

METABOLISMO EM CRIANÇAS E ADOLESCENTES DURANTE O EXERCÍCIO

Metabolism in children and adolescents during exercise

Patrícia Guimarães Couto¹
Fernando Roberto de-Oliveira²
Rômulo Cássio de Moraes Bertuzzi³
Adriano Eduardo Lima-Silva⁴

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

¹ Professora de Educação Física. Universidade Federal de Alagoas, Faculdade de Nutrição, Grupo de Pesquisa em Ciências do Esporte. Maceió/AL. Brasil.

² Professor de Educação Física. Universidade Federal de Lavras, Departamento de Educação Física, Núcleo de Estudos do Movimento Humano. Lavras/MG. Brasil.

³ Professor de Educação Física. Universidade de São Paulo, Escola de educação Física e Esporte, Grupo de Estudos em Desempenho Aeróbio. São Paulo/SP. Brasil.

⁴ Professor de Educação Física. Universidade Federal de Alagoas, Faculdade de Nutrição, Grupo de Pesquisa em Ciências do Esporte. Maceió/AL. Brasil.

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 anaeróbicas 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 (¹³C) e fósforo marcado (³¹P) 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 maduros 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 láctica, 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 ³¹P-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 ³¹P-MRS, Tonson et al. ¹⁴ demonstraram que a contribuição do metabolismo oxidativo para a produção de ATP foi maior nos garotos ($50 \pm 15\%$) do que nos homens ($25 \pm 8\%$) em exercício de flexão dos dedos. Como um mecanismo compensatório, a contribuição advinda da quebra de fosfocreatina (PCr) foi reduzida ($40 \pm 10\%$ nos garotos e $53 \pm 12\%$ 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 garotas²³.

No decorrer do crescimento e desenvolvimento de crianças e adolescentes ocorre um concomitante aumento na massa muscular e, conseqüentemente, 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 $33,5 \pm 5,6$ kg para $48,3 \pm 8,6$ kg no final da puberdade, ainda assim permanecendo menor que em jovens adultos ($65,7 \pm 9,0$ 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 jovens¹, 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 sustentado¹¹. 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 metabólico²⁷.

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 ¹³C-CHO ou placebo, pedalarão 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 maduros (~30% da energia total *versus* ~24% nos mais maduros).

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 significativa, mas apenas na situação sem ingestão de CHO. Já a relação entre testosterona e oxidação de CHO endógeno foi positiva e significativa, 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 Paediatr 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 [¹³C]-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 content on 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.

Autor correspondente:

Patrícia Guimarães Couto

Praça Dr. Augusto Silva, 586/ apto 202. Centro, 37200-000 Lavras – MG.

(37)9122-2224

patycouto87@hotmail.com