279, 2000.

SNOW, R.; CAREY, M.; STATHIS, C. *et al.* Effect of carbohydrate ingestion on ammonia metabolism during exercise in humans. **Journal of Applied Physiology**, v. 88, p. 1576-1580, 2000.

SJÖDIN, B.; SVEDENHAG, J. Applied physiology of marathon running. **Sports Medicine** v.2, p.83-99, 1985.

SLEIVERT, G.; ROWLANDS, D. Physical and physiological factors associated with success in triathlon. **Sports Medicine**, v.22, p.8-18, 1996.

STAGER, J.; CORDAIN, I. Relationship of body composition to swimming performance in female swimmers. **Journal of Swimming Research**, v.1, p 21-26, 1984.

STIENEN, G.; PAPP, Z.; ZAREMBA, R. Influence of inorganic phosphate and pH on sarcoplasmic reticular ATPase in skinned muscle fibers of *Xenopus laevis*. **Journal of Physiology**, v.518, p. 735-744, 1999.

SURIANO, R.; VERCRUYSSSEN, F.; BISHOP, D.; BRISSWALTER, J. Variable power output during cycling improves subsequent treadmill run time to exhaustion. **Journal of Science and Medicine in Sport**, v.10, p.244-251, 2007.

SLEIVERT, G.; WENGER, H. Physiological predictors of short course triathlon performance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.25, p.871-876, 1993.

TOMIKAWA, M.; NOMURA, T. Relationships between swim performance, maximal oxygen uptake and peak power output when wearing a wetsuit. **Journal of Science and Medicine in Sport**, 2007. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B82X6-4RD3WNM1&_user=10&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&view=c&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=431b5e44e36123c53f4a8cad208276d1> acesso em 10 de junho de 2008.

TOMIKAWA, M.; SHIMOYAMA, Y.; NOMURA, T. Factors related to the advantageous effects of wearing a wetsuit during swimming at different submaximal velocity in triathletes. **Journal of Science and Medicine in Sport**, v.11, p.417-423, 2008.

TOO, D. Biomechanics of cycling and factors affecting performance. **Sports Medicine**, v.10, p.286-302, 1990.

FIND YOURSELF. Transição. Disponível em: <http://www.findyourself.com.br/conteudo_menu.php?id_menu=227> acesso em 30 de julho de 2008.

WANG, C. Product design and development of the easy-fit triathlon racing shoes. Massachusetts Institute of Technology, Dept. of Mechanical Engineering, 2001.

TEW, G. The effects of cycling cadence on subsequent 10km running performance in well-trained triathletes. **Journal of Sports Science and Exercise**, v.4, p.342-353, 2005.

TOUSSAINT, H.; BRUININK, L.; COSTER, R. *et al.* Effects of triathlon wet suit on drag during swimming. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.21, p.325-328, 1989.

VLECK, V.; BENTLEY, D.; MILLET, G. *et al.* Pacing during an elite Olympic distance triathlon: comparison between male and female competitors. **Journal of Science and Medicine in Sport**, v.11, p.424-432, 2007.

VLECK, V.; BÜRGI, A.; BENTLEY, D. The consequences of swim, cycle and run performance on overall result in elite Olympic distance triathlon. **International Journal of Sports Medicine**, v.27 p. 43-48, 2005.

VERCRUYSSSEN, F.; HAUSSWIRTH, C.; SMITH, D. *et al.* Effect of exercise duration on optimal pedaling rate choice in triathletes. **Canadian Journal of Applied Physiology**, v.26, p.44-54, 2001.

VERCRUYSSSEN, F.; BRISSWALTER, J.; HAUSSWIRTH, C. *et al.* Influence of cycling cadence on subsequent running performance in triathletes. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v.34, p.530-536, 2002.

WALLENIUS, V.; WALLENIUS, K.; AHRÉN, B. *et al.* Interleukin-6 deficit mice develop mature-onset obesity. **Nature Medicine**, v.8 , p. 75-79, 2002.

WASSERMAN, K.; MCILROY, M.B. Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise. **American Journal of Cardiology**, v.14, p.844-852, 1964.

WRIGHT, D.; SHERMAN, W.; DERNBACH, A. Carbohydrate feedings before, during or in combination improve cycling endurance performance. **Journal of Applied Physiology**, v.7, p. 1082-1088, 1991.

WESTON, A.R.; MYBURGH, K.H.; LINDSAY, F.H. *et al.* Skeletal muscle buffering capacity and endurance performance after high-intensity interval training by well-trained cyclists. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v.75, p.7-13, 1997.

ZAMEZIATI, K.; MORIN, J.; DEIURI, E. Influence of the contact time on coupling time and a simple method to measure coupling time. **European Journal of Applied Physiology**, v.96, p.752-756, 2006.

ZOLKIEWSKI, M.; REDOWICZ, M.; KORN, E. *et al.* Thermally induced unfolding of acanthamoeba myosin II and skeletal muscle myosin: nucleotide effects. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v.318, p. 207-14, 1995.