

Proposta metodológica para análise cinemática e fisiológica da corrida no *triathlon*

Carina Helena Wasem Fraga^{1,2}
Leonardo de Los Santos Bloedow¹
Felipe Carpes^{1,3}
Leonardo Alexandre Peyré Tartaruga¹
Marcus Peikriszwili Tartaruga¹
Bruno Follmer¹
Antônio Carlos Stringhini Guimarães¹

¹Laboratório de Pesquisa do Exercício - Escola de Educação Física UFRGS Porto Alegre RS

²Laboratório de Biomecânica - Departamento de Educação Física UNESP Rio Claro SP

³Laboratório de Biomecânica - Escola de Educação Física UFSM Santa Maria RS

Resumo: Para triatletas, a corrida representa um segmento essencial em relação aos resultados finais. O objetivo deste estudo foi propor uma metodologia para análise cinemática e fisiológica da corrida de triatletas, em condições de competição simulada. Para avaliar o protocolo proposto realizou-se ensaio experimental, com um triatleta experiente, do sexo masculino. Foram comparadas três situações: corrida do *triathlon* (10 km após 40 km de ciclismo); corrida isolada (10 km); e corrida prolongada (10 km após uma corrida com tempo correspondente aos 40 km de ciclismo). Os dados cinemáticos (frequência e amplitude de passada; amplitude de movimento articular da coluna, quadril, joelho e tornozelo; e, trajetória do quadril) e fisiológicos (valores de consumo de oxigênio), foram obtidos no 1º, 5º e 9º km. Os dados permitem inferir que a metodologia proposta fornece resultados satisfatórios, aproximando as avaliações das condições reais de uma competição, o que viabiliza adequada comparação entre as corridas mencionadas.

Palavras-chave: Proposta Metodológica. Corrida. Triathlon.

Methodological proposal to kinematic and physiological analysis of triathlon running

Abstract: The running represents one essential segment in terms of the final result for triathletes. The aim of the present study was to propose a method to analyze triathletes running over real competition conditions. To check the proposal protocol a experimental test was performed with one well-trained male triathlete. Three situations were compared: Triathlon Run (10 km after 40 km of cycling), Isolated Run (10 km) and Prolonged Run (10 km after run with time corresponding to the 40 km of cycling). Kinematic (stride frequency and stride length, range of motion trunk, hip, knee and ankle, and hip trajectory) and physiological (oxygen uptake values) variables were obtained during the first, third and ninth kilometer. The data showed that this methodological proposal has reached satisfactory results, approximating the tests conditions to race situations, allowing appropriate comparison among runs.

Key Words: Methodological Proposal. Run. Triathlon.

Introdução

O *triathlon* é um esporte que se caracteriza por utilizar três modalidades sucessivas (natação-ciclismo-corrída). Com isso, emerge a necessidade de que triatletas adquiram elevado desempenho nessas diferentes modalidades simultaneamente, devendo-se adotar, para tanto, modos específicos de treinamento. Estudos ressaltam que o *triathlon* apresenta especificidades que desencadeiam demandas fisiológicas e

biomecânicas diferentes dos esportes singulares que o compõe (BENTLEY et al., 2002).

Assim, os melhores resultados da competição estão relacionados à habilidade de unir adequadamente esses diferentes eventos no *triathlon*, sendo importante o treinamento visando aperfeiçoar as transições das seqüências natação-ciclismo, ciclismo-corrída (HUE et al., 1998).

A corrida tem se tornado um elemento essencial relacionado aos resultados finais, principalmente nos

primeiros minutos de corrida após o ciclismo (transição ciclismo-corrida) – período o qual pode afetar significativamente a eficiência do restante da prova (ROWLANDS; DOMNEY, 2000). A corrida do *triathlon* apresenta importante papel no desempenho geral da modalidade (DENGEL et al., 1989).

Esse estudo tem por objetivo propor um modelo metodológico para avaliação de variáveis cinemáticas e fisiológicas na corrida do *triathlon*. Para tanto, foi estabelecida uma competição do tipo contra-relógio, que possibilita que avaliações laboratoriais sejam feitas em condições diferenciadas, as quais são mais próximas à realidade de uma competição.

Foi realizada uma comparação entre uma corrida do *triathlon* (CT), uma corrida prolongada (CP) e uma corrida isolada (CI). Dessa forma, o desempenho da corrida do *triathlon* pode ser avaliado a partir de sua realização com e sem atividade precedente, bem como a partir de diferentes tipos de atividades realizadas previamente.

A comparação entre corrida do *triathlon* e a corrida prolongada pode indicar se existem diferenças entre elas e, se essas modificações devem-se a fadiga proveniente de exercícios prolongados, ou a alterações no tipo de exercício.

Metodologia

Esse estudo propõe uma metodologia diferenciada, na medida em que as avaliações são realizadas em um contexto de competição. Contudo, o ensaio experimental aqui apresentado envolve apenas a simulação da competição, visto que o propósito desse estudo consiste somente em testar se a metodologia fornece resultados de forma satisfatória.

Dessa forma, nesse ensaio experimental, foi avaliado um atleta do sexo masculino, da categoria estadual do Rio Grande do Sul – o qual, posteriormente, fará parte da amostra oficial do estudo que implementará essa metodologia.

Os testes foram realizados em três etapas: (1) teste para obtenção do consumo máximo de oxigênio, realizado em esteira; (2) teste que envolveu a sucessão ciclismo-corrida da prova de *triathlon* (CT), com 40 km de ciclismo, seguidos de 10 km de corrida – distâncias oficiais das provas do *Triathlon* Olímpico; e, (3) teste de corrida prolongada (CP), em que o atleta correu o tempo correspondente aos 40 km de ciclismo somado a 10 km de corrida. Os primeiros 10 km de corrida prolongada foram considerados, para efeito de análise, como uma corrida isolada. (Figura 1).

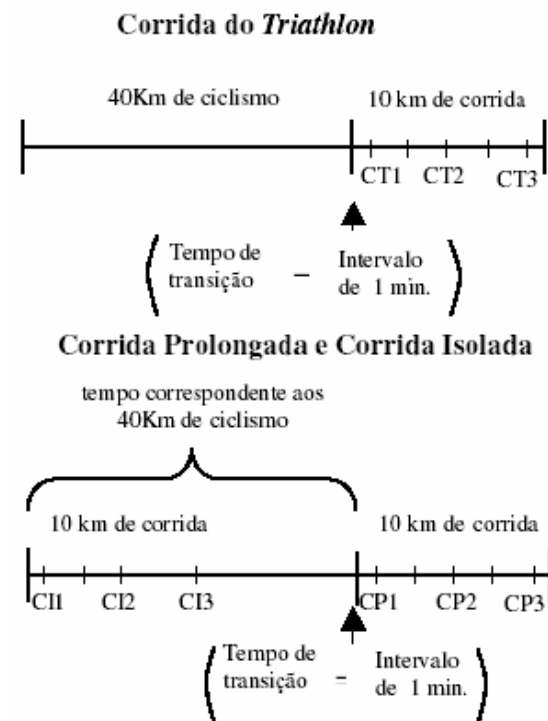


Figura 1. Ilustração do protocolo de teste. Os intervalos nas corridas de 10 km correspondem aos períodos de coleta dos dados cinemáticos e fisiológicos: 1º km, 5º km e 9º km.

No primeiro dia de avaliação, foram adquiridos os valores referentes ao consumo máximo de oxigênio ($VO_{2\text{máx.}}$), no intuito de possibilitar posterior comparação com as intensidades dos testes realizados no segundo e terceiro dia.

O contexto de competição (apenas simulado no ensaio experimental) foi aplicado no segundo dia de avaliação (corrida do *triathlon*). Mediante uma situação de competição contra-relógio o atleta teve que apresentar desempenho máximo, simulando sua condição de prova. Para tanto, a velocidade de corrida, bem como a velocidade, a cadência e a carga no ciclismo, foram parâmetros controlados pelo próprio atleta. A velocidade média obtida nessa corrida foi posteriormente utilizada para normalizar a corrida prolongada e a corrida isolada – sendo que essa velocidade foi calculada a partir da média da velocidade registrada em cada um dos 10 km da corrida do *triathlon*.

No segundo e terceiro dia de avaliação, foram adquiridos os dados cinemáticos - frequência de passada, amplitude da passada, amplitude de movimento articular da coluna, quadril, joelho e tornozelo, trajetória do quadril (como representativa do centro de massa) – e o consumo de oxigênio.

Os dados foram coletados e analisados a partir de três intervalos: a primeira coleta, realizada no 1º km; a segunda,

no 5° km; e, a terceira, no 9° km. O tempo de transição ciclismo-corrida e corrida-corrida foi o menor possível - aproximadamente 1 minuto.

Entre o segundo e o terceiro dia de avaliação, houve um intervalo de, no mínimo, 48 horas, na tentativa de evitar que a fadiga pudesse interferir nos resultados obtidos.

Aquisição dos dados cinemáticos

Os dados cinemáticos foram coletados a partir de cinematografias de 20 segundos de duração, sendo que foram analisadas 5 passadas. Foi utilizado um sistema de cinematria Peak Motus (Peak Performance, Inc., USA), realizando, assim, uma análise bidimensional no plano sagital de movimento (cinematria 2D). Foram utilizados equipamentos como uma câmera de vídeo (marca *Pulmix*), videocassetes (marca *Panasonic*) e fitas super-VHS. A câmera foi posicionada sobre um tripé a uma distância de seis metros da esteira, com uma altura de 90 cm, a qual operou com uma frequência de amostragem de 60 Hz (Figura 2).

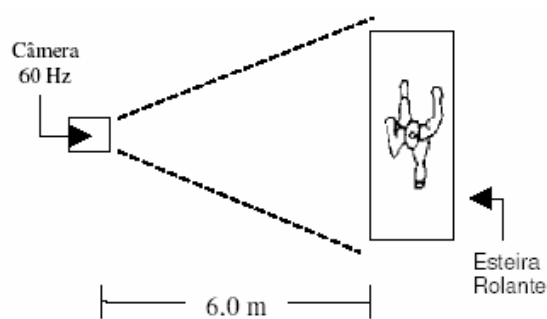


Figura 2. Posicionamento da câmera.

Uma régua de calibração de um metro de comprimento foi posicionada no início da filmagem, para definição da escala linear a ser utilizada.

Foram utilizados marcadores reflexivos com aproximadamente 2 cm², localizados, aproximadamente, no centro articular do ombro direito (tubérculo maior do úmero direito), do quadril direito (trocanter maior direito), do joelho direito (epicôndilo lateral do joelho direito), do tornozelo direito (maléolo lateral direito), do calcanhar direito (calcâneo direito) e da ponta do pé (5° metatarso direito). Esses marcadores definiram o modelo espacial adotado, o qual foi composto por quatro segmentos: tronco, coxa, perna e pé (Figura 3).



Figura 3. Modelo espacial para determinação dos ângulos articulares.

Para a digitalização das imagens, foi utilizado o sistema Peak Motus (Peak Performance, Inc., USA) - pertencente ao Laboratório de Biomecânica da UFSM - o qual permitiu o cálculo de coordenadas espaciais de cada ponto em relação a um referencial inercial.

Aquisição dos dados fisiológicos

No primeiro dia de teste foi coletado o valor referente ao consumo máximo de oxigênio.

Durante cada corrida de 10 km realizada, foram coletados os valores referentes ao consumo de oxigênio (VO₂) em cada um dos três intervalos (1°, 5° e 9° km), imediatamente após a coleta dos dados cinemáticos. Esses dados possibilitaram determinar as diferentes intensidades de exercício para cada uma das situações, para cada atleta. Também foi possível estabelecer uma correlação entre os dados cinemáticos e os dados fisiológicos, uma vez que esses são coletados quase que simultaneamente.

Para realização dos testes foram utilizadas uma bicicleta ergométrica (Ergo Fit) e uma esteira (Inbramed).

Resultados

Serão apresentados a seguir os resultados obtidos no ensaio experimental, que visam validar a metodologia proposta.

Dados Cinemáticos:

São apresentados os resultados da velocidade (Figura 4), da frequência de passada (Figura 5) e da amplitude de passada (Figura 6), para cada corrida analisada.

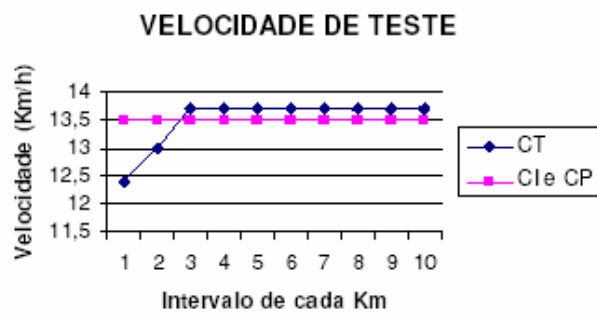


Figura 4. Velocidade média em cada quilômetro, para cada uma das corridas analisadas.

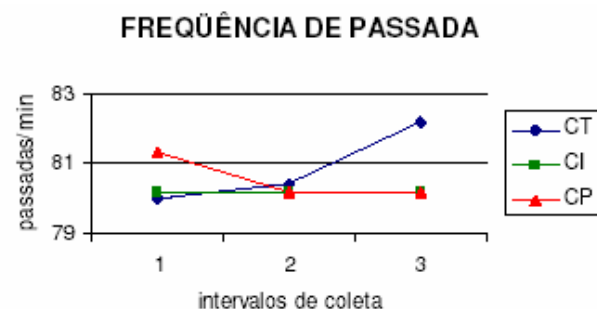


Figura 5. Frequência de passada média para cada uma das corridas analisadas.

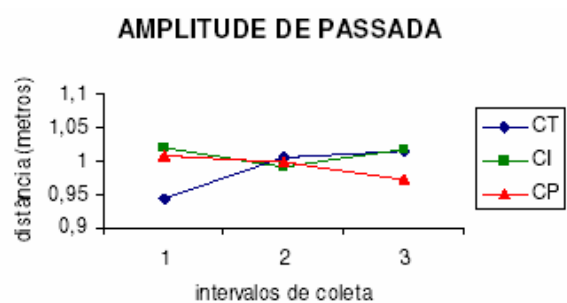


Figura 6. Amplitude de passada média para cada uma das corridas analisadas.

Foi verificado que os valores de frequência e amplitude de passada mostraram-se relativamente constantes, independente da corrida ou do intervalo analisado. Entretanto, a maior tendência de aumento desses valores foi verificada para a corrida do *triathlon*, o que pode estar relacionado ao aumento da velocidade de teste (que, nesse caso, foi controlada pelo

próprio atleta), ou ainda a fadiga proveniente do ciclismo prévio.

São apresentadas, a seguir, as tabelas de deslocamento do centro de massa (Tabela 1), de amplitude de movimento articular calculada a partir dos ângulos articulares (Tabelas 2, 3, e 4) e de consumo de oxigênio (Tabela 5) - máximo e relativo em cada intervalo analisado, para cada corrida.

Corridas	X (em m)	Y (em m)
CT1	0,07	0,13
CT2	0,09	0,13
CT3	0,07	0,13
CI1	0,09	0,13
CI2	0,09	0,13
CI3	0,09	0,13
CP1	0,09	0,13
CP2	0,09	0,13
CP3	0,09	0,13

Tabela 1. Deslocamento do centro de massa

Articulação	CT 1	CT 2	CT 3
Coluna	16,53	18,93	18,57
Quadril	43,41	46,85	49,63
Joelho	93,82	96,59	89,71
Tornozelo	64,38	65,39	66,94

Tabela 2. Amplitude de movimento articular (em graus), para cada curva média e intervalo da CT.

Articulação	CI 1	CI 2	CI 3
Coluna	20,9	20,8	21,89
Quadril	51,44	46,71	50,01
Joelho	96,78	92,53	96,89
Tornozelo	69,08	63,80	67,24

Tabela 3. Amplitude de movimento articular (em graus), para cada curva média e intervalo da CI.

Articulação	CP 1	CP 2	CP 3
Coluna	21,73	21,47	21,93
Quadril	49,26	60,59	43,56
Joelho	99,32	106,0	93,2
Tornozelo	63,84	78,89	66,64

Tabela 4. Amplitude de movimento articular (em graus), para cada curva média e intervalo da CP.

VO ₂ máx/kg	54,4	Percentual do VO ₂ máx/kg
VO ₂ médio na CT1	43,41	80%
VO ₂ médio na CT2	46,68	86%
VO ₂ médio na CT3	48,09	88%
VO ₂ médio na CI1	45,33	83%
VO ₂ médio na CI2	44,50	82%
VO ₂ médio na CI3	44,91	83%
VO ₂ médio na CP1	44,45	82%
VO ₂ médio na CP2	45,18	83%
VO ₂ médio na CP3	46,67	86%

Tabela 5. Consumo máximo de oxigênio (VO₂máx/kg) e consumo de oxigênio em cada uma das corridas analisadas, para cada intervalo (VO₂/kg médio).

Os valores de deslocamento de massa e amplitude de movimento articular não apresentaram grande variabilidade. Os valores correspondentes ao consumo de oxigênio apresentaram maiores valores no último intervalo da corrida do *triathlon* e da corrida prolongada, o que pode sugerir que as atividades precedentes possam induzir a maior fadiga.

Uma vez que o presente estudo objetivou testar a metodologia proposta, não serão feitas maiores inferências sobre os resultados encontrados, as quais serão foco de um estudo subsequente. Para tanto, a metodologia mostrou-se adequada, fornecendo resultados que possibilitam a análise da corrida do *triathlon* por meio da comparação das diferentes corridas testadas, realizadas em um contexto mais próximo à condição competição.

Discussão

O ensaio experimental permite inferir que a metodologia proposta é aplicável, na medida em que fornece resultados passíveis de comparação com estudos que apresentam metodologia semelhante, os quais não foram realizados em

um contexto de competição (HAUSSWIRTH et al., 1996, HUE et al., 1998, HAUSSWIRTH et al., 2000).

A análise das variáveis obtidas no ensaio experimental apresenta grande relevância, pois a discussão dos aspectos biomecânicos e fisiológicos da corrida no *triathlon* torna-se fundamental para a melhora do desempenho de atletas.

Nesse sentido, muitos aspectos da análise cinemática e fisiológica dessa corrida ainda permanecem controversos na literatura. Martin e Sanderson (2000), sugerem que a frequência de passada – mais do que a amplitude de passada – representa um fator crítico que determina o esforço muscular durante cada ciclo de passada. Entretanto, a maioria dos estudos sugerem que a velocidade empregada na corrida é dependente, em maior escala, da amplitude da passada, do que da frequência da passada (ELLIOT; ACKLAND, 1981, MARINO; GOEGAN, 1993, BUS, 2003).

No ensaio experimental, a amplitude e a frequência de passada apresentaram aumento mais pronunciado na corrida do *triathlon* quando comparada às demais corridas, o que deve estar relacionado com o aumento da velocidade empregada neste teste. Isso ocorre visto que a velocidade de corrida de um atleta depende da combinação desses dois fatores: amplitude e frequência da passada (HAY, 1981, MARTIN; SANDERSON, 2000).

Também foram encontradas pequenas diferenças no deslocamento do centro de massa – representado, aqui, pelo ponto articular do quadril. Na projeção horizontal essas diferenças não foram superiores a dois centímetros e na projeção vertical não foram encontradas quaisquer diferenças. Resultados semelhantes já foram descritos na literatura, sendo que esses são avaliados de forma positiva, pois um excessivo deslocamento do centro de massa constitui uma técnica ineficiente - muita energia acaba sendo utilizada para a projeção vertical do corpo (ELLIOT; ACKLAND, 1981). Destaca-se que na corrida, o movimento dos segmentos pode ser considerado como uma ação harmônica para alcançar uma locomoção que tenha translação do centro de massa com menor gasto de energia possível (MARTIN; SANDERSON, 2000).

Quanto aos aspectos fisiológicos, pôde-se observar que no último intervalo da corridas do *triathlon* e da corrida prolongada, houve um aumento do consumo de oxigênio, possivelmente relacionado com a realização de atividade prévias, as quais poderiam estar ocasionando um processo de fadiga. Esses resultados estão de acordo com Kreider et al. (1988), na medida em que esses autores afirmam que a prática

de exercícios prévios aumenta a demanda fisiológica das atividades subsequentes.

O aumento do VO₂ na etapa final das corridas pode ser relacionado a fatores fisiológicos e/ou biomecânicos (HUE et al., 1998). Esse aumento da resposta ventilatória poderia ser, ainda, justificado por fatores centrais e periféricos que determinam um processo de fadiga muscular relacionado a exercícios de resistência (De VITO et al., 1995).

Essas afirmações justificam a aplicação da metodologia aqui proposta, por possibilitar a análise de variáveis biomecânicas e fisiológicas em situações que envolvam condições reais de competição. É na tentativa de elucidar essa questão que tal proposta metodológica torna-se pertinente.

Conclusão

A partir do ensaio experimental realizado, foi possível verificar que a metodologia fornece resultados de forma satisfatória, sendo que será possível aproximar o contexto de uma avaliação da realidade de uma competição.

Destaca-se que essa metodologia será, posteriormente, aplicada a um número maior de atletas, dentro de um contexto real de competição, tendo premiação previamente estipulada.

Referências

- BENTLEY, D. J.; MILLET, G. P.; VLECK, V. E.; MCNAUGHTON, L. R. Specific aspects of contemporary triathlon. **Sports Medicine**, Auckland, v.32, n.7, p.1-15, 2002.
- BUS, S. A. Ground reaction forces and kinematics in distance running in older-aged men. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Hagerstown, v.35, n.7, p.1167-1175, 2003.
- De VITO, G.; BERNARDI, M.; SPROVIERO, E.; FIGURA, F. Decrease of endurance performance during olympic triathlon. **International Journal of Sports Medicine**, Stuttgart, v.16, n.1, p.24-28, 1995.
- DENGEL, D. R.; FLYNN, M. G.; COSTILL, D. L.; KIRWAN, J. P. Determinants of success during triathlon competition. **Research Quarterly for Exercise and Sport**, Reston, v.60, n.3, p.234-238, 1989.
- ELLIOT, B.; ACKLAND, T. Biomechanical effects of fatigue on 10.000 meter running technique. **Research Quarterly for Exercise and Sport**, Reston, v.52, n.2, p.160-166, 1981.
- HAUSSWIRTH, C.; BIGARD, A. X.; BERTHELOT, M.; THOMAIDIS, C.; GUEZENNEC, C. Y. Variability in energy cost of running at the end of a triathlon and a marathon. **International Journal of Sports Medicine**, Stuttgart, v.17, p.572-579, 1996.
- HAUSSWIRTH, C.; BRISSWALTER, J.; VALLIER, J. M.; SMITH, D.; LEPERS, R. Evolution of electromyographic signal, running economy and perceived exertion during different prolonged exercises. **International Journal Sports Medicine**, Stuttgart, v.21, p.429-436, 2000.
- HAY, J.G. **Biomecânica das técnicas desportivas**. Rio de Janeiro: Interamericana, 1981.
- HUE, O.; LE GALLAIS, D.; CHOLLET, D.; BOUSSANA, A.; PRÉFAUT, C. The influence of prior cycling on biomechanical and cardiorespiratory response profiles during running in triathletes. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, Berlin, v.77, p.98-105, 1998.
- KREIDER, R. B.; BOONE, T.; THOMPSON, W. R.; BURKES, S.; CORTES, C. W. Cardiovascular and thermal responses of triathlon performance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Hagerstown, v.20, n.4, p.385-390, 1988.
- MARINO, G. W.; GOEGAN, J. Work-energy analysis of triathletes running under bike/run and run only conditions. In: SYMPOSIUM OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF BIOMECHANICS IN SPORT. **Biomechanics in sport XI**. Amherst: International Society of Biomechanics in Sports, 1993. p.86-89.
- MARTIN, P. E.; SANDERSON, D. J. Biomechanics of walking and running. In: GARRET, W. E., KIRKENDAL, D. (Ed.). **Exercise and sport science**. Philadelphia: Lippincot Willians & Wilkins, 2000. p.639-659.
- ROWLANDS, D. S.; DOMNEY, B. Physiology of triathlon. In: GARRET, W. E., KIRKENDAL, D. (Ed.). **Exercise and Sport Science**. Philadelphia: Lippincot Willians & Wilkins, 2000. p.919-939.

Endereço:

Laboratório de Biomecânica – Depto. de Educação Física – UNESP
Av. 24A, 1515 Bela Vista
Rio Claro SP
13506-900
e-mail: wcarina_helena@hotmail.com

Manuscrito recebido em 18 de setembro de 2006.
Manuscrito aceito em 20 de dezembro de 2006.