

Impacto do Exercício Físico na Gestão da Diabetes Mellitus Tipo I

Impact of Physical Exercise in the Management of Type I Diabetes Mellitus

Marta Sofia Campos Jácome

ORIENTADO POR: MESTRE CRISTINA PAULA BARBOSA ARTEIRO ROMERO ANTELO

REVISÃO TEMÁTICA

1.º CICLO EM CIÊNCIAS DA NUTRIÇÃO | UNIDADE CURRICULAR ESTÁGIO

FACULDADE DE CIÊNCIAS DA NUTRIÇÃO E ALIMENTAÇÃO DA UNIVERSIDADE DO PORTO

TC

PORTO, 2024



Resumo

A Diabetes Mellitus Tipo 1 (DMT1) é uma patologia autoimune caracterizada pela destruição total das células beta-pancreáticas. Um acompanhamento nutricional adequado e a prática de exercício físico (EF) são fundamentais na gestão e tratamento da DMT1. As respostas metabólicas e o controlo glicémico são determinadas pelo tipo, intensidade e duração do EF e condições ambientais (hora do dia e estado prandial). Assim, o EF nos indivíduos com DMT1 é um desafio devido ao risco de hipoglicemia ou hiperglicemia durante e após o EF. O objetivo desta revisão é diferenciar os principais tipos de EF e o seu impacto no controlo glicémico durante e após o EF, consoante o tipo de administração de insulina, em adultos com DMT1. A pesquisa foi realizada na base de dados “PubMed” e foram incluídos 14 ensaios clínicos randomizados e 3 revisões sistemáticas e meta-análises dos últimos 5 anos. O exercício aeróbio (EA) está associado à diminuição da glicemia, enquanto o exercício anaeróbio (EAN) associa-se ao aumento da glicemia. O exercício intermitente de alta intensidade (EIAI) tem uma resposta metabólica variável, promovendo a estabilização dos níveis de glicemia ou ligeiras elevações ou diminuições. A compreensão da fisiologia dos diferentes tipos de EF, das variáveis que podem influenciar a glicemia e das recomendações atuais devem suportar a implementação de estratégias de insulino-terapia e ingestão de hidratos de carbono (HC) que permitam a otimização do controlo glicémico. No entanto, ainda não está definida a melhor estratégia de administração de insulina a adotar na DMT1.

Palavras-Chave

Diabetes *Mellitus* Tipo 1, Exercício Físico, Controle Glicêmico, Hipoglicemia, Hiperglicemia

Abstract

Type 1 Diabetes Mellitus (DMT1) is an autoimmune pathology characterized by the total destruction of beta-pancreatic cells. Nutritional monitoring and physical exercise (PE) are fundamental in the management and treatment of DMT1. Metabolic responses and glycemic control are determined by: the type, intensity and duration of PE and environmental conditions (time of day and prandial state). As such, PE presents a challenge due to the risk of hypoglycemia or hyperglycemia during and after PE. The aim of this review is to study the impact of different types of PE in metabolic control of adults with DMT1, according to the types of insulin administration. The search was conducted in the PubMed database and included in the final analysis 14 randomized clinical trials and 3 systematic reviews and meta-analyses from the last 5 years. Aerobic exercise (AE) is associated with a decrease in blood glucose, while anaerobic exercise (AEE) increases in blood glucose levels. High-intensity intermittent exercise (HIAE) induces variable metabolic responses, ranging from glucose levels stability or a slight increase or decrease in blood levels. Understanding the physiology of the different types of PE, the variables that can influence blood glucose and current recommendations should support the implementation of insulin therapy and carbohydrate intake (HC) strategies to optimize glycemic control. However, the best insulin administration strategy for DMT1 is yet to be defined.

Keywords

Type 1 Diabetes Mellitus, Physical Exercise, Glycemic Control, Hypoglycemia, Hyperglycemia

Lista de abreviaturas, siglas e acrônimos

ADA - American Diabetes Association

AGL - Ácidos Gordos Livres

ATP - Adenosina Trifosfato

BII - Bomba Infusora de Insulina

DMT1 - Diabetes Mellitus Tipo 1

EA - Exercício Aeróbico

EAI - Exercício de Alta Intensidade

EAN - Exercício Anaeróbico

EF - Exercício Físico

EIAI - Exercício Intermitente de Alta Intensidade

EIM - Exercício de Intensidade Moderada

ER - Exercício de Resistência

HbA1C - Hemoglobina Glicada

MCG - Monitorização Contínua de Glicose

MIDI - Múltiplas Injeções Diárias de Insulina

PCr - Fosfocreatina

PMTA - Percentagem Média de Tempo no Alvo

SHCF - Sistema Híbrido de Circuito Fechado

Sumário

Resumo e Palavras-Chave	i
Abstract and keywords	iii
Lista de abreviaturas, siglas e acrónimos	iv
Introdução	1
Objetivo.....	2
Metodologia	3
Fisiologia do EF e os diferentes tipos de EF	3
Controlo glicémico e respostas neuroendócrinas e metabólicas ao EF na DMT1	6
Impacto da variação circadiana e do estado prandial	8
Métodos de administração de insulina	10
Análise Crítica.....	11
Conclusão	14
Referências.....	16
Apêndices	20

Introdução

A Diabetes Mellitus Tipo 1 (DMT1) é uma patologia autoimune caracterizada pela destruição total das células beta-pancreáticas, as quais são responsáveis pela produção de insulina, ocorrendo assim deficiência endógena da sua produção⁽¹⁾. Embora a maior incidência da DMT1 seja durante a infância, ao longo dos últimos anos verifica-se um crescente aumento do seu diagnóstico durante a adolescência e no adulto jovem^(2, 3). Caso haja um controlo glicémico inadequado, a DMT1 pode estar associada a complicações cerebrovasculares, cardíacas, renais, entre outras⁽⁴⁻⁶⁾. Neste sentido, um controlo glicémico adequado é essencial e este é avaliado através da hemoglobina glicada (HbA1C) e de dados obtidos sobre a monitorização contínua de glicose (MCG) através de um sensor, nomeadamente a percentagem média de tempo no alvo (PMTA)⁽⁷⁾. A PMTA indica a proporção de tempo em que os níveis de glicose no sangue permanecem dentro de um intervalo alvo pré-definido e recomendado, que é 70 a 180 mg/dL (3,9 a 10 mmol/L)⁽⁷⁻⁹⁾. Um bom controlo glicémico corresponde a uma HbA1C <7% (<53 mmol/mol) e este valor está associado a uma PMTA >70%⁽⁷⁾. Desta forma, um acompanhamento nutricional adequado e a prática de exercício físico (EF) são fundamentais na gestão e tratamento da DMT1, de forma a ter um melhor controlo glicémico⁽¹⁾. De acordo com as últimas recomendações da *American Diabetes Association* (ADA), adultos com DMT1 devem praticar pelo menos 150 minutos por semana de exercício aeróbio (EA) de intensidade moderada a vigorosa distribuídos por pelo menos 3 dias por semana, juntamente com 2 a 3 sessões por semana de atividades de fortalecimento muscular/resistência⁽¹⁰⁾. A combinação de um plano alimentar adequado e de EF

está associada ao aumento da sensibilidade à insulina, melhoria do perfil lipídico, melhoria da composição corporal⁽¹¹⁾, melhoria da saúde cardiovascular e aumento da longevidade^(12, 13). Vários fatores como a capacidade física do indivíduo, o tipo, a intensidade e a duração do exercício, o horário do dia que é realizado, a quantidade de insulina administrada, a concentração de glicose no sangue e a composição nutricional da última refeição antes de iniciar o EF são fatores que podem influenciar o controle da glicemia durante e após o exercício⁽¹⁴⁾. Assim, o controle glicêmico numa sessão de EF em indivíduos com DMT1 apresenta-se, ainda hoje, como um desafio, porque a melhor estratégia de administração de insulina a adotar nestes pacientes ainda se encontra em estudo. Existem vários tipos de administração de insulina tais como múltiplas injeções diárias de insulina (MIDI), bombas infusoras de insulina (BII) e mais recentemente foram criados os sistemas híbridos de circuito fechado (SHCF). Os dois últimos utilizam uma administração através de infusão subcutânea contínua de insulina. Os SHCF incluem a MCG através de um sensor, que de forma integrada permite o ajuste e administração de insulina com base nos valores de glicemia registados pelo sensor em tempo real, através de uma BII^(12, 14-16).

Objetivo

O objetivo desta revisão é diferenciar os principais tipos de EF (EA, exercício anaeróbio (EAN) e exercício intermitente de alta intensidade (EIAI)) e o seu impacto no controle glicêmico durante e após o EF, consoante o tipo de administração de insulina, em adultos com DMT1.

Metodologia

A pesquisa foi realizada na base de dados “PubMed” (Apêndice A). Foram incluídos ensaios clínicos randomizados, publicados até ao dia 26 de abril de 2024 e revisões sistemáticas e meta-análises dos últimos 5 anos, redigidos em inglês. Estes avaliavam o impacto do EF no controlo glicémico, durante e após a sessão de exercício, em adultos (≥ 18 anos) com DMT1. Artigos realizados em animais ou in vitro, carta ao editor e ensaios clínicos foram excluídos. Os títulos e resumos dos estudos potencialmente relevantes para análise foram avaliados. Nos casos em que o resumo não foi suficientemente esclarecedor para decisão de inclusão ou exclusão, o manuscrito foi lido e analisado integralmente. Oitocentos e vinte e nove artigos foram encontrados através da pesquisa. Setecentos e noventa ensaios clínicos randomizados foram avaliados sendo que, apenas 14 estudos foram incluídos nesta revisão. Trinta e nove meta-análises e revisões sistemáticas foram inicialmente selecionadas, das quais apenas 3 foram incluídas nesta revisão.

Fisiologia do EF e os diferentes tipos de EF

As respostas metabólicas ao EF são determinadas por: tipo de exercício (EA e EAN), intensidade (leve, moderada ou intensa), duração (curto, prolongado ou intermitente) e condições ambientais (hora do dia e estado prandial)⁽¹⁷⁾. O EA, geralmente de intensidade leve a moderada, consiste na realização de pelo menos 10 minutos de movimentos repetidos e contínuos de grandes grupos musculares, como por exemplo, ciclismo, corrida, natação e caminhada^(16, 18-21). O EAN, geralmente de alta intensidade, consiste em exercícios de força e de

resistência, como peso livre ou musculação^(16, 18-21). Existe ainda o EIAI que é uma combinação dos dois tipos de exercícios anteriormente referidos, pois envolve séries repetidas de curta duração e atividade intensa interrompido por períodos mais longos de exercício ou repouso de baixa a moderada intensidade, como por exemplo, o futebol, o rugby e o hóquei^(20, 21).

O EF pode ser classificado como EA ou EAN, consoante o tipo de substrato energético utilizado⁽²²⁾. Durante os primeiros segundos de exercício, a contração muscular utiliza a energia sob a forma de adenosina trifosfato (ATP) que é sintetizada a partir da fosfocreatina (PCr)⁽¹⁴⁾. Em indivíduos diabéticos com administração de insulina e ausência de nefropatia, os níveis de ATP e PCr em repouso e após o exercício são normais, exceto quando há um controlo glicémico inadequado, em que o tempo de recuperação da PCr é mais lento, pelo que reduz a quantidade de ATP disponível⁽¹⁴⁾. Porém, a partir dos primeiros segundos de exercício e caso seja exercício de intensidade moderada (EIM), a energia sob a forma de ATP obtém-se quase exclusivamente através do metabolismo aeróbio/oxidativo que utiliza os hidratos de carbono (HC), provenientes do glicogénio muscular, e os ácidos gordos livres (AGL)^(14, 17, 19, 21). Deste modo, há uma inibição das vias anabólicas, como a síntese de glicogénio e a síntese proteica e estimulação das vias catabólicas, como a glicogenólise muscular e a lipólise⁽¹⁷⁾. À medida que as reservas de glicogénio muscular se esgotam e já não é possível ocorrer a glicogenólise muscular, desenvolve-se um equilíbrio entre a libertação de glicose (via glicogenólise hepática) e a captação de glicose pelo músculo^(15, 17, 23). A secreção de insulina diminui simultaneamente à medida que a captação de glicose aumenta^(15, 17, 23). Um ligeiro aumento das catecolaminas com a diminuição da insulina promove a lipólise, permitindo a utilização dos AGL

como fonte de energia, e posteriormente a gliconeogénese^(17, 23). No caso da DMT1, uma vez que não ocorre uma diminuição progressiva da insulinemia, não será estimulada a gliconeogénese hepática, por isso haverá uma menor quantidade de glicose em circulação e há risco aumentado de hipoglicemia⁽²³⁾.

O exercício de alta intensidade (EAI) obtém a energia através do metabolismo anaeróbio/não oxidativo, que utiliza a glicose derivada maioritariamente da glicogenólise hepática e muscular⁽¹⁷⁾. Este tipo de exercício promove um aumento acentuado das hormonas contrarreguladoras (catecolaminas, hormona de crescimento e cortisol), o que estimula o aumento da gliconeogénese pelo fígado e lipólise como forma de obtenção de energia. Assim, a libertação de glicose supera a capacidade de captação do músculo devido à hipoinsulinemia, provocando um estado de hiperglicemia que se pode manter mesmo após o exercício^(16, 19-21, 23-26). Assim, na diabetes a administração exógena de insulina após o exercício, é essencial para correção do estado de hiperglicemia, havendo uma reposição do glicogénio muscular e uma recuperação mais rápida⁽¹⁷⁾. Por último, o EAI utiliza maioritariamente o metabolismo aeróbio/oxidativo, mas também utiliza o metabolismo anaeróbio/não oxidativo⁽¹⁷⁾. Este tipo de exercício mantém uma glicemia mais estável, sem variações muito acentuadas. Isto pode ocorrer porque apesar do EAI aumentar as hormonas contrarreguladoras e estas poderem originar hiperglicemia, este também se associa a um aumento da produção de lactato⁽¹⁶⁾. O aumento do lactato pode atenuar a ação das hormonas contrarreguladoras e, assim, contrabalançar o risco de hiperglicemia e mantê-la mais estável⁽¹⁶⁾.

Controlo glicémico e respostas neuroendócrinas e metabólicas ao EF na DMT1

Diferentes tipos de EF têm diferentes efeitos na resposta glicémica. A prática de EA exige uma elevada utilização de glicose como fonte de energia e, pelo facto dos indivíduos com DMT1 realizarem uma administração exógena de insulina antes do exercício, leva a que os níveis de insulina permaneçam elevados durante o EF (dado que os análogos de insulina administrada por via subcutânea não possuem a mesma farmacocinética da insulina endógena)^(14, 15), pelo que não haverá estimulação da gliconeogénese hepática e, consequentemente, há um maior risco de hipoglicemia, tal como já foi referido⁽²¹⁾. Para além disso, o EF parece aumentar a sensibilidade à insulina^(17, 20), o que concorre igualmente para o risco de hipoglicemia que se pode manter até pelo menos 24 horas após o seu término^(14, 20, 21, 23). Se pelo contrário não for administrada insulina suficiente, existe um risco elevado de hiperglicemia, que em casos graves poderá levar a cetoacidose^(14, 24).

Por outro lado, o EAN, como é o caso do exercício de resistência (ER), está associado a uma melhoria da PMTA e minimiza o tempo abaixo do alvo (hipoglicemia) em comparação ao EA e o EA provoca uma redução mais significativa da glicemia durante o exercício⁽²⁷⁾. O estudo de *Riddell et al.*, confirmou este resultado independentemente do tipo de administração de insulina (BII, MIDI e SHCF)⁽²⁸⁾. *Steineck et al.*, compararam ainda a prática de diferentes durações e frequências de EA e ER, verificando que não houve diferenças com significado estatístico na PMTA, frequência de hipoglicemia e hiperglicemia e nos níveis séricos de glicose em indivíduos submetidos a 5 curtas sessões de exercício em 5 dias versus 2 sessões longas de exercícios em 5 dias⁽²⁹⁾. Relativamente à intensidade do EF, demonstrou-se que indivíduos que

realizaram 30 minutos de EIM permaneceram menos tempo em hipoglicemia após o exercício, em comparação a indivíduos que realizaram 60 minutos de EAI⁽³⁰⁾.

De acordo com a fisiologia do EAN e EIAI, ocorre um aumento das hormonas contrarreguladoras durante o exercício. Deste modo, ensaios clínicos randomizados demonstraram que estes dois tipos de exercício provocam aumentos superiores de noradrenalina, cortisol e lactato em comparação com o EIM⁽³¹⁻³⁴⁾. Os resultados do EAN e EIAI na produção da hormona de crescimento são heterogéneos, com alguns estudos a não demonstrar alterações significativas entre estes dois tipos de exercício⁽³²⁾ e outros com um ligeiro aumento durante o EIAI^(31, 33). O controlo glicémico em indivíduos com DMT1 que praticam EIAI é mais estável, devido ao aumento das hormonas contrarreguladoras e do lactato, tal como foi referido anteriormente⁽²¹⁾. Em estudos que comparavam o EIAI com o exercício contínuo de intensidade moderada, não se verificaram diferenças significativas na duração de hipoglicemia e hiperglicemia, na PMTA e nas concentrações de glicose plasmática antes e depois de cada tipo de exercício durante as 24h subsequente^(32, 35, 36). Quando se comparou o impacto glicémico do ER e do EIAI ordenados de forma diferente, o estudo de *Farinha et al*, demonstrou que a prática inicial de ER adia a diminuição da glicemia e apenas inicia a diminuição da glicemia no final do EIAI⁽³⁷⁾.

Uma revisão sistemática e meta-análise publicada em 2023, que incluiu 69 estudos, concluiu que exercícios como o ciclismo e a corrida, predominantemente EA prolongados, promovem a diminuição da glicemia em pessoas com DMT1⁽³⁸⁾. Estes resultados estão em linha com os dados anteriormente descritos. Estudos do mesmo ano, verificaram que há alguma

heterogeneidade do efeito na glicemia do EIAI, pois alguns mostram que pode ocorrer uma redução moderada ou um aumento ligeiro da glicemia⁽³⁹⁾. Esta variabilidade pode ser devida às diferentes durações e intensidades do exercício, aos diferentes ajustes de insulina pré-exercício e à ingestão de alimentos antes e durante o exercício⁽³⁹⁾.

Impacto da variação circadiana e do estado prandial

As respostas glicémicas ao EF variam consoante o indivíduo esteja em jejum ou no estado pós-prandial e consoante a hora do dia em que é praticado. O EF realizado no período pós-prandial (duas horas após uma refeição e com consequente administração de insulina) e ao fim do dia promove uma diminuição da glicemia⁽²³⁾. Este ocorre durante períodos de maior concentração sérica de insulina, por isso pode ser uma das causas para que haja uma diminuição da glicemia⁽²³⁾. Para além disso, tal como já foi referido, o cortisol é uma hormona contrarreguladora e tem um ritmo circadiano bem definido, ajudando a manter os níveis estáveis de glicose sanguínea⁽²³⁾. Este atinge a sua concentração máxima de manhã ao acordar e vai diminuindo a sua concentração ao longo do dia^(19, 23). Deste modo, como o cortisol se encontra diminuído à tarde/fim do dia, não será suficiente para estimular o aumento da gliconeogénese hepática, favorecendo a hipoglicemia durante o EF realizado ao fim do dia^(19, 23). Por sua vez, este também promove um maior risco de hipoglicemia noturna^(16, 19, 23).

Por outro lado, o EF realizado em jejum de manhã associa-se a concentrações estáveis de glicose no sangue ou mesmo hiperglicemia imediata após o EF, pois não coincide com o pico de ação da insulina pós-prandial em circulação e é realizado quando há uma maior concentração de cortisol^(16, 24). Ensaios clínicos

randomizados demonstraram que todos os tipos de EF (EA, EAN e EIAI) realizados num estado pós-prandial à tarde/fim do dia provocam uma diminuição da glicemia, e quando são realizados em jejum de manhã provocam um aumento da glicemia, independentemente do tipo de administração de insulina (BII ou MIDI)⁽⁴⁰⁻⁴³⁾.

Uma revisão sistemática e meta-análise, salienta que a variação sérica das hormonas contrarreguladoras ao longo do dia pode influir na resposta glicémica ao EF⁽³⁹⁾. A hormona de crescimento, apresenta uma maior concentração das 22h00 da noite às 2h00 da manhã, e o cortisol, que atinge o pico ao acordar, aumentam as concentrações circulantes de AGL que podem causar resistência à insulina e reduzir a eficácia da insulina basal durante o EF matinal, o que pode originar hiperglicemia⁽³⁹⁾. Além dos AGL, o cortisol e a hormona do crescimento promovem a glicogenólise, inibem a oxidação da glicose e diminuem a sua captação, concorrendo também para a hiperglicemia⁽³⁹⁾. Uma das limitações desta revisão sistemática e meta-análise, e de todas as investigações da prática do EF em jejum na DMT1, é a dificuldade de determinar se o aumento da glicemia em jejum se deve ao estado prandial *per se* ou a um estado relativo de hipoinsulinemia, em comparação com o EF pós-prandial⁽³⁹⁾. Adicionalmente, estudos demonstraram que a prática de EA de manhã se associa a uma melhoria do controlo glicémico e a uma diminuição em cerca de metade dos episódios de hipoglicemia⁽⁴⁴⁾.

Além disso, em alguns estudos o EIAI, está associado a um maior risco de hipoglicemia noturna do que o EIM⁽³⁴⁾ e os indivíduos com DMT1 que praticam exercício intermitente tem maior propensão para ter uma maior diminuição da

glicemia tardiamente e maior risco de hipoglicemia noturna, em comparação aos indivíduos que realizam o EA⁽⁴⁴⁾.

Métodos de administração de insulina

Embora não exista um método preciso para prever e controlar a resposta glicêmica ao exercício, os diferentes métodos de administração de insulina, como as MIDI, as BII, e mais recentemente, os SHCF, podem ajudar os pacientes na gestão do controlo glicémico^(12, 45). Para além destes métodos de administração, a maioria dos diabéticos utiliza um sensor que efetua uma MCG a cada 1-5 minutos, fornecendo dados em tempo real, bem como uma seta de tendência que indica se a glicemia está a diminuir ou a aumentar^(45, 46). Os SHCF são compostos pela integração de um sensor de MCG com uma BII^(12, 14-16, 45). Estes sistemas tem demonstrado um bom desempenho no controlo glicémico, pois ajustam automaticamente a administração de insulina com base nos valores de glicemia registados pelo sensor de MCG em tempo real^(12, 14-16, 45, 47, 48). Os SHCF relacionam-se com uma frequência reduzida e uma baixa percentagem de tempo em hipoglicemia durante e após o exercício e geralmente aumentam a PMTA, em comparação à utilização de MIDI^(14, 17, 45, 47). Tal como demonstrado por *Paldus et al* em 2022, em indivíduos que realizaram 40 minutos de EAI, EIM e ER que utilizavam o SHCF tiveram uma melhoria da PMTA nas primeiras 14h (sem diferenças significativas entre os tipos de exercício) e o tempo abaixo do alvo (hipoglicemia) foi de 0%, em todos os tipos de exercício⁽³¹⁾. O mesmo se demonstrou num estudo que indivíduos realizaram 45 minutos de EIAI ou de EIM com SHCF, onde a PMTA foi de 79,5% e 76,1% respetivamente, e o tempo com níveis de glicemia <54 mg/dL após os exercícios foi de 0%⁽³²⁾.

Análise Crítica

As respostas individuais relativas ao controlo glicémico dependem de vários fatores, incluindo o tipo, a duração e intensidade do EF, as concentrações iniciais de glicose no sangue, as concentrações de insulina e das hormonas contrarreguladoras em circulação, o estado prandial do indivíduo e da altura do dia em que se pratica o EF.

Em geral, o EA está associado à diminuição da glicemia e o EAN está associado a um aumento da glicemia, independentemente da duração e frequência. O EIAI está associado a maior estabilidade da glicemia com ligeiras flutuações, sem provocar diferenças na incidência e tempo em hipoglicemia e hiperglicemia durante o exercício e na PMTA. Este tipo de exercício precedido do ER poderá promover ainda uma maior estabilidade glicémica durante o exercício. Porém alguns estudos revelem que o EIAI promove um maior risco de hipoglicemias noturnas. A resposta neuroendócrina e metabólica ao EAN e EIAI traduz-se no aumento das hormonas contrarreguladoras que explicam este efeito mais atenuado da diminuição da glicemia ou mesmo o aparecimento da hiperglicemia. Apesar do EAN, como é o caso de ER, poder causar hiperglicemias, parece promover uma melhoria da PMTA. Além disso, verifica-se também que há uma maior tendência de reduções de glicose e risco de hipoglicemia observadas em exercícios de longa duração e em EAI em comparação a exercícios de curta duração e EIM. Também se demonstrou que todos os tipos de EF realizados no estado pós-prandial e à tarde/fim do dia provocam uma diminuição da glicemia e quando são realizados em jejum e de manhã provocam um aumento da glicemia.

De forma a evitar a hipoglicemia e a suplementação de HC durante ou logo após o EF, os diabéticos que utilizam BII, MIDI ou SHCF são aconselhados a diminuir em tempo real as doses de insulina basal e/ou os bolus de insulina rápida prandiais antes do EF e realizar ajustes na quantidade ingerida de HC^(12, 14, 15, 22, 47). Porém, os SHCF parecem ser o tipo de administração de insulina que se associam a melhor controlo glicémico em comparação a MIDI, tal como foi referido anteriormente. Os ajustes da insulina dependem de vários fatores, como: os níveis de glicemia pré-prandiais, a quantidade de insulina ativa, o horário do dia em que se realiza o EF, quando ocorreu a última ingestão de alimentos, a composição da refeição anterior, a tendência atual da glicemia se utilizar um sensor de MCG e a intensidade e duração do exercício^(12, 20, 22, 24). A evidência científica refere que reduzir a insulina antes do EF aumenta os níveis iniciais de glicemia, permitindo uma maior utilização de glicose como fonte de energia durante o EF sem atingir níveis abaixo do alvo de glicemia⁽³⁸⁾. Isto promove um menor risco de hipoglicemia, pois a redução de insulina evita diminuições rápidas e excessivas de glicemia, proporcionando um controlo mais gradual e seguro durante o EF⁽³⁸⁾. O intervalo alvo de glicemia antes do exercício deve ser idealmente entre 90-250 mg/dL⁽²²⁾. Caso a glicemia seja >250 mg/dL não é recomendada a prática de EF até à sua correção^(19, 22). Além disso, os atletas com DMT1 que apresentam um controlo glicémico inadequado (HbA1C >9%) devem evitar a prática de EIM e EAI até este atingir níveis adequados, pois diminui o risco de hiperglicemia e consequente risco de progressão para cetoacidose diabética⁽⁴⁹⁾. A ingestão de 10-15g de HC antes do EA de intensidade baixa a moderada (duração 30-60 minutos) podem prevenir a hipoglicemia, se houver baixos níveis de circulação de insulina (em jejum ou sob insulina

basal)⁽²²⁾. Caso o EF seja realizado com hiperinsulinemia (após a administração de insulina em bolus) podem ser necessários 30-60g de HC/h de EF⁽²²⁾. Segundo a ADA, as recomendações de ingestão de HC baseadas nos níveis de glicemia antes do EF são:

- Glicemia capilar <90 mg/dL - ingestão de 15-30g de HC de absorção rápida antes do início do EF, dependendo do peso do indivíduo e do tipo de exercício. EF de curta duração (<30 minutos) ou EAI podem não requerer um aporte adicional de HC. Por outro lado, em EF de longa duração e EIM, deve ser ingerida uma quantidade adicional de HC (0,5-1,0g/Kg de peso/h de EF);
- Glicemia capilar de 90-150 mg/dL - ingestão de HC no início da maioria dos exercícios (0,5-1,0g/Kg de peso/h de EF), de acordo com o tipo de exercício e a quantidade de insulina em circulação.
- Glicemia capilar de 150-250 mg/dL - pode ser iniciado o EF, contudo, a ingestão de HC só deve ser feita quando o valor da glicemia for <150 mg/dL⁽²²⁾.

Além das recomendações dos HC, os indivíduos que utilizam MIDI, BII ou SHCF devem reduzir os bolus de insulina rápida em 25-75% na refeição antes do EF, dependendo da intensidade e da duração do exercício e consumir HC consoante os valores da glicemia⁽²²⁾. Os diabéticos que utilizam MIDI, devem também reduzir 20-50% a insulina basal^(21, 22). Caso o indivíduo utilize BII ou SHCF, deve fazer uma redução de 50-80% da perfusão basal até 90 minutos antes do exercício ou suspender a BII no início do exercício (suspender no máximo <60 minutos), e ainda, consumir HC com base nos valores da MCG^(14, 17, 21-24). Contudo, reduções muito elevadas de insulina ou uma omissão de dose de insulina pode causar hiperglicemia antes e durante o EF⁽²¹⁾. O EA requer maiores

reduções nas doses de insulina e uma maior ingestão de HC⁽²¹⁾. Por outro lado, EAN pode exigir maior administração de insulina após o exercício para a correção do aumento da glicemia⁽²¹⁾.

No final do EF, a primeira refeição deve conter 1,0-1,2g/Kg de HC e haver uma redução do bolus prandial de insulina em 50%, de modo a reduzir o risco de hipoglicemia tardia e no período noturno, especialmente se for realizado à tarde/fim do dia⁽²¹⁾. Também deve haver uma redução de 20% da insulina basal ou o consumo de um lanche com HC de baixo índice glicémico antes de ir dormir sem administração de insulina^(15, 20-24). De modo a prevenir a hiperglicemia prolongada após o EF, os indivíduos com DMT1 que utilizam BII podem aumentar temporariamente a taxa basal de insulina, embora a correção excessiva com insulina pode causar hipoglicemia noturna grave^(14, 15, 20, 21). Apesar das recomendações, verificou-se que o exercício pós-prandial provoca uma diminuição da glicemia e o exercício em jejum aumenta a glicemia em todos os tipos de exercício, independentemente da estratégia de redução de insulina^(21, 24). Assim, estas estratégias são muitas vezes difíceis de implementar devido a diferenças interindividuais nas respostas glicémicas⁽²⁴⁾. As estratégias ideais para evitar as variações glicémicas induzidas pelo EF permanecem, portanto, em grande parte desconhecidas e deverão ser adaptadas à condição de cada diabético.

Conclusão

Existe uma grande variabilidade interindividual e intraindividual nas respostas glicémicas aos diferentes tipos de EF. O controlo glicémico e o estado de hipoglicemia e hiperglicemia durante, logo após ou tardiamente após o EF é

um desafio para os indivíduos com DMT1. Apesar de existirem desafios e algumas revisões recentes não mostrarem uma evidência clara dos benefícios do EF ao nível do controlo glicémico, o EF continua a fazer parte do tratamento da DMT1 e deve ser feito de forma regular, devido a melhorias em vários aspetos da saúde e do condicionamento físico. Além disso, ainda não é definido qual o tipo de exercício que terá mais benefícios. A compreensão da fisiologia de cada tipo de exercício e as variáveis que podem influenciar a glicemia são essenciais para definir estratégias de insulinoaterapia de forma a manter a normoglicemia durante e após o EF. Em geral, o EA está associado a reduções na glicemia, por isso as reduções na administração de insulina basal e/ou em bolus e o aumento da ingestão de HC antes do EF, podem ajudar a prevenir o risco de hipoglicemia. Por outro lado, o EAN está associado a um aumento da concentração de glicose, por isso poderão ser necessárias correções da dose de insulina após o EF, embora isto também possa aumentar o risco de hipoglicemia noturna, particularmente se o exercício for realizado ao fim do dia. O EIAI está associado à estabilidade da glicemia ou a um aumento ou diminuição ligeira, logo, os ajustes da insulina irão depender da variação glicémica. Diversas estratégias têm sido testadas, maioritariamente em indivíduos que utilizam o SHCF, mas mais estudos são necessários para determinar a melhor forma de prevenir os desafios associados ao EF com ajustes das doses de insulina e como controlar a glicemia no período de recuperação.

Referências

1. Holt RIG, DeVries JH, Hess-Fischl A, Hirsch IB, Kirkman MS, Klupa T, et al. The Management of Type 1 Diabetes in Adults. A Consensus Report by the American Diabetes Association (ADA) and the European Association for the Study of Diabetes (EASD). *Diabetes Care*. 2021; 44(11):2589-625.
2. Vanderniet JA, Jenkins AJ, Donaghue KC. Epidemiology of Type 1 Diabetes. *Curr Cardiol Rep*. 2022; 24(10):1455-65.
3. Burahmah J, Zheng D, Leslie RD. Adult-onset type 1 diabetes: A changing perspective. *Eur J Intern Med*. 2022; 104:7-12.
4. 12. Retinopathy, Neuropathy, and Foot Care: Standards of Care in Diabetes-2024. *Diabetes Care*. 2024; 47(Suppl 1):S231-s43.
5. 11. Chronic Kidney Disease and Risk Management: Standards of Care in Diabetes-2024. *Diabetes Care*. 2024; 47(Suppl 1):S219-s30.
6. 10. Cardiovascular Disease and Risk Management: Standards of Care in Diabetes-2024. *Diabetes Care*. 2024; 47(Suppl 1):S179-s218.
7. 6. Glycemic Goals and Hypoglycemia: Standards of Care in Diabetes-2024. *Diabetes Care*. 2024; 47(Suppl 1):S111-s25.
8. Wilmot EG, Lumb A, Hammond P, Murphy HR, Scott E, Gibb FW, et al. Time in range: A best practice guide for UK diabetes healthcare professionals in the context of the COVID-19 global pandemic. *Diabet Med*. 2021; 38(1):e14433.
9. Tagougui S, Taleb N, Molvau J, Nguyen É, Raffray M, Rabasa-Lhoret R. Artificial Pancreas Systems and Physical Activity in Patients with Type 1 Diabetes: Challenges, Adopted Approaches, and Future Perspectives. *J Diabetes Sci Technol*. 2019; 13(6):1077-90.
10. 5. Facilitating Positive Health Behaviors and Well-being to Improve Health Outcomes: Standards of Care in Diabetes-2024. *Diabetes Care*. 2024; 47(Suppl 1):S77-s110.
11. Katz M, Giani E, Laffel L. Challenges and Opportunities in the Management of Cardiovascular Risk Factors in Youth With Type 1 Diabetes: Lifestyle and Beyond. *Curr Diab Rep*. 2015; 15(12):119.
12. McCarthy M, Ilkowitz J, Zheng Y, Vaughan Dickson V. Exercise and Self-Management in Adults with Type 1 Diabetes. *Curr Cardiol Rep*. 2022; 24(7):861-68.
13. Lu X, Zhao C. Exercise and Type 1 Diabetes. *Adv Exp Med Biol*. 2020; 1228:107-21.
14. Riddell MC, Scott SN, Fournier PA, Colberg SR, Gallen IW, Moser O, et al. The competitive athlete with type 1 diabetes. *Diabetologia*. 2020; 63(8):1475-90.
15. Lumb AN, Gallen IW. Diabetes management for intense exercise. *Curr Opin Endocrinol Diabetes Obes*. 2009; 16(2):150-5.
16. Riddell MC, Peters AL. Exercise in adults with type 1 diabetes mellitus. *Nat Rev Endocrinol*. 2023; 19(2):98-111.
17. Horton WB, Subauste JS. Care of the Athlete With Type 1 Diabetes Mellitus: A Clinical Review. *Int J Endocrinol Metab*. 2016; 14(2):e36091.
18. Minasian V, Nazari M. The association between type 1 diabetes and exercise/physical activity and prolongation of the honeymoon phase in patients. *Life Sci*. 2023; 332:122114.

19. Yurkewicz M, Cordas M, Jr., Zellers A, Sweger M. Diabetes and Sports: Managing Your Athlete With Type 1 Diabetes. *Am J Lifestyle Med.* 2017; 11(1):58-63.
20. Guelfi KJ, Jones TW, Fournier PA. New insights into managing the risk of hypoglycaemia associated with intermittent high-intensity exercise in individuals with type 1 diabetes mellitus: implications for existing guidelines. *Sports Med.* 2007; 37(11):937-46.
21. Riddell MC, Gallen IW, Smart CE, Taplin CE, Adolfsson P, Lumb AN, et al. Exercise management in type 1 diabetes: a consensus statement. *Lancet Diabetes Endocrinol.* 2017; 5(5):377-90.
22. Colberg SR, Sigal RJ, Yardley JE, Riddell MC, Dunstan DW, Dempsey PC, et al. Physical Activity/Exercise and Diabetes: A Position Statement of the American Diabetes Association. *Diabetes Care.* 2016; 39(11):2065-79.
23. Cockcroft EJ, Narendran P, Andrews RC. Exercise-induced hypoglycaemia in type 1 diabetes. *Exp Physiol.* 2020; 105(4):590-99.
24. Helleputte S, Yardley JE, Scott SN, Stautemas J, Jansseune L, Marlier J, et al. Effects of postprandial exercise on blood glucose levels in adults with type 1 diabetes: a review. *Diabetologia.* 2023; 66(7):1179-91.
25. 5. Facilitating Behavior Change and Well-being to Improve Health Outcomes: Standards of Medical Care in Diabetes-2022. *Diabetes Care.* 2022; 45(Suppl 1):S60-s82.
26. Marliss EB, Vranic M. Intense exercise has unique effects on both insulin release and its roles in glucoregulation: implications for diabetes. *Diabetes.* 2002; 51 Suppl 1:S271-83.
27. Reddy R, Wittenberg A, Castle JR, El Youssef J, Winters-Stone K, Gillingham M, et al. Effect of Aerobic and Resistance Exercise on Glycemic Control in Adults With Type 1 Diabetes. *Can J Diabetes.* 2019; 43(6):406-14.e1.
28. Riddell MC, Li Z, Gal RL, Calhoun P, Jacobs PG, Clements MA, et al. Examining the Acute Glycemic Effects of Different Types of Structured Exercise Sessions in Type 1 Diabetes in a Real-World Setting: The Type 1 Diabetes and Exercise Initiative (T1DEXI). *Diabetes Care.* 2023; 46(4):704-13.
29. Steineck IIK, Ranjan AG, Schmidt S, Norgaard K. Time spent in hypoglycemia is comparable when the same amount of exercise is performed 5 or 2 days weekly: a randomized crossover study in people with type 1 diabetes. *BMJ Open Diabetes Res Care.* 2021; 9(1)
30. Kapitza C, Hövelmann U, Nosek L, Kurth HJ, Essenpreis M, Heinemann L. Continuous glucose monitoring during exercise in patients with type 1 diabetes on continuous subcutaneous insulin infusion. *J Diabetes Sci Technol.* 2010; 4(1):123-31.
31. Paldus B, Morrison D, Zaharieva DP, Lee MH, Jones H, Obeyesekere V, et al. A Randomized Crossover Trial Comparing Glucose Control During Moderate-Intensity, High-Intensity, and Resistance Exercise With Hybrid Closed-Loop Insulin Delivery While Profiling Potential Additional Signals in Adults With Type 1 Diabetes. *Diabetes Care.* 2022; 45(1):194-203.
32. Lee MH, Vogrin S, Paldus B, Jayawardene D, Jones HM, McAuley SA, et al. Glucose and Counterregulatory Responses to Exercise in Adults With Type 1 Diabetes and Impaired Awareness of Hypoglycemia Using Closed-Loop Insulin Delivery: A Randomized Crossover Study. *Diabetes Care.* 2020; 43(2):480-83.

33. Bally L, Zueger T, Buehler T, Dokumaci AS, Speck C, Pasi N, et al. Metabolic and hormonal response to intermittent high-intensity and continuous moderate intensity exercise in individuals with type 1 diabetes: a randomised crossover study. *Diabetologia*. 2016; 59(4):776-84.
34. Maran A, Pavan P, Bonsembiante B, Brugin E, Ermolao A, Avogaro A, et al. Continuous glucose monitoring reveals delayed nocturnal hypoglycemia after intermittent high-intensity exercise in nontrained patients with type 1 diabetes. *Diabetes Technol Ther*. 2010; 12(10):763-8.
35. Scott SN, Cocks M, Andrews RC, Narendran P, Purewal TS, Cuthbertson DJ, et al. Fasted High-Intensity Interval and Moderate-Intensity Exercise Do Not Lead to Detrimental 24-Hour Blood Glucose Profiles. *J Clin Endocrinol Metab*. 2019; 104(1):111-17.
36. Scott SN, Cocks M, Andrews RC, Narendran P, Purewal TS, Cuthbertson DJ, et al. High-Intensity Interval Training Improves Aerobic Capacity Without a Detrimental Decline in Blood Glucose in People With Type 1 Diabetes. *J Clin Endocrinol Metab*. 2019; 104(2):604-12.
37. Farinha JB, Dos Santos GC, Vargas JLF, Viana LL, De Souza ALG, Reischak-Oliveira A. Capillary glycaemia responses to strength exercises performed before or after high-intensity interval exercise in Type 1 diabetes under real-life settings. *Complement Ther Med*. 2018; 40:116-19.
38. Eckstein ML, Aziz F, Aberer F, Böckel S, Zimmer RT, Erlmann MP, et al. Blood glucose response to running or cycling in individuals with type 1 diabetes: A systematic review and meta-analysis. *Diabet Med*. 2023; 40(2):e14981.
39. McClure RD, Alcántara-Cordero FJ, Weseen E, Maldaner M, Hart S, Nitz C, et al. Systematic Review and Meta-analysis of Blood Glucose Response to High-intensity Interval Exercise in Adults With Type 1 Diabetes. *Can J Diabetes*. 2023; 47(2):171-79.
40. Yardley JE. Fasting May Alter Blood Glucose Responses to High-Intensity Interval Exercise in Adults With Type 1 Diabetes: A Randomized, Acute Crossover Study. *Can J Diabetes*. 2020; 44(8):727-33.
41. Gomez AM, Gomez C, Aschner P, Veloza A, Muñoz O, Rubio C, et al. Effects of performing morning versus afternoon exercise on glycemic control and hypoglycemia frequency in type 1 diabetes patients on sensor-augmented insulin pump therapy. *J Diabetes Sci Technol*. 2015; 9(3):619-24.
42. Toghi-Eshghi SR, Yardley JE. Morning (Fasting) vs Afternoon Resistance Exercise in Individuals With Type 1 Diabetes: A Randomized Crossover Study. *J Clin Endocrinol Metab*. 2019; 104(11):5217-24.
43. Jankovec Z, Krcma M, Gruberova J, Komorousova J, Tomesova J, Zourek M, et al. Influence of physical activity on metabolic state within a 3-h interruption of continuous subcutaneous insulin infusion in patients with type 1 diabetes. *Diabetes Technol Ther*. 2011; 13(12):1234-9.
44. Valli G, Minnock D, Tarantino G, Neville RD. Delayed effect of different exercise modalities on glycaemic control in type 1 diabetes mellitus: A systematic review and meta-analysis. *Nutr Metab Cardiovasc Dis*. 2021; 31(3):705-16.
45. 7. Diabetes Technology: Standards of Care in Diabetes-2024. *Diabetes Care*. 2024; 47(Suppl 1):S126-s44.
46. Welsh JB, Gao P, Derdzinski M, Pühr S, Johnson TK, Walker TC, et al. Accuracy, Utilization, and Effectiveness Comparisons of Different Continuous Glucose Monitoring Systems. *Diabetes Technol Ther*. 2019; 21(3):128-32.

47. Zaharieva DP, Messer LH, Paldus B, O'Neal DN, Maahs DM, Riddell MC. Glucose Control During Physical Activity and Exercise Using Closed Loop Technology in Adults and Adolescents with Type 1 Diabetes. *Can J Diabetes*. 2020; 44(8):740-49.
48. Vettoretti M, Facchinetti A. Combining continuous glucose monitoring and insulin pumps to automatically tune the basal insulin infusion in diabetes therapy: a review. *Biomed Eng Online*. 2019; 18(1):37.
49. Lisle DK, Trojian TH. Managing the athlete with type 1 diabetes. *Curr Sports Med Rep*. 2006; 5(2):93-8.

Apêndices

Apêndice A: Expressão de pesquisa utilizada na base de dados “PubMed”

(Type 1 diabetes OR Ketosis-Prone Diabetes Mellitus OR Autoimmune Diabetes OR Insulin-Dependent Diabetes OR IDDM OR type I diabetes OR t1d OR t1dm OR dm1 OR iddm OR juvenile-onset diabetes) AND (exercise* OR High-Intensity Interval OR HIIT OR motor activity OR Sport* OR Gymnastic OR Physical Activity OR training OR fitness OR aerobic OR anaerobic OR strength OR endurance OR walking OR treadmill OR cycling OR resistance) AND (blood glucose OR blood sugar OR Glucose OR Glucagon OR Glucose fluctuation OR Glucose variability OR Hyperglycemic OR Hypoglycemic OR Glycemic Control OR carbohydrates OR carbs OR carbohydrate counting OR TIR OR time in range)

