

ARTIGO ORIGINAL (ORIGINAL PAPER)

INFLUÊNCIA DO COMPRIMENTO DO PEDIVELA NO DESEMPENHO DE CICLISTAS

INFLUENCE OF CRANK ARM LENGTH ON CYCLIST'S PERFORMANCE

Thiago Ayala M. Di Alencar ¹, Rodrigo Rico Bini ^{2,3,4}, Karinna F. de Sousa Matias ¹, Fernando Diefenthaler ^{2,4} e Felipe P. Carpes ^{2,5}

¹Fisioterapeuta graduado pela Universidade Estadual de Goiás (UEG), integrante da equipe do Studio Bike Fit[®], em Goiânia;

²Grupo de Estudo e Pesquisa em Ciclismo, GEPEC;

³Institute of Sport and Recreation Research New Zealand, AUT University, Nova Zelândia;

⁴Laboratório de Pesquisa do Exercício, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre;

⁵Grupo de Neuromecânica Aplicada, Universidade Federal do Pampa, Uruguaiana.

Corresponding author:

Thiago Ayala M. Di Alencar

Rua R-14, 36, Setor Oeste, CEP: 74125-160.

Goiânia – GO – Brasil

E-mail: thiagoayala@hotmail.com

Submitted for publication: October 2009

Accepted for publication: February 2010

RESUMO

DI ALENCAR, T. A. M.; BINI, R. R.; MATIAS, K. F. S.; DIEFENTHAELER, F.; CARPES, F. P. Influência do comprimento do pedivela no desempenho de ciclistas. *Brazilian Journal of Biomotricity*, v. 4, n. 1, p 32-47, 2010. O presente estudo teve o objetivo de revisar, de forma sistemática, estudos científicos que investigaram a influência do comprimento do pedivela sob os aspectos fisiológicos e biomecânicos no ciclismo. Da literatura revisada, 30 textos foram selecionados. Dentre estes, artigos obtidos em base de dados como *Medline*, *SciSearch*, *Embase*, *Lilacs* e *Scielo* assim como livros publicados entre 1979 e 2009. Os resultados revelam que pedivela com dimensões maiores do que aquelas correspondentes a parâmetros antropométricos do ciclista aumentam o risco de lesão musculoesquelética além de influenciar as variáveis do desempenho, tais como consumo de oxigênio, potência produzida, cadência, momento, pico de força e atividade mioelétrica.

Palavras-chave: comprimento do pedivela, ciclismo, biomecânica, cadência, lesão musculoesquelética.

ABSTRACT

DI ALENCAR, T. A. M.; BINI, R. R.; MATIAS, K. F. S.; DIEFENTHAELER, F.; CARPES, F. P. Influence of crank arm length on cyclist performance. *Brazilian Journal of Biomotricity*, v. 4, n. 1, p 32-47, 2010. This study aimed to review, systematically, scientific research addressing the influence of crank arm length on physiological and biomechanical aspects of cycling. From the literature reviewed, 30 papers were selected. The papers were retrieved from *Medline*, *SciSearch*, *Embase*, *Lilacs* and *Scielo* published from 1979 to 2009. Books and book chapter were also included when relevant. The results suggest that crank arm length longer than the recommended based on anthropometric parameters of the cyclist increases the



risk of musculoskeletal injury and may affect performance variables, such as oxygen consumption, power output, cadence, moment, peak force and myoelectric activity.

Key words: crank arm length, cycling, biomechanics, cadence, musculoskeletal injury.

INTRODUÇÃO

Atualmente uma área que tem despertado interesse de profissionais que trabalham com pesquisa sobre ciclismo tem sido a influência do comprimento do pedivela sobre características biomecânicas do gesto esportivo (BROKER, 2006; JOHNSTON, 2007; MACDERMID e EDWARDS, 2009). O pedivela é um componente normalmente não regulável em bicicletas ergométricas, apresentando comprimento muitas vezes inadequado às características do usuário (JOHNSTON, 2007). Igual problema ocorre nos praticantes de ciclismo competitivo das modalidades de montanha e triatlo. Isso acontece porque a maioria das bicicletas adquiridas, como as de *cross-country*, em lojas não oferece opção de escolha do comprimento deste componente, o qual geralmente apresenta comprimento de 175 mm (MACDERMID e EDWARDS, 2009). Em casos que a loja oferece a possibilidade de adquirir um comprimento de pedivela específico, os vendedores e técnicos carecem de fundamentação teórica para determinar qual o comprimento de pedivela ideal para cada atleta.

O pedivela serve como componente mecânico para transferir a força gerada pelos membros inferiores à bicicleta (MESTDAGH, 1998; LEFEVER-BUTTON, 2001; JOHNSTON, 2007). Seu comprimento é mensurado a partir do centro do orifício para encaixe do eixo do pedal até o centro do eixo do movimento central (MESTDAGH, 1998; TOO e WILLIAMS, 2001; JOHNSTON, 2007), local em que o pedivela é acoplado ao quadro da bicicleta. O comprimento do pedivela influencia variáveis biomecânicas e fisiológicas durante o ciclismo (GONZALEZ e HULL, 1989; SPRULES, 2000). Dentre as variações biomecânicas destacamos a produção de torque e potência produzida durante a pedalada. Entende-se por torque o produto do comprimento do pedivela pela força aplicada perpendicularmente ao mesmo (SPRULES, 2000; MILEVA e TURNER, 2003; BERTUCCI et al., 2005); e por potência o produto do torque pela velocidade angular (SPRULES, 2000). Por isso, sua manipulação pode melhorar a interação entre o ciclista e a bicicleta (SPRULES, 2000).

Avaliar e otimizar essa interação, determinando por exemplo, a sua dimensão adequada tem sido um desafio a técnicos, atletas e cientistas (BROKER, 2006). Modelos matemáticos têm sido propostos na tentativa de identificar o comprimento do pedivela ideal (MORRIS e LONDEREE, 1997; BROKER, 2006) para minimizar fatores biomecânicos específicos à sobrecarga musculoesquelética, tais como produção de força muscular e torques articulares. No entanto, estes modelos matemáticos frequentemente selecionam como ideais pedivela mais curtos do que aqueles comumente utilizados pelos atletas (BROKER, 2006).

Embora ainda não se tenha conseguido cientificamente determinar dimensões específicas que tenham aplicabilidade na prática, é fato que sua alteração influencia parâmetros fisiológicos do desempenho humano. Dentre eles: consumo de oxigênio (COOGAN, 1981; CONRAD e THOMAS, 1983; MORRIS e LONDEREE, 1997; BROKER, 2006), percepção de esforço (BROKER, 2006), padrão de ativação muscular (MILEVA E TURNER, 2003), pico de força aplicada no pedal (COOGAN, 1981; FARIA, 1992; TOO e WILLIAMS, 2001; MARTIN e SPIRDUSO, 2001; Faria, PARKER e FARIA, 2005), potência produzida (COOGAN, 1981; GONZALEZ e HULL, 1989; TOO e WILLIAMS, 2001; MARTIN e SPIRDUSO, 2001, MACDERMID e EDWARDS, 2009), fadiga muscular (COOGAN, 1981),

cadência de pedalada (HULL e GONZALEZ, 1988; GONZALEZ e HULL, 1989; FARIA, 1992; MARTIN e SPIRDUSO, 2001, MACDERMID e EDWARDS, 2009), custo funcional e torque articular (HULL & GONZALEZ, 1988).

Todavia, a análise destes fatores nem sempre apresentam resultados em comuns quanto à determinação do comprimento ótimo do pedivela, ainda que o comprimento dos membros inferiores e/ou estatura do ciclista tenham sido levados em consideração (BROKER, 2006). Isso significa, por exemplo, que embora determinado comprimento de pedivela possa reduzir o consumo de oxigênio, o direcionamento da força aplicada ao pedal ao longo do ciclo da pedalada pode não ser otimizada. Mesmo que os estudos científicos forneçam evidências quanto a melhores escolhas de equipamentos, uma melhor compreensão dos mecanismos de interação entre o comprimento do pedivela e o desempenho permitirá avaliações mais específicas visando o aumento do desempenho, assim como minimização de riscos de lesão durante treinamentos e competições.

Dessa forma, o objetivo deste estudo foi revisar, de forma sistemática, as premissas propostas pela literatura em relação a influência do comprimento do pedivela sobre parâmetros fisiológicos e biomecânicos do desempenho no ciclismo.

MÉTODOS

Foi desenvolvido o seguinte método para o levantamento da literatura revisada: publicações consideradas envolveram ensaios clínicos prospectivos e randomizados, artigos e livros ou capítulos de livros publicados de 1979 a 2009. A busca foi realizada nas bases de dados como *Medline*, *SciSearch*, *Embase*, *Lilacs* e *Scielo*. Para isso, foram utilizadas as seguintes palavras chave, por lógica booleana (palavras combinadas por "AND"): comprimento do pedivela (*crank arm length*), ciclismo (*cycling*), biomecânica (*biomechanics*), cadência (*cadence*) e lesão musculoesquelética (*musculoskeletal injury*).

O primeiro levantamento das palavras-chave, por meio de pesquisa eletrônica e sem filtragem indicou 249 artigos. Realizada a primeira filtragem por meio de uma visualização extensiva, de modo a selecionar apenas os artigos de caráter científico, foram obtidos 36 artigos relacionados ao tema.

Todos os textos obtidos por meio das diferentes estratégias de busca foram avaliados e classificados em: a) elegíveis: estudos que apresentam relevância e possibilidade de ser incluídos na revisão; b) não elegíveis: estudos com pouca relevância, sem possibilidade de inclusão na revisão sistemática. Foram considerados estudos com pouca relevância aqueles que apresentaram abordagem indireta ao tema em questão. Após a aplicação de todos os critérios de elegibilidade, 30 artigos foram utilizados nesta revisão. Todos os textos estavam escritos em inglês.

RESULTADOS

Os resultados encontrados nesta revisão revelam que as variáveis antropométricas influenciam no comprimento do pedivela, que por sua vez altera os aspectos fisiológicos e biomecânicos do desempenho no ciclismo.

O parâmetro antropométrico utilizado para determinação do comprimento do pedivela apresentou-se controverso. O posicionamento do selim se mostra influenciável pelo comprimento do pedivela, da mesma forma, pedivelas muito longas podem incorrer em lesões na articulação do joelho bem como alterar o ângulo de flexão-extensão das articulações do quadril (coxo-femoral) e tornozelo (talo-crural). A cadência de pedalada

tem sido descrita como aumentada pela utilização de pedivelas mais curtas. Observou-se ainda que o pico de força aplicado ao pedal diminui com o aumento do pedivela e que a variação do comprimento do pedivela altera a atividade miolétrica de alguns músculos dos membros inferiores.

DISCUSSÃO

Influência de variáveis antropométricas na determinação do comprimento do pedivela

A avaliação antropométrica está diretamente relacionada ao ajuste dos componentes móveis da bicicleta, dentre eles o pedivela (GONZALEZ e HULL, 1989; SPRULES, 2000; ASPLUND e ST PIERRE, 2004; SILBERMAN et al., 2005). A maioria dos ajustes de partes móveis da bicicleta a antropometria do ciclista é feita em avaliações do posicionamento corporal, também chamadas de *bike fit*.

Segundo Burke e Pruitt (2003) e Trombley (2005) a determinação do tamanho do quadro é feita a partir da medida referente à distância do chão à sínfise púbica (MESTDAGH, 1998; SANNER e O'HALLORAN, 2000; BURKE & PRUITT, 2003; SILBERMAN et al., 2005; PRUITT e MATHENY, 2006), comumente denominada de cavalo. Esta medida deve ser realizada com o ciclista descalço (MESTDAGH, 1998; SILBERMAN et al., 2005; PRUITT e MATHENY, 2006), com os pés paralelos e distanciados em 20 cm. Embora a determinação do comprimento do pedivela com base no valor do cavalo seja considerada uma técnica válida (MESTDAGH, 1998; SANNER e O'HALLORAN, 2000; BURKE e PRUITT, 2003; SILBERMAN et al., 2005), muitos lojistas, e até mesmo profissionais que lidam com ciclismo, incluindo alguns autores internacionais, insistem em estabelecer o comprimento do pedivela e do quadro por meio da estatura do ciclista.

O fator mais importante a ser considerado quando se avalia o comprimento do pedivela é o comprimento do membro inferior do ciclista (SANNER e O'HALLORAN, 2000; SPRULES, 2000; LEFEVER-BUTTON, 2001; BROKER, 2006). De acordo com Buttars (1982) o método para determinar o comprimento apropriado do pedivela é baseado na distância do chão ao trocânter maior. Mestdagh (1998) considera a altura do cavalo como parâmetro mais fidedigno para se determinar o comprimento ideal.

O pedivela merece total atenção durante avaliação do *bike fit* para que a dimensão ideal seja indicada ao atleta reduzindo a possibilidade da desenvolvimento de lesão musculoesquelética ou ainda perda de rendimento na prática esportiva. A vantagem do parâmetro referido por Mestdagh (1998) em relação ao de Buttars (1982) baseia-se na possibilidade de ocorrência de coxa vara ou valga, fato que influencia significativamente na indicação do comprimento do pedivela. A figura 1 ilustra a diferença entre a antropometria determinada pela altura do chão ao trocânter maior e do chão à sínfise púbica na realização do *bike fit*. A coxa valga apresenta um ângulo do colo femoral maior do que o normal fazendo com que a medida do cavalo aumente enquanto a distância do chão ao trocânter maior permaneça inalterada. Identificar a diferença entre estas duas antropometrias torna-se importante já que os dois métodos são utilizados por profissionais que trabalham com *bike fit*.

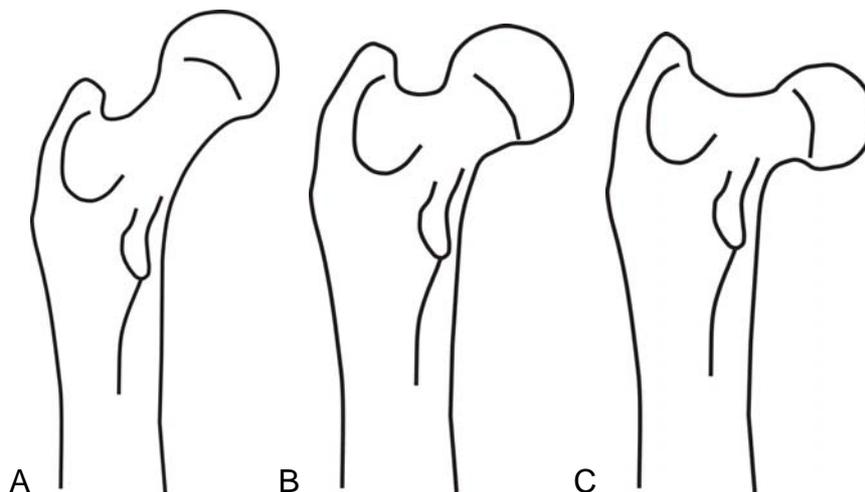


Figura 1 - Demonstração do ângulo do colo femoral: (A) valgo, (B) normal e (C) varo.

Em 2001, Martin e Spirduso (2001) realizaram uma pesquisa com o objetivo de determinar o comprimento ótimo do pedivela para potência máxima considerando o comprimento do membro inferior ou da tíbia como parâmetro antropométrico para determinação do comprimento do pedivela. O comprimento do membro inferior foi definido como a diferença entre a estatura do ciclista em pé e sentado. Já o comprimento da tíbia foi definido como a distância entre o maléolo lateral e a interlinha articular lateral do joelho. Para Burke e Pruitt (2003) a base antropométrica estabelecida por Martin e Spirduso (2001) não é totalmente correta, pois dois ciclistas podem ter a mesma estatura e ainda assim os membros inferiores podem ser desproporcionais no comprimento.

Considerando um preceito de Burke e Pruitt (2003), Martin e Spirduso (2001) falharam ao referir a escolha do pedivela baseando-se no comprimento da tíbia. Por igual motivo usar a estatura do ciclista para determinar o comprimento do pedivela é um procedimento errado, já que a relação estatura *versus* comprimentos dos membros inferiores nem sempre é constante entre indivíduos. Em decorrência das desproporcionalidades anatômicas os estudos corroboram a determinação do comprimento do pedivela por meio do cavalo como uma técnica mais adequada.

Influência do comprimento do pedivela sobre o posicionamento

O comprimento do pedivela influencia o posicionamento ântero-posterior do selim pelo método KOPS (*Knee Over the Pedal Spindle*) (SANNER e O'HALLORAN, 2000; LEFEVER-BUTTON, 2001; PRUITT e MATHENY, 2006), o qual significa joelho sobre o eixo do pedal. Por exemplo, se a um ciclista for indicado um pedivela de 165 mm e ele optar em usar um de 175 mm, o eixo do pedal será anteriorizado em 1 cm, fazendo com que o selim seja, de igual forma, anteriorizado em 1 cm para manter o ajuste proposto pelo *bike fit* segundo o método KOPS (Figura 2A). Uma anteriorização de 1 cm aproxima o ciclista mais do guidão. Neste caso, optar pelo pedivela mais comprido resultará em desperdiçar 1 cm do comprimento do *top tube* efetivo, segmento virtual que estabelece o comprimento real do quadro. Além disso, a altura do selim deve ser reavaliada, pois o ângulo de flexão-extensão do joelho poderá sofrer alteração, já que o pé se posicionará em uma posição mais baixa (Figura 2B) (BURKE, 2002; PRUITT e MATHENY, 2006).

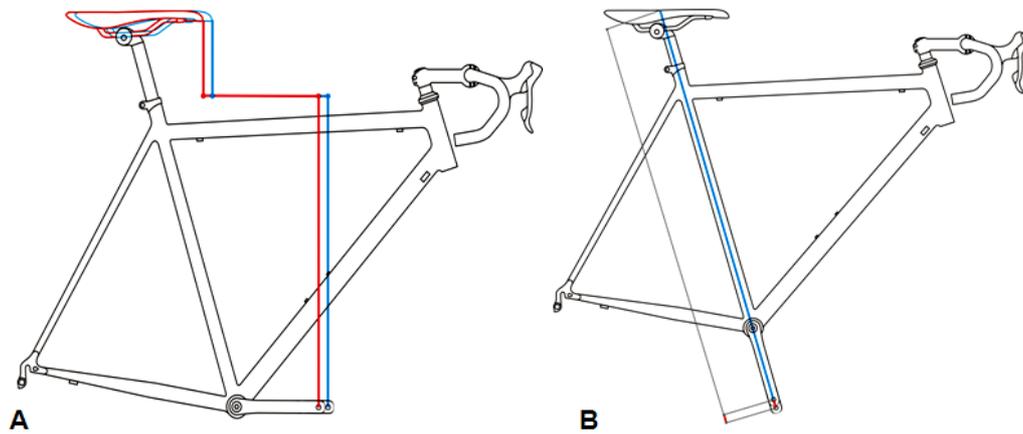


Figura 2 - Influência do comprimento do pedivela no ajuste do selim. Representação da influência do comprimento do pedivela (A) sobre o posicionamento do selim e (B) sobre a altura do selim em relação ao eixo do pedal.

Embora a diferença entre um pedivela de 165 mm e outro de 175 mm pareça pequena, um pedivela excessivamente longo pode acarretar mudanças consideráveis. Como regra geral, visando uma perspectiva preventiva, o ciclista deve adquirir um pedivela imediatamente menor ao indicado, isto é, 2,5 mm menor, do que um maior, quando o comprimento indicado não estiver disponível para compra (SANNER e O'HALLORAN, 2000).

Influência do comprimento do pedivela sobre a cinemática

Os braços dos pedivelas disponíveis nas lojas de ciclismo variam de 165 mm a 180 mm (GREGOR, BROKER e RYAN, 1991; SANNER e O'HALLORAN, 2000; BURKE e PRUITT, 2003; BROKER, 2006), na maioria das vezes com incrementos de 2,5 mm dentro deste intervalo. Ciclistas com membros inferiores mais compridos necessitam de um pedivela mais longo (BURKE e PRUITT, 2003).

Mudanças no comprimento do pedivela também afetam a relação entre força, velocidade e potência e entre força e comprimento muscular (TOO e WILLIAMS, 2001). Para Broker (2006), diferenças em parâmetros musculoesqueléticos, tais como: tipo de fibra muscular, distribuição do comprimento músculo-tendíneo, rigidez tendínea e braços de alavanca nas articulações podem influenciar a escolha do comprimento ideal do pedivela. Morris e Londeree (1997) relatam que os efeitos da composição das fibras musculares sobre o comprimento ótimo do pedivela devem ser investigados já que indivíduos com predominância de fibras musculares do tipo II (rápidas) produzem um trabalho mais eficiente em altas velocidades de contração.

O comprimento do pedivela determina o tamanho do círculo realizado pelo pé a cada revolução do pedal (MORRIS e LONDEREE, 1997; SANNER e O'HALLORAN, 2000; LEFEVER-BUTTON, 2001), bem como o ângulo de flexão-extensão descrito pelo joelho, quadril e tornozelo a cada ciclo da pedalada (MORRIS e LONDEREE, 1997; SPRULES, 2000; SANNER e O'HALLORAN, 2000). Ajuste no comprimento do pedivela em 5 mm (170-175 mm) leva a um aumento de 3% na circunferência realizada pelo pedal, resultando em alteração da cadência (MACDERMID e EDWARDS, 2009). Este aumento do comprimento do pedivela implica em aumento da velocidade de contração dos músculos dos membros inferiores para que seja mantida a mesma cadência (Morris e Londeree, 1997).

O uso de pedivela muito longo, comparado ao ideal sugerido por meio de análise antropométrica, pode gerar sobrecarga em estruturas na face anterior do joelho (ASPLUND e ST PIERRE, 2004; SILBERMAN et al., 2005), afetando principalmente o tendão patelar e quadriciptal (ASPLUND e ST PIERRE, 2004). Além disso, aumenta-se a compressão da patela sobre o fêmur em decorrência do maior ângulo de flexão de joelho (MESTDAGH, 1998).

No geral, considerando o mesmo ciclista, o pedivela para a modalidade de estrada é menor comparado à modalidade de montanha (PRUITT e MATHENY, 2006; BROKER, 2006). O maior problema decorrente do uso de pedivela muito longo é que o joelho deve passar por uma maior excursão e a tíbia deve percorrer uma distância maior em torno dos côndilos femorais; conseqüentemente o joelho atinge limites de deslocamento mais distantes do *top tube* nas proximidades do ponto morto inferior (PMI) e mais próximos no ponto morto superior (PMS), devido à disparidade no tamanho dos côndilos medial e lateral, influenciando cargas em varo e valgo. O PMI é definido como o ponto mais baixo do ciclo da pedalada, enquanto o PMS o mais alto (SANNER e O'HALLORAN, 2000).

Um pedivela muito longo também significa que o retináculo patelar deve percorrer grandes distâncias em torno do fêmur a cada ciclo de pedalada, possivelmente aumentando a tensão sobre esta estrutura (SANNER e O'HALLORAN, 2000). Pedalar com pedivela longo, especialmente quando combinado com grandes cargas e baixas velocidades de rotação do pedal, não só pode causar problemas na região fêmoro-patelar como também induzir a um estresse do reto femoral e dos músculos vastos (MESTDAGH, 1998; BROKER, 2006). Para Burke (2002) é importante checar o comprimento do pedivela caso o ciclista sinta seus joelhos flexionarem muito no ponto morto superior, ainda que o selim esteja adequadamente posicionado em relação à altura.

Influência do comprimento do pedivela sobre o consumo de oxigênio (VO₂)

Conrad e Thomas (1983) publicaram em 1983 os resultados de uma pesquisa acerca da correlação entre consumo de oxigênio e diferentes comprimentos de pedivelas: 165 mm a 180 mm, com variação de 2,5 mm entre os pedivelas utilizados. Os testes foram realizados com vinte ciclistas. Os participantes pedalarão sob carga constante, com média de 70% do VO_{2máx} (L.min⁻¹). Independente do pedivela utilizado, a altura do selim foi mantida constante. Os resultados do VO_{2máx} obtidos para os pedivelas de 165 mm e 180 mm foram 3,35±0,55 e 3,48±0,43, respectivamente, revelando uma diferença não significativa quanto ao consumo de oxigênio entre os sete comprimentos de pedivelas utilizados. Os autores relatam ainda que não foi possível prever uma correlação entre comprimento ótimo do pedivela, consumo de oxigênio e a antropometria realizada (comprimento dos membros inferiores, coxa, perna, pé e cavalo).

Morris e Londeree (1997) realizaram uma pesquisa com seis ciclistas competidores confederados (23,8±1,7 anos, estatura de 176,8±2,1 cm, 70,7±5,1 kg). O objetivo do estudo foi determinar os efeitos promovidos sobre o consumo de oxigênio ao utilizar pedivelas de três comprimentos: 165 mm, 170 mm e 175 mm.

Para dar início ao teste cada ciclista fez um aquecimento de cinco minutos para então começarem a pedalar a 90 rpm, mantendo a cadência constante, e carga que os levassem à 65% do VO_{2máx}. Cada participante utilizou sua própria bicicleta, a qual foi acoplada a um simulador magnético. Pedalarão por 105 minutos em posição sentada. A coleta do ar expirado durante o teste foi realizada por 15 minutos a partir dos marcos: 0, 30, 60 e 90 minutos. Os resultados do consumo de oxigênio foi expresso em VO₂ (mL.m⁻¹

$^1 \cdot \text{min}^{-1}$) e classificados de acordo com os valores obtidos em: mais baixo, médio e mais alto, conforme mostra tabela 1.

Tabela 1 - Sumário dos resultados de Morris e Londeree (1997)

Participante	Mais Alto		Médio		Mais Baixo	
	VO ₂	Pedivela	VO ₂	Pedivela	VO ₂	Pedivela
1	4,33	170	4,60	175	4,80	165
2	4,85	175	5,06	170	5,37	165
3	5,81	165	6,03	175	6,03	170
4	5,53	170	5,81	165	5,90	175
5	5,55	165	5,57	175	5,92	170
6	4,56	170	4,81	165	4,89	175

A análise dos resultados obtidos revela diferença significativa entre as categorias alta, média e baixa quanto ao consumo de oxigênio ($P < 0,01$), com valores variando em apenas 7%. Os autores revelaram ainda que não encontraram correlação entre comprimento ótimo do pedivela e as variáveis antropométricas: comprimento total do membro inferior, comprimento do fêmur e da tíbia.

Macdermid e Edwards (2009) realizaram uma pesquisa com sete ciclistas mulheres, competidoras de *cross-country*, com idade de $26 \pm 3,8$ anos, cujo objetivo foi verificar se pequenas alterações no comprimento do pedivela seriam suficientes para provocar mudanças significativas no desempenho específico ao *cross-country* e sua influência em potencial em competições. Foram utilizadas pedivelas de diferentes comprimentos: 170 mm, 172,5 mm e 175 mm. Para iniciar o teste cada ciclista realizou um aquecimento de 10 minutos. Os valores de $\text{VO}_{2\text{máx}}$ ($\text{L} \cdot \text{m}^{-1}$) obtidos para as pedivelas de comprimento 170 mm, 172,5 mm e 175 mm foram $3,3 \pm 0,3$, $3,2 \pm 0,3$ e $3,3 \pm 0,3$, respectivamente.

Os resultados obtidos por Conrad & Thomas (1983) e Macdermid & Edwards (2009) revelam concordância quanto à variação do consumo de oxigênio ao alterar o comprimento do pedivela, todavia, os valores obtidos foram considerados não significativos na eficiência da prática do ciclismo.

Influência do comprimento do pedivela sobre a cadência e potência produzida

Pesquisas científicas indicam que o pedivela influencia a cadência da pedalada (BURKE, 2002; FARIA, PARKER e FARIA, 2005) e a alavanca em relação aos pedais (BURKE, 2002). Pedivelas mais longas (170 mm a 180 mm) têm sido tradicionalmente usadas para uma maior alavancagem em subidas (TOO, 1990; SANNER e O'HALLORAN, 2000; BURKE, 2002; BURKE e PRUITT, 2003) devido à alta vantagem mecânica (BROKER, 2006) enquanto que os mais curtos (160 mm a 170 mm) para alta cadência (TOO, 1990; FARIA, 1992; SANNER e O'HALLORAN, 2000; BURKE, 2002; BURKE e PRUITT, 2003; BROKER, 2006; MACDERMID e EDWARDS, 2009) e rápida aceleração (TOO, 1990; SANNER e O'HALLORAN, 2000; BURKE e PRUITT, 2003). Para Suzuki (1979) a cadência ótima para um ciclista pode depender da composição das fibras musculares; desta forma aqueles que apresentarem alta porcentagem de fibras do tipo rápida são mais eficientes em cadências mais elevadas.

Qualquer vantagem biomecânica, como otimizar o comprimento pedivela para facilitar a obtenção mais rápida do pico de potência, pode ser fundamental para determinar o

resultado e uma prova ciclística (MACDERMID e EDWARDS, 2009).

Em 2003, Lucia et al. descreveram achados fisiológicos relacionados à alta e baixa cadência. As conclusões foram baseadas em pesquisas conduzidas especialmente com ciclistas com nível de treinamento não tão elevado. Para os autores os fatores frequência e débito cardíaco, ventilação pulmonar (em $L \cdot \text{min}^{-1}$), VO_2 , fluxo sanguíneo no quadríceps e bomba musculoesquelética encontraram-se diminuídos a baixa cadência (<60-70 rpm) quando comparados a alta cadência (> 90 rpm). Em contrapartida, os fatores economia/eficiência e estresse muscular apresentaram-se aumentados a baixa cadência e diminuídos em alta.

De acordo com estudos revisados por Faria, Parker e Faria (2005) a cadência da pedalada ideal para a produção de potência diminui com o aumento do comprimento do pedivela. Esta informação concorda com os resultados encontrados por Martin e Spirduso (2001), conforme representa Figura 3. Portanto, um aumento do comprimento do pedivela aumenta o comprimento do braço de alavanca de modo que o ciclista é impossibilitado de manter uma alta cadência de pedalada para alcançar a potência desejada. Segundo Johnston (2007), na reabilitação, um pedivela mais longo pode ser favorável para a produção de energia para um paciente incapaz de alcançar alta cadência.

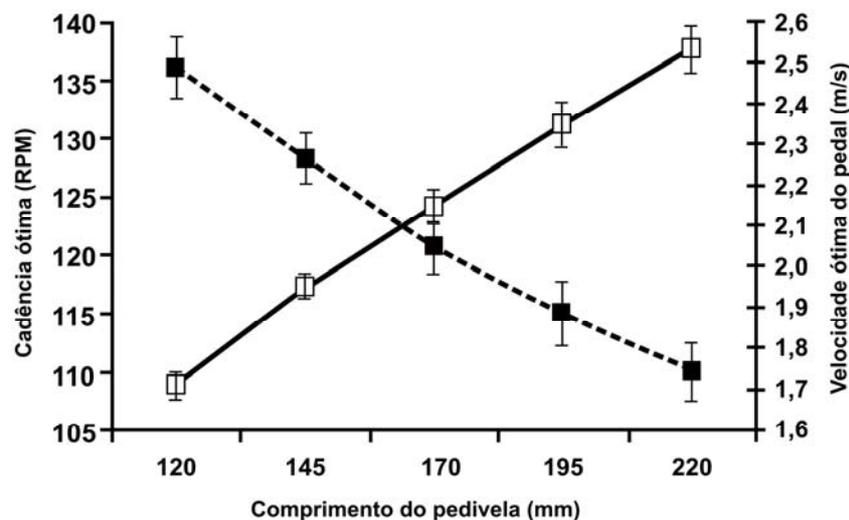


Figura 3 - Relação entre comprimento do pedivela, cadência (■) e velocidade do pedal ótima (□). Adaptado de Martin e Spirduso, 2001, p. 415.

Em 1981, Coogan publicou uma pesquisa realizada com quatro ciclistas com experiência competitiva, utilizando pedivela de diferentes comprimentos: 160 mm, 170 mm, 180 mm e 190 mm. Todos os ciclistas tiveram o cicloergômetro devidamente ajustado para então iniciarem um aquecimento de cinco minutos até atingir 50% $\text{VO}_{2\text{máx}}$. O *sprint* no cicloergômetro foi de 45 segundos com cadência mantida a 90 rpm. Os resultados desta pesquisa são resumidos na tabela 2.

Tabela 2 - Sumário dos resultados de Coogan (1981)

Comprimento do Pedivela	160 mm	170 mm	180 mm	190 mm
Potência Média (W)	576,5*±28,5	589,6±17,0	601,6*±28,7	586,7±26,6
Pico de Torque (N.m)	86,5±5,2	91,1±5,1	95,0±4,6	94,2±5,3
Pico de Força (N)	540,5±32,5	535,8±30,0	526,8±25,6	495,8±27,9
Fatigabilidade (%)	49,0±5,3	49,3±6,1	50,9±5,9	51,5±6,5

O parâmetro fatigabilidade foi determinado pela diferença entre pico de torque no início e no fim de cada teste. Os resultados obtidos por Coogan (1981) mostraram que: (1) a potência média para o pedivela de 180 mm foi significativamente maior durante o período de 45 segundos quando comparado ao de 160 mm; (2) o pico de torque para os pedivelas de 180 mm e 190 mm foram significativamente maiores do que o de 170 mm; (3) a potência média diminuiu com pedivela muito longo; (4) o pico de força diminuiu aproximadamente 50% ao longo dos 45 segundos de duração do *sprint*, mostrando que (5) a fatigabilidade aumentou com o aumento do comprimento do pedivela. Coogan (1981) não encontrou nenhuma variável que expressasse o comprimento do pedivela como porcentagem do comprimento total dos membros inferiores.

Não surpreende que, com um pedivela mais longo, a força aplicada no pedal seja menor, considerando cadência e potência constantes. Além disso, quanto mais comprido é o pedivela menor é a cadência desenvolvida (GONZALEZ e HULL, 1989; FARIA, 1992; MORRIS e LONDEREE, 1997; MARTIN e SPIRDUSO, 2001; LOVEGREN, 2007). De outro modo, um pedivela com maior comprimento solicita menor aplicação de força sobre o pedal para gerar a mesma potência em comparação com um pedivela mais curto (GONZALEZ e HULL, 1989; LOVEGREN, 2007).

Bertucci et al. (2005) indicam que a manutenção de uma força constante em pedivela mais longo aperfeiçoa o torque aplicado no pedivela, e, conseqüentemente, a produção de potência. Já Faria (1992) refere que o aumento do comprimento do pedivela durante a fase de propulsão resulta em um maior pico de torque. As informações de ambos os autores vão ao encontro dos resultados obtidos por Coogan (1981).

Já os resultados obtidos por Macdermid e Edwards (2009) revelaram que houve um efeito significativo da variação do comprimento do pedivela sobre o tempo despendido para atingir o pico de potência. A tabela 3 mostra resultados de algumas das variáveis analisadas.

Tabela 3 - Resultados obtidos por Macdermid e Edwards (2009)

Comprimento do Pedivela	170 mm	172,5 mm	175 mm
Pico de Potência (W)	756,3±78,1	741,1±85,8	741,0±71,7
Tempo de cada Pico de Potência (s)	2,57±0,79*	2,79±0,70	3,29±0,76
Taxa da Potência Desenvolvida (W.s⁻¹)	324±117	309±111	241±79

A análise das variáveis demonstrou uma diferença no tempo de pico de potência no teste de pico de potência-cadência entre os pedivelas de 175 e 170 milímetros ($P < 0,05$), resultando em uma diferença de 27,8% no desempenho. Estes dados sugerem que o pedivela de 170 mm influenciou de forma positiva na obtenção dos resultados que possam ser de importância estratégica para o desempenho de provas de *cross-country*. Não foram observadas diferenças significativas no desempenho quanto à potência, força ou resultados de resistência entre os diferentes pedivelas avaliados.

Influência do comprimento do pedivela sobre o desempenho

Em 1988, Hull e Gonzales realizaram uma simulação computacional a partir dos dados dos três indivíduos para analisar o efeito da variação do comprimento do pedivela sobre variáveis do desempenho, tais como momento e custo funcional. Entende-se por custo funcional a somatória dos momentos das articulações do quadril e joelho. A estatura de cada um dos participantes era de 177,8 cm, 162,6 cm e 193 cm, denominados de mediano, baixo e alto, respectivamente. O pedivela utilizado nos testes variaram de 140 mm a 200 mm, com acréscimos de 5 mm, e cadência de 60 a 140 rpm. Os resultados são apresentados nas figuras de 4A à 4D.

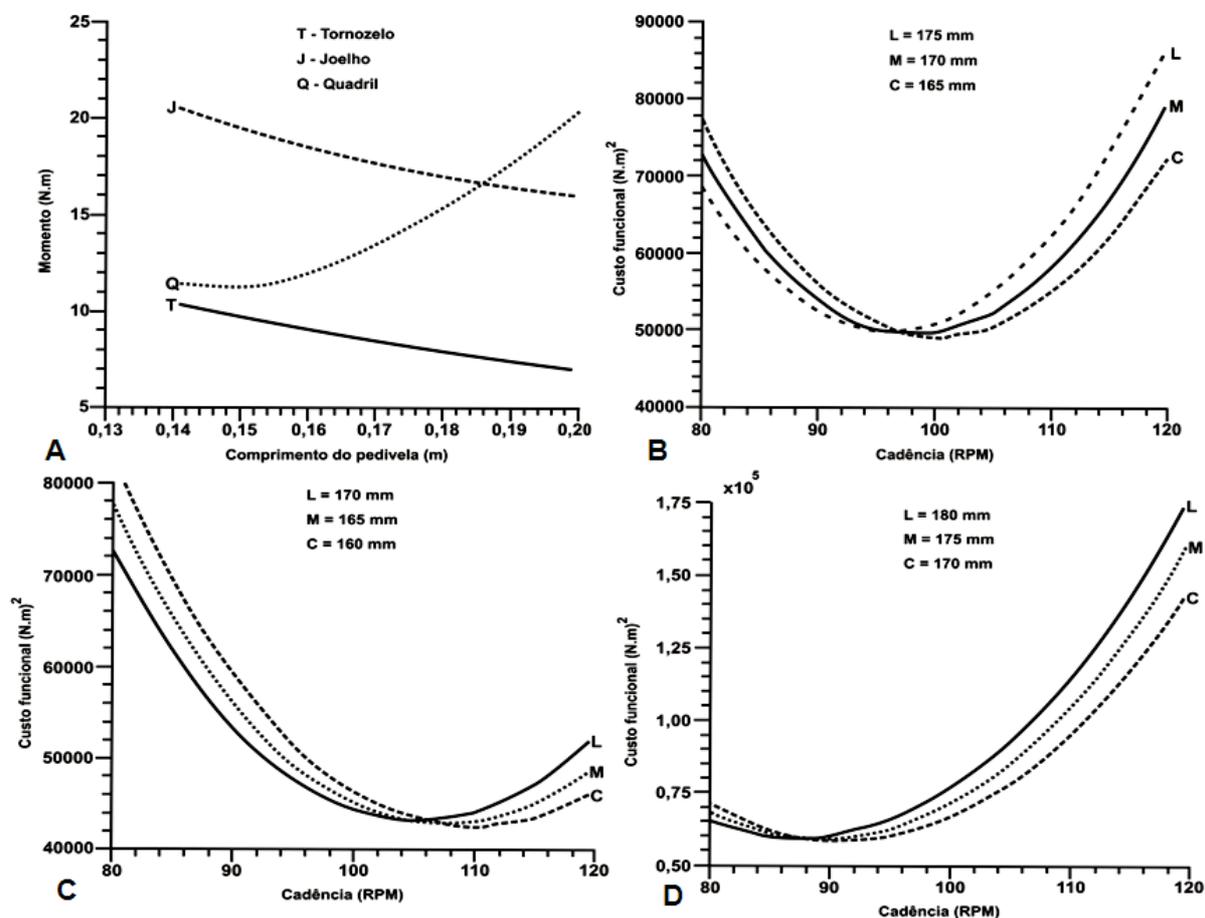


Figura 4. Representação dos resultados: (A) média absoluta do momento articular vs. comprimento do pedivela para cadência de 100 rpm (100 W, homem mediano); (B) custo funcional do momento vs. cadência referente aos pedivelas de comprimento 170 mm \pm 5 mm (100 W, homem mediano); (C) custo funcional do momento vs. cadência referente aos pedivelas de comprimento 165 mm \pm 5 mm (100 W, homem baixo); (D) custo funcional do momento vs. cadência referente aos pedivelas de comprimento 175 mm \pm 5 mm (100 W, homem alto). L: longo, M: médio e C: curto. Adaptado de Hull e Gonzales, 1988, pp. 843, 846, 847, 848.

Martin e Spirduso (2001) realizaram uma pesquisa com dezesseis ciclistas homens treinados e pedivelas de quatro comprimentos: 145 mm, 170 mm, 195 mm e 220 mm. Os testes foram realizados a uma potência de 100 W, com um aquecimento prévio de cinco minutos. Quatro testes foram realizados para cada comprimento de pedivela utilizado. Os resultados (Figura 5) mostram que a potência máxima variou em 4% entre os pedivelas utilizados, partindo de 1149 W a 1194 W para os pedivelas de comprimento 220 mm e 145 mm, respectivamente.

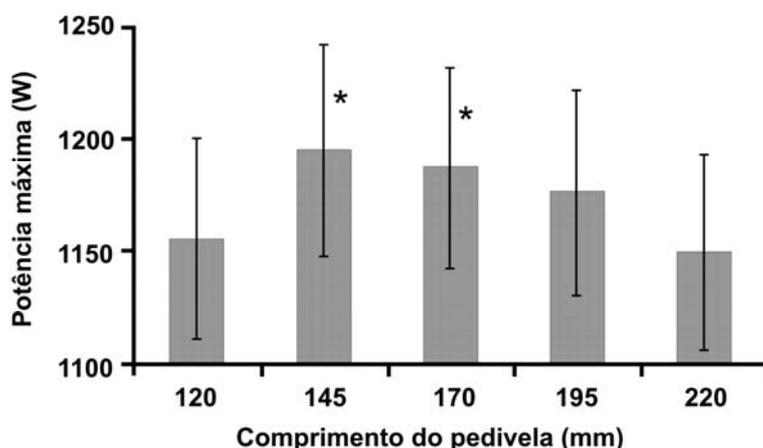


Figura 5. Potência máxima em *watts* referentes aos comprimentos dos pedivelas utilizados (* $P < 0,05$). Adaptado de Martin & Spirduso, 2001, p. 414.

Os resultados obtidos por Martin e Spirduso (2001) vão de encontro aos de Coogan (1981) para a variável potência máxima relativa ao comprimento do pedivela.

Influência do comprimento do pedivela sobre a ativação muscular

Mileva e Turner (2003) avaliaram 10 ciclistas com experiência moderada (9 homens e 1 mulher) com o objetivo do estudo foi avaliar a influência do comprimento do pedivela (155, 175 e 195 mm) no padrão de ativação dos músculos reto femoral, tibial anterior, sóleo e bíceps femoral.

Os ciclistas realizaram um aquecimento de cinco minutos, seguido de testes com potência de 90-100 W e cadência de 60 rpm. Foram solicitados a manter as mãos no guidão e não mudar a postura durante os testes. Comparando os resultados obtidos pelos pedivelas de 145 mm e 195 mm (Figuras 6A-6D), observou-se atividade eletromiográfica aumentada nos músculos tibial anterior e sóleo, reduzida no bíceps femoral e inalterada no reto femoral. Os autores também concluíram, que a velocidade angular das articulações do joelho e tornozelo durante na fase de propulsão foi fortemente dependente do comprimento do pedivela.

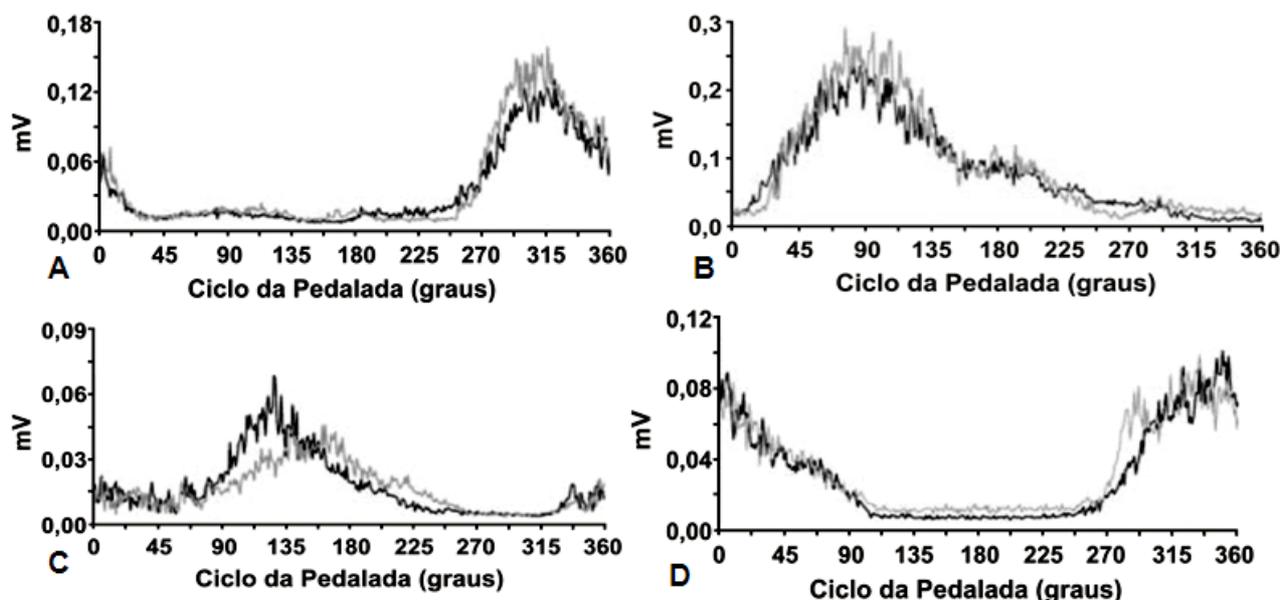


Figura 6. Eletromiografia dos músculos: (A) tibial anterior, (B) sóleo, (C) bíceps femoral e (D) reto femoral, para os pedivelas de 145 mm (linha preta) e 195 mm (linha cinza). Adaptado de Mileva e Turner, 2003, p. 396.

Por meio da análise qualitativa dos resultados obtidos é possível interpretar a atividade mioelétrica e a função desempenhada pelos quatro músculos no ciclo da pedalada. O tibial anterior apresentou função de dorsiflexão do tornozelo na fase de recuperação; o sóleo com função de flexor plantar na fase de propulsão; enquanto o bíceps femoral apresentou-se como extensor do quadril e flexor do joelho na fase de propulsão e o reto femoral com função de flexor do quadril e extensor do joelho nas fases de recuperação e propulsão, respectivamente. Entende-se por fase de recuperação o retorno do pedal do ponto morto inferior ao superior e por fase de propulsão o movimento do pedal do ponto morto superior em direção ao inferior.

CONCLUSÃO

Ainda não existe uma fórmula definitiva que determine o comprimento ideal do pedivela para cada ciclista. Ainda assim, existem protocolos utilizados por alguns métodos utilizados para configurar os componentes da bicicleta (*bike fit*) que sugerem valores que se adequam bem às características antropométricas do atleta. No entanto, é importante enfatizar que a indicação do comprimento do pedivela considerando a estatura do ciclista ou um segmento isolado do membro inferior como parâmetro é um procedimento passível de resultados duvidosos, visto que há ocorrência de desproporcionalidade de comprimento entre segmentos corporais, como tronco e membros inferiores entre diferentes sujeitos. Com base na literatura revisada, a determinação do comprimento ótimo do pedivela depende da finalidade almejada no ciclismo (pico de força, cadência, consumo de oxigênio, potência produzida) uma vez que a manipulação do comprimento do pedivela pode refletir diferentes respostas para cada uma das variáveis do desempenho. No entanto, a determinação do comprimento ótimo do pedivela com fins de otimizar estas variáveis ainda carece maiores investigações.

REFERÊNCIAS

- ASPLUND, C.; ST PIERRE, P. Knee Pain and Bicycling - Fitting Concepts for Clinicians. *Phys Sportsmed*, v. 32, 23-30, 2004.
- BERTUCCI, W.; GRAPPE, F.; GIRARD, A.; BETIK, A.; ROUILLON, J. D. Effects on The Crank Torque Profile When Changing Pedalling Cadence in Level Ground and Uphill Road Cycling. *J Biomech*, v. 38, 1003-1010, 2005.
- BROKER, J. P. Bicycle Types, Bicycle Anatomy, and Bicycle Setup. In: Broker JP, Hill PF (Editors). *Bicycle Accidents: Biomechanical, Engineering, and Legal Aspects*. Tucson, AZ: Lawyers & Judges Publishing Company; 2006, p. 9-24.
- BURKE, E. R. *Serious Cycling*. 2nd Ed. Champaign, IL: Human Kinetics; 2002.
- BURKE, E. R.; PRUITT, A. L. Body Positioning for Cycling. In: Burke ER (Editor). *High-Tech Cycling*. 2nd ed. Champaign, IL: Human Kinetics; 2003, p. 69-92.
- BUTTARS, K. R. Crank Length and Gearing. *Bicycling*, 1982, v. 23, 26.
- CONRAD, D. R.; THOMAS, T. R. Bicycle Crank Arm Length and Oxygen Consumption in Trained Cyclist. *Med Sci Sports Exerc*, v. 15, 111, 1983.
- COOGAN, A. R. The Effect of Crank Arm Length upon the Anaerobic Power of Competitive Cyclists. [Bachelors Thesis]. Muncie, Indiana: Ball State University, 1981.
- FARIA, E. W.; PARKER, D. L.; FARIA, E. I. The Science of Cycling: Physiology and Training - Part 1. *Sports Med*, v. 35, 313-337, 2005.
- FARIA, I. E. Energy Expenditure, Aerodynamics and Medical Problems in Cycling. An update. *Sports Med*, v. 14, 43-63, 1992.
- GONZALEZ, H.; HULL, M. L. Multivariable Optimization of Cycling Biomechanics. *J Biomech*, v. 22, 1151-1161, 1989.
- GREGOR, R. J.; BROKER, J. P.; RYAN, M. M. The Biomechanics of Cycling. *Exerc Sport Sci Rev*, v. 19, 127-169, 1991.
- HULL, M. L.; GONZALEZ, H. Bivariate Optimization of Pedalling Rate And Crank Arm Length in Cycling. *J Biomech*, v. 21, 839-849, 1988.
- JOHNSTON, T. E. Biomechanical Considerations for Cycling Interventions in Rehabilitation. *Phys Ther*, v. 87, 1243-1252, 2007.
- LEFEVER-BUTTON, S. Cycling. In: Shamus E, Shamus J (Editors). *Sports Injury - Prevention & Rehabilitation*. 1st ed. McGraw-Hill; 2001, p. 459-83.
- LOVEGREN, M. Basic Cycling Biomechanics - The Bike Side. *Performance Conditioning Cycling*, v. 14, 3-4, 2007.
- LUCIA, A.; EARNEST, C.; HOYOS, J.; CHICARRO, J. L. Optimizing the Crank Cycle and Pedaling Cadence. In: Burke ER (Editor). *High-Tech Cycling*. 2nd ed. Champaign, IL: Human Kinetics; 2003, p. 93-118.
- MACDERMID, P. W.; EDWARDS, A. M. Influence of Crank Length on Cycle Ergometry Performance of Well-Trained Female Cross-Country Mountain Bike Athletes. *Eur J Appl Physiol*, In Press 2009.
- MARTIN, J. C.; SPIRDUSO, W. W. Determinants of Maximal Cycling Power: Crank Length, Pedaling Rate and Pedal Speed. *Eur J Appl Physiol*, v. 84, 413-418, 2001.
- MESTDAGH, K. V. Personal Perspective: in Search of an Optimum Cycling Posture. *Appl*

Ergon, v. 29, 325-334, 1998.

MILEVA, K.; TURNER, D. Neuromuscular and Biomechanical Coupling in Human Cycling: Adaptations to Changes in Crank Length. *Exp. Brain Res*, v. 152, 393-403, 2003.

MORRIS, D. M.; LONDEREE, B. R. The Effect of Bicycle Crank Arm Length on Oxygen Consumption. *Can J Appl Physiol*, v. 22, 429-438, 1997.

PRUITT, A. L.; MATHENY, F. *Andy Pruitt's Complete Medical Guide for Cyclists*. Boulder, CO: VeloPress; 2006.

SANNER, W. H.; O'HALLORAN, W. D. The Biomechanics, Etiology, and Treatment Of Cycling Injuries. *J Am Podiatr Med Assoc*, v. 90, 354-376, 2000.

SILBERMAN, M. R; WEBNER, D.; COLLINA, S.; SHIPLE, B. J. Road Bicycle Fit. *Clin J Sport Med*, v. 15, 271-276, 2005.

SPRULES, E. B. The Biomechanical Effects of Crank Arm Length on Cycling Mechanics. [Master of Science Thesis]. University of Guelph, 2000.

SUZUKI, Y. Mechanical Efficiency of Fast- And Slow-Twitch Muscle Fibers in Man During Cycling. *J Appl Physiol*, v. 47, 263-267, 1979.

TOO, D. Biomechanics of Cycling and Factors Affecting Performance. *Sports Med*, v. 10, 286-302, 1990.

TOO, D.; WILLIAMS, C. Determination of The Crank-Arm Length to Maximize Power Production in Recumbent Cycle Ergometry. *Human Power*, v. 51, 2-6, 2001.

TROMBLEY, A. *Serious Mountain Biking*. 1st ed. Champaign, IL: Human Kinetics; 2005.

BIOGRAFIA DOS AUTORES (AUTHORS BIOGRAPHY)



Name (Nome): Thiago Ayala M. Di Alencar

Employment (Atividade Profissional): Fisioterapeuta do Studio Bike Fit® – Centro de Reabilitação Esportiva.

Degree (Titulação): Graduado em Fisioterapia pela Universidade Estadual de Goiás (UEG).

Research interests (Interesses de Pesquisa): Biomecânica dos esportes, biomecânica das lesões musculoesqueléticas e reabilitação.

E-mail: thiagoayala@hotmail.com

Name (Nome): Rodrigo Rico Bini

Employment (Atividade Profissional): estudante de doutorado em Sports and Exercise na AUT University - New Zealand. Projeto de tese com foco nos aspectos biomecânicos do ciclismo para o desempenho e a prevenção de lesões. Membro do Grupo de Pesquisa em Biomecânica e Cinesiologia da UFRGS, do Grupo de Estudo e Pesquisa em Ciclismo da UFSM e do Grupo de Pesquisa em Neuromecânica Aplicada da Unipampa. Estudante membro da Sociedade Internacional de Biomecânica e da Sociedade Internacional de Biomecânica do Esporte.

Degree (Titulação): Mestre em Ciências do Movimento Humano.



Research interests (Interesses de Pesquisa): Biomecânica dos Esportes e Biomecânica musculoesquelética.

E-mail: bini.rodriigo@gmail.com



Name (Nome): Karinna F. de Sousa Matias

Employment (Atividade Profissional): Fisioterapeuta do Studio Bike Fit® – Centro de Reabilitação Esportiva.

Degree (Titulação): Graduado em Fisioterapia pela Universidade Estadual de Goiás (UEG).

Research interests (Interesses de Pesquisa): Biomecânica das lesões musculoesqueléticas e reabilitação.

E-mail: karinnamatias@hotmail.com



Name (Nome): Fernando Diefenthaler

Employment (Atividade Profissional): Doutor em Ciências do Movimento Humano

Degree (Titulação): Pesquisador do Laboratório de Pesquisa do Exercício da Escola de Educação Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Research interests (Interesses de Pesquisa): Biomecânica dos esportes e fadiga.

E-mail: fdiefenthaler@gmail.com



Name (Nome): Felipe P. Carpes

Employment (Atividade Profissional): Professor adjunto da Universidade Federal do Pampa, campus Uruguaiana, nas áreas de biomecânica e cinesiologia. Líder do Grupo de Pesquisa em Neuromecânica Aplicada e do Grupo de Estudo e Pesquisa em Ciclismo.

Degree (Titulação): Doutor em Ciências do Movimento Humano.

Research interests (Interesses de Pesquisa): Neuromecânica da locomoção e da postura em pé.

E-mail: felipecarpes@gmail.com