UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
FACULDADE DE NUTRIÇÃO
MESTRADO EM NUTRIÇÃO

PATRÍCIA GUIMARÃES COUTO

INTERVENÇÃO DIETÉTICA, METABOLISMO E DESEMPENHO FÍSICO DE ADOLESCENTES

MACEIÓ
2013

PATRÍCIA GUIMARÃES COUTO

INTERVENÇÃO DIETÉTICA, METABOLISMO E DESEMPENHO FÍSICO DE ADOLESCENTES

Dissertação apresentada à Faculdade de Nutrição da Universidade Federal de Alagoas como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Nutrição.

Orientador: Prof. Dr. Adriano Eduardo Lima da Silva
Co-Orientador: Prof. Dr. Fernando Roberto de Oliveira

MACEIÓ
2013

Catalogação na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecária: Helena Cristina Pimentel do Vale

C871i Couto, Patrícia Guimarães.
Intervenção dietética, metabolismo e desempenho físico de adolescentes / Patrícia Guimarães Couto. – 2013.
63 f. : il. color.

Orientador: Adriano Eduardo Lima da Silva.
Co-Orientador: Fernando Roberto de Oliveira.
Dissertação (Mestrado em Nutrição) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Nutrição, Maceió, 2013.

Bibliografia. F. 48-52.
Apêndices: f. 53-59
Anexos: f. 60-63.

1. Carboidratos. 2. Gordura. 3. Dieta. 4. Metabolismo. 5. Exercício. I. Título.

CDU: 612.396/.397-053.5/.6

MESTRADO EM NUTRIÇÃO
FACULDADE DE NUTRIÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS

Campus A. C. Simões
BR 104, km 14, Tabuleiro dos Martins
Maceió-AL 57072-970
Fone/fax: 81 3214-1160

PARECER DA BANCA EXAMINADORA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

"Efeito de diferentes dietas no desempenho de adolescentes em corrida de 10km"

por

PATRÍCIA GUIMARÃES COUTO

A Banca Examinadora, reunida aos 25 dias do mês de fevereiro do ano de 2013, considera a candidata **APROVADA**.

Prof. Dr. Adriano Eduardo Lima da Silva
Faculdade de Nutrição
Universidade Federal de Alagoas
(Orientador)

Prof. Dr. Fernando Roberto de Oliveira
Departamento de Educacao Física
Universidade Federal de Lavras
(Co-Orientador)

Prof. Dr. Gustavo Gomes de Araújo
Centro de Educação
Universidade Federal de Alagoas
(Examinador)

Prof. Dr. Rômulo Cássio de Moraes Bertuzzi
Escola de Educação Física e Esporte
Universidade de São Paulo
(Examinador)

AGRADECIMENTOS

À Deus, por me guiar e proteger, e pelas pessoas especiais que colocas em meu caminho.

Aos meus pais, Maria Cristina e Nilton, exemplos de perseverança e fé, por suas orações, confiança, sacrifícios e trabalho.

A todos da minha família, em especial aos meus irmãos, Henrique e Mariana, e aos meus avós, Heloisa e Luiz, pelo amor, carinho e incentivo.

Ao professor Adriano Eduardo Lima da Silva, pela sua paciente e competente orientação. Sua atenção, presença, exigência e generosidade fizeram que eu buscasse o melhor de mim. Exemplo de pessoa e de profissional com quem venho aprendendo muito.

Ao professor Fernando Roberto de Oliveira, meu co-orientador neste trabalho, que me ensinou qualidades fundamentais à formação acadêmica, profissional e pessoal. Além disso, seu incentivo, broncas e inspiração foram essenciais. É um grande criador de problemas e perguntas desafiadoras!

À Universidade Federal de Lavras, e aos professores do Departamento de Educação Física: Fernando de Oliveira, Sandro Silva, Giancarla Santos, Marco Antônio Barbosa e Priscila Rogatto, por disponibilizarem instalações e equipamentos para a realização das coletas.

A todos que colaboraram gentilmente durante o período de manipulação dietética deste trabalho: o nutricionista e professor Hessel Marani Lima, que com seu trabalho minucioso e preciso avaliou e elaborou as dietas; Emília Cristina, nutricionista responsável pelo restaurante universitário da Universidade Federal de Lavras (RU), a estagiária de nutrição Ana Cláudia Ribeiro e a todos os funcionários do RU, que com alegria e trabalho em equipe prepararam diariamente as refeições; a empresa Verde Campo por fornecer iogurtes, queijos, creme de leite e requeijão e às padarias Pão & Saúde e Refinatta, que nos forneceram pão francês sempre que possível.

Aos colegas e amigos Rudá Soares, Carla Souza e Pedro Bigardi, em especial, pela ajuda incondicional diária nas coletas de dados, mas também ao Francisco Manoel, Antônio Ferreira Jr., Débora Coutinho e Poliana Lima, que colaboraram sempre que necessário.

Aos professores Amandio Aristides Rihan Geraldes e Thays de Ataide e Silva, que participaram da minha banca de qualificação, e deixaram por algumas horas o forró, exatamente no dia de São Pedro, para colaborar com meu trabalho e formação.

A Amanda Menezes, secretária do Programa de Pós-Graduação de Nutrição, sempre disponível, pela sua amizade e apoio.

Aos colegas de curso, que me acolheram e tornaram amigos, com os quais tive a oportunidade de trocar conhecimentos e experiências. Foi muito agradável conhecer e conviver com eles.

Aos amigos Ewerton Santos e Nassib Bueno pelos valiosos ensinamentos em bioestatística.

A todos do GPCE, grupo de pesquisa ao qual componho, pela cumplicidade e companheirismo. Em especial aos amigos Victor Santos, Marcos Cavalcante e Rafael Oliveira, que me acolheram inicialmente e estão sempre dispostos a colaborar, conversar e divertir. Não há palavras para descrever ou agradecer o quanto são corteses!

Também agradeço aos familiares do Victor Santos, que me receberam gentilmente.

À D. Rute e Vânia, que me acolheram carinhosamente, e a todos os companheiros da pensão da D. Lú, em especial a Giselma e Filipe.

À querida amiga Luciana Melo pela reciprocidade, carinho, acolhimento e discussões durante a trajetória do nosso curso, agradecimento que estende a D. Lourdes, Juliana e Morgana.

Aos professores Rômulo de Cássio Moraes Bertuzzi e Gustavo Gomes de Araújo por comporem a banca examinadora e pelas contribuições acadêmicas, profissionais e pessoais.

A todos os meus amigos, em especial Tey, Debinha, Débora, Michel, Alan e Phelipe que proporcionaram momentos descontraídos e muitas vezes ouviram com apoio e carinho minhas “crises”, decorrentes do período de mestrado.

Aos meninos da equipe de atletismo CRIA-Lavras, que foram inspiração e participaram com empenho e solidariedade como sujeitos deste estudo. Sem eles não seria possível a concepção e realização deste trabalho.

A CAPES, pela concessão de bolsa de estudos durante o mestrado.

Ao litoral alagoano, que proporciona belas paisagens e momentos de alegria.

E a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

Registro também aqui as saudades que ficarão destes anos inesquecíveis da minha vida e deixo um abraço a todos que estiveram comigo nesta jornada de dedicação, comprometimento, aprendizado e conquistas.

Deus me entregou bem mais do que mereço
Talvez seja por isso
Que eu me cobre um pouco mais
Não que eu não seja capaz
Mas às vezes é difícil
Nem sempre sei fazer o bem que eu desejo
E às vezes eu me vejo
Me enganando sempre mais
Não que eu não queira acertar,
Mas nem sempre é possível

Já me condeno tanto
Pelos erros que na vida eu cometi
Pelas vezes que eu não soube decidir
E assim, o meu coração gritava
Desespero de quem ama
Coração, tu que estás dentro em meu peito
Me condenas desse jeito
E eu não sei por qual motivo
Se és Divina voz em mim
Só te peço, por favor, eu sou humano
Não me condenes assim

Humano eu sou assim: Virtudes e limites
Se agora me permites
Eu pretendo ser feliz
Sem prender-me ao que eu não fiz,
Mas olhando o que é possível

A dor que às vezes vem
Me faz feliz também,
Pois ela me recorda
O valor que tem a Cruz
Quando a noite esconde a luz
Deus acende as estrelas

Pe. Fábio de Melo e Robson Júnior

RESUMO

Os objetivos deste trabalho foram: 1) apresentar o estado da arte sobre o metabolismo de substratos energéticos durante exercícios em crianças e adolescentes (Artigo de revisão), e 2) verificar os efeitos de dieta isoenergética, manipulada por um curto período, rica em carboidrato (CHO) ou rica em gordura, nas taxas de oxidação de CHO e gordura durante exercício submáximo e no desempenho de adolescentes em corrida de 10 km (Artigo de resultados). Foi possível constatar, através do artigo de revisão, que crianças e adolescentes apresentam metabolismo oxidativo facilitado, com maior taxa de utilização de gordura e maior contribuição energética advinda de CHO exógeno, quando disponibilizado, comparado à adultos em exercícios de mesma intensidade relativa. Estas diferenças são atribuídas a características morfológicas particulares dos indivíduos de diferentes idades, principalmente ao menor conteúdo endógeno de CHO nos mais jovens. A partir do artigo de resultados, constatou-se que, comparado a uma dieta isocalórica de curta duração rica em gordura, a dieta rica em CHO se mostrou eficiente para aumentar a oxidação deste substrato e melhorar o desempenho em corrida de 10 km. Contudo, adolescentes com idades entre 13 e 18 anos apresentaram boa taxa de oxidação de gordura e o desempenho em corrida de 10 km não foi negativamente afetado após intervenção dietética rica em gordura por 48 h comparado à dieta habitual. Em conjunto, estes resultados sugerem que adolescentes parecem ter desenvolvido uma maneira eficiente em prover ATP a partir de fontes alternativas de energia, como gordura ou CHO exógeno, para proteger os estoques endógenos de CHO, importantes para o seu crescimento e desenvolvimento.

Palavras-chave: Carboidrato. Gordura. Dieta. Metabolismo. Exercício.

ABSTRACT

The purposes of this study were: 1) to describe the state of the art about the substrate metabolism during exercise in children and adolescents (Review paper), and 2) to investigate the effects of a short-term, isoenergetic fat- or carbohydrate-rich diet on carbohydrate (CHO) and fat oxidation rates during submaximal exercise, and on performance during a 10-km running race in adolescent boys (Original paper). It was found, by review paper, that children and adolescents have a facilitated oxidative metabolism, greater fat utilization rate and greater energy contribution of exogenous CHO, when available, comparable to adults at the same relative exercise intensities. These differences are attributed to particular morphological characteristics, mainly lower endogenous CHO oxidation in younger. From the original paper, it was found that, compared to an isocaloric short-time FAT-rich diet, CHO-rich diet increased the CHO oxidation and improved the 10 km running performance. Nevertheless, adolescents aged 13 to 18 retain a good fat oxidation rate and therefore the 10 km running performance was not negatively affected after 48h FAT-rich dietary intervention when compared to a normal diet. Together, these results suggest that children and adolescents seem to have a well-developed capacity to provide ATP from alternative energy sources such as fat or exogenous CHO, preserving endogenous CHO for their growth and development.

Keywords: Carbohydrate. Fat. Diet. Metabolism. Exercise.

LISTA DE FIGURAS

Página

2º artigo: artigo de resultados

Figure 1	Means (± SEM) for total CHO and fat oxidized (g) during submaximal exercise. *CHO-rich diet is significantly higher than the fat-rich diet	38
Figure 2	Individual (open symbols) and group mean (solid symbols) speeds during the 10-km running performance after the fat-rich, habitual, and CHO-rich diets. *CHO-rich diet is significantly higher than the fat-rich diet …….....	39

LISTA DE TABELAS

2º artigo: artigo de resultados

Table 1	Participant's characteristics	33
Table 2	Nutrient composition of the study diets …….....	37
Table 3	Rest and exercise cardio respiratory and metabolic variables under the experimental conditions ...…….....	38

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

1º artigo: artigo de revisão

CHO – Carboidratos
R – Razão de trocas respiratórias
^{13}C – Carbono marcado
^{31}P – Fósforo marcado
MRS – Espectroscopia de ressonância magnética
ATP – Adenosina trifosfato
PCr – Fosfocreatina
[La] – Concentração de lactato
$VO_{2máx}$ – Consumo máximo de oxigênio
VO_{2pico} – Maior valor do consumo de oxigênio observado em determinada tarefa
CAT – Carnitina acil transferase

2º artigo: artigo de resultados

CHO – Carbohydrate
VO_{2peak} – Peak oxygen uptake
FAT-rich diet – Diet with high percentage of fat
CHO-rich diet – Diet with high percentage of carbohydrate
VO_{2max} – Maximal oxygen uptake
HR – Heart rate
SD – Standard deviation
SEM – Standard error of mean
VO_2 – Oxygen uptake
VCO_2 – Carbon dioxide output
RER – Respiratory exchange ratio
V_E – Pulmonary ventilation
LCS – Speed in the last complete stage
TLIS – Time in seconds sustained in the last incomplete stage
VT_1 – First ventilatory threshold
VT_2 – Second ventilatory threshold
V_E/VO_2 – Ventilatory equivalent of the oxygen
V_E/VCO_2 – Ventilatory equivalent of the carbon dioxide

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL..... 12

2 COLETÂNEA DE ARTIGOS..... 15

2.1 1º artigo: artigo de revisão

Metabolismo em crianças e adolescentes durante o exercício..... 16

2.2 2º artigo: artigo de resultados

Effect of fat- and carbohydrate-rich diets on substrates oxidation and running performance in trained adolescent boys: a randomized trial..... 30

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS..... 46

REFERÊNCIAS..... 48

APÊNDICES..... 53

ANEXOS..... 60

1 INTRODUÇÃO GERAL

Carboidratos (CHO) e gorduras são as principais fontes de energia durante a realização de exercícios aeróbios, sendo que a contribuição energética advinda de cada um destes substratos depende principalmente da intensidade e duração do exercício (ROMIJN et al., 1993). No entanto, outros fatores como idade, gênero, nível de aptidão aeróbia e a disponibilidade de substratos energéticos, influenciada pela dieta e estratégias alimentares antes e durante a realização de exercícios, podem afetar a oxidação dos CHO e gorduras (AUTOCOUTURIER et al., 2008). Apesar de estes fatores serem extensivamente estudados em adultos, em crianças e adolescentes a utilização de substratos energéticos durante exercícios recebeu bem menos atenção.

As limitações técnicas e éticas, associadas a procedimentos invasivos como biópsia muscular ou cateteres vasculares, limitam estudos sobre a utilização de substratos energéticos durante exercícios em crianças e adolescentes. Técnicas não invasivas, como calorimetria indireta e espectroscopia de resonância magnética com isótopo marcado, têm sido então empregadas para estimar a oxidação de CHO e gorduras durante exercícios, buscando melhorar o entendimento sobre o metabolismo de substratos energéticos durante o exercício, bem como suas implicações para a saúde e desempenho, pois crianças e adolescentes necessitam de energia principalmente para o desenvolvimento e crescimento (RIDDELL, 2008).

Os estudos disponíveis reportam que durante exercício de intensidade submáxima, crianças e adolescentes apresentam menor razão de trocas respiratórias que adultos, sugerindo que os mais jovens têm maior taxa oxidativa de gordura durante exercícios aeróbios de mesma intensidade relativa que adultos (RIDDELL, 2008). Além disso, em crianças e adolescentes a ingestão de CHO durante o exercício contribui proporcionalmente mais no total de energia despendida e aumenta a taxa de oxidação deste substrato ingerido (RIDDELL et al., 2000; TIMMONS et al., 2003; TIMMONS et al., 2007), o que pode proporcionar melhora no desempenho físico (RIDDELL et al., 2001). Somando-se a isso, a partir de uma observação empírica de jovens atletas da equipe de atletismo CRIA-Lavras, foi possível perceber que mesmo quando a ingestão alimentar é inadequada ou insuficientemente provida, estes atletas apresentam bom desempenho físico e se destacam no cenário nacional nos rankings e competições. Isso sugere que os jovens podem ter uma plasticidade no metabolismo energético muscular que permita que a energia requerida para a realização do exercício seja suficientemente provida, independente do que é fornecido pela dieta, tendo em vista que a maior parte dos atletas possui um nível socioeconômico baixo.

Contudo, o conteúdo de glicogênio (muscular e hepático) é um importante fator para o desempenho em exercícios, tanto que adultos frequentemente associam estratégias nutricionais pré-exercício com intuito de maximizar os estoques de glicogênio e, dessa forma, minimizar os efeitos da depleção de CHO durante o exercício (HARGREAVES et al., 2004). Em geral, dieta rica em CHO aumenta a oxidação desse substrato e diminui a de gorduras, sendo que há um efeito oposto se o indivíduo adotar uma dieta rica em gorduras (JEUKENDRUP, 2003). Dietas a curto prazo (1-3 dias) ricas em CHO são benéficas ao desempenho de exercícios aeróbios, e, por outro lado, dieta rica em gorduras por apenas 1-3 dias parece prejudicar o desempenho durante exercícios em adultos, pois adaptações metabólicas crônicas são necessárias para que o organismo seja capaz de metabolizar gordura em uma taxa que possa suprir as demandas energéticas (AHLBORG; BJORKMAN, 1987). Os efeitos de dietas ricas em CHO ou em gordura no metabolismo energético e desempenho durante o exercício não foram ainda verificados em estudos com crianças e adolescentes.

Na presente dissertação são apresentados dois estudos: a) uma revisão de literatura, com o objetivo de apresentar o estado da arte sobre o metabolismo de substratos energéticos durante exercícios em crianças e adolescentes; e b) um artigo de resultados, com o objetivo de verificar os efeitos de dieta isoenergética, manipulada por um curto período de tempo, rica em CHO ou rica em gordura, sobre as taxas de oxidação de CHO e gordura durante exercício submáximo e no desempenho de adolescentes em corrida de 10 km.

2 COLETÂNEA DE ARTIGOS

2.1 1º artigo: artigo de revisão

COUTO, PG. Metabolismo em crianças e adolescentes durante o exercício. Artigo publicado na Revista Acta Brasileira do Movimento Humano, v. 2, n. 3 (2012).

RESUMO

O propósito deste trabalho é apresentar o estado da arte sobre o metabolismo de substratos energéticos durante exercícios em crianças e adolescentes, que têm menor desempenho em atividades de alta intensidade e curta duração, menores valores de lactato após o exercício e oxidam mais gordura e menos carboidrato para suprir a demanda energética em exercícios aeróbios de mesma intensidade relativa, comparado aos adultos. Inicialmente, supunha-se um sistema glicolítico subdesenvolvido nas crianças e adolescentes. Estudos subsequentes demonstraram menor massa muscular relativa, maior espaço relativo de água e condições favoráveis para o metabolismo aeróbio nos mais jovens. Atualmente, acredita-se que o conteúdo de glicogênio muscular pode ser um fator determinante na diferença da oxidação de metabólitos, pois este substrato exerce um importante papel no metabolismo durante a realização de exercícios, além de ser imprescindível para o crescimento e desenvolvimento desses indivíduos. Assim, fontes alternativas de energia contribuem para a demanda energética durante exercícios, poupando o conteúdo endógeno de carboidrato.

PALAVRAS-CHAVE: Metabolismo dos Carboidratos. Lipídio. Puberdade. Glicogênio. Ingestão energética.

ABSTRACT

The aim of this study was to present the state of the art on the substrate metabolism during exercise in children and adolescents, who has a lower performance in high-intensity, short-duration exercises, lower lactate levels after the exercise, and oxidize more fat and less carbohydrate for meet aerobic energy demand, when compared with the same relative intensity in adults. Initially, it was assumed an underdeveloped glycolytic system in children and adolescents. Subsequent studies have shown relative lower muscle mass, greater relative water space and favorable conditions for aerobic metabolism in younger. It is currently believed that the muscle glycogen may be a decisive factor to explain differences in the metabolites oxidation, since this substrate has an important role in metabolism during exercises, besides being essential for the growth and development of these individuals. Thus, alternative energy sources supplied exogenously contribute to cover the energy demand during the exercises, sparing endogenous sources of carbohydrate.

KEY WORDS: Carbohydrate Metabolism. Lipid. Puberty. Glycogen. Energy Intake.

INTRODUÇÃO

Conhecer as respostas metabólicas de crianças e adolescentes durante o exercício é importante para modular as intervenções nutricionais e treinamento esportivo, ou mesmo para promover a saúde através do incentivo à prática de exercícios físicos, prevenindo a obesidade e desordens metabólicas. Apesar disso, estudos sobre o metabolismo energético durante a infância e período maturacional são restritos devido a limitações técnicas e éticas. Embora se tenha disponível na literatura dados derivados de amostras sanguíneas, respiratórias e do músculo esquelético *in vivo*, não há consenso sobre o perfil metabólico durante exercício no grupo em questão.

Nos últimos 70 anos, tem-se demonstrado que crianças apresentam menor razão de trocas respiratórias (R) durante exercícios submáximos, realizados em uma mesma intensidade relativa que adultos, o que sugere que as crianças oxidam mais gordura e menos carboidratos (CHO) para suprir a demanda energética do exercício [1]. Ao analisarem amostras musculares obtidas através de biópsia, os estudos clássicos de Eriksson e colaboradores [2,3] demonstraram uma possível relação entre a atividade de enzimas anaeróbias e a idade, introduzindo o conceito de que crianças têm metabolismo glicolítico subdesenvolvido e, por isso, baixa taxa de degradação de CHO. Foi demonstrado que garotos mais jovens, quando comparados a adultos, apresentavam menores valores de lactato sanguíneo e muscular em exercício máximo e submáximo, além de menor atividade da enzima fosfofrutoquinase [2], que limita a taxa glicolítica. No entanto, outros estudos que também utilizaram a técnica de biópsia muscular em adolescentes contestaram o conceito introduzido anteriormente, sobretudo por não encontrarem diferenças na atividade de outras enzimas glicolíticas entre adolescentes e adultos, como a frutose-6-fosfato quinase, lactato desidrogenase, piruvato quinase e aldolase. Em apenas um grupo com média de idade de 6,4 anos foi constatado menor atividade dessas enzimas, quando comparado a adolescentes [4] e adultos [5].

Estudos mais recentes apontaram que as diferenças no metabolismo de CHO e gorduras entre indivíduos mais jovens e adultos podem ser devido a um menor conteúdo endógeno de glicogênio nos jovens [1,6]. As técnicas utilizadas nesses estudos são menos invasivas, como utilização de carbono marcado (^{13}C) e fósforo marcado (^{31}P) em espectroscopia de ressonância magnética (MRS, do inglês *magnetic resonance spectroscopy*) [7].

Apesar da menor taxa de oxidação de CHO e maior de gordura, a ingestão de glicose previamente ao exercício pode ser mais benéfica em sujeitos menos maturos do que em

adultos [6,8,9]. A disponibilidade de CHO e gordura é um importante fator que altera o grau de oxidação destes substratos. De fato, em adultos, elevado conteúdo de glicogênio muscular está associado com a maior oxidação de CHO durante exercício [10]. Em indivíduos adultos está demonstrado que a dieta prévia a realização do esforço altera os estoques endógenos de glicogênio muscular e, dessa forma, influencia seu grau de oxidação e também o desempenho no exercício [11,12]. Entretanto, no nosso conhecimento, não há dados experimentais relacionados às respostas ao exercício em crianças e adolescentes após intervenção dietética, com objetivo de aumentar as reservas de glicogênio muscular.

Deste modo, o metabolismo anaeróbio e aeróbio de crianças e adolescentes durante o exercício, bem como o efeito de suplementação e intervenção dietética sobre o desempenho, parecem ser distintos, quando comparado aos adultos. O objetivo deste trabalho é descrever o estado da arte sobre o metabolismo de substratos energéticos (CHO e gorduras) durante o exercício em crianças e adolescentes, bem como abordar os principais efeitos da manipulação dietética no desempenho esportivo desses sujeitos. Além disso, estudos com adultos que possam contribuir com o tema investigado foram referidos.

Metabolismo energético durante o exercício anaeróbio

Durante exercícios vigorosos de alta intensidade e curta duração, o fornecimento rápido de energia é suprido pela glicólise anaeróbia, sendo o lactato o produto final. O lactato sanguíneo é um co-produto do metabolismo de CHO e conhecidamente um inibidor da mobilização e captação de ácidos graxos [13,14]. Porém, reflete não só a atividade glicolítica anaeróbia, mas também a cinética do lactato e transporte de prótons para a corrente sanguínea e a capacidade dos sistemas tampão [13,14].

Foi demonstrado que crianças apresentam menor desempenho em atividades de curta duração e alta intensidade quando comparadas a adolescentes e adultos, e que, consequentemente, dependem mais do metabolismo aeróbio do que do anaeróbio nesse tipo de atividade [2]. Este menor desempenho tem sido atribuído à menor capacidade em produzir energia pela via anaeróbica lática, uma vez que foram encontrados menores valores de lactato sanguíneo e muscular após o exercício nos garotos mais jovens [3].

Para testar a hipótese de que em crianças o metabolismo glicolítico é diminuído, Petersen et al. [7] submeteram garotas nadadoras pré-púberes e púberes a um teste de capacidade máxima de flexão plantar e, utilizando a técnica de ^{31}P-MRS, verificaram que o metabolismo glicolítico não foi dependente da maturidade, pois a quantidade relativa de

trabalho produzida por ambos grupos foi semelhante, refutando a hipótese testada. Os autores sugeriram que as diferentes características morfológicas de tamanho e composição musculares podem ser o fator mais determinante nas diferenças metabólicas encontradas [7].

Após um esforço supramáximo, como o realizado no teste anaeróbio de *Wingate*, garotos, adolescentes e adultos apresentaram diferente cinética de lactato, sendo que, nos garotos a concentração máxima de lactato foi menor e alcançada precocemente quando comparada com os dois outros grupos [15]. Diante do achado, foi sugerido que a diferença poderia ser um reflexo do menor efluxo do lactato, em combinação com uma eliminação mais rápida do mesmo no grupo mais jovem. O fato de terem pior desempenho, e, por outro lado, semelhante capacidade anaeróbia, levou a um estudo posterior, em que os pesquisadores se interessaram em verificar a taxa metabólica aeróbia e anaeróbia, bem como a eficiência biomecânica no teste anaeróbio de *Wingate* [16]. Foi constatado que os garotos apresentaram menor massa muscular relativa e maior taxa metabólica aeróbia, além de níveis semelhantes de eficiência mecânica, o que sugere semelhança na coordenação neuromuscular entre os grupos de diferentes faixas etárias [16].

Nesse sentido, os resultados obtidos experimentalmente nos estudos supracitados confirmaram que indivíduos mais jovens têm menor desempenho em atividades anaeróbias quando comparados a adultos. Entretanto, há evidências de que este prejuízo no desempenho seja devido principalmente a fatores morfológicos, contrariando a hipótese de um sistema glicolítico subdesenvolvido [7,15,16].

Metabolismo energético durante o exercício aeróbio

Durante o exercício predominantemente aeróbio, a maior parte da ressíntese da adenosina trifosfato (ATP) é realizada através da oxidação de CHO e gorduras. Este processo é denominado metabolismo oxidativo ou aeróbio, no qual as reações bioquímicas têm o oxigênio como aceitador final de elétrons na cadeia respiratória. Em geral, a intensidade e a duração do exercício são os principais fatores que determinam o grau de oxidação destes substratos [17]. Há uma tendência de maior utilização de gordura em exercícios de baixa intensidade relativa, sendo que, quando há aumento na intensidade do exercício, ocorre um gradual declínio na oxidação das gorduras, acompanhado por gradual aumento na oxidação de CHO [17]. A contribuição do CHO na produção de energia também diminui ao longo do tempo durante exercícios moderados a intensos, ao passo que a oxidação dos ácidos graxos livres e

de glicose circulantes no plasma aumenta para que a oferta energética seja mantida de acordo com a demanda do exercício [8,17].

Tem-se relatado que crianças possuem maior taxa oxidativa quando comparadas a adultos [14,18]. Nesse sentido, ao quantificarem a produção de energia de garotos pré-púberes e homens utilizando ^{31}P-MRS, Tonson et al. [14] demonstraram que a contribuição do metabolismo oxidativo para a produção de ATP foi maior nos garotos (50 ± 15%) do que nos homens (25 ± 8%) em exercício de flexão dos dedos. Como um mecanismo compensatório, a contribuição advinda da quebra de fosfocreatina (PCr) foi reduzida (40 ± 10% nos garotos e 53 ± 12% nos homens), embora esta não tenha diferido em valores absolutos. No mesmo estudo [14], verificou-se que o gasto energético total durante três minutos de exercício de flexão dos dedos contra um peso ajustado pela força máxima voluntária em garotos pré-púberes e homens adultos foi similar, entretanto, o fornecimento de ATP ocorreu por diferentes vias metabólicas [14]. No início do exercício houve uma menor contribuição relativa de transferência de energia pela quebra da PCr nos garotos do que nos homens, a qual foi compensada por maior contribuição da fosforilação oxidativa. A taxa máxima de ATP derivada da quebra da PCr e da glicólise anaeróbia foi similar entre os grupos, mas foi significativamente maior pela via da fosforilação oxidativa nos garotos [14]. Assim, antes da puberdade os garotos são capazes de utilizar o metabolismo oxidativo de maneira mais eficiente que os adultos para suprir a demanda energética, especialmente no início do exercício [14].

Ao analisarem o comportamento do lactato sanguíneo em teste progressivo máximo, Beneke et al [13] observaram que, em intensidades inferiores a 80% da potência de pico não havia diferença na concentração de lactato ([La]) entre garotos de 11 e 16 anos de idade, sendo que a partir desta intensidade, em que o suprimento energético é quase totalmente dependente da oxidação de CHO, a [La] foi menor nos mais jovens. A diferença da [La] entre crianças, adolescentes e adultos foi atribuída a uma combinação entre a menor massa muscular e o metabolismo aeróbio favorecido nas crianças, sem diferenças no metabolismo anaeróbio entre eles [13,16].

Devido a maior taxa oxidativa, em indivíduos mais jovens a gordura tem maior contribuição no fornecimento de energia. Timmons et al. [6], por exemplo, demonstraram que garotos pré-púberes, na fase inicial do desenvolvimento maturacional, oxidam ~70% mais gordura e ~23% menos CHO durante ciclismo a 70% $VO_{2máx}$, quando comparados a adultos. A maior contribuição relativa de gordura na produção de energia neste grupo persiste mesmo quando há ingestão prévia de CHO, como será discutido adiante. Durante ciclismo realizado a

30, 40, 50, 60 e 70% VO_{2pico} também foi verificado maior oxidação de gordura em garotos pré-púberes, comparados a garotos púberes e adultos [19].

Durante ciclismo, o pico de oxidação de gorduras em garotos pré-púberes (~8 mg·kg massa magra^{-1}·min^{-1}) foi encontrado a ~60% VO_{2pico}, valores consideravelmente maiores que em homens adultos não treinados (~5 mg·kg massa magra^{-1}·min^{-1} e ~40% VO_{2pico}, respectivamente) [20]. Riddell et al [20] conduziram um estudo longitudinal por três anos, onde os mesmos garotos foram avaliados anualmente durante o desenvolvimento maturacional e, apesar da grande variação inter individual, foi demonstrado que tanto a taxa relativa de oxidação de gordura, quanto a intensidade de exercício do pico de oxidação de gordura, diminuem com o desenvolvimento maturacional. Os valores encontrados para os garotos pré-púberes se assemelham aos valores relatados para homens treinados, nos quais a intensidade de maior oxidação de gordura situava-se em torno de 63% $VO_{2máx}$ [21]. No entanto, Duncan e Howley (1998) demonstraram que garotos treinados apresentam aumentada taxa de oxidação de gordura comparado a adolescentes não treinados [22], o que sugere que o treinamento pode ser capaz de manter a boa taxa de oxidação de gordura nos adolescentes.

Outros fatores dependentes e independentes do nível maturacional também desempenham papel importante na seleção de substratos energéticos durante o exercício [19]. O gênero e a composição corporal parecem influenciar no gasto energético total de crianças e adolescentes. Para verificar as variações e determinantes do gasto energético em indivíduos de diferentes estágios maturacionais, Bitar et al. [23] investigaram 83 crianças e adolescentes por 24 horas em uma câmara calorimétrica, simulando suas atividades diárias e exercício. Neste estudo, os investigadores também se preocuparam em analisar a relação entre a composição corporal e o gasto energético de indivíduos dos dois sexos. Para o mesmo estágio maturacional os garotos eram mais altos, mais pesados e mais velhos que as garotas, ou seja, garotas alcançaram a maturidade biológica em uma idade cronológica antecedente à dos garotos. Além disso, os garotos possuíam maior massa livre de gordura e menor massa gorda. Quanto ao gasto energético, os autores concluíram que o estágio maturacional não é determinante, mas que a massa livre de gordura responde por ~82% da variação no gasto energético, enquanto o sexo apenas 1,7%. Após esta constatação, os autores verificaram que, mesmo quando ajustado pela massa livre de gordura, o gasto energético diário e durante exercício era maior nos garotos que nas garotas [23].

No decorrer do crescimento e desenvolvimento de crianças e adolescentes ocorre um concomitante aumento na massa muscular e, consequentemente, nas reservas de glicogênio muscular. Por exemplo, Eriksson et al. [3] empregaram a técnica de biópsia muscular e

observaram que o conteúdo de glicogênio muscular em crianças é menor que em adultos. No estudo longitudinal de Riddell et al. [20] demonstrou-se que a massa magra aumentou de 33,5 ± 5,6 kg para 48,3 ± 8,6 kg no final da puberdade, ainda assim permanecendo menor que em jovens adultos (65,7 ± 9,0 kg).

Em conjunto, esses resultados sugerem que indivíduos mais jovens têm menor massa muscular e, como a musculatura esquelética é o principal órgão de armazenamento do glicogênio no organismo, estes indivíduos possivelmente tenham também menor conteúdo endógeno deste metabólito. Isto sugere que a adoção de estratégias dietéticas pode representar uma importante ferramenta para que os níveis endógenos de substratos energéticos sejam poupados, pois este conteúdo é imprescindível para o crescimento e desenvolvimento dos jovens [1], e, dessa forma, os substratos ofertados de forma exógena contribuiriam, ao menos parcialmente, na demanda energética do exercício, podendo inclusive melhorar a performance em exercícios. Esta hipótese carece de verificação experimental.

Intervenções nutricionais para otimizar o desempenho em adultos

Devido à limitada quantidade de estudos sobre os efeitos de intervenções dietéticas no desempenho em crianças e adolescentes, na presente revisão serão primeiramente abordados os estudos com adultos, que dão suporte para suspeitar os efeitos em crianças e adolescentes.

Bergstrom et al. [11] demonstraram, em adultos, que elevando-se os níveis de glicogênio muscular pré-exercício por supercompensação (combinação exercício + dieta), há prolongamento no tempo de exercício a 75% $VO_{2máx}$ em cicloergômetro e que, por outro lado, baixos níveis de glicogênio muscular acarretam diminuição no tempo da atividade. Dessa forma, a quantidade de glicogênio muscular disponível previamente a realização de um exercício é determinante no tempo que este pode ser sustentado [11]. Em adultos, também foi demonstrado, através de biópsia muscular, que o maior consumo dietético de CHO em um curto prazo (1-3 dias) resulta em aumento significativo do conteúdo de glicogênio muscular [11,24].

Além do tempo de sustentação do exercício, o conteúdo de glicogênio muscular tem um importante papel na regulação metabólica [25,26]. Para verificar a influência da quantidade de glicogênio muscular na regulação do metabolismo, Weltan et al. [26] compararam grupos com baixa concentração inicial de glicogênio muscular pré-exercício (obtido através de depleção prévia) e sujeitos com concentração inicial normal de glicogênio muscular, ambos mantendo a glicemia normal durante 145 minutos de ciclismo a 70% $VO_{2máx}$. Em sujeitos

com baixo conteúdo de glicogênio muscular, a razão de trocas respiratórias e concentração de insulina foram menores, enquanto a quantidade de ácidos graxos livres e concentração de noradrenalina aumentaram, sendo que em todos os sujeitos a oxidação de CHO diminuiu significativamente ao longo do teste, com um aumento concomitante na oxidação de gordura. No entanto, em situação de baixo conteúdo de glicogênio muscular, quando houve infusão de insulina, a oxidação de glicose aumentou e a concentração de ácidos graxos livres e oxidação de gordura diminuíram, o que sugere que a noradrenalina pode mediar a regulação da oxidação de gordura em situação de baixo glicogênio muscular pré-exercício e que o comando central, reflexos neuromusculares e feedback metabólico humoral podem ser os desencadeadores do mecanismo regulatório metabólico [27].

Portanto, a plasticidade do metabolismo do músculo esquelético permite adaptações na oxidação de CHO e gorduras de maneira que a energia possa ser transferida ou armazenada a partir do principal metabólito disponível ou fornecido pela dieta [10]. Alta disponibilidade de glicogênio muscular antes do exercício resulta em maior oxidação de CHO durante o exercício, enquanto que, durante dieta rica em gordura e/ou pobre em CHO, os baixos níveis de glicogênio muscular podem levar a uma maior oxidação de gordura [27].

Dietas ricas em lipídios a longo prazo (>10 dias) podem provocar adaptações metabólicas que levam a uma maior oxidação de gorduras em tempo hábil para manter a demanda energética durante o exercício, o que não afetaria o desempenho, como ocorre após dieta em curto prazo (<3 dias), em adultos [11]. Com o prolongamento de uma alimentação rica em gordura, a maior oxidação deste substrato também pode ocorrer devido ao menor conteúdo de glicogênio muscular, acarretando uma possível alteração na tolerância à glicose, bem como no aumento de enzimas mitocondriais envolvidas no metabolismo de gordura, como a carnitina acil transferase (CAT), que limita a oxidação de ácidos graxos no músculo [28].

Os dados experimentais levantados nesta sessão, originários de estudos realizados com adultos, permitem cogitar que se crianças e adolescentes possuem menor conteúdo endógeno de glicogênio muscular, o organismo destes indivíduos pode estar mais habituado a oxidar gordura para suprir a demanda energética, tanto em atividades rotineiras quanto durante o exercício.

Intervenções nutricionais para otimizar o desempenho em crianças e adolescentes

Apesar dos evidentes efeitos de intervenções dietéticas no metabolismo durante exercício em adultos, há um reduzido número de estudos em crianças e adolescentes. Uma série de estudos conduzidos por Riddell e Timmons [6,8,9,29,30], abordaram a ingestão de CHO previamente ou durante a realização de exercícios em adolescentes. Inicialmente, Riddell et al. [8] demonstraram que, durante 120 minutos de exercício com ingestão de glicose exógena, a oxidação de CHO total (endógeno + exógeno) foi ~20% maior e de gordura 45% menor comparado a placebo. Entretanto, houve uma economia de CHO endógeno (16%) e maior utilização do CHO exógeno no fornecimento de energia (~40% do total de energia requerida no exercício), comparado à ingestão de placebo. Esses achados sugerem que os adolescentes apresentam boa taxa oxidativa de CHO, quando este é ofertado em quantidade apropriada.

A oxidação de CHO exógeno durante 60 minutos de exercício a 70% $VO_{2máx}$ é mais elevada em garotos comparada com os adultos, em relação ao peso corporal [6]. Por conseguinte, a contribuição relativa de energia advinda da oxidação do CHO exógeno foi consideravelmente maior nos garotos, fornecendo 22% do total da energia gasta nos garotos e 15% nos adultos [6].

Em estudo posterior, Riddell et al [9] verificaram que em garotos com idade entre 10 e 14 anos, realizando exercício no cicloergômetro a 90% $VO_{2máx}$ até a exaustão logo após terem realizado 90 minutos à 55% $VO_{2máx}$, a ingestão de uma solução de glicose e frutose levou a um aumento no tempo de exercício, comparado a ingestão de apenas água (202 segundos *versus* 142 segundos, respectivamente) [9]. Na mesma direção, Timmons et al. [6] verificaram que a glicose ingerida oralmente era oxidada em uma maior taxa em adolescentes que em adultos durante 60 minutos de ciclismo a 70% $VO_{2máx}$, o que sugere que a captação e oxidação de glicose sanguínea pelo músculo esquelético não é um fator que limite a oxidação de CHO em adolescentes.

Timmons et al. [29,30] verificaram o efeito da idade cronológica e maturacional na utilização de CHO exógeno em garotos e garotas de 12 e 14 anos de idade, de diferentes níveis maturacionais. Vinte garotos de 12 anos de idade foram distribuídos por três grupos, de acordo com o estágio maturacional, e, após consumirem bebida com ^{13}C-CHO ou placebo, pedalaram por 60 minutos a 70% $VO_{2máx}$. A oxidação de gordura foi similar nos grupos de diferentes níveis maturacionais, mas a contribuição de energia advinda da oxidação de CHO exógeno foi maior nos garotos menos maturos (~30% da energia total *versus* ~24% nos mais maturos).

Timmons et al. [29] também verificaram relação inversa entre níveis de testosterona e a taxa de oxidação de CHO exógeno, o que sugere que este hormônio pode reduzir a

contribuição de CHO exógeno no total de energia gasta. A relação entre a testosterona e a oxidação de gordura endógena também foi inversa e significante, mas apenas na situação sem ingestão de CHO. Já a relação entre testosterona e oxidação de CHO endógeno foi positiva e significante, em ambas as situações. Entretanto, em um grupo de garotas de 12 a 14 anos, com diferentes níveis circulantes de estradiol, a oxidação de CHO exógeno não diferiu, mas a oxidação de gordura foi cerca de duas vezes maior nas garotas de 12 anos do que nas de 14 [30]. Além disso, os níveis de hormônio do crescimento e de catecolaminas tiveram taxas similares após exercício nas garotas de diferente idade cronológica.

Em conjunto, esses resultados sugerem que adolescentes utilizam mais o CHO fornecido de maneira exógena, talvez por terem uma menor reserva endógena desse substrato, e esta economia ajuda a proteger o precioso estoque de glicogênio para o crescimento e desenvolvimento, de modo gênero dependente. O grau de influência dos hormônios na seleção de substratos durante o exercício em crianças e adolescentes requer mais investigações.

Em geral, o aumento da disponibilidade de CHO endógeno ou exógeno está associado com maior taxa de oxidação de CHO durante exercício em adultos [31], enquanto uma maior disponibilidade de ácidos graxos livres exógenos favorece a oxidação de gorduras [32]. Contudo, apesar da atenção que o metabolismo de crianças e adolescentes tem recebido no âmbito científico, do nosso conhecimento, o efeito da ingestão prévia de CHO durante o exercício tem sido analisada, mas o efeito de intervenção dietética sobre o desempenho esportivo no grupo em questão, seja em curto ou longo prazo, ainda não foi verificado. Nesse sentido, futuros estudos que utilizem intervenção dietética em grupos de adolescentes e que levem em conta as variáveis que podem alterar o metabolismo, como sexo, idade, nível maturacional, nível de aptidão física e composição corporal, poderiam contribuir para um melhor entendimento do perfil metabólico de crianças e adolescentes durante o exercício.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Frente aos dados apresentados, pode-se admitir que o conteúdo endógeno de CHO parece exercer um importante papel no metabolismo energético de crianças e adolescentes. Indivíduos mais jovens têm menor massa muscular relativa, maior espaço relativo de água e condições favoráveis para o metabolismo aeróbio. Dessa forma, a maior utilização de fontes energéticas alternativas disponíveis, como gordura ou CHO exógeno, poderia compensar a produção de ATP e preservar o glicogênio endógeno para o crescimento e desenvolvimento

do músculo esquelético e sistema nervoso central das crianças e adolescentes [1]. Embora refutar a hipótese de que os indivíduos mais jovens apresentam sistema glicolítico imaturo pareça arriscado, as evidências apresentadas na presente revisão indicam que diferenças na bioenergética são influenciadas muito mais por diferenças morfológicas entre as idades do que propriamente pelas diferenças fisiológicas.

De qualquer forma, considerações metodológicas e fatores de confundimento precisam ser considerados no estudo do metabolismo energético aeróbio e anaeróbio durante exercício em indivíduos jovens. Além disso, os estudos sobre oxidação de gordura durante o exercício apresentam variações inter-individuais, portanto, nível de atividade física, aptidão aeróbia, estado nutricional, bem como o componente genético pode interferir nos resultados.

REFERÊNCIAS

1. Riddell MC. The endocrine response and substrate utilization during exercise in children and adolescents. *J Appl Physiol.* 2008; 105:725–733.
2. Eriksson BO, Karlsson J, Saltin B. Muscle metabolites during exercise in pubertal boys. *Acta Paediat Scand.* 1971; 217(57).
3. Eriksson, B.; Saltin, B. Muscle metabolism during exercise in boys aged 11 to 16 years compared to adults. *Acta Paediatr Belg.* 1974; 28:257–265.
4. Berg A, Kim SS, Keul J. Skeletal muscle enzyme activities in healthy young subjects. *Int. J. Sports Med*. 1986; 7:236–239 (abstract).
5. Haralambie G. Enzyme activities in skeletal muscle of 13–15 year old adolescents. *Bull Eur Physiopath Respir.* 1982; 18:65-74 (abstract).
6. Timmons BW, Bar-Or O, Riddell MC. Oxidation rate of exogenous carbohydrate during exercise is higher in boys than in men. *J Appl Physiol.* 2003; 94:278–284.
7. Petersen SR, Gaul CA, Stanton MM, Hanstock CC. Skeletal muscle metabolism during short-term, high-intensity exercise in prepubertal and pubertal girls. *J Appl Physiol.* 1999; 87(6):2151–2156.
8. Riddell MC, Bar-Or O, Schwarcz HP, Heigenhauser GJ. Substrate utilization in boys during exercise with [^{13}C]-glucose ingestion. *Eur J Appl Physiol*. 2000; 83:441-448.
9. Riddell MC, Bar-Or O, Wilk B, Parolin ML, Heigenhauser GJ. Substrate utilization during exercise with glucose and glucose plus fructose ingestion in boys ages 10-14 yr. *J Appl Physiol*. 2001; 90:903-911.

10. Aucouturier J, Baker JS, Duche P. Fat and carbohydrate metabolism during submaximal exercise in children. *Sports Med*. 2008; 38(3):213–238.
11. Bergstrom J, Hermansen L, Hultman E, Saltin B. Diet, muscle glycogen and physical performance. *Acta Physiol Scand.* 1967; 71(2):140-50.
12. Erlenbusch M, Haub M, Munoz K, MacConnie S, Stillwell B. Effect of high-fat or high-carbohydrate diets on endurance exercise: a meta-analysis. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2005; 14:1-14.
13. Beneke R, Hütler M, Leithäuser RM. Carbohydrate and fat metabolism related to blood lactate in boys and male adolescents**.** *Eur J Appl Physiol*. 2009; 105:257–263.
14. Tonson A, Ratel S, Le Fur Y, Vilmen C, Cozzone PJ. Muscle energetics changes throughout maturation: a quantitative 31P-MRS analysis. *J Appl Physiol*. 2010; 109:1769–1778.
15. Beneke R, Hütler M, Jung M, Leithäuser RM. Modeling the blood lactate kinetics at maximal short-term exercise conditions in children, adolescents and adults. *J Appl Physiol.* 2005; 99:499–504.
16. Beneke R, Hütler M, Leithäuser RM. Anaerobic performance and metabolism in boys and male adolescents. *Eur J Appl Physiol*. 2007; 101:671–677.
17. Romijn JA, Coyle EF, Sidossis LS, Gastaldelli A, Horowitz JF, Endert E, et al. Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. *Am J Physiol.* 1993; 265:E380-E391.
18. Ratel S, Tonson A, Cozzone PJ, Bendahan D. Do oxidative and anaerobic energy production in exercising muscle change throughout growth and maturation? *J Appl Physiol.* 2010; 109:1562-1564.
19. Stephens BR, Cole AS, Mahon AD. The influence of biological maturation on fat and carbohydrate metabolism during exercise in males. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2006; 16:166–179.
20. Riddell MC, Jamnik VK, Iscoe KE, Timmons BW, Gledhill N. Fat oxidation rate and the exercise intensity that elicits maximal fat oxidation decreases with pubertal status in young male subjects. *J Appl Physiol.* 2008; 105:742–748.
21. Achten J, Jeukendrup AE. Maximal fat oxidation during exercise in trained men. *Int J Sports Med.* 2003; 24:603-608.
22. Duncan GE, Howley ET. Metabolic and perceptual responses to short-term cycle training in children. *Pediatr Exerc Sci.* 1998; 10: 110-122.

23. Bitar A, Fellmann N, Vernet J, Coudert J, Vermorel M. Variations and determinants of energy expenditure as measured by whole-body indirect calorimetry during puberty and adolescence. *Am J Clin Nutr.* 1999; 69:1209–16.
24. Hawley JA, Palmer GS, Noakes TD. Effects of 3 days of carbohydrate supplementation on muscle glycogen content and utilisation during a 1-h cycling performance. *Eur J Appl Physiol*. 1997; 75:407-412.
25. Lima-Silva AE, Fernandes TC, de-Oliveira FR, Nakamura FY, GEVAERD MS. Metabolismo do glicogênio muscular durante o exercício físico: mecanismos de regulação. *Rev. Nutr.* 2007; 20(4):417-429.
26. Hargreaves M. Muscle glycogen and metabolic regulation. *Proc Nutr Soc*. 2004; 63:217–220.
27. Weltan SM, Bosch NA, Dennis SC, Noakes TD. Influence of muscle glycogen contento n metabolic regulation. *Am J Physiol Endocrinol Metab*. 1998; 274:E-72-E82.
28. Goedecke JH, St Clair Gibson A, Grobler L, Collins M, Noakes TD, Lambert EV. Determinants of the variability in respiratory exchange ratio at rest and during exercise in trained athletes. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 2000; 279:1325-1334.
29. Timmons BW, Bar-Or O, Riddell MC. Influence of age and pubertal status on substrate utilization during exercise with and without carbohydrate intake in healthy boys. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2007; 32:416–425.
30. Timmons BW, Bar-Or O, Riddell MC. Energy substrate utilization during prolonged exercise with and without carbohydrate intake in preadolescent and adolescent girls. *J Appl Physiol.* 2007; 103:995-1000.
31. Arkinstall MJ, Bruce CR, Clark SA, Rickards CA, Burke LM, Hawley JA. Regulation of fuel metabolism by preexercise muscle glycogen content and exercise intensity. *J Appl Physiol*. 2004; 97:2275–2283.
32. Spriet LL, Watt MJ. Regulatory mechanisms in the interaction between carbohydrate and lipid oxidation during exercise. *Acta Physiol Scand*. 2003; 178:443–452.

2.2 2º artigo: artigo de resultados

COUTO, PG. Effect of fat- and carbohydrate-rich diets on substrate oxidation and running performance in trained adolescent boys: a randomized trial. Periódico em que será submetido: International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism.

Abstract

Purpose: A randomized crossover trial was designed to analyze the impact of a short-term, isoenergetic fat- or carbohydrate-rich diet on carbohydrate (CHO) and fat oxidation rates during submaximal exercise and on performance in a 10-km race in adolescent boys. M***ethods:*** A maximal incremental test was performed to determine the peak oxygen uptake (VO_{2peak}). After two days on a fat-rich (24.2 ± 0.8% CHO, 60.4 ± 0.3% fat, and 15.5 ± 1.0% protein), CHO-rich (69.3 ± 1.2% CHO, 15.9 ± 2.1% fat, and 15.1 ± 1.1 protein), or habitual (56.1 ± 7.0% CHO, 27.5 ± 4.9% fat, and 16.5 ± 4.0 protein) diet, nineteen boys performed a 10-minute constant run at 65% VO_{2peak} to determine the respiratory exchange ratio during exercise and also participated in a 10-km running trial on an outdoor track. ***Results:*** During the constant run, the respiratory exchange ratio, CHO oxidation rate, and total CHO oxidized were significantly lower in the fat-rich diet than in the CHO-rich diet ($P < 0.05$), but the results were not different from those of the habitual diet. Performance in the 10-km run after consuming CHO- and fat-rich diets was similar to performance after a habitual diet (50.0 ± 7.0, 51.9 ± 8.3, and 50.9 ± 7.4 min, respectively), but consuming a CHO-rich diet resulted in improved performance compared to that after the fat-rich diet ($P < 0.05$). ***Conclusion:*** Compared to a fat-rich diet, a CHO-rich diet increased CHO oxidation and 10-km running performance in trained adolescent boys.

Keywords: aerobic exercise; dietary manipulation; metabolism; children.

INTRODUCTION

It has been widely reported that children and adolescents have a larger oxidative capacity (Tonson, Ratel, Le Fur, Vilmen, Cozzone, & Bendahan, 2010) and oxidize greater amounts of fat throughout a wide range of exercise intensities when compared with adults (Stephens, Cole, & Mahon, 2006; Timmons, Bar-Or, & Riddell, 2003; Riddell, Jamnik, Iscoe, Timmons, & Gledhill, 2008). When exogenous (orally ingested) carbohydrate (CHO) is consumed either before (Timmons et al., 2003) or during exercise (Riddell, Bar-Or, Schwarcz, & Heigenhauser, 2000; Timmons et al., 2003), children and adolescent boys have considerably higher oxidation rates of exogenous CHO when compared with adult men, which contributes proportionally to the total energy expended (Riddell et al., 2000; Timmons et al., 2003; Timmons, Bar-Or, & Riddell, 2007). Therefore, children and adolescent boys have a well-developed capacity to oxidize both fat and CHO during exercise, but CHO is preferable when exogenous CHO is provided at a sufficient rate.

While it has been demonstrated that exogenous CHO ingestion improves CHO oxidation in children and adolescent boys, previous studies investigating the effects of exogenous CHO on performance have produced conflicting results. For example, Hendelman, Ornstein, Debold, Volpe, and Freedson (1997) have found that pre-exercise CHO snacks (fig or candy bar) had no effect on physiological responses during 75 minutes of cycling at 60% VO_{2max} or on performance during high-intensity exercise (2500-m cycling time trial) in adolescent boys. In contrast, Riddell, Bar-Or, Wilk, Parolin, and Heigenhauser (2001) showed a delayed time to exhaustion at 90% of maximal power output after adolescent boys (11-14 years) had ingested glucose plus fructose solution or only glucose at 15-min intervals during a previous 90-min exercise at 55% VO_{2max} compared with placebo ingestion. It should be noted that these studies utilized a very high (> 90% VO_{2max}) exercise intensity. CHO ingestion may be more closely associated with performance during prolonged, high-intensity exercises performed for 30-60 minutes, such as a 10-km running time-trial because CHO oxidation is the main source for energy expenditure during exercise at this intensity.

In addition, the effects of short-term diet manipulation (from 1 to 3 days) on both substrate oxidation and performance in adolescent boys remain unknown. In adults, it has been demonstrated that a short-term CHO-rich diet elevates pre-exercise liver and muscle glycogen contents and increases muscle glycogen utilization during exercise, resulting in improved endurance performance (Bergstrom, Hermansen, Hultman, & Saltin, 1967; Jeukendrup, & Jentjens, 2000). In contrast, a short-term fat-rich diet markedly increases fat

oxidation and reduces CHO utilization during exercise (Phinney, Bistrianb, Evansc, Gervinoc, & Blackburnb, 1983). However, it also appears that a short-term fat-rich diet impairs performance in adults (Burke, & Hawley, 2002). Nevertheless, it is still unclear whether these diets would be beneficial or harmful in younger subjects.

Therefore, the purpose of this study was to investigate the influence of short-term CHO- and fat-rich diets on substrate oxidation during submaximal exercise and on running performance in a prolonged, high-intensity exercise in adolescent boys. Based on results from studies investigating the effects of CHO- and fat-rich diets in adults (Bergstrom et al., 1967; Jeukendrup & Jentjens, 2000; Burke & Hawley, 2002), we hypothesized that a short-term, CHO-rich diet would increase CHO oxidation and performance and that a short-term, fat-rich diet would have the opposite effect.

METHODS

Participants

Twenty adolescent boys volunteered to participate in this study. All participants were physically active, had been engaged in daily athletic training program for ~2.5 years, and were familiar with running on an athletics track. Their characteristics are summarized in Table 1. After the purpose, procedures and possible risks of the experiment had been explained to the participants and their guardians, they gave a verbal agreement to participate, and one guardian signed an informed consent form. The Ethics Committee of the Federal University of Alagoas approved the study. Due to a muscle injury, the data from one participant were excluded from the statistical analysis. Thus, the statistical analysis was performed for the remaining 19 boys who completed all trials.

Table 1 Participant's characteristics

Age, years	Height, m	Body mass, kg	Body fat, %	Pubertal status	$Speed_{max}$, $km.h^{-1}$	VO_2peak, $L.min^{-1}$	VO_2peak, $ml.kg^{-1}.min^{-1}$	HR_{max}, $beats.min^{-1}$
15.3 ± 1.6	1.71 ± 10.7	60.8 ± 15.3	13.2 ± 4.8	4 (3-5)	16.6 ± 1.5	3.7 ± 0.8	61.4 ± 11.5	208 ± 8

Values are the means ± SD (pubertal status is reported as the median and range). $Speed_{max}$: maximal speed reached during the incremental test. VO_2peak: peak oxygen uptake. HR_{max}: maximal heart rate reached during the incremental test.

Experimental design

Each participant visited the laboratory to be measured for height, body mass, body fat and pubertal stages. Body fat was estimated from triceps and subscapular skinfold thickness

(Slaughter, Lohman, Boileau, Horswill, Stillman, Van Loan, & Bemben, 1988). The pubertal status of the boys was self-assessed and based on pubic hair development according to Tanner (1962), a method that has proven valid and reproducible among boys (Matsudo & Matsudo, 2004). Participants then registered all foods consumed during four days (type, amount and hour) using a food diary. Thereafter, each subject participated in three experimental trials performed 7-14 days apart, in a randomized and repeated-measures crossover design. The experimental trials were identical, except for meal composition 48 hours before each trial (habitual, CHO-rich or fat-rich diet). Participants kept their training program over the course of the experiment, but the training schedule was recuperative in the 48 hours before the tests (low intensity, without running bouts or lower limb training). The training schedule during the 48 hours before the first experimental test session was recorded and then replicated in the 48 hours before each subsequent experimental test session. Data collection was conducted from April to June 2012 during the basic training season.

Initial testing

To become familiar with the testing procedures, each participant performed a familiarization run on a treadmill (Explorer ProAction, BHfitness®, Vitoria-Gasteiz, Spain). This allowed them to experience different exercise stages, increasing speed and breathing into the metabolic mouthpiece. Forty-eight hours after the familiarization session, peak oxygen uptake (VO_{2peak}) was determined during a progressive exercise test until exhaustion. The test began at 8 $km.h^{-1}$ for 4 min and the speed was increased by a 1 $km.h^{-1}$ at 1-min intervals. The incline was set at 3% during the entire test (Heck, Reinhards, Mader, & Hollmann, 1987). Measurements of the oxygen uptake (VO_2), carbon dioxide output (VCO_2), respiratory exchange ratio (RER), and pulmonary ventilation (V_E) were made continuously every 10-s using open circuit spirometry (PowerLab4/30, ADInstruments®, Sydney, Australia). The participants received verbal encouragement throughout the test.

VO_{2peak} was calculated from the average of the values in the last 30 s of the incremental test. The highest speed achieved during the test was recorded as $Speed_{max}$. When participants were not able to complete the last stage, the $Speed_{max}$ was calculated using the following equation (Kuipers, Verstappen, Keizer, Geurten, & Vankranenburg, 1985):

$$Speed_{max} = LCS + (TLIS/60)$$

where LCS is the speed in the last complete stage, TLIS is the time in seconds sustained on the last incomplete stage, and 60 is the length of each stage in seconds.

To identify the metabolic domain of the 10-km run, the first ventilatory threshold (VT_1) was identified by the ventilatory equivalent of oxygen (V_E/VO_2), and the second ventilatory threshold (VT_2) was determined by the ventilatory equivalent of carbon dioxide (V_E/VCO_2), considering the sudden increase in these curves according to the criteria proposed by McLellan (1985). The VTs were determined by two evaluators; when the evaluators' results did not coincide, a third evaluator was utilized.

Assessment and dietary manipulation

After determining the subjects' daily energy consumption from their food diaries, the individual isoenergetic CHO- and fat-rich diets were prepared by a dietitian. All diets were isoenergetic in accordance with the reported habitual diet of each participant. Diets followed the guidelines of Methods in Sport Nutrition Research (Jeacocke & Burke, 2010) and were monitored by a staff dietitian from our laboratory. Participants followed a standardized fat-rich diet (25% CHO, 60% lipids, and 15% protein), CHO-rich diet (70% CHO, 15% lipids, and 15% protein) or replication of their habitual diet for 48 hours before the experimental trials. All foods during the dietary manipulation periods were pre-packaged before being given to the subjects.

Experimental trials

After each diet period, the participants performed an experimental trial. All tests were performed at the same time of day, two or three hours after lunch was consumed, approximately. Participants began by lying for 5 minutes and then performed a constant steady-state run for 10 minutes at a speed requiring 65% of their predicted VO_{2peak} to estimate substrate utilization (Boisseau & Delamarche, 2000). Gas exchange measurements were obtained at 10-s intervals throughout the test using standard open circuit spirometry techniques (PowerLab4/30, ADInstruments®, Sydney, Australia), and a metabolic software program calculated the averages of VO_2, VCO_2, RER, and V_E (LabChart7Pro, ADInstruments®, Sydney, Australia). The averages of the last 2 minutes of rest and exercise data were used for further analysis. The CHO and fat oxidation rates were calculated for each sampling period according to the following equations (Péronnet & Massicotte, 1991):

$$\text{CHO } (g \cdot min^{-1}) = 4.59\ VCO_2\ (l \cdot min^{-1}) - 3.23\ VO_2\ (l \cdot min^{-1})$$

Fat ($g \cdot min^{-1}$) = -1.70 VCO_2 ($l \cdot min^{-1}$) + 1.69 VO_2 ($l \cdot min^{-1}$)

The total amounts of CHO and fat oxidized during exercise were calculated from the areas under the CHO and fat oxidation versus time curves, respectively.

Each subject then completed a 10-km running performance test on an outdoor 400-m track. They were instructed to finish the race as quickly as possible and encouraged during the entire event by a laboratory staff member who was unaware of the objectives of the study. No feedback about time was provided to participants until the end of the study.

Statistical analysis. The data are presented as the means ± SD, unless otherwise noted. The Shapiro-Wilk test was used to determine normality. Initially, the effects of maturation and age on dependent variables were analyzed using ANCOVA, but no such effects were detected. The time and mean speed during the 10-km running race and VO_2, VCO_2, RER, V_E, fat and CHO oxidation at 65% VO_{2peak} were then compared across the experimental categories using one-way repeated-measures analyses of variance (ANOVA). Mauchly's test was used to determine sphericity. If any violation to the assumptions of sphericity was found, the degrees of freedom were corrected using Greenhouse-Geisser or Huynh-Feldt epsilon correction factors where appropriate. Tukey's HSD post-hoc test was used to identify significant differences when analysis of variance yielded a significant F-ratio. Polynomial contrasts were also used to test any trend in the treatment means. For all statistical comparisons the significance level was set at $P < 0.05$.

RESULTS

Diet characteristics

The participant's habitual diet provided 2267 ± 789 $kcal \cdot day^{-1}$, and the breakdown of total energy intake was 56.1 ± 7.0% CHO, 27.5 ± 4.9% fat and 16.5 ± 4.0% protein (Table 2). The percentage of CHO intake during the 2-day dietary intervention was significantly lower in the fat-rich diet (24.2 ± 0.8%) than in the CHO-rich diet (69.3 ± 1.2%) and the habitual diet (56.1 ± 7.0%). The habitual diet also provided a lower percentage of CHO than the CHO-rich diet ($P < 0.05$). Similar results were found when expressed in absolute values (kcal). In contrast, the percentage of dietary fat intake was significantly higher in the fat-rich diet (60.4 ± 0.3%) than either the CHO-rich diet (15.9 ± 2.1%) or the habitual diet (27.5 ± 4.9%). The habitual diet also provided a higher percentage of fat intake than the CHO-rich diet ($P <$

0.05). Similar results were found when expressed in absolute values (kcal). The protein intake across the diets was similar in both absolute and relative terms. No differences were found in total energy intake among the diets ($P > 0.05$).

Table 2 Nutrient composition of the study diets.

	Diet		
	FAT-rich	**Habitual**	**CHO-rich**
Energy intake (kcal·day^{-1})	2339 ± 746	2267 ± 789	2355 ± 740
Carbohydrate (kcal)	572 ± 203^{a,b}	1253 ± 461^{b,c}	1624 ± 522^{a,c}
Fat (kcal)	1412 ± 449^{a,b}	650 ± 284^{b,c}	380 ± 134^{a,c}
Protein (kcal)	356 ± 95	362 ± 128	352 ± 96
Carbohydrate (%)	24.2 ± 0.8^{a,b}	56.1 ± 7.0^{b,c}	69.3 ± 1.2^{a,c}
Fat (%)	60.4 ± 0.3^{a,b}	27.5 ± 4.9^{b,c}	15.9 ± 2.1^{a,c}
Protein (%)	15.5 ± 1.0	16.5 ± 4.0	15.1 ± 1.1

Values are the means ± SD. ^{a}significantly different from the habitual diet; ^{b}significantly different from the CHO-rich diet; ^{c}significantly different from the fat-rich diet.

Ventilatory and metabolic responses during submaximal exercise

No differences in VO_2, VCO_2, and V_E were found among the diets during rest or during submaximal exercise (Table 3). The RER values in rest and exercise were lower in the fat-rich diet than in the CHO-rich diet ($P < 0.05$); RER in neither the fat-rich nor the CHO-rich diets differed from the habitual diet (Table 3). Similarly, the CHO oxidation rate during exercise was significantly lower after consuming the fat-rich diet when compared to CHO-rich diet ($P = 0.02$), but neither diet differed from the habitual diet. There were no differences in fat oxidation rate among the diets (Table 3).

The total CHO oxidized during the exercise (Figure 1) was similar ($P = 0.50$) in the habitual (5.49 ± 3.22 g) and the fat-rich diet (4.31 ± 2.62 g). Total CHO oxidation during the CHO-rich diet (7.01 ± 3.00 g) was not different from the habitual diet ($P = 0.33$), but it was higher compared to the fat-rich diet ($P = 0.04$). CHO oxidation increased linearly as a function of the CHO availability provided by diet (21% lower after fat-rich diet and 27% higher after CHO-rich diet, when compared to habitual diet, $P = 0.03$). The total fat oxidation was not different among the diets ($P = 0.19$).

Table 3 Rest and exercise cardio respiratory and metabolic variables under the experimental conditions.

	FAT-rich diet		Habitual diet		CHO-rich diet	
	Rest	Exercise	Rest	Exercise	Rest	Exercise
VO_2 ($L.min^{-1}$)	0.42 ± 0.20	2.43 ± 0.61	0.45 ± 0.19	2.55 ± 0.64	0.42 ± 0.15	2.61 ± 0.51
VCO_2 ($L.min^{-1}$)	0.31 ± 0.14	1.85 ± 0.48	0.36 ± 0.17	1.97 ± 0.54	0.35 ± 0.12	2.07 ± 0.41
RER	0.75 ± 0.06	0.76 ± 0.02	0.78 ± 0.10	0.77 ± 0.02	0.83 ± 0.05[a]	0.79 ± 0.03[b]
V_E ($L.min^{-1}$)	10.94 ± 4.77	55.52 ± 13.70	12.53 ± 4.91	58.21 ± 14.19	11.53 ± 3.87	60.06 ± 10.51
Fat oxidation ($g \cdot min^{-1}$)	0.18 ± 0.12	0.96 ± 0.26	0.15 ± 0.07	0.95 ± 0.19	0.12 ± 0.06	0.90 ± 0.22
CHO oxidation ($g \cdot min^{-1}$)	0.11 ± 0.09	0.64 ± 0.36	0.24 ± 0.18	0.82 ± 0.48	0.24 ± 0.12	1.05 ± 0.38[b]

Values are the means ± SD. VO_2: oxygen uptake, VCO_2: carbon dioxide output, RER: respiratory exchange ratio, and V_E: pulmonary ventilation. [a]significantly different from the fat-rich diet at rest; [b]significantly different from the fat-rich diet during exercise.

Figure 1 Means (± SEM) for total CHO and fat oxidized (g) during submaximal exercise. *CHO-rich diet is significantly higher than the fat-rich diet.

10-km running performance

The 10-km running times after the fat-rich, habitual, and CHO-rich diets averaged 51.9 ± 8.3, 50.9 ± 7.4, and 50.0 ± 7.0 min, respectively. The 10-km run times were significantly faster in the CHO-rich group than in the fat-rich diet group (P = 0.03). However, no significant differences were found between the fat-rich and habitual diets (P = 0.35) or between the CHO-rich and habitual diets (P = 0.46). A linear trend for the times was observed in the 10 km run; times were 1.9% longer after the fat-rich diet and 1.7% shorter after the CHO-rich diet, when compared those after the habitual diet (P = 0.03). Similar results were found for the average speeds (Figure 2). Subjects ran the 10-km at ~72% of their individual maximal speeds in all three groups (70.9 ± 7.5, 72.0 ± 6.5, and 73.2 ± 6.7% for fat-rich, habitual, and CHO-rich diets, respectively), but the values were higher after the CHO-rich diet than after the fat-rich diet (P = 0.03). Intensity during the 10-km run was maintained between VT_1 and VT_2 for the three diet groups (6.0 ± 11.0, 7.7 ± 11.6, and 8.9 ± 11.6% above the VT_1, but 9.6 ± 12.7, 8.0 ± 12.6, and 6.6 ± 14.9% below the VT_2 for the fat-rich, habitual, and CHO-rich diets, respectively). The differences among them were not significant ($P > 0.05$).

Figure 2 Individual (open symbols) and group mean (solid symbols) speeds during the 10-km running performance after the fat-rich, habitual, and CHO-rich diets. *CHO-rich diet is significantly higher than the fat-rich diet.

DISCUSSION

To study the effect of altering the dietary CHO and fat intake on the CHO and fat oxidation rates and on running performance in trained adolescent boys, two extreme profiles

of diet composition (CHO-rich and fat-rich) were analyzed in the present study. We found that the CHO-rich diet increased CHO oxidation compared with the fat-rich diet during submaximal exercise. In addition, although performance in a 10-km running trial was unchanged when compared to the habitual diet, the CHO-rich diet resulted in improved performance when compared with fat-rich diet, and performance increased as a function of the CHO content in the diet.

In the present study, we found a significantly higher CHO content in the CHO-rich diet than in the fat-rich and habitual diets. Similarly, the fat-rich diet had a higher fat content than either the CHO-rich or habitual diets. Nonetheless, we successfully produced three representative diet conditions on an "increasing continuum" for the CHO content in each diet (24, 56 and 69% of CHO for the fat-rich, habitual, and CHO-rich diets, respectively), with a corresponding "decreasing continuum" of the fat contents (60, 28 and 16%, respectively). Therefore, manipulation of the diet enabled us to successfully verify the effect of different CHO and fat contents in the diet on both substrate oxidation and exercise performance in adolescent boys.

During constant running at moderate-intensity (65% VO_{2peak}), we found that the fat oxidation rate was similar among all the diet conditions. This finding supports previous studies showing that adolescent boys are able to maintain high rates of fat oxidation during submaximal exercise (Timmons et al., 2003; Stephens et al., 2006; Timmons et al., 2007). Timmons et al. (2003) demonstrated that boys maintained ~88% higher relative rates of fat oxidation than adult men and that this higher relative contribution from fat in adolescents persisted even when exogenous CHO was consumed during the exercise. It was also found that fat oxidation in the placebo was similar to the CHO condition in the first 30 minutes of exercise in boys. In addition, it has been demonstrated that trained boys demonstrated an enhanced fat oxidation rate during submaximal exercise when compared to untrained boys (Duncan, & Howley, 1998). Together, these results suggest that the fat oxidation rate during exercise in adolescent boys, mainly in trained boys, approaches a saturation point and remains close to the maximum regardless of the type of substrate being offered. Our data extend these findings and suggest that trained adolescent boys seem to oxidize fat at a maximal rate during exercise regardless of their previous diet; thereby, no additional increase in fat oxidation is observed even after a fat-rich diet. The mechanisms controlling the higher fat oxidation rate in children and adolescents are remain unclear, but the increased rate may be attributed to decreased release of liver-derived glucose into the circulation, a greater provision of nonesterified fatty acids, a larger reliance on intramyocellular lipids for oxidation, extended

fatty acid transport into mitochondria, a lower muscle glycogen content, and/or facilitated aerobic metabolism (Aucouturier, Baker, & Duché, 2008; Riddell, 2008).

CHO oxidation was similar after short-term CHO-rich and habitual diets. However, when compared to the fat-rich diet, increased CHO oxidation was observed after CHO-rich diet. In addition, CHO oxidation increased as a function of the CHO content in the diet. Our findings are partially consistent with the results from previous studies in adults, in which elevated preexercise glycogen availability resulted in a greater CHO oxidation rate (Bergstrom et al., 1967; Jeukendrup, & Jentjens, 2000). Previous investigations with adolescents have also shown that exogenous CHO consumed during exercise increased CHO oxidation and contributed proportionally more to the total energy expended (Riddell et al., 2000; Timmons et al., 2003; Timmons et al., 2007). It has been suggested that additional dietary CHO intakes might compensate for lower CHO stores in young boys, and thereby protect precious endogenous sources essential for growth and development (Riddell, 2008). Our results add to these findings, suggesting that a 2-day, CHO-rich diet is sufficient to increase CHO oxidation during exercise in comparison with an isoenergetic fat-rich diet. Taken together, these results are compatible with the assumption that adolescents may increase their reliance on extra-muscular sources of fuel (e.g., CHO exogenous supplementation) to compensate for reduced muscle glycogenolysis from their lower muscle glycogen content compared to adults (Eriksson & Saltin, 1974; Riddell et al., 2008). As a result, the higher CHO oxidation rate after the additional CHO provided by a CHO-rich diet may have contributed to slightly improved performance in the present study.

Although neither the CHO- nor the fat-rich diet affected the times in a 10-km running trial compared to the habitual diet, the subjects' performance did improve after consuming a CHO-rich diet compared to performance after a fat-rich diet. It is worth noting that there was a linear trend showing that faster times were a function of an increase in the amount of dietary CHO consumed. Riddell et al. (2001) also found that, compared to placebo, the ingestion of glucose or glucose plus fructose solution during the previous exercise (90 min at 55% VO_{2max}) increased exercise capacity during a cycling bout at 90% of maximal power output. Additionally, in agreement with the present results, Riddell et al. (2001) also found that CHO oxidation was higher with CHO ingestion throughout moderate intensity exercise (55% VO_{2max}). We found that the 10-km run was performed at high intensity regardless of the diet (~72% of $Speed_{max}$, between VT_1 and VT_2), suggesting that CHO oxidation was most likely the predominant substrate for energy provision (Beneke, Hütler, & Leithäuser, 2009). CHO may have been the main energy source during the 10-km run, which may explain why we

found a slight improvement in performance after a CHO-rich diet compared to performance after a fat-rich diet. Although it has been established that CHO ingestion has beneficial effects on performance, the mechanisms for this improvement are not still fully understood (Karelis, Smith, Passe, & Péronnet, 2010). Increased CHO oxidation may not be *per se* the mechanism that mediates the increase in exercise performance during a 10-km running trial because this interpretation is unlikely to be valid for high-intensity exercises of ~1 h, in which it has been estimated that only 5–15 g of exogenous CHO are oxidized in the first hour of exercise (Jeukendrup, Brouns, Wagenmakers, & Saris, 1997). This relatively small contribution to the total CHO oxidation rate was thought to be too small to significantly improve exercise performance. Supporting this assumption, mouth-rinsing with CHO has been associated with improvements in performance even in the absence of an increase in CHO absorption (Chambers, Bridge, & Jones, 2009; Rollo & Williams, 2011). Thus, the effect of CHO load on performance may result from a multifactorial mechanism, including centrally mediated effects, attenuation of the changes in metabolite levels in the muscle fibers, and maintenance of the electrical properties of the membrane (Karelis et al., 2010). Further research is needed to identify the potential mechanisms by which performance is improved from CHO ingestion prior to and during exercise in boys.

The fact that we found similar performance among subjects consuming the fat-rich and habitual diets was somewhat surprising. This is because it was previously found in adults that a short-term high-fat diet actually impairs performance as a result of lower muscle glycogen stores and an inability for fat oxidation replenishment at the same rate as the energy requirement from high-intensity exercise (Burke & Hawley, 2002). This may have been a result of a greater fat oxidation rate in youths compared with adults (Tonson et al., 2010; Stephens et al., 2006; Timmons et al., 2003; Riddell et al., 2008). Some studies have suggested that adolescents have reduced muscle glycogen content and reduced release of hepatic-derived glucose than do adults (Eriksson & Saltin, 1974; Riddell et al., 2008; Riddell, 2008). However, adolescents seem to counterbalance the negative effects of reduced endogenous CHO stores by their increased transport of and higher oxidation rate for free fatty acids (Riddell, 2008; Aucouturier et al., 2008). It could be argued in the present study that performance may not have been affected after a short fat-rich diet period when compared with habitual diet because adolescents already have a well-developed capacity to oxidize fat during exercise, which may sufficiently replenish the energy they require. However, when compared with a CHO-rich diet, performance was significantly diminished in subjects consuming a fat-

rich diet, suggesting that increasing additional exogenous CHO may play a larger role in performance improvement than fat intake does.

In conclusion, the results of the current investigation demonstrated that fat oxidation rate in trained adolescent boys was unchanged with short-term, fat-rich and CHO-rich diets both at rest and during exercise, indicating a well-developed capacity for fat oxidation during submaximal exercise. However, the CHO-rich diet increased the CHO oxidation rate and total CHO oxidized compared to the fat-rich diet, indicating that trained adolescent boys are able to oxidize additional CHO when offered in an appropriate amount. Although neither the fat- nor the CHO-rich diet affected performance when compared to the habitual diet, increasing CHO intake with a short-term, CHO-rich diet resulted in additional benefits and improved 10-km running performance when compared to performance after the fat-rich diet.

REFERENCES

Aucouturier, J., Baker, J.S., & Duché, P. (2008). Fat and carbohydrate metabolism during submaximal exercise in children. *Sports Medicine*, 38(3), 213-238.

Beneke, R., Hütler, M., Leithäuser R.M. (2009). Carbohydrate and fat metabolism related to blood lactate in boys and male adolescents. *European Journal of Applied Physiology,* 105, 257-263.

Bergstrom, J., Hermansen, L., Hultman, E., & Saltin, B. (1967). Diet, muscle glycogen and physical performance. *Acta Physiologica Scandinavica*, 71(2), 140-50.

Boisseau, N., & Delamarche, P. (2000). Metabolic and hormonal responses to exercise in children and adolescents. Sports Medicine, 30(6), 405-422.

Burke, L.M., & Hawley, J.A. (2002). Effects of short-term fat adaptation on metabolism and performance of prolonged exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(9), 1492-1498.

Chambers, E.S., Bridge, M.W, & Jones, D.A. (2009). Carbohydrate sensing in the human mouth: effects on exercise performance and brain activity. *Journal of Physiology*, 587(8), 1779-1794.

Duncan, G.E., & Howley, E.T. (1998). Metabolic and perceptual responses to short-term cycle training in children. *Pediatric Exercise Science*, 10, 110-122.

Eriksson, B., & Saltin, B. (1974). Muscle metabolism during exercise in boys aged 11 to 16 years compared to adults. *Acta Paediatrica Belgica*, 28, 257-265.

Heck, H., Reinhards, G., Mader, A., Hollmann, W. (1987). Maximal lactate steady state and anaerobic threshold in children. Int. J. Sports Med. 8: 141.

Hendelman, D.L., Ornstein, K., Debold, E.P., Volpe, S.L., & Freedson, P.S. (1997). Preexercise feeding in untrained adolescent boys does not affect responses to endurance exercise or performance. *International Journal of Sport Nutrition*, 7, 207-218.

Jeacocke, N.A., & Burke, M. (2010). Methods to standardize dietary intake before performance testing. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 20, 87-103.

Jeukendrup, A.E., Brouns, F., Wagenmakers, A.J.M., & Saris, W. H.M. (1997). Carbohydrate feedings improve 1 h time trial cycling performance. *International Journal of Sports Medicine*, 18, 125-129.

Jeukendrup, A.E., & Jentjens, R. (2000). Oxidation of carbohydrate feedings during prolonged exercise: Current thoughts, guidelines and directions for future research. *Sports Medicine*, 29(6), 407-424.

Karelis, A.D., Smith, J.W., Passe, D.H., & Péronnet, F. (2010). Carbohydrate administration and exercise performance. What are the potential mechanisms involved? *Sports Medicine*, 40(9), 747-763.

Kuipers, H., Verstappen, F.T.J., Keizer, H.A., Geurten, P., & Vankranenburg, G. (1985). Variability of aerobic performance in the laboratory and its physiological correlates. *International Journal of Sports Medicine*, 6(4), 197-201.

Matsudo, S.M., & Matsudo, V.K. (1994) Self-assessment and physician assessment of sexual maturation in Brazilian boys and girls: concordance and reproducibility. *American Journal of Human Biology*, 6, 451-455.

McLellan, T.M. (1985). Ventilatory and plasma lactate response with different exercise protocols: a comparison of methods. *International Journal of Sports Medicine*, 6, 30-35.

Péronnet, F, & Massicotte, D. (1991). Table of nonprotein respiratory quotient: an update. *Canadian journal of sport sciences*, 16, 23-29.

Phinney, S.D., Bistrianb, B.R., Evansc, W.J., Gervinoc, E., & Blackburnb, G.L. (1983). The human metabolic response to chronic ketosis without caloric restriction: Preservation of submaximal exercise capability with reduced carbohydrate oxidation. *Metabolism*, 32(8), 769-776.

Riddell, M.C., Bar-Or, O., Schwarcz, H.P., & Heigenhauser, G.J. (2000). Substrate utilization in boys during exercise with [^{13}C]-glucose ingestion. *European Journal of Applied Physiology*, 83, 441-448.

Riddell, M.C., Bar-Or, O., Wilk, B., Parolin, M.L., & Heigenhauser, G.J. (2001). Substrate utilization during exercise with glucose and glucose plus fructose ingestion in boys ages 10-14 yr. *Journal of Applied Physiology*, 90, 903-911.

Riddell, M.C. (2008). The endocrine response and substrate utilization during exercise in children and adolescents. *Journal of Applied Physiology*, 105, 725-733.

Riddell, M.C., Jamnik, V.K., Iscoe, K.E., Timmons, B.W., & Gledhill, N. (2008). Fat oxidation rate and the exercise intensity that elicits maximal fat oxidation decreases with pubertal status in young male subjects. *Journal of Applied Physiology*, 105, 742-748.

Rollo, I., & Williams, C. (2011). Effect of mouth-rinsing carbohydrate solutions on endurance performance. *Sports Medicine*, 41(6), 449-61.

Slaughter, M.H., Lohman, T.G., Boileau, R.A., Horswill, C.A., Stillman, R.J., Van Loan, M.D., & Bemben, D.A. (1988). Skinfold equations for estimation of body fatness in children and younth. *Human Biology*, 60, 709-723.

Stephens, B.R., Cole, A.S., & Mahon, A.D. (2006). The influence of biological maturation on fat and carbohydrate metabolism during exercise in males. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 16, 166-179.

Tanner, J.M. (1962). Growth at Adolescence. Oxford: Blackwell Scientific.

Timmons, B.W., Bar-Or, O., & Riddell, M.C. (2003). Oxidation rate of exogenous carbohydrate during exercise is higher in boys than in men. *Journal of Applied Physiology*, 94, 278–284.

Timmons, B.W., Bar-Or, O., & Riddell, M.C. (2007). Influence of age and pubertal status on substrate utilization during exercise with and without carbohydrate intake in healthy boys. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*, 32, 416-425.

Tonson, A., Ratel, S., Le Fur, Y., Vilmen, C., & Cozzone, P.J. (2010). Muscle energetics changes throughout maturation: a quantitative 31P-MRS analysis. *Journal of Applied Physiology*, 109, 1769-1778.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados analisados no artigo de revisão apresentado demonstram que embora haja limitações técnicas e éticas em relação a estudos sobre o metabolismo durante exercícios em crianças e adolescentes, é possível verificar que o grupo em questão apresenta: a) menor conteúdo endógeno de glicogênio (ERIKSSON; SALTIN, 1974; BOISSEAU; DELAMARCHE, 2000); b) metabolismo oxidativo facilitado, contribuindo para uma maior taxa de utilização de gorduras em comparação com os adultos (TIMMONS et al., 2003; STEPHENS et al., 2007; RIDDELL et al., 2008); e c) maior taxa oxidativa de CHO exógeno (RIDDELL et al., 2000; TIMMONS et al., 2003).

Verificamos através do artigo de resultados que dieta a curto prazo parece não provocar mudanças significativas no desempenho de corrida de 10 km e nem na oxidação de gordura comparado a dieta habitual dos adolescentes. No entanto, uma dieta rica em CHO resultou em maior oxidação deste substrato e melhora o desempenho em corrida de 10 km comparado a uma dieta a curto prazo rica em gordura.

Dessa forma, os adolescentes parecem ter desenvolvido uma maneira de proteger os estoques endógenos de CHO, imprescindível para o crescimento e desenvolvimento do sistema músculo-esquelético e do sistema nervoso central (RIDDELL, 2008), e então utilizam tanto gordura quanto CHO exógeno em uma maior taxa para compensar a produção de ATP durante a realização de exercícios.

Portanto, é necessário ponderar as necessidades nutricionais adequadas para crianças e adolescentes, para que seja garantido aporte energético tanto para o crescimento e desenvolvimento, quanto para a realização de exercícios físicos.

Verifica-se que adolescentes são bem adaptados a prática de exercício prolongado e a adesão a programas específicos de treinamento pode trazer melhora no desempenho e benefícios para a saúde e socialização aos jovens.

REFERÊNCIAS

ACHTEN, J.; JEUKENDRUP, A. E. Maximal fat oxidation during exercise in trained men. **International journal of sports medicine,** Stuttgart, v.24, p.603-608, 2003.

AHLBORG, G.; BJÖRKMAN, O. Carbohydrate utilization by exercising muscle following pre-exercise glucose ingestion**. Clinical physiology and functional imaging**, Oxford, v.7, n.3, p.181-195, 1987.

ARKINSTALL, M. J. et al. Regulation of fuel metabolism by preexercise muscle glycogen content and exercise intensity. **Journal of applied physiology**, Washington, v.97, p.2275–2283, 2004.

AUCOUTURIER, J.; BAKER, J.S.; DUCHE, P. Fat and carbohydrate metabolism during submaximal exercise in children. **Sports medicine**, Auckland, v.38, n.3, p.213-238, 2008.

BENEKE, R.; HÜTLER, M.; JUNG, M.; LEITHÄUSER, R. M. Modeling the blood lactate kinetics at maximal short-term exercise conditions in children, adolescents and adults. **Journal of applied physiology**, Washington, v.99, p.499–504, 2005.

BENEKE, R.; HÜTLER, M.; LEITHÄUSER, R. M. Anaerobic performance and metabolism in boys and male adolescents. **European journal of applied physiology**, Berlin, v. 101, p.671–677, 2007.

BENEKE, R.; HÜTLER, M.; LEITHÄUSER, R. M. Carbohydrate and fat metabolism related to blood lactate in boys and male adolescents. **European journal of applied physiology**, Berlin, v.105, p.257-263, 2009.

BERG, A.; KIM, S. S.; KEUL, J. Skeletal muscle enzyme activities in healthy young subjects. **International journal of sports medicine,** Stuttgart, v.7, p.236–239 (abstract), 1986.

BERGSTROM, J.; HERMANSEN, L.; HULTMAN, E.; SALTIN, B. Diet, muscle glycogen and physical performance. **Acta physiological Scandinavia,** Stockholm, v.71, n.2, p.140-50, 1967.

BITAR, A.; FELLMANN, N.; VERNET, J.; COUDERT, J.; VERMOREL, M. Variations and determinants of energy expenditure as measured by whole-body indirect calorimetry during puberty and adolescence. **The American journal of clinical nutrition**, Bethesda, v.69, p.1209-16, 1999.

BOISSEAU, N.; DELAMARCHE, P. Metabolic and hormonal responses to exercise in children and adolescents. **Sports Medicine**, Auckland, v.30, n.6, p.405-422, 2000.

BURKE, L. M.; HAWLEY, J. A. Effects of short-term fat adaptation on metabolism and performance of prolonged exercise. **Medicine and science in sports and exercise,** Madison, v.34, n.9, p.1492-1498, 2002.

CHAMBERS, E. S.; BRIDGE, M. W.; JONES, D. A. Carbohydrate sensing in the human mouth: effects on exercise performance and brain activity. **Journal of physiology,** London, v.587, n.8, p.1779-1794, 2009.

DUNCAN, G. E.; HOWLEY, E. T. Metabolic and perceptual responses to short-term cycle training in children. **Pediatric Exercise Science,** Champaign, v.10, p.110-122, 1998.

ERIKSSON, B. O.; KARLSSON, J.; SALTIN, B. Muscle metabolites during exercise in pubertal boys. **Acta paediatrica Scandinavica,** Stockholm, v.217, n.57, 1971.

ERIKSSON, B. O.; SALTIN, B. Muscle metabolism during exercise in boys aged 11 to 16 years compared to adults. **Acta paediatrica Belgica,** Bruxelles, v.28, p.257-265, 1974.

ERLENBUSCH, M.; HAUB, M.; MUNOZ, K.; MACCONNIE, S.; STILLWELL, B. Effect of high-fat or high-carbohydrate diets on endurance exercise: a meta-analysis. **International journal of sport nutrition and exercise metabolism,** Champaign, v.14, p.1-14, 2005.

GOEDECKE, J. H. et al. Determinants of the variability in respiratory exchange ratio at rest and during exercise in trained athletes. **American journal of physiology. Endocrinology and metabolism**, Bethesda, v.279, p.1325-1334, 2000.

HARALAMBIE, G. Enzyme activities in skeletal muscle of 13–15 year old adolescents. **Bulletin européen de physiopathologie respiratoire,** Oxford, v.18, p.65-74 (abstract), 1982.

HARGREAVES, M. Muscle glycogen and metabolic regulation. **The Proceedings of the Nutrition Society,** London, v.63, p.217-220, 2004.

HAWLEY, J. A.; PALMER, G. S.; NOAKES, T. D. Effects of 3 days of carbohydrate supplementation on muscle glycogen content and utilisation during a 1-h cycling performance. **European journal of applied physiology**, Berlin, v.75, p.407-412, 1987.

HECK, H.; REINHARDS, G.; MADER, A.; HOLLMANN, W. Maximal lactate steady state and anaerobic threshold in children. **International journal of sports medicine,** Stuttgart, v.8, p.141, 1987.

HENDELMAN, D. L.; ORNSTEIN, K.; DEBOLD, E. P.; VOLPE, S. L.; FREEDSON, P. S. Preexercise feeding in untrained adolescent boys does not affect responses to endurance exercise or performance. **International journal of sport nutrition,** Champaign, v.7, p.207-218, 1997.

JEACOCKE, N. A.; BURKE, M. Methods to standardize dietary intake before performance testing. **International journal of sport nutrition and exercise metabolism,** Champaign, v.20, p.87-103, 2010.

JEUKENDRUP, A. E.; BROUNS, F.; WAGENMAKERS, A. M.; SARIS, W. M. Carbohydrate feedings improve 1 h time trial cycling performance. **International journal of sports medicine,** Stuttgart, v.18, p.125-129, 1997.

JEUKENDRUP, A. E.; JENTJENS, R. Oxidation of carbohydrate feedings during prolonged exercise: Current thoughts, guidelines and directions for future research. **Sports medicine**, Auckland, v.29, n.6, p.407-424, 2000.

JEUKENDRUP, A. E. High-carbohydrate versus high-fat diets in endurance sports. **Schweizerische Zeitschrift für Medizin und Traumatologie**, Bern, v.51, n.1, p.17-23, 2003.

KARELIS, A. D.; SMITH, J. W.; PASSE, D. H.; PÉRONNET, F. Carbohydrate administration and exercise performance. What are the potential mechanisms involved? **Sports medicine**, Auckland, v.40, n.9, p.747-763, 2010.

KUIPERS, H.; VERSTAPPEN, F. J.; KEIZER, H. A.; GEURTEN, P.; VANKRANENBURG, G. Variability of aerobic performance in the laboratory and its physiological correlates. **International journal of sports medicine,** Stuttgart, v.6, n.4, p.197-201, 1985.

LIMA-SILVA, A. E.; FERNANDES, T. C.; DE-OLIVEIRA, F. R.; NAKAMURA, F. Y.; GEVAERD, M. S. Metabolismo do glicogênio muscular durante o exercício físico: mecanismos de regulação. **Revista de Nutrição,** Campinas, v.20, n.4, p.417-429, 2007.

MATSUDO, S. M.; MATSUDO, V. K. Self-assessment and physician assessment of sexual maturation in Brazilian boys and girls: concordance and reproducibility. American Journal of **Human biology,** Belmont, v.6, p.451-455, 1994.

MCLELLAN, T. M. Ventilatory and plasma lactate response with different exercise protocols: a comparison of methods. **International journal of sports medicine,** Stuttgart, v.6, p.30-35, 1985.

PÉRONNET, F.; MASSICOTTE, D. Table of nonprotein respiratory quotient: an update. **Canadian journal of sport sciences**, Champaign, v.16, p.23-29, 1991.

PHINNEY, S. D.; BISTRIANB, B. R.; EVANSC, W. J.; GERVINOC, E.; BLACKBURNB, G. L. The human metabolic response to chronic ketosis without caloric restriction: Preservation of submaximal exercise capability with reduced carbohydrate oxidation. **Metabolism: clinical and experimental,** Philadelphia, v.32, n.8, p.769-776, 1983.

PETERSEN, S. R.; GAUL, C.A.; STANTON, M. M.; HANSTOCK, C. C. Skeletal muscle metabolism during short-term, high-intensity exercise in prepubertal and pubertal girls. **Journal of applied physiology**, Washington, v.87, n.6, p.2151–2156, 1989.

RATEL, S.; TONSON, A.; COZZONE, P. J.; BENDAHAN, D. Do oxidative and anaerobic energy production in exercising muscle change throughout growth and maturation? **Journal of applied physiology**, Washington, v.109, p.1562-1564, 2010.

RIDDELL, M. C.; JAMNIK, V. K.; ISCOE, K. E.; TIMMONS, B. W.; GLEDHILL, N. Fat oxidation rate and the exercise intensity that elicits maximal fat oxidation decreases with pubertal status in young male subjects. **Journal of applied physiology**, Washington, v.105, p.742–748, 2008.

RIDDELL, M. C.; BAR-OR, O.; SCHWARCZ, H. P.; HEIGENHAUSER, G. J. Substrate utilization in boys during exercise with [^{13}C]-glucose ingestion. **European journal of applied physiology**, Berlin, v.83, p.441-448, 2000.

RIDDELL, M. C.; BAR-OR, O.; WILK, B.; PAROLIN, M. L.; HEIGENHAUSER, G. J. Substrate utilization during exercise with glucose and glucose plus fructose ingestion in boys ages 10-14 yr. **Journal of applied physiology**, Washington, v.90, p.903-911, 2001.

RIDDELL, M.C. The endocrine response and substrate utilization during exercise in children and adolescents. **Journal of applied physiology**, Washington, v.105, p.725-733, 2008.

ROLLO, I., WILLIAMS, C. Effect of mouth-rinsing carbohydrate solutions on endurance performance. **Sports medicine**, Auckland, v.41, n.6, p.449-61, 2011.

ROMIJN, J. A. et al. Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. **The American journal of physiology,** Washington, v.265, p.E380-E391, 1993.

SLAUGHTER, M. H. et al. Skinfold equations for estimation of body fatness in children and younth. **Human biology,** Belmont, v.60, p.709-723, 1988.

SPRIET, L. L.; WATT, M. J. Regulatory mechanisms in the interaction between carbohydrate and lipid oxidation during exercise **Acta physiological Scandinavia,** Stockholm, v.178, p.443–452, 2003.

STEPHENS, B. R.; COLE, A. S.; MAHON, A. D. The influence of biological maturation on fat and carbohydrate metabolism during exercise in males. **International journal of sport nutrition and exercise metabolism,** Champaign, v.16, p.166-179, 2006.

TANNER, J. M. (1962). **Growth at Adolescence.** Oxford: Blackwell Scientific.

TIMMONS, B. W.; BAR-OR, O.; RIDDELL, M. C. Oxidation rate of exogenous carbohydrate during exercise is higher in boys than in men. **Journal of applied physiology**, Washington, v.94, p.278-284, 2003.

TIMMONS, B. W.; BAR-OR, O.; RIDDELL, M. C.. Energy substrate utilization during prolonged exercise with and without carbohydrate intake in preadolescent and adolescent girls. **Journal of applied physiology**, Washington, v.103, p.995-1000, 2007.

TIMMONS, B. W.; BAR-OR, O.; RIDDELL, M. C.. Influence of age and pubertal status on substrate utilization during exercise with and without carbohydrate intake in healthy boys. **Applied physiology, nutrition, and metabolism,** Ottawa, v.32, p.416-425, 2007.

TONSON, A.; RATEL, S.; LE FUR, Y.; VILMEN, C.; COZZONE, P. J. Muscle energetics changes throughout maturation: a quantitative 31P-MRS analysis. **Journal of applied physiology**, Washington, v.109, p.1769-1778, 2010.

WELTAN, S. M.; BOSCH, N. A.; DENNIS, S. C.; NOAKES, T. D. Influence of muscle glycogen contento n metabolic regulation. **American journal of physiology. Endocrinology and metabolism**, Bethesda, v.274, p.E-72-E82, 1998.

APÊNDICES

A – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (T.C.L.E)

B – Ficha de identificação do atleta e acompanhamento das coletas

C – Registro Alimentar

Apêndice A

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (T.C.L.E.)

(Em 2 vias, firmado por cada participante-voluntári(o,a) da pesquisa e pelo responsável)

> **"*O respeito devido à dignidade humana exige que toda pesquisa se processe após consentimento livre e esclarecido dos sujeitos, indivíduos ou grupos que por si e/ou por seus representantes legais manifestem a sua anuência à participação na pesquisa.*"** (Resolução. nº 196/96-IV, do Conselho Nacional de Saúde)

Eu,....., responsável por ..... convidad(o,a) a participar como voluntári(o,a) do estudo "Efeito de diferentes dietas a curto prazo no desempenho de adolescentes em provas de corrida de 10 km" recebi da Sra. Patrícia Guimarães Couto, da Universidade Federal de Lavras, responsável por sua execução, as seguintes informações que me fizeram entender sem dificuldades e sem dúvidas os seguintes aspectos, referente a participação de meu filh(o,a):

Que o estudo se destina a avaliar o desempenho em corrida de 10 km;

Que a importância deste estudo é a de orientar sobre benefícios e riscos sobre manipulação dietética em adolescentes atletas;

Que esse estudo começará em março de 2011 e terminará em fevereiro de 2013;

Que o estudo foi feito da seguinte maneira: Eu deverei visitar o Laboratório de Estudos do Movimento Humano, na UFLA, para que sejam feitas avaliações antropométricas e um teste na esteira. Também irei comparecer e preencher questionários sobre minha alimentação. Para avaliação maturacional, foram fornecidas figuras representando a pilosidade pubiana, na qual eu farei a identificação da figura que se enquadra com o meu desenvolvimento. Receberei do pesquisador um cardápio e me alimentarei seguindo-o pelo tempo determinado, recebendo alimentos e me comprometendo a ingerir as refeições, e farei testes de corrida de 10 km, nos horários e local de treinamento, como ocorre diariamente;

Que eu participarei das etapas acima descritas, entre abril e julho de 2012;

Que os não há outros meios conhecidos para se obter os mesmos resultados;

Que os incômodos que poderei sentir com a minha participação são os seguintes: tontura e mal estar durante a corrida e enjôo com a alimentação recebida;

Que os possíveis riscos à minha saúde física e mental são: complicações cardíacas que possam ocorrer durante o teste e intestinais durante a manipulação dietética;

Que deverei contar com a seguinte assistência: caso eu tenha algum problema, eu serei transportado de ambulância pública ou de automóvel particular para o hospital mais próximo, sendo responsáve(l,is): Patrícia Guimarães Couto, Fernando Roberto de Oliveira e Adriano Eduardo Lima da Silva ou qualquer outro procedimento que seja necessário;

Que os benefícios que deverei esperar com a minha participação, mesmo que não diretamente são: oportunidade de melhorar o meu desempenho em competições e conhecimento sobre alimentação e desempenho;

Que a minha participação foi acompanhada do seguinte modo: O pesquisador responsável acompanhará os testes e nos testes em esteira eu usarei uma máscara que irá fazer o monitoramento da minha respiração durante o exercício, sem prejuízos a minha saúde ou desempenho.

Que, sempre que desejar, foram fornecidos esclarecimentos sobre cada uma das etapas do estudo.

Que, a qualquer momento, eu poderei recusar a continuar participando do estudo e, também, que eu poderei retirar este meu consentimento, sem que isso me traga qualquer penalidade ou prejuízo.

Que as informações conseguidas através da participação de m(eu, inha) filh (o,a) não permitirão a sua identificação, exceto aos responsáveis pelo estudo, e que a divulgação das mencionadas informações só foi feita entre os profissionais estudiosos do assunto.

□□Que eu deverei ser indenizado por qualquer despesa que venha a ter com a participação de m(eu, inha) filh (o,a) nesse estudo e, também, por todos os danos que venha a sofrer pela mesma razão, sendo que, para essas despesas, foi-me garantida a existência de recursos.
Finalmente, tendo eu compreendido perfeitamente tudo o que me foi informado sobre a minha participação no mencionado estudo e estando consciente dos meus direitos, das minhas responsabilidades, dos riscos e dos benefícios que a minha participação implicam, concordo em dele participar e para isso eu DOU O MEU CONSENTIMENTO SEM QUE PARA ISSO EU TENHA SIDO FORÇADO OU OBRIGADO.

Endereço d(o,a) participante-voluntári(o,a)
Domicílio: (rua, praça, conjunto):
Bloco: /Nº: /Complemento:
Bairro: /CEP/Cidade: /Telefone:
Ponto de referência:

Contato de urgência: Sr(a).
Domicílio: (rua, praça, conjunto:
Bloco: /Nº: /Complemento:
Bairro: /CEP/Cidade: /Telefone:
Ponto de referência:

Endereço d(os,as) responsáve(l,is) pela pesquisa (OBRIGATÓRIO):
Instituição: Universidade Federal de Lavras
Endereço: Campus Universitário s/n
Departamento de Educação Física
Bairro: Centro/CEP37200-000/Cidade: Lavras - MG
Telefones p/contato: (35) 8812-3669/ (35) 9132-9727/ (82) 9615-6579

ATENÇÃO: Para informar ocorrências irregulares ou danosas durante a sua participação no estudo, dirija-se ao:
Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Alagoas:
Prédio da Reitoria, sala do C.O.C. , Campus A. C. Simões, Cidade Universitária
Telefone: (82)3214-1041

Maceió, 1 de novembro de 2011.

(Assinatura ou impressão datiloscópica d(o,a) voluntári(o,a) ou resposável legal - Rubricar as demais folhas)	Prof. Dr. Adriano Eduardo Lima da Silva Prof. Dr. Fernando Roberto de Oliveira Prof. Mda. Patrícia Guimarães Couto Nome e Assinatura do(s) responsável(eis) pelo estudo (Rubricar as demais páginas)

Apêndice B

IDENTIFICAÇÃO DO ATLETA

Nome:
_____

Data de nascimento: _____/_____/_____ Peso ao nascer: _____ kg

Tempo de treinamento no atletismo:_____

Principais provas: _____

AVALIAÇÃO ANTROPOMÉRICA

Data da avaliação: ____/____/_____ (Tarde)

Massa corporal: _____ kg Estatura: _____ m

Maturação sexual: P1___ P2___ P3___ P4___ P5___

BIA: Resis_____ Reac _____

Dobras cutâneas:

Tríceps (mm)	Subescapular (mm)

TESTES

Teste progressivo

Data: ____/____/____

Corrida 10 km

	Dieta 1	Dieta 2	Dieta 3
Data			
Tempo (min)			

Apêndice C

REGISTRO ALIMENTAR DIÁRIO – DIA E DATA:_____

Nome do Atleta:_____

OBS: Registrar rigorosamente todos os alimentos ingeridos durante os quatro dias da semana. Especificar **tipo** e **quantidade** de cada alimento (em medidas caseiras).

DESJEJUM	Local:	Horário:
ALIMENTO	**MEDIDAS CASEIRAS**	**GRAMAS**
COLAÇÃO	Local:	Horário:
ALIMENTO	**MEDIDAS CASEIRAS**	**GRAMAS**
ALMOÇO	Local:	Horário:
ALIMENTO	**MEDIDAS CASEIRAS**	**GRAMAS**
LANCHE	Local:	Horário:
ALIMENTO	**MEDIDAS CASEIRAS**	**GRAMAS**
JANTAR	Local:	Horário:
ALIMENTO	**MEDIDAS CASEIRAS**	**GRAMAS**
CEIA	Local:	Horário:
ALIMENTO	**MEDIDAS CASEIRAS**	**GRAMAS**
LANCHE EXTRA	Local:	Horário:
ALIMENTO	**MEDIDAS CASEIRAS**	**GRAMAS**

ROTEIRO PARA PREENCHIMENTO DO INQUÉRITO ALIMENTAR DIÁRIO

1. Deverão ser anotados **todos** os alimentos que você consumiu durante os quatro dias da semana, necessariamente (domingo, segunda-feira, quarta-feira, sexta-feira).

2. Especificar o **tipo** e a **quantidade** de cada alimento, em medidas caseiras, com o **máximo de exatidão** possível. Ex.: 2 biscoitos recheados sabor morango, 1 pêra média com casca, 3 colheres (sopa) rasas de arroz, 1 concha grande de feijão rasa, 1 copo pequeno de vitamina de frutas variadas (especificar cada fruta, como mamão, banana e maçã, por exemplo) com leite integral e açúcar, 2 xícaras (chá) de café com leite desnatado e adoçante, 1 bife de boi à milanesa pequeno, etc.

3. Quando você repetir algum alimento na mesma refeição, escrever o número **total de alimentos** que ingeriu. Ex.: Comeu 1 coxa de frango média assada e depois comeu outra = 2 coxas de frango médias assadas.

4. Quanto aos alimentos consumidos na forma de preparações, é necessário detalhar cada ingrediente / alimento utilizado para a confecção da mesma, bem como seu rendimento total e deste a porção que você ingeriu. Ex: Lasanha: foram gastos 1 pacote de 500g de macarrão cozido, 150g de mussarela, 150g de presunto, 300g de carne moída, 2 col. de sopa cheio de óleo e 2 col. de sopa cheia de extrato de tomate para molho etc. e deste total eu ingeri um pedaço médio.

5. É necessário também anotar a quantidade de água ingerida.

6. Com relação ao consumo de óleo, especificar o tipo (soja, milho, girassol, canola, etc.) utilizado na preparação das refeições e o número de latas que a família ou você usa por mês. Anotar o número de pessoas que comem habitualmente da mesma refeição, identificando adultos e crianças com as respectivas idades. Ex.: 3 adultos + 2 crianças (uma de 1 ano e outra de 5 anos) e também escrever quantas refeições vocês fazem ao dia.

NÃO SE ESQUEÇA!!!!

Copo: - Americano normal - Americano duplo **Xícara de Cafezinho** **Xícara de Chá**	**Colher**: - Café – Chá - Sobremesa – Sopa - Arroz - Escumadeira **Concha de Feijão** **Pegador de Macarrão** *Pequena / Média / Grande*	**Prato normal** **Prato de sobremesa** *Raso / Fundo* **Pires de Café** **Pires de Chá**
↪ RASO / NIVELADO / CHEIO		
Porção / Pedaço / Fatia / Unidade ↪ PEQUENO / MÉDIO / GRANDE		

ANEXOS

A – Ficha de auto-avaliação maturacional (Masculino)

B – Aprovação no Comitê de Ética

Anexo A

Figura - Graus de desenvolvimento dos **pêlos pubianos** (TANNER, 1982)

ANEXO B

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA

Maceió – AL, 02/04/2012

Senhor (a) Pesquisador (a), Adriano Eduardo Lima da Silva,
Patrícia Guimarães Couto

O Comitê de Ética em Pesquisa (CEP), em 29/03/2012 e com base no parecer emitido pelo (a) relator (a) do processo nº **022868/2011-72** sob o título, **Efeito de Diferentes Dietas a Curto Prazo Sobre o Desempenho em Prova de Corrida de 10 km em Adolescente,** vem por meio deste instrumento comunicar a renovação do processo supra citado, com base no item VIII.13, b, da Resolução nº 196/96.

O CEP deve ser informado de todos os efeitos adversos ou fatos relevantes que alterem o curso normal do estudo (Res. CNS 196/96, item V.4).

É papel do(a) pesquisador(a) assegurar medidas imediatas adequadas frente a evento grave ocorrido (mesmo que tenha sido em outro centro) e enviar notificação ao CEP e à Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA – junto com seu posicionamento.

Eventuais modificações ou emendas ao protocolo devem ser apresentadas ao CEP de forma clara e sucinta, identificando a parte do protocolo a ser modificada e sua justificativa. Em caso de projeto do Grupo I ou II apresentados anteriormente à ANVISA, o (a) pesquisador (a) ou patrocinador(a) deve enviá-los à mesma junto com o parecer aprovatório do CEP, para serem incluídas ao protocolo inicial (Res. 251/97, item IV. 2.e).

Relatórios parciais e finais devem ser apresentados ao CEP, de acordo com os prazos estabelecidos no Cronograma do Protocolo e na Res. CNS, 196/96.

Na eventualidade de esclarecimentos adicionais, este Comitê coloca-se a disposição dos interessados para o acompanhamento da pesquisa em seus dilemas éticos e exigências contidas nas Resoluções supra - referidas.

Esta aprovação não é válida para subprojetos oriundos do protocolo de pesquisa acima referido.

(*) Áreas temáticas especiais

Válido até: Abril de 2013

Profª Drª Deise Juliana Francisco
Coordenadora do Comitê de
Ética em Pesquisa -UFAL