



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
DEPARTAMENTO DE NUTRIÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM NUTRIÇÃO**

SARA KELY LEARSI DA SILVA SANTOS ALVES

**EFEITO DA INGESTÃO DE CARBOIDRATO DURANTE O EXERCÍCIO COM E
SEM DEJEJUM PRÉVIO**

Recife
2018

SARA KELY LEARSI DA SILVA SANTOS ALVES

**EFEITO DA INGESTÃO DE CARBOIDRATO DURANTE O EXERCÍCIO COM E
SEM DEJEJUM PRÉVIO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Nutrição da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Nutrição.

Área de concentração: Bases experimentais da nutrição.

Orientador: Prof. Dr. Adriano Eduardo Lima da Silva

Coorientador: Prof. Dr. Gustavo Gomes de Araujo

Recife

2018

Catálogo na Fonte
Bibliotecária: Mônica Uchôa, CRB4-1010

A474e Alves, Sara Kely Learsi da Silva Santos.
Efeito da ingestão de carboidrato durante o exercício com e sem
dejejum prévio / Sara Kely Learsi da Silva Santos Alves.– 2018.
102 f.: il.; 30 cm.

Orientador: Adriano Eduardo Lima da Silva.
Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco, CCS.
Programa de Pós-Graduação em Nutrição. Recife, 2018.

Inclui referências, apêndices e anexos.

1. Jejum. 2. Glicogênio hepático. 3. Glicose. 4. Suplementação
nutricional. I. Silva, Adriano Eduardo Lima da (Orientador). II. Título.

612.3 CDD (23.ed.)

UFPE (CCS2018-309)

SARA KELLY LEARSI DA SILVA SANTOS ALVES

EFEITO DA INGESTÃO DE CARBOIDRATO DURANTE O EXERCÍCIO COM E SEM DEJEJUM PRÉVIO

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Nutrição da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Nutrição.

Aprovada em 10 de Julho de 2018.

BANCA EXAMINADORA:

Prof^o Dr. Adriano Eduardo Lima da Silva, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (Orientador)

Prof^a Dr^a Carol Virginia Gois Leandro, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Prof^o Dr. Carlos Rafaell Correia de Oliveira, Centro Universitário CESMAC

Prof^o Dr. Marcos David da Silva Cavalcante, Universidade Federal de Pernambuco

Prof^o Dr. Eduardo Zapaterra Campos, Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Essa é a parte da tese que adiei por tantos dias. Não é tarefa fácil escrever sobre gratidão porque as pessoas não são como dados que a gente classifica como maior ou menor que 0,05 para serem significativas. Agradeço primeiro a Deus, que tem me dado a paz durante toda minha vida, e principalmente durante o doutorado. Além disso, me proporcionou conhecer e trabalhar com pessoas que sem dúvida, me inspiraram nas minhas escolhas profissionais.

Agradeço a minha família. Aos meus pais, por todo sacrifício que fizeram para que pudéssemos estudar. Lembro das etapas de transição da minha vida e vocês sempre estiveram ao meu lado, me incentivando a sempre sonhar mais alto. Aos meus irmãos (Keylla Learsi e Islan Learsi), por todo amor, cuidado e compreensão. Por sempre estarem prontos para conversar, ouvirem minhas apresentações e dar sugestões. Aos meus cunhados (Charles, Izabele e Carlos Eduardo), pelo amor de irmãos que temos e por todo apoio que me deram nesse período do doutorado. Às minhas sobrinhas (Hadassa e Talita), por serem minha terapia! Com vocês tudo fica mais alegre, mais limpo e puro! Ao meu esposo Marcos César, pois durante todo nosso relacionamento você sempre acreditou que eu conseguiria contornar cada obstáculo. Obrigada por entender a minha ausência, os afastamentos de algumas comemorações e até mesmo de casa quando precisei morar em outro estado. Obrigada pela parceria! Amo vocês, sem limite!

Ao Prof. Dr. Adriano Eduardo, meu orientador. São quase 10 anos participando do seu grupo de pesquisa. Fui sua aluna na graduação, co-orientanda no mestrado e orientada no doutorado; me sinto honrada em poder afirmar isso. O processo de doutorado é difícil, mas você tornou o caminho mais fácil, fazendo seu papel com excelência, como sempre! Te agradeço pela enorme paciência, ética, respeito, confiança e até pelas risadas em alguns momentos em que eu estava tão aflita e isso fez com que eu também sorrisse e curtisse essa fase final. Não tem como esquecer o impacto que sua orientação causou em minha vida profissional, obrigada!

Prof. Dr. Gustavo G. de Araujo, meu co-orientador. Durante esses anos entre co-orientação e orientação pude aprender muito com você, não só sobre a temática

que estudávamos, mas sobre respeito, paciência e insistência em fazer o melhor mesmo em condições precárias. Quero te agradecer por todo ensinamento que me proporcionou, todos os questionamentos nas reuniões do grupo que me fizeram evoluir. Te agradeço pela disponibilidade, compreensão, pelas conversas calmas e tranquilas que apesar de parecerem normais, me ajudaram naquele momento. Obrigada por me receber de volta em seu laboratório e pela confiança em mim depositada. Me sinto honrada em fazer parte do seu grupo.

À minha equipe de trabalho (Thaysa, Thays, Marcos e Victor Souza). Difícil pensar no doutorado e não lembrar de vocês. Obrigada pelo trabalho sempre feito com excelência e responsabilidade. Em especial, agradeço a Thaysa e Thays (quase uma dupla sertaneja, rs), pelo companheirismo nos dias legais e árduos. Nos meus momentos de puro estresse vocês sabiam o que falar e como agir. Serei sempre grata pelo respeito e amizade.

Ao Grupo de pesquisa em ciências do esporte (GPCE). Convivíamos todos os dias, todos com as mesmas dificuldades e saudades de casa. Enfrentando praticamente os mesmos desafios, cada um com seus projetos e as loucuras que vêm no pacote do doutorado/mestrado... por isso fomos como uma família. Eu agradeço a vocês pelo apoio, pelas risadas, conversas, almoços reforçados na tia (muito obrigada tia!) e jantares no Jabiraca (propaganda gratuita, rs). Em especial, obrigada Ana Carla, por me salvar sempre que aparecia um inseto estranho em meu apartamento, rs.

Aos voluntários do estudo, que sem eles, jamais teria estudo! Obrigada pela dedicação e boa vontade de ajudar na realização de uma pesquisa científica em que vocês precisavam ficar tanto tempo em jejum e ainda realizar exercício de longa duração. Tarefa extremamente difícil, eu agradeço muito!

Ao Prof Dr. João Henrique, pela gentileza de ter cedido seu laboratório para as análises de lactato e glicose.

À banca por ter aceito o convite de participar desse momento importante em minha vida e contribuir para a melhoria do trabalho.

Ao programa de pós-graduação em nutrição da UFPE e à CAPES (Coordination of Improvement of Higher Education Personnel), pelo apoio científico e financeiro, respectivamente.

RESUMO

Apesar da ingestão de carboidrato (CHO) melhorar o desempenho atlético, ainda não foi demonstrado se uma refeição prévia influencia o efeito da suplementação com CHO durante o exercício. Testamos a hipótese de que a magnitude da melhora no desempenho seria maior quando o CHO fosse ingerido em jejum comparado ao estado alimentado. Nove homens realizaram 105 min de ciclismo em carga constante (CC; 50% da diferença entre o primeiro e segundo limiares de lactato) seguido por um teste contrarrelógio de 10 km (TCR). O exercício começou 3h após o dejejum (A) ou após jejum de 15h (J). CHO (8%, 2 ml/kg) ou placebo (PLA) foram ingeridos antes, a cada 15 minutos do CC e aos 5 km do TCR. A glicose plasmática e oxidação de CHO foram elevadas com a ingestão de CHO nos últimos estágios do CC ($P<0,05$). A PSE foi atenuada ($P<0,05$) e o desempenho melhorou nas condições CHO ($18,5 \pm 0,9$ e $18,7 \pm 1,2$ min, para ACHO e JCHO, respectivamente) em comparação com PLA ($20,2 \pm 2,3$ e $21,7 \pm 4,2$ min, para APLA e JPLA, respectivamente). Estes efeitos foram independentes da refeição prévia. O aumento da disponibilidade de CHO durante o exercício supera os efeitos da redução de CHO devido ao jejum. Ingerir CHO durante o exercício, com duração de cerca de duas horas, melhora o desempenho mesmo após consumir uma refeição rica em CHO.

Palavras-chave: Jejum. Glicogênio hepático. Glicose. Suplementação nutricional.

ABSTRACT

Although carbohydrate intake (CHO) improves athletic performance, it has not been demonstrated whether a previous meal influences the effect of CHO supplementation during exercise. We tested the hypothesis that the magnitude of the improvement in performance would be greater when the CHO was ingested fasting compared to the fed state. Nine men performed 105 min of cycling at constant load (CL, 50% of difference between the first and second lactate thresholds) followed by a 10 km time-trial test (TT). Exercise started 3h after breakfast (A) or after 15h fasting (J). CHO (8%, 2 ml / kg) or placebo (PLA) were ingested before, every 15 minutes of CL and 5 km of TT. Plasma glucose and CHO oxidation were elevated with CHO ingestion in the late stages of CC ($P < 0.05$). The PSE was attenuated ($P < 0.05$) and the performance improved in CHO conditions (18.5 ± 0.9 and 18.7 ± 1.2 min, for ACHO and JCHO, respectively) compared to PLA (20.2 ± 2.3 and 21.7 ± 4.2 min, for APLA and JPLA, respectively). These effects were independent of the previous meal. Increased CHO availability during exercise overcomes the CHO reduction effects due to fasting. Intake of CHO during exercise, lasting about two hours, improves performance even after consuming a meal rich in CHO.

Keywords: Fasting. Liver glycogen. Glucose. Nutritional supplementation.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Visão geral da absorção dos CHO. A enzima amilase salivar desempenha a primeira etapa do processo convertendo amido em monossacarídeos. No intestino delgado, por meio da ação da amilase pancreática, maltase, sacarase e lactase, monossacarídeos como maltose e isomaltose são formados, assim como alguns oligossacarídeos. No lúmen intestinal, os monossacarídeos são absorvidos por dois diferentes tipos de transportadores (SGLT-1 e GLUT-5 (Fonte: autoria própria) 17
- Figura 2 - Visão geral da glicólise. A via metabólica com dez reações para oxidação da glicose é dividida em duas fases: investimento e geração de energia. Na primeira fase são investidas duas moléculas de ATP. Na segunda fase, ocorre a duplicação da via e são produzidas quatro moléculas de ATP. A via é encerrada com um saldo energético de duas moléculas de ATP, duas moléculas de piruvato e duas moléculas de NADH⁺. (Fonte: autoria própria)..... 18
- Figura 3 - Sinalização da insulina e do exercício na captação de glicose. A insulina se liga ao seu receptor de membrana e permite uma cascata de reações que desencadeiam na translocação do GLUT4 para a membrana da célula muscular, permitindo a entrada da glicose circulante, que será posteriormente usada como fonte de energia para o exercício. O exercício tem ação semelhante à insulina, ativando AMPK e contribuindo para translocação do GLUT4. (Fonte: autoria própria)..... 27
- Figura 4 - Desenho experimental. Primeira visita: teste incremental seguido por uma familiarização (FAM) do teste contrarrelógio de 10 km (TCR). Segunda visita: familiarização completa do protocolo experimental [105 min de carga constante (CL) + 10 km TCR]. EXP 1 a 4: as quatro condições experimentais foram realizadas em ordem contrabalançada: J + PLA antes e durante o exercício (Jejum ~ 15 h), J + CHO antes e durante o exercício, A + PLA antes e durante o

exercício (A = café da manhã 3 h antes do exercício) e A + CHO antes e durante o exercício. As barras pretas representam dois dias anteriores ao teste experimental no qual os participantes seguiram uma dieta habitual (~2.800 kcal) e realizaram um treinamento de ciclismo padronizado de 60 min a ~65% $\dot{V}O_2$ pico. As barras cinzas representam o dia anterior ao teste experimental, onde os participantes seguiram a sua dieta habitual e substituíram a última refeição por um *shake* às 18 h (650 kcal). Nenhum exercício foi realizado neste dia. Um segundo *shake* foi ingerido às 6 h da manhã no dia do experimento apenas na condição “A” (824 kcal)..... 37

Figura 5 - Valores pré e pós-café da manhã (barras brancas e pretas, respectivamente) para concentração plasmática de glicose. “Antes do café da manhã” corresponde à coleta de sangue às 6 h da manhã após jejum noturno (12 h), enquanto que “Após o café da manhã” corresponde à coleta realizada às 9 h da manhã, ou seja, 3 h após o café da manhã (A) ou em 15 h de jejum (J). Valores são médias \pm SEM. * Significativamente maior que o “Antes do café da manhã” para a mesma condição ($P < 0,05$)..... 43

Figura 6 - Consumo de oxigênio (A), produção de dióxido de carbono (B), taxas de oxidação de CHO (C), razão da troca respiratória (D), taxa de oxidação de gordura (E) e frequência cardíaca (F) durante exercício de carga constante de 105 min nas condições “J” e “A”, com e sem suplementação de CHO. Valores são médias \pm SEM. ‡ Valores maiores nas condições CHO em relação às condições PLA ($P < 0,05$). Detalhes dos efeitos do tempo e disponibilidade CHO pré-exercício foram omitidos para maior clareza.....44

Figura 7 - Glicose plasmática (A), lactato (B) e PSE (C) durante um exercício de carga constante de 105 min nas condições “J” e “A”, com e sem suplementação de CHO. Valores são médias \pm SEM. O SEM positivo e negativo foram omitidos em C para melhorar a visualização. # Os valores em ambas as condições “A” são maiores em relação às condições “J” ($P < 0,05$). * Valores em JPLA, APLA e ACHO são menores que em repouso ($P < 0,05$). ϕ JCHO é maior que

JPLA e APLA ($P < 0,05$). ε ACHO maior que JPLA ($P < 0,05$). \ddagger Os valores em ambas as condições CHO são significativamente maiores (em A) e menores (em C) do que em ambas as condições PLA ($P < 0,05$). \S ACHO maior que APLA ($P < 0,05$). Detalhes dos efeitos do tempo e disponibilidade de CHO pré-exercício foram omitidos para maior clareza..... 46

Figura 8 -

Tempo para concluir o TCR de 10 km realizado após um exercício de carga constante de 105 min nas condições “J” e “A”, com e sem suplementação de CHO. Valores são médias \pm SEM. \ddagger Menor que PLA ($P < 0,05$)..... 47

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1	CARBOIDRATOS: CLASSIFICAÇÃO E ABSORÇÃO	16
2.2	METABOLISMO DA GLICOSE	17
2.3	CONTEXTO HISTÓRICO.....	18
2.4	DIETA COM ALTO TEOR DE CHO	21
2.5	SUPLEMENTAÇÃO COM CHO ANTES, DURANTE E APÓS O EXERCÍCIO.....	23
2.6	SUPLEMENTAÇÃO COM CHO ANTES DO EXERCÍCIO	24
2.7	SUPLEMENTAÇÃO COM CHO DURANTE O EXERCÍCIO	25
2.8	SUPLEMENTAÇÃO COM CHO APÓS O EXERCÍCIO	27
2.9	MÚLTIPLOS TRANSPORTADORES	29
2.10	EXERCÍCIO EM JEJUM	31
2.11	CONCLUSÃO.....	33
3	OBJETIVO.....	34
4	HIPÓTESE	35
5	MÉTODOS	36
5.1	PARTICIPANTES	36
5.2	DESENHO EXPERIMENTAL.....	36
5.3	TESTE INCREMENTAL	38
5.4	CONTROLE PRÉ-EXPERIMENTAL	38
5.5	TESTE EXPERIMENTAL	39
5.6	TÉCNICAS ANALÍTICAS	41
5.7	TAXA DE OXIDAÇÃO DE CHO E GORDURA.....	41
5.8	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	41
6	RESULTADOS.....	43
6.1	ALTERAÇÕES PRÉ E PÓS-CAFÉ DA MANHÃ DA GLICOSE PLASMÁTICA.....	43
6.2	RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E PERCEPTIVAS AO EXERCÍCIO DE CARGA CONSTANTE DE 105 MIN.....	43
6.3	TESTE CONTRARRELÓGIO DE 10-KM (TCR).....	46
7	DISCUSSÃO.....	49

8	CONCLUSÃO.....	53
9	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	54
	REFERÊNCIAS.....	55
	APÊNDICE A – ARTIGO EXPERIMENTAL: CYCLING TT PERFORMANCE IS IMPROVED BY CARBOHYDRATE INGESTION DURING EXERCISE REGARDLESS OF A FED OR FASTED STATE.....	67
	ANEXO A - PARECER DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA.....	97
	ANEXO B – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE).....	99

1 INTRODUÇÃO

A importância da suplementação de carboidratos (CHO) para o desempenho em exercícios prolongados tem sido relatada ao longo de muitos anos (KROGH e LINDHARD, 1920; CHRISTENSEN e HANSEN, 1939; BERGSTRÖM et. al., 1967). No entanto, frequentemente, os estudos que buscam compreender os efeitos do CHO para o desempenho, realizam um jejum noturno associado à ausência de café da manhã, mesmo distante do cenário real de competição, na intenção de controlar o experimento (para revisão, ver CORREIA-OLIVEIRA et. al., 2013). Portanto, os resultados de tais estudos podem fornecer informações distorcidas sobre a importância da ingestão de CHO para o desempenho esportivo.

O jejum noturno provoca depleção do glicogênio hepático, enquanto que um café da manhã rico em CHO, reabastece essas reservas antes do exercício (TAYLOR et. al., 1996). Sabe-se que redução no glicogênio hepático pré-exercício causada pelo jejum, resulta em maiores quedas na glicemia durante o exercício prolongado e prejudica o desempenho em comparação ao exercício iniciado após o café da manhã (CHRYSSANTHOPOULOS et. al., 1997; JEUKENDRUP et. al., 1999c; FEBBRAIO et. al., 2000). Por outro lado, a captação de glicose nos músculos esqueléticos parece estar aumentada quando o CHO é ingerido em estado de jejum (JEUKENDRUP et. al., 1999c; 2008). De fato, o GLUT-4, transportador de glicose através do sarcolema, é mais expresso após o jejum em comparação com a condição de alimentado (CHEN et al., 2017). Portanto, pode ser que a ingestão de CHO durante o exercício prolongado seja mais eficiente quando realizada em jejum do que em estado alimentado; no entanto, até onde sabemos, nenhum estudo testou diretamente essa hipótese.

Foi sugerido que o tempo até a exaustão em um exercício a 70% do consumo máximo de oxigênio na esteira ($\dot{V}O_2\text{máx}$) é maior quando uma refeição rica em CHO é fornecida três horas antes do exercício e uma solução com CHO também é oferecida durante o exercício, comparada a nenhuma refeição anterior, mas mantendo a ingestão de CHO durante o exercício (CHRYSSANTHOPOULOS et. al., 1997). No entanto, condições como uma refeição rica em CHO pré-exercício e jejum prévio com a ingestão de PLA durante o exercício, não foram inclusas no delineamento experimental, o que não permitiu abordar se a ingestão de CHO é

mais eficiente durante o exercício prolongado realizado em jejum. Outro estudo demonstrou que o tempo até a exaustão (70% $\dot{V}O_2\text{max}$) foi maior quando uma refeição rica em CHO (3 h antes) e a ingestão de CHO durante o exercício foram combinadas, comparado com a refeição rica em CHO anterior ao teste, mas sem ingestão de CHO durante o exercício (CHRYSSANTHOPOULOS et. al., 2002). Nesse estudo, no entanto, as condições com jejum prévio estavam faltando; portanto, é inviável determinar se a ingestão de CHO durante o exercício é mais pronunciada quando em jejum em comparação com o estado alimentado baseado nesses resultados (CHRYSSANTHOPOULOS et. al., 1997; 2002).

Além disso, esses estudos utilizaram o tempo até a exaustão com uma carga de trabalho constante para avaliar o desempenho, que parece não ser a melhor forma de medi-lo. Esses testes até a exaustão são mais variáveis que o desempenho em um teste contrarrelógio (TCR) porque eles dependem de maior motivação do participante e diferem do tipo de esforço realizado em uma competição real (LAURSEN et. al., 2010). Portanto, é importante explorar essas estratégias durante cenários mais realistas de competição, como durante um TCR, em que a distância do exercício é predeterminada e os participantes estão livres para variar sua intensidade de exercício.

Portanto, o objetivo do presente estudo foi determinar o impacto da ingestão de CHO antes e durante o exercício de carga constante (105 min), seguido por um TCR de ciclismo de 10 km, quando o exercício foi iniciado em um estado alimentado ou em jejum. Nossa hipótese foi que a magnitude da melhora no desempenho do TCR com ingestão de CHO seria maior quando o CHO fosse ingerido em jejum comparado ao estado alimentado. Neste documento, por meio de uma revisão da literatura, são apresentadas as diferentes opções de utilização do CHO para melhorar o desempenho, assim como as recentes estratégias para maximizar o uso desse substrato. Por meio dos testes experimentais aplicados, são apresentados resultados inovadores acerca da ingestão de CHO durante um exercício de longa duração após uma refeição ou em jejum.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Por questões didáticas, esta revisão narrativa está dividida em três sessões: na primeira sessão foram abordadas informações gerais sobre CHO, como sua classificação, absorção e metabolismo. Na segunda sessão é abordada a relação entre a ingestão de CHO e o desempenho esportivo. Nessa segunda sessão, optou-se por oferecer informações sobre o contexto histórico do uso do CHO utilizando a discussão de artigos clássicos, e também são abordadas dietas e suplementações (antes, durante e após o exercício) com CHO. Na terceira sessão foram discutidas informações sobre as novas estratégias para aumentar a absorção e utilização do CHO pelo músculo ativo, como ingestão de CHO com múltiplos transportadores de glicose e exercício em jejum e sua relação com o metabolismo da glicose.

2.1 CARBOIDRATOS: CLASSIFICAÇÃO E ABSORÇÃO

Os CHO são biomoléculas compostas por átomos de carbono, hidrogênio e oxigênio, e são classificados em 1) monossacarídeos, 2) oligossacarídeos e 3) polissacarídeos, de acordo com sua estrutura (BERTUZZI, 2017, p.442). A absorção dos CHO inicia-se na boca por meio da ação da enzima ptialina ou amilase salivar, que cliva as ligações $\alpha(1\rightarrow4)$, até chegar à estrutura de monossacarídeos (Figura 1) (BERTUZZI, 2017, p.443). Como o bolo alimentar não demora na boca, o processo de absorção será continuado no intestino delgado pela ação da amilase pancreática, maltase, dextrinase, isomaltase, sacarase e lactase, resultando na produção de maltose, isomaltose e oligossacarídeos com ligações glicosídicas $\alpha(1\rightarrow6)$. No intestino delgado, as moléculas clivadas são absorvidas na membrana borda em escova por dois transportadores conhecidos como “transportadores de glicose dependentes de sódio (SGLT-1)” e “transportadores de frutose (GLUT-5)”. O SGLT-1 é um transportador dependente de sódio e insulina, que apresenta afinidade com a glicose e galactose. Enquanto que o GLUT-5, não depende da secreção de insulina para realizar sua ação e apresenta afinidade com a frutose. O produto final da absorção são moléculas de glicose, frutose e galactose, que são transportadas até o fígado, onde a galactose e a frutose serão convertidas em glicose, mas a frutose também pode permanecer com sua estrutura, sendo utilizada posteriormente como substrato na glicólise (Figura 1) (FOX, 2007, p.102).

Em condição de repouso, os CHO são estocados em forma de glicogênio muscular e hepático, no entanto, em comparação com as reservas de gordura (>100.000 kcal), as reservas de CHO são limitadas (<3.000 kcal) e podem ser depletadas rapidamente durante um exercício prolongado e intenso (GONZALEZ, et. al., 2016). Isso ocorre especialmente se a dieta seguida for de baixo teor de CHO ou se o indivíduo estiver em jejum (GONZALEZ, et. al., 2016). Por isso, é importante contar com abundantes fontes dietéticas de CHO para manutenção dessas reservas e posterior utilização durante o exercício. Ao realizar um exercício físico, os CHO são as primeiras fontes de energia a serem oxidadas, e a depender da intensidade e duração do esforço, serão a fonte de energia predominante, ou seja, em um exercício de alta intensidade, a energia proveniente da oxidação dos CHO é a principal responsável pela realização do esforço (KROGH & LINDHARD, 1920).

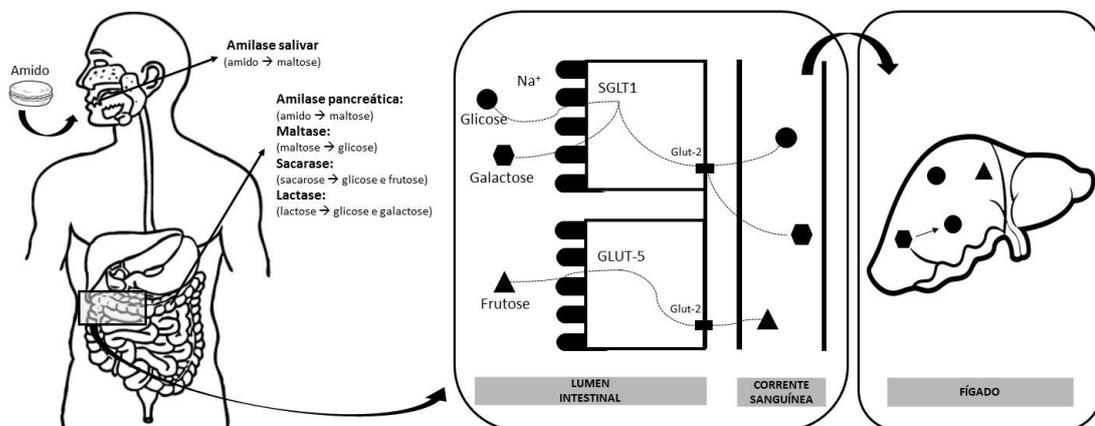


Figura 1. Visão geral da absorção dos CHO. A enzima amilase salivar desempenha a primeira etapa do processo convertendo amido em monossacarídeos. No intestino delgado, por meio da ação da amilase pancreática, maltase, sacarase e lactase, monossacarídeos como maltose e isomaltose são formados, assim como alguns oligossacarídeos. No lúmen intestinal, os monossacarídeos são absorvidos por dois diferentes tipos de transportadores (SGLT-1 e GLUT-5). Fonte: autoria própria.

2.2 METABOLISMO DA GLICOSE

Glicólise é o termo usado para indicar o fracionamento da glicose proveniente dos estoques de glicogênio muscular e hepático, para fornecimento de energia. A glicólise é uma sequência de dez reações, onde o objetivo é oxidar a glicose para produzir duas moléculas de piruvato (ou lactato), duas moléculas de ATP (adenosina trifosfato) e dois equivalentes reduzidos de NADH⁺ (nicotinamida-adenina dinucleotídeo), por molécula de glicose (Figura 2). Estes subprodutos, com exceção do lactato, serão utilizados na cadeia de transporte de elétrons (FOX, 2007, p.102).

Como o metabolismo oxidativo produz ATP por meio da utilização de gorduras e CHO, existe a necessidade de um método que indique qual substrato está sendo oxidado durante o exercício. A razão da troca respiratória (RER) estima a contribuição de CHO e gordura por meio da relação entre a produção de dióxido de carbono ($\dot{V}CO_2$) e o volume de oxigênio consumido ($\dot{V}O_2$). Para que a gordura seja oxidada, são necessários maiores volumes de O_2 (23 moléculas de O_2), em relação ao CHO (6 moléculas de O_2). Após oxidada, a molécula de gordura é convertida em dezesseis moléculas de dióxido de carbono ($16CO_2$) e água ($16H_2O$). A relação entre CO_2 e O_2 ($16CO_2/23O_2$) resulta em um valor de 0,70, que indica que as gorduras foram predominantemente utilizadas como substratos para o exercício. Em contrapartida, quando o CHO é oxidado, produz seis moléculas de CO_2 ($6CO_2$) e água ($6H_2O$). Nesse caso, a relação entre CO_2 e O_2 ($6CO_2/6O_2$) resulta em um RER igual a 1, indicando maior utilização do CHO como fonte de energia para a realização do esforço. Entende-se que quanto mais próximo a 1 a RER estiver, maior é a utilização dos CHO como substrato energético (FOX, 2007, p.102).

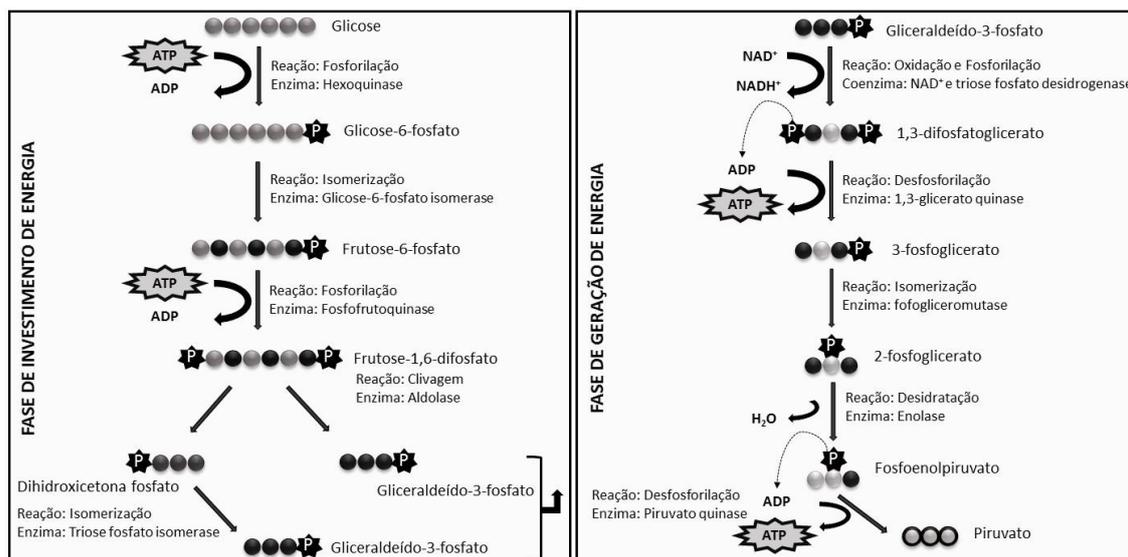


Figura 2. Visão geral da glicólise. A via metabólica com dez reações para oxidação da glicose é dividida em duas fases: investimento e geração de energia. Na primeira fase são investidas duas moléculas de ATP. Na segunda fase, ocorre a duplicação da via e são produzidas quatro moléculas de ATP. A via é encerrada com um saldo energético de duas moléculas de ATP, duas moléculas de piruvato e duas moléculas de $NADH^+$. Fonte: autoria própria.

2.3 CONTEXTO HISTÓRICO

Os efeitos da ingestão de CHO têm sido investigados ao longo de décadas. Pode-se afirmar que o estudo pioneiro sobre a manipulação do CHO na dieta de atletas foi realizado pelo laureado com o Nobel de Fisiologia August Krogh e seu colega Johannes Lindhard (KROGH E LINDHARD, 1920), que resultou em importantes descobertas sobre os efeitos do CHO no desempenho. As principais conclusões dos autores foram que a dieta rica em CHO promove maior RER em relação à dieta rica em lipídios. Também foi observado que durante a transição do estado de repouso para o exercício, a RER aumentou e elevou-se ainda mais quando o exercício era de alta intensidade, indicando que haveria maior utilização de CHO nessa intensidade de exercício. Após essa investigação, outros estudos foram realizados com a intenção de confirmar ou refutar os resultados encontrados por Krogh e Lindhard (LEVINE et. al., 1924; GORDON et. al., 1925; CHRISTENSEN e HANSEN, 1939).

Ao analisar a concentração de glicose de 11 maratonistas que cruzaram a linha de chegada na Maratona de Boston de 1924, Levine et. al. (1924) verificaram que a sensação de fadiga estava associada à uma menor concentração de glicose sanguínea. Adicionalmente, o vencedor da maratona que terminou a prova com a glicemia mais elevada em relação aos outros participantes, não apresentava características de hipoglicemia como palidez extrema, pele úmida e fria, nervosismo e irritabilidade, que teoricamente levariam a fadiga. Um estudo semelhante foi realizado no ano seguinte por Gordon et. al. (1925), onde os corredores do estudo anterior, que apresentaram sintomas de hipoglicemia, foram voluntários. No dia anterior à Maratona de 1925 de Boston, os atletas receberam uma dieta rica em CHO com intenção de aumentar os estoques de glicogênio muscular e durante a prova ingeriram CHO em forma de doces. A concentração de glicose no final da corrida foi maior (comparada com a glicemia apresentada no estudo de Levine et. al. 1924) e os sintomas de hipoglicemia foram prevenidos, contribuindo para um melhor desempenho. Esses achados possibilitaram entender a importância da ingestão de CHO para manutenção de glicemia e retardo da fadiga.

Anos mais tarde, Christensen e Hansen (1939) realizaram testes com dois participantes treinados e dois participantes não treinados e confirmaram a relação diretamente proporcional da intensidade e RER, além de observar que seguir uma dieta rica em CHO durante três dias contribuiu para aumentar o tempo até a exaustão (210 min) em relação a uma dieta com baixo CHO (80 min). Dessa forma,

como previamente relatado (KHROG e LINDHARD, 1920), a importância do CHO como base da dieta de atletas foi confirmada, devido seu efeito em atrasar o aparecimento da fadiga e conseqüentemente melhorar o desempenho em exercícios de longa duração. Ao longo do tempo, as perguntas envolvendo a ação do CHO se aprofundaram, e o glicogênio muscular (estoque de CHO no músculo) tornou-se alvo dos pesquisadores.

Já na década de 60, uma medida direta do conteúdo de glicogênio muscular e sua relação com o exercício físico em humanos, ainda não tinha sido realizada. Ahlborg et. al., (1967), realizaram um estudo inovador, utilizando a técnica de biópsia muscular, padronizada por Bergström et. al., (1967), para investigar o comportamento dos estoques de glicogênio muscular ao longo do exercício moderado de ciclismo (~60% $W_{m\acute{a}x}$) até a exaustão. Os resultados mostraram que o conteúdo de glicogênio muscular usado foi correlacionado com a duração do exercício, sugerindo que o tempo até a exaustão estaria diretamente relacionado com a reserva inicial de glicogênio muscular. Houve elevação da RER aos 15 min de exercício em relação ao repouso e uma gradual diminuição ao longo do exercício, indicando o aumento na utilização de CHO no início do exercício até a estabilização do $\dot{V}O_2$ e menor utilização de CHO ao longo do tempo em um exercício de longa duração em relação à oxidação de gordura. No mesmo ano, outros estudos também confirmaram a relação direta entre conteúdo de glicogênio muscular e desempenho, assim como o efeito positivo da dieta rica em CHO em relação à uma dieta mista e uma dieta rica em gorduras e proteínas, para repor os estoques de glicogênio muscular após um exercício de depleção (BERGSTRÖM et. al., 1967; HERMANSEN et. al., 1967).

Dessa forma, a dieta rica em CHO ganhou ainda mais importância no meio esportivo, por contribuir com o aumento dos estoques de glicogênio muscular e conseqüentemente melhorar o desempenho. Alguns anos mais tarde, nas revisões publicadas por Sherman e Costill (1984) e Burke e Read (1993), foi sugerido que a alimentação com CHO deve ser seguida entre três a cinco dias antes da prova e que esta dieta deveria conter 60% de CHO em sua totalidade. Ao longo do tempo, a ingestão de CHO com o objetivo de melhorar o desempenho ganhou mais adeptos e os diferentes índices glicêmicos (IG) dos CHO tornaram-se alvos de investigação (CHEN et. al., 2008; WONG et. al., 2017).

Atualmente as opções para utilizar o CHO como estratégia para melhorar o desempenho são diversas. Sua ingestão é conhecida na dieta (LIMA-SILVA et. al., 2011), assim como na suplementação antes, durante e após o exercício (DAVISON et. al., 2008; O'NEAL et. al., 2013; MCGLORY e MORTON, 2010). O estado físico do CHO também ganhou atenção da comunidade científica apresentando opções como CHO sólido, líquido e em gel (PFEIFFER et. al., 2010a; PFEIFFER et. al., 2010b) e recentemente, o bochecho com CHO também mostrou ser eficiente em melhorar o desempenho (ATAIDE-SILVA et. al., 2016).

2.4 DIETA COM ALTO TEOR DE CHO

É comum associar os efeitos positivos da dieta rica em CHO ao melhor desempenho no exercício de longa duração, no entanto, uma dieta rica em CHO também pode ser determinante para melhorias no desempenho de um exercício de alta intensidade e curta duração (25% da diferença entre o segundo limiar de lactato e a carga máxima) (LIMA-SILVA et. al., 2009a). Como o exercício de alta intensidade demanda de grande necessidade de CHO como substrato para fornecimento de energia, a redução da oxidação de CHO pode ser ainda mais prejudicial do que em um exercício moderado, porque no segundo caso, a oxidação de gorduras é predominante no suprimento da necessidade energética (LIMA-SILVA et. al., 2009b). Pouca disponibilidade de CHO pode prejudicar o desempenho em um exercício submáximo e intenso (~90% $\dot{V}O_2$ pico) (LIMA-SILVA et. al., 2011), e supramáximo (115% $\dot{V}O_2$ pico) (LIMA-SILVA et. al., 2013). Recentemente foi demonstrado que uma dieta deficiente em CHO seguida durante três semanas de treino, prejudicou o desempenho em uma prova de 10-km (BURKE et. al. 2017).

Por outro lado, uma dieta rica em CHO (~70% CHO) seguida por dois dias melhorou o desempenho tanto em exercícios curtos e intensos (115% acima do $\dot{V}O_2$ pico) (LIMA-SILVA et. al., 2013), como também em um TCR de 10km (COUTO et. al., 2014 e 2015) em relação à uma dieta pobre em CHO (~25%CHO). Em jogadores de futebol, a dieta com alto teor de CHO (8g/kg) também foi eficiente para aumentar a distância percorrida, quando seguida por aproximadamente quatro dias antes da competição, em relação à dieta com baixo CHO (3g/kg) (SOUGLIS et. al., 2013).

Além do conteúdo de CHO da dieta, o IG do CHO ingerido tem sido foco de investigação em vários estudos (CHEN et. al., 2008; JAMURTAS et. al., 2011;

MOORE et. al., 2014; PNG et. al., 2014; BURDON et. al., 2016; WONG et. al., 2017). O IG é determinado comparando a resposta pós-prandial da glicemia de um alimento com a glicose que tem valor de IG=100. A classificação dos alimentos em relação ao seu IG segue a velocidade de absorção desses nutrientes. Se em relação à glicose, esse alimento elevou a glicemia em menos de 55%, o IG é igual a 55, considerado baixo. Se a glicemia foi elevada em até 69% o IG é moderado, e se houve elevação acima de 70%, o IG é considerado alto (FOSTER-POWEL et. al., 2002). Existe a hipótese de que adotar alimentos com baixo IG na dieta prévia à uma competição é mais eficiente para melhorar o desempenho em relação aos alimentos com alto IG. Uma possível explicação é que o consumo de uma refeição com baixo IG evitaria a ocorrência de hiperglicemia pós-prandial e hiperinsulinemia, aumentando assim, a oxidação de ácidos graxos livres, mantendo as concentrações de glicose no plasma e sustentando a disponibilidade de CHO por mais tempo durante o exercício (WONG et. al., 2017).

De fato, foi demonstrado que a escolha por alimentos de baixo IG na dieta prévia ao exercício foi mais eficiente quando comparado ao alto IG e que na segunda condição ocorreu hipoglicemia de rebote, sendo possivelmente a razão para o pior desempenho (MOORE et. al., 2014). Recentemente em uma meta-análise, Wong et. al., (2017) mostraram que ingerir alimentos com baixo IG pode melhorar o desempenho particularmente de exercícios até a exaustão. No entanto, existem outros estudos que contrastam com essa hipótese (CHEN et. al., 2008; JAMURTAS et. al., 2011; PNG et. al., 2014; BURDON et. al., 2016) por não apresentarem efeito adicional no desempenho com a dieta com baixo IG em relação ao alto IG. Burdon et. al., (2016) em uma revisão sistemática com meta-análise, concluiu que não houve efeito benéfico claro em consumir alimentos com baixo IG antes de uma prova com o objetivo de melhorar o desempenho.

Embora seja claro que o IG do CHO tem efeitos significativos sobre o metabolismo quando consumido antes do exercício, como elevação rápida da glicemia nos primeiros minutos após ingestão de alimentos com alto IG e elevação da glicose de forma gradual e lenta após ingerir alimentos com baixo IG (WONG et. al., 2008), não há evidência suficiente para garantir que ocorrerá efeito significativo no desempenho se consumido alimento de baixo IG. Mas é importante observar que o CHO com baixo IG ingerido 2h antes de um TCR de 21 km não adicionou melhora ao desempenho quando uma suplementação com CHO (2 ml/kg) foi realizada

durante o exercício (WONG et. al., 2009), mas foi eficaz em melhorar o desempenho quando nenhuma suplementação foi fornecida durante o exercício (WONG et. al., 2008). Da mesma forma, a ingestão de CHO com baixo IG 3 h antes do exercício de carga constante (70% $\dot{V}O_2$ máx) e sem adicional suplementação, aumentou o tempo até a exaustão (Wu e Williams 2006).

Levando em consideração esses resultados, parece que a suplementação com CHO durante o exercício supre a necessidade energética e determina o melhor desempenho, seja com alimentação prévia de baixo ou alto IG. Isso nos leva a imaginar que numa competição onde, por alguma razão, não haverá suplementação durante o exercício, essa estratégia seria eficiente para melhorar o desempenho, principalmente em um teste mais longo como o TCR de 21 km, pois resultará de maior oxidação de gorduras e maior disponibilidade de CHO principalmente no final da prova, como ocorreu no estudo de WONG et. al., (2008). No entanto, essa não é uma prática comum entre os atletas, que em sua maioria se alimenta na hora que antecede a competição e suplementam durante a prova (JEUKENDRUP et. al., 2010). Ainda considerando os estudos citados (WONG et. al., 2008, 2008; WU e WILLIAMS et. al., 2006), parece que o CHO de baixo IG é eficiente se ingerido até 3h antes do exercício. Porque foi observado que após 13 h de ingestão de uma dieta com baixo IG, o desempenho dos atletas no período do Ramadã não melhorou em relação à uma dieta controle (PNG et. al. 2014).

Apesar do Colégio Americano de Medicina do Esporte ainda não fornecer qualquer recomendação sobre o consumo de uma refeição com baixo IG antes do exercício (RODRIGUEZ et. al., 2009), poderia ser indicado a partir dos estudos revisados acima, que se o CHO for ingerido antes do exercício, que seja de baixo IG e entre 2-3h antes do exercício. No entanto, se houver suplementação durante o exercício, não há necessidade de a alimentação prévia ser, enfaticamente, com CHO de baixo IG.

2.5 SUPLEMENTAÇÃO COM CHO ANTES, DURANTE E APÓS O EXERCÍCIO

A suplementação com CHO é uma estratégia nutricional adotada regularmente por nutricionistas esportivos, por ser útil em três situações: 1) antes do exercício, com o objetivo de disponibilizar maior quantidade de CHO na corrente sanguínea e contribuir para o fornecimento de glicose para o músculo ativo (LEE et. al., 2011; GALLOWAY et. al., 2014); 2) durante o exercício, para manutenção da

glicemia e retardo da fadiga (TEMESI et. al., 2011; MCGAWLEY et. al., 2012) e 3) após o exercício, objetivando restaurar os estoques de glicogênio muscular e hepático em maior velocidade (ANDRADE-SOUZA et. al., 2015; ROSSET et. al., 2017).

Apesar de apresentar efeito positivo no desempenho na maioria dos estudos, algumas perguntas têm norteado as investigações acerca da suplementação com CHO como: 1) qual o momento ideal para suplementar: antes, durante ou após o exercício? 2) qual o tipo de CHO indicado para administrar: de alto, médio ou baixo IG? Várias pesquisas têm sido realizadas no intuito de compreender tais questionamentos e oferecer um melhor direcionamento aos nutricionistas, atletas e treinadores. A seguir, foram reunidos alguns resultados referentes às dúvidas mais frequentes sobre suplementação de CHO e exercício.

2.6 SUPLEMENTAÇÃO COM CHO ANTES DO EXERCÍCIO

Provavelmente, o primeiro estudo a descrever os efeitos da ingestão prévia de glicose foi de Ove Boje (1940), onde observou que quando a glicose era ingerida antes do exercício, a glicemia era diminuída durante a atividade. De forma semelhante, Foster et. al., (1979) observaram prejuízos no desempenho quando o CHO foi ingerido antes do exercício. A partir de então, foi recomendado mundialmente que, antes do exercício, o CHO deveria ser evitado, enfatizando que ingerir CHO na hora que antecede o exercício seria prejudicial ao desempenho, por causar uma hipoglicemia acentuada, posteriormente conhecida como “hipoglicemia de rebote” ou “hipoglicemia reativa” (JEUKENDRUP et. al., 2010).

No entanto, ao longo dos anos, os resultados dos estudos têm sido controversos (DAVISON et. al., 2008; LEE et. al., 2011; GALLOWAY et. al., 2014). A ingestão de uma bebida com 6% de CHO (8ml.kg^{-1}), 15 min antes de um exercício intermitente e de alta intensidade, contribuiu para melhorar desempenho (DAVISON et. al., 2008). Lee et. al., (2011) mostraram que uma bebida com 22% de CHO (1g.kg^{-1}) ingerida 30 minutos antes do teste de Wingate, foi útil para aumentar a potência média dos participantes. A ingestão de CHO (6,4%) 30 minutos antes de um exercício a 90% $W_{\text{máx}}$ também contribuiu para aumentar o tempo até a exaustão (GALLOWAY et. al., 2014). É provável que algumas pessoas tenham uma maior sensibilidade à insulina, e sejam mais suscetíveis a ocorrências de hipoglicemia de rebote, o que seria esclarecedor para entender o porquê de o fenômeno ocorrer em alguns casos.

Nesse sentido, Jeukendrup e Killer (2010) analisaram os resultados da glicemia dos participantes do estudo de Moseley et. al., (2003), que apresentaram hipoglicemia de rebote durante o exercício após ingerir CHO 15, 45 e 75 min antes do exercício. Curiosamente, eles observaram que os participantes que desenvolviam hipoglicemia eram sempre os mesmos em todos os tempos em que o CHO foi administrado. Outro dado interessante relatado foi que alguns participantes apresentaram hipoglicemia (3,5 mmol/l), no entanto, não sentiram qualquer sintoma, enquanto outros não apresentavam valores hipoglicêmicos (3,7 a 4,6 mmol/L), mas apresentaram os sintomas comuns à hipoglicemia, relacionados a fadiga.

Para evitar a possível ocorrência de hipoglicemia durante o exercício e uma consequente piora no desempenho, Thomas et. al. (1991) propuseram que se for preciso ingerir CHO na hora prévia ao exercício, que esse CHO seja de baixo IG. Os mecanismos propostos são os mesmos relatadas no tópico "*Dietas com alto teor de CHO*". De fato, os autores observaram aumento de 20 minutos no tempo até a exaustão após a ingestão de CHO de baixo IG, quando comparado com a suplementação com CHO de alto IG. No entanto, outros estudos que realizaram testes até a exaustão (KIRWAN et. al., 2001; STANNARD et. al., 2000) e TCR, que é mais próximo de uma situação real de competição (JENTJENS et. al., 2003; FEBBRAIO et. al., 2000), não observaram diferenças no desempenho entre os dois tipos de CHO.

Portanto, como esse efeito parece mais ocorrer devido à uma variação individual, não é possível afirmar que a ingestão de CHO antes do exercício deve ou não ser de baixo IG ou que é prejudicial ao desempenho. Contudo, os efeitos deletérios já observados são fatores que não podem ser desprezados. Por ser possivelmente algo individualizado, é recomendado que a estratégia de suplementação antes do exercício seja testada durante as sessões de treinamento para posterior utilização em competição. A suplementação prévia de CHO seja com alto, moderado ou baixo IG, deve ser individualizada, para considerar os possíveis desconfortos intestinais e as preferências e respostas individuais de cada atleta.

2.7 SUPLEMENTAÇÃO COM CHO DURANTE O EXERCÍCIO

A ingestão de CHO durante o exercício também é uma estratégia comum e em geral, mais seguramente praticada por atletas porque o risco de ocorrência de hipoglicemia é menor, uma vez que durante o exercício a secreção de insulina é

insuficiente para provocar tal evento (RUSSEL et. al., 2014). A captação de glicose durante o exercício ocorre predominantemente por meio da ação do exercício físico em si, que ativa a proteína quinase ativada por monofosfato de adenosina (AMPK), que por sua vez permite a translocação do transportador de glicose no músculo esquelético (GLUT4) para a membrana da célula muscular, contribuindo para o influxo de glicose no músculo ativo (Figura 3). Vários estudos relatam efeito benéfico da suplementação com CHO durante o exercício seja de longa duração (VANDENBOGAERDE & HOPKINS, 2011), TCRs (TEMESI et. al., 2011; MCGAWLEY et. al., 2012), tempo até a exaustão (TEMESI et. al., 2011), exercícios intermitentes (BAKER et. al., 2015), e até mesmo durante um treino de resistência (WAX et. al., 2012).

O mecanismo proposto para esses resultados positivos é que a suplementação durante o exercício contribui para manutenção da glicemia, retardando o aparecimento da fadiga, contribuindo para o aumento da taxa de oxidação de glicose nos últimos estágios do exercício, quando o glicogênio muscular começa a ser depletado (COGGAN & COYLE, 1987, 1988; JEUKENDRUP et. al., 1999b), ou até mesmo mantendo a percepção subjetiva de esforço estável (O'NEAL et. al., 2013) por reduzir a concentração de cortisol, hormônio relacionado ao estresse, no momento do exercício (GOMES et. al., 2014).

Alguns autores propuseram que o conteúdo de glicogênio muscular é poupado quando o CHO é ingerido durante a prova (COYLE et. al., 1983; HARGREAVES et. al., 1984; BJORKMAN et. al., 1984; TSINTZAS et. al., 1996), no entanto, essa afirmação era baseada na resposta da RER como estimativa indireta do substrato que estaria sendo utilizado. Contudo, por meio de biópsia muscular, que permitiu uma análise mais direta do conteúdo de glicogênio antes e após o exercício, essa afirmação tem sido contrariada por outras pesquisas que mostraram que apesar do efeito positivo no desempenho com a suplementação de CHO durante o exercício, o conteúdo de glicogênio muscular utilizado foi o mesmo (JEUKENDRUP et. al., 1999a, 1999b). Acredita-se que esse efeito poupador talvez só ocorra nas fibras tipo I (TZINTZAS et. al., 1996).

Em exercícios de moderada a alta intensidade (>75% $\dot{V}O_2$ máx) parece que o efeito do CHO é mais central que metabólico (JEUKENDRUP, 2004). É relatado que apenas o contato do CHO na boca, seria suficiente para conferir melhorias no desempenho em exercícios de carga constante até exaustão (ROLLO et. al., 2011;

ROLLO et. al., 2015; BASTOS-SILVA et. al., 2016), TCR (MUHAMED et. al., 2014), ou até mesmo para reduzir o efeito deletério que ocorre quando as reservas prévias de glicogênio muscular e hepático estão reduzidas (LANE et. al., 2013; ATAIDE-SILVA et. al., 2016). Por meio de ressonância magnética, Chambers et. al., (2009) relataram que a presença do CHO na boca ativa regiões no cérebro associadas à recompensa, como o opérculo frontal, córtex orbitofrontal e estriado. Este seria o mecanismo proposto para explicar os relatos de estudos que descobriram que o simples contato do CHO na cavidade oral tem um efeito positivo sobre o desempenho de ciclistas (LANE et. al., 2013) e corredores (MUHAMED et. al., 2014).

Além disso, é importante mencionar que alguns dos benefícios associados à ingestão do CHO durante o exercício de aproximadamente 1 hora, onde apesar do melhor desempenho observado, não houve diferenças na oxidação de CHO (JEUKENDRUP et. al. 1997; ROLLO & WILLIAMS, 2009), podem ser devido ao mecanismo central contribuindo para melhorar o desempenho mesmo nas condições em que o CHO está sendo ingerido (ROLLO et. al., 2010).

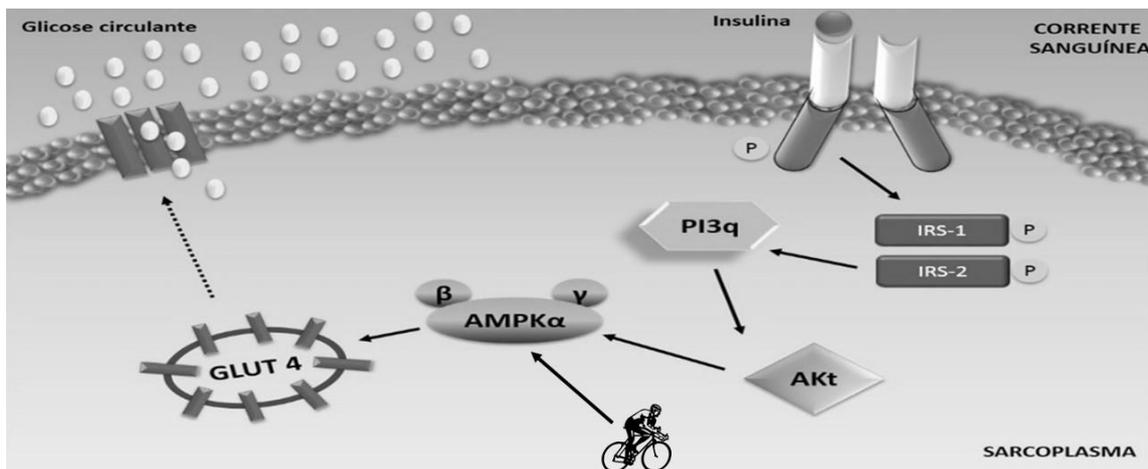


Figura 3. Sinalização da insulina e do exercício na captação de glicose. A insulina se liga ao seu receptor de membrana e permite uma cascata de reações que desencadeiam na translocação do GLUT4 para a membrana da célula muscular, permitindo a entrada da glicose circulante, que será posteriormente usada como fonte de energia para o exercício. O exercício tem ação semelhante à insulina, ativando AMPK e contribuindo para translocação do GLUT4. Fonte: autoria própria.

2.8 SUPLEMENTAÇÃO COM CHO APÓS O EXERCÍCIO

Como relatado anteriormente, o desempenho esportivo está diretamente associado ao conteúdo prévio de glicogênio muscular (BERGSTRÖM et. al., 1967). Geralmente é comum aos atletas serem submetidos a treinamentos nos dois

horários do dia. Dessa forma, há maior necessidade de uma estratégia nutricional para repor o conteúdo de glicogênio muscular, muitas vezes depletado na primeira sessão de treino, para que o treino subsequente não seja comprometido. Vários estudos têm sido realizados com a finalidade de compreender as estratégias mais úteis de reposição do glicogênio muscular (CHRYSSANTHOPOULOS et. al., 2004; MCGLORY e MORTON, 2010; SKEIN et. al., 2012; BROWN et. al., 2013; ANDRADE-SOUZA et. al., 2015; ROSSET et. al., 2017).

O tempo de ingestão após o exercício é um fator importante que deve ser considerado quando há a intenção de reposição rápida dos estoques de glicogênio muscular. Um estudo clássico mostrou que após a depleção do glicogênio muscular, a ressíntese desse estoque foi maior durante as primeiras 2h de recuperação quando os participantes ingeriram CHO imediatamente após o exercício, em comparação à ingestão de CHO 2h após o exercício (IVY et. al., 1988). Fisiologicamente esse efeito pode ser explicado devido ao maior fluxo sanguíneo para os músculos ativos no momento imediato após o exercício em relação a algumas horas depois, além de que as células musculares nesse momento apresentam maior captação de glicose induzidas pelo exercício.

De fato, foi mostrado que ingerir 2,5g/kg de CHO no período de recuperação (3h) aumentou o conteúdo de glicogênio muscular em até 11% (CHRYSSANTHOPOULOS et. al., 2004), e que a ingestão de 1,2 g/kg de CHO imediatamente, 1h e 2h após depleção do glicogênio muscular, foi útil para melhorar o desempenho em um exercício de alta intensidade (*sprints* a 90% VO_2 máx, até exaustão voluntária) em comparação à água (MCGLORY e MORTON, 2010). Estes resultados são importantes para aplicação prática em atletas que treinam todos os dias nos dois horários, como jogadores de futebol.

No entanto, contrariando os resultados apresentados acima, não houve efeito adicional ao desempenho dos testes relacionados ao futebol quando os atletas amadores ingeriram 1,2 g/kg de CHO durante 4h de recuperação, após depleção do glicogênio muscular (ANDRADE-SOUZA et. al., 2015). Foi sugerido que talvez a estratégia nutricional adotada não tenha sido suficiente para reverter os efeitos deletérios causados pela depleção do glicogênio muscular, ou que o curto tempo de recuperação (4h) tenha neutralizado os efeitos da suplementação após o exercício, devido a fadiga residual. Entretanto, um menor tempo de recuperação e o mesmo conteúdo de CHO foi adotado por McGlory e Morton (2010), que encontrou aumento

no conteúdo de glicogênio muscular e melhor desempenho. Talvez a concentração da solução adotada nesses dois estudos seja a responsável pelos efeitos divergentes. McGlory e Morton (2010), adotaram uma solução de 15% de CHO, enquanto que Andrade-Souza et. al., (2015) forneceram uma bebida com 20% de CHO em sua composição e em adicional, a última alimentação fornecida foi 1h antes do exercício. É provável que no momento do teste, os participantes estivessem ainda em processo de digestão e uma provável sensação de desconforto gastrointestinal tenha prejudicado o desempenho, no entanto, isso não foi relatado no estudo.

Devido ao efeito conhecido dos CHO com alto IG em aumentar a glicemia e conseqüentemente a secreção de insulina em relação aos CHO de baixo IG (STEVENSON et. al., 2005), foi proposto que esse tipo de CHO deve ser ingerido após o exercício para conferir maior recuperação do glicogênio muscular (BROWN et. al., 2013). Apesar de ter ocorrido aumento na concentração de insulina e na oxidação de CHO, 3h após a ingestão de alimentos com alto IG, Brown et. al., (2013) não observaram efeito adicional no desempenho subsequente quando comparado com a alimentação pós treino com baixo IG. Foi sugerido que a prova de 5km desempenhada no estudo de Brown et. al., (2013), é curta para exacerbar os efeitos positivos que possivelmente ocorreriam na condição alto IG.

Por meio dos estudos revisados nesse tópico, pode-se sugerir que a reposição do glicogênio muscular seria mais eficaz quando um alimento com alto IG é ingerido, preferencialmente, imediatamente após o exercício que causou sua depleção. No entanto, nem sempre isso provocará melhor desempenho no exercício subsequente, mas de fato, impedirá prejuízos.

2.9 MÚLTIPLOS TRANSPORTADORES

É comum na literatura as recomendações de ingestão de CHO antes, durante ou após o treinamento e/ou competição, como já relatados nessa tese. No entanto, pesquisadores têm considerado a importância de incluir diferenciadas estratégias antes da competição, que permitam maior absorção, captação e oxidação do CHO ingerido. Dentre as estratégias recentemente utilizadas, encontram-se a ingestão de CHO com múltiplos transportadores de glicose (JENTJENS e JEUKENDRUP, 2005) e o exercício em jejum (CHEN et. al., 2017). As duas estratégias serão abordadas nos tópicos seguintes.

A captação de glicose exógena pelo trato gastrointestinal durante o exercício é restrita a um máximo de ~1g/min (BURKE et. al., 2011), e mesmo com alto consumo de CHO como 144 g/h (JENTJENS e JEUKENDRUP, 2005) ou 180g/h (JEUKENDRUP, 1999b), não há elevação na taxa de oxidação acima de 1 g/min, devido à saturação dos transportadores de glicose dependentes de sódio (SGLT-1). Pesquisadores buscam estratégias para otimizar a digestão e absorção dos CHO e dessa forma, maximizar a disponibilidade de CHO durante o exercício (GONZALEZ et. al., 2015; BAUR et. al., 2014; ROWLANDS et. al., 2008; HUSTON et. al., 2009; MACDERMID et. al., 2012).

A ingestão de CHO com diferentes transportadores de glicose tem sido sugerida, porque acredita-se que esta prática poderia resultar em taxas de oxidação exógena superiores, comparadas com a ingestão de quantidades iguais de glicose isoladas (JENTJENS e JEUKENDRUP, 2005). Esta estratégia objetiva aumentar a oxidação de CHO pelo músculo, acima de 1g/min, e parece que pode contribuir para melhores resultados no desempenho (GONZALEZ et. al., 2015). Tem sido sugerido que a ingestão combinada de glicose e frutose poderia resultar em taxas de oxidação exógena superiores (até 1,75 g/min), comparadas com a ingestão de quantidades iguais de glicose isoladas (JENTJENS e JEUKENDRUP, 2005). O aumento na oxidação de CHO quando a glicose é ingerida junto com a frutose é atribuído ao fato de que o tipo de transportador da frutose (GLUT-5), não depende de insulina e não compete com a glicose. Esta estratégia tem sido eficiente em aumentar o desempenho (BAUR et. al., 2014), provavelmente por aumentar a taxa de oxidação dos CHO (GONZALEZ et. al., 2015; ROWLANDS et. al., 2008). Parece que a ingestão de 0,5 a 0,7 g/min de frutose associada à glicose em uma proporção de 2:1, apresenta resultados positivos no desempenho (BAUR et. al., 2014; GONZALEZ et. al., 2015; ROWLANDS et. al., 2008), no entanto, doses menores como 0,26 g/min de frutose, não parece apresentar efeito adicional ao da ingestão da glicose isolada (HUSTON et. al., 2012).

Recentemente, foi sugerido que adicionar galactose em uma bebida com glicose seria útil para melhorar o desempenho, mas diferente do mecanismo relatado acima, a hipótese envolveu o IG. Já que a galactose tem um baixo IG, foi sugerido que ao ingerir galactose associada à glicose, haveria fornecimento prolongado e ao mesmo tempo rápido (devido a glicose) de CHO. Entretanto, foi demonstrado que não houve melhorias no desempenho com a ingestão de

galactose associada à glicose, 1h antes e durante o TCR de 100km (MACDERMID et. al., 2012). Talvez, o fato de a galactose e glicose serem transportadas pelo mesmo transportador de glicose no lúmen intestinal (SGLT-1), tenha ocorrido uma “competição” entre elas para serem absorvidas. Além do fato de que a galactose ainda precisa ser convertida em glicose no fígado, para ser utilizada como substrato energético, impedindo o rápido fornecimento de glicose ao músculo ativo (Figura 1).

2.10 EXERCÍCIO EM JEJUM

O fígado é responsável por manter a homeostase metabólica tanto após uma refeição quanto durante o jejum (GEISLER et. al., 2016). Sabe-se que o jejum provoca diminuição da concentração de glicogênio hepático e conseqüentemente, uma queda acentuada na glicemia (ROTHMAN et. al., 1991; TAYLOR et. al., 1996; GEISLER et. al., 2016). O comportamento da glicose plasmática durante o jejum, como redução de 45% entre 8 e 12h (GEISLER et. al., 2016) e 74% entre 15 e 64h de jejum (ROTHMAN et. al., 1991), corresponde à depleção do glicogênio hepático (GEISLER et. al., 2016). Nas primeiras horas de jejum em repouso (4h), a concentração de glicogênio hepático é fortemente reduzida, sofrendo uma depleção de ~41% em relação ao conteúdo basal (TAYLOR et. al., 1996). Quando há prolongamento do tempo de jejum (8h), mais que 50% do conteúdo de glicogênio hepático é reduzido, chegando a ser mínimo em 12h (GEISLER et. al., 2016).

No entanto, para que o organismo continue em homeostase, a gliconeogênese, responsável por converter outras fontes de energia como gordura e proteína em glicose, permite a manutenção da glicemia, mesmo em níveis menores comparados ao estado alimentado. Foi observado que em 16h de jejum, houve recuperação de 28% do conteúdo de glicose plasmática. Isso sugere uma dependência maior da gliconeogênese em ~16h de jejum para manter as concentrações de glicose após a depleção dos estoques de glicogênio hepático (GEISLER et. al., 2016). Associado à menor concentração de glicose e glicogênio hepático, ocorre redução da RER refletindo o aumento da oxidação de gorduras (ROTHMAN et. al., 1991). De fato, houve aumento na liberação de ácidos graxos e da carnitina palmitol transferase 1 após 9h e 12h de jejum, respectivamente, favorecendo o aumento da lipólise (TAYLOR et. al., 1996; GEISLER et. al., 2016).

Acredita-se que realizar um exercício em jejum ou com menor disponibilidade prévia de CHO, permite maior utilização de CHO exógeno em relação ao estado

alimentado (WIDRICK et. al., 1993; WILLIAMS & SERRATOSA, 2006). Parece que a alimentação prévia ao exercício inibe o efeito da suplementação com CHO durante a prova (JEUKENDRUP et. al., 1999c; 2008). Recentemente foi visto que após 12h de jejum algumas enzimas relacionadas à adaptação ao metabolismo aeróbio (ATGL, HSL e FAT/CD36) tiveram maior expressão em relação ao estado alimentado (CHEN et. al., 2017). De fato, o GLUT-4 é mais expresso após o jejum comparado à condição alimentado (CHEN et. al., 2017). Por isso, supõem-se que o músculo seria mais "sensível" à absorção de glicose quando o CHO é ingerido em estado reduzido de glicogênio hepático (JEUKENDRUP et al., 2008; 1999c).

No entanto, apesar de apresentar maior taxa de oxidação de glicose, o tempo até a exaustão na corrida ($\sim 70\% \dot{V}O_{2\text{máx}}$) não aumentou após 21h de jejum associado à suplementação com CHO em relação ao PLA (RILEY et. al., 1988). Como o jejum altera a resposta da glicose plasmática no repouso e durante o exercício, aumentando-a por meio da gliconeogênese, mesmo após 24h de jejum (ROTHMAN et. al., 1991; DOHM et. al., 1986), foi sugerido que talvez por essa razão, o CHO (200 ml, 7%, a cada 20 min) ingerido na condição jejum + CHO, não foi suficiente para conferir diferenças em relação ao PLA (RILEY et. al., 1988). Também foi especulado que o tempo longo de jejum (21h) poderia ter inibido qualquer efeito positivo que a suplementação pudesse trazer (RILEY et. al. 1998).

Também não houveram diferenças na taxa de oxidação de glicose nem no desempenho, tanto na condição jejum (15h) como alimentado associados à ingestão de glicose (16g de glicose a cada 20 min, 7%) ou PLA durante o exercício (120 min à $52\% \dot{V}O_2$ pico) (MASSICOTTE et. al., 1990). Mas é importante observar que a amostra desse estudo era independente e com um número de participantes consideravelmente reduzido (5 participantes em cada grupo: jejum e alimentado). Além do fato de que esses dois estudos (RILEY et. al., 1988; MASSICOTTE et. al., 1990), realizaram testes até a exaustão como meio para verificar o desempenho, que são mais variáveis que o desempenho em um teste contrarrelógio (TCR) porque eles dependem de maior motivação do participante já que é distante de um cenário real de competição (LAURSEN et. al., 2010). De fato, outros estudos com diferentes desenhos experimentais, precisam ser realizados para testar se a ingestão de CHO durante o exercício sofre influência da disponibilidade prévia de CHO.

2.11 CONCLUSÃO

Uma dieta rica em CHO pode ser seguida entre 3 a 4 dias antes de uma competição para aumentar os estoques de glicogênio muscular, e conseqüentemente, melhorar o desempenho. A suplementação com CHO tanto antes, durante ou após o exercício também contribui para melhorar o desempenho. No entanto, a ingestão na hora que antecede o exercício deve ser realizada com cautela, uma vez que algumas pessoas podem apresentar hipoglicemia de rebote. Recomenda-se que na fase de treinamento, sejam testadas a estratégia que o atleta melhor se adapte.

Ingerir CHO com múltiplos transportadores de glicose tem sido considerada uma estratégia eficiente para aumentar a absorção e conseqüentemente, a taxa de oxidação de glicose durante o exercício. Também tem sido sugerido que a utilização do CHO exógeno é maior quando um exercício é realizado em jejum, devido ao aumento da expressão de proteínas relacionadas à captação de glicose na célula muscular durante o jejum em relação ao estado alimentado. No entanto, outros estudos com diferentes desenhos experimentais, precisam testar se a ingestão de CHO durante o exercício sofre influência da disponibilidade prévia de CHO.

3 OBJETIVO

Avaliar o efeito da ingestão de carboidrato durante o exercício quando o exercício foi iniciado em um estado alimentado ou em jejum.

4 HIPÓTESE

A magnitude da melhora no desempenho do TCR com ingestão de CHO seria maior quando o CHO fosse ingerido em jejum comparado ao estado alimentado.

5 MÉTODOS

5.1 PARTICIPANTES

Nove homens saudáveis [28 ± 6 anos, $178,9 \pm 4,6$ cm, $79,8 \pm 9,6$ kg, $10,6 \pm 4,7\%$ de gordura corporal, $\dot{V}O_2$ pico $3,28 \pm 0,31$ L/min e $41,9 \pm 3,6$ mL/kg/min] se voluntariaram para participar deste estudo. Os participantes se exercitavam ~ 8 h/sem e foram classificados como fisicamente ativos de acordo com o Questionário Internacional de Atividade Física (CRAIG et. al., 2003). Eles também eram acostumados a pedalar recreativamente (~ 80 km/sem). O tamanho necessário da amostra foi estimado em nove participantes, utilizando um alfa de 0,05, uma potência desejada de 0,80 e uma melhora esperada de $\sim 10\%$ no desempenho do TCR com CHO, conforme relatado anteriormente em uma revisão de literatura (CORREIA-OLIVEIRA et. al., 2013). Os participantes foram informados de todos os riscos e benefícios antes de fornecerem consentimento por escrito e, em seguida, responderam a um questionário para excluir potenciais riscos cardiovasculares (PAR-q). O Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Pernambuco aprovou este estudo (ANEXO-A).

5.2 DESENHO EXPERIMENTAL

Os participantes visitaram o laboratório em seis ocasiões diferentes (Fig. 1). Durante a primeira visita foram realizadas as medidas antropométricas, um teste incremental até a exaustão voluntária e após uma recuperação de 20 min, uma familiarização do TCR de 10 km. Os participantes também responderam a um questionário do consumo habitual de alimentação e a um recordatório alimentar de 24 horas. Na segunda visita, os participantes foram submetidos a uma sessão de familiarização completa do protocolo experimental (105 min em carga constante seguido por um TCR de 10 km) e novamente responderam a um recordatório alimentar de 24 horas. Realizamos duas familiarizações de 10 km para reduzir a influência da aprendizagem no desempenho do TCR (HIBBERT et. al., 2017). Da terceira à sexta visita, os participantes realizaram as sessões experimentais, com um período de repouso de 1 semana (Fig. 1). Dois testes experimentais foram realizados no estado alimentado (“A”, ou seja, três horas após o café da manhã) e os outros dois em jejum (“J”, ou seja, após um jejum noturno de 15h). Os participantes ingeriram uma solução de CHO ou PLA artificialmente aromatizada e

adoçada, imediatamente antes e durante todo o exercício de carga constante e aos 5 km do TCR. As sessões experimentais foram realizadas em um desenho contrabalanceado e duplo-cego.

Todos os testes foram iniciados na mesma hora do dia (9h), em ambiente laboratorial estável de temperatura e umidade relativa do ar ($21,1 \pm 1,2$ ° C e $35,0 \pm 2,8\%$, respectivamente). Um ventilador foi colocado em frente ao participante para minimizar o estresse térmico. Todos os testes foram realizados em um ciclossimulador (RacerMate®, Computrainer™, Seattle, EUA). A altura do assento foi ajustada para cada participante durante a primeira visita e reproduzida para todas as sessões subsequentes. Dois dias antes de cada teste experimental, o exercício e ingestão de alimentos foram controlados com a intenção de manter o glicogênio muscular e hepático em níveis semelhantes em todas as condições. Os participantes também foram solicitados a se absterem de álcool e cafeína 24 horas antes de cada sessão experimental.

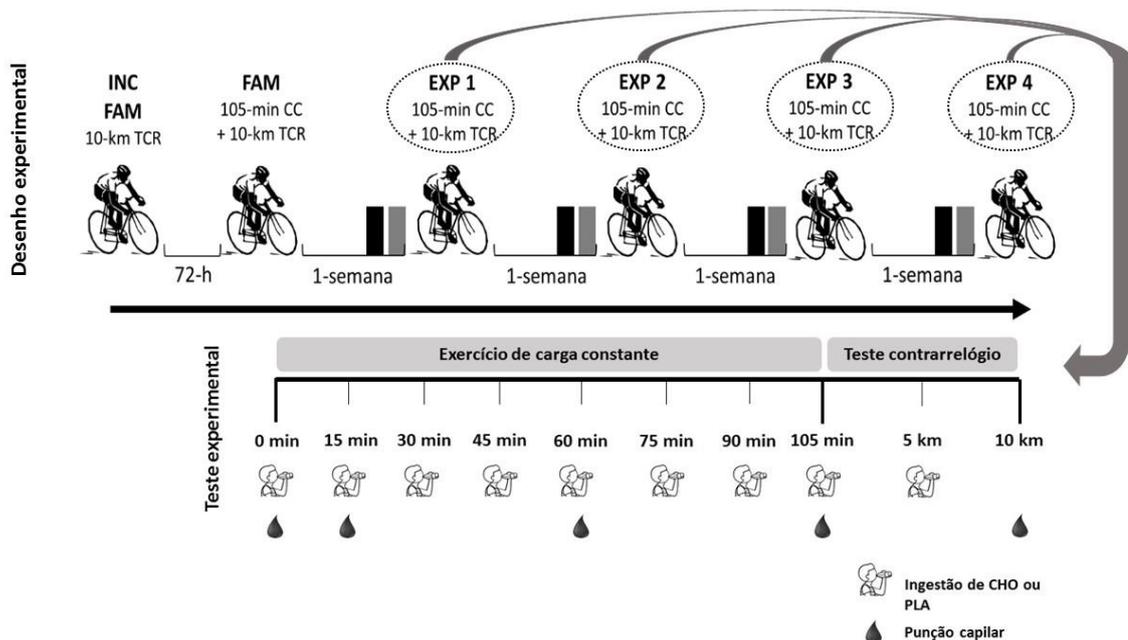


Figura 4. Desenho experimental. Primeira visita: teste incremental (INC) seguido por uma familiarização do teste contrarrelógio de 10 km (FAM 10-km TCR). Segunda visita: familiarização completa do protocolo experimental [105 min de carga constante (CL) + 10 km TCR]. EXP 1 a 4: as quatro condições experimentais foram realizadas em ordem contrabalanceada: J + PLA antes e durante o exercício, J + CHO antes e durante o exercício, A + PLA antes e durante o exercício e A + CHO antes e durante o exercício. (J = jejum ~15h; A = café da manhã 3h antes do exercício). As barras pretas representam dois dias anteriores ao teste experimental no qual os participantes seguiram uma dieta habitual (~2.800 kcal) e realizaram um treinamento de ciclismo padronizado de 60 min a ~65% $\dot{V}O_2$

pico. As barras cinzas representam o dia anterior ao teste experimental, onde os participantes seguiram dieta habitual e substituíram a última refeição por um *shake* às 18 h (650 kcal). Nenhum exercício foi realizado neste dia. Um segundo *shake* foi ingerido às 6 h da manhã no dia do experimento apenas na condição “A” (824 kcal).

5.3 TESTE INCREMENTAL

Um teste incremental previamente validado, iniciando com uma taxa de trabalho de 50 W, com incrementos de 30 W a cada 4 min, com 1 min de intervalo entre os estágios, para punção capilar, foi realizado até a exaustão voluntária (GRANATA et. al., 2016). A cadência do pedal foi mantida entre 70-80 rotações por minuto (rpm) durante todo o teste. O consumo de oxigênio ($\dot{V}O_2$) e a produção de dióxido de carbono ($\dot{V}CO_2$) foram medidos respiração a respiração usando um analisador de gases on-line (Cortex Metalyzer 3B, Cortex Biophysik Leipzig, Alemanha) e, posteriormente, os valores foram salvos em intervalos médios de 30-s. Os sensores de O_2 e CO_2 foram calibrados de acordo com as especificações do fabricante antes de cada teste com gás contendo concentrações conhecidas de O_2 (12%) e CO_2 (5%). O volume do ar expirado foi medido por um sensor de fluxo bidirecional, calibrado antes de cada teste com uma seringa de 3 L. A frequência cardíaca (FC) foi monitorada continuamente por meio de um transmissor de FC acoplado ao analisador de gases.

O $\dot{V}O_2$ pico foi considerado como o maior valor dos últimos 30 s registrados durante o teste. O primeiro limiar de lactato (LL1) foi estimado por dois pesquisadores experientes que identificaram visualmente a primeira taxa de trabalho em que a concentração de lactato subiu repentinamente acima dos níveis de repouso (BROOKS et. al., 1985; YOSHIDA et. al., 1987). Quando não houve concordância entre os dois pesquisadores, um terceiro pesquisador foi consultado. O segundo limiar de lactato (LL2) foi estimado pelo método *Dmax* modificado. Resumidamente, a curva da taxa de lactato foi ajustada com uma regressão polinomial de terceira ordem de LL1 até a potência de pico, e a distância perpendicular máxima a uma linha reta conectando LL1 à potência de pico foi assumida como LL2 (BISHOP et. al., 1998).

5.4 CONTROLE PRÉ-EXPERIMENTAL

Durante os dois dias que antecederam o teste experimental (dia 1 e 2), os participantes seguiram um protocolo padronizado de dieta e exercício. A dieta no dia

1 foi prescrita de acordo com o consumo habitual de macronutrientes dos participantes (2.866 ± 410 kcal, $57 \pm 6\%$ CHO, $22 \pm 3\%$ lipídios e $21 \pm 3\%$ de proteína) e composta por seis refeições: café da manhã, lanche da manhã, almoço, lanche da tarde, jantar e ceia. A água foi consumida *ad libitum*. Os participantes também realizaram exercício padronizado no dia 1 (60 min a $\sim 65\%$ $\dot{V}O_2$ pico). No dia anterior ao teste experimental (dia 2), nenhum exercício foi realizado e os participantes seguiram a mesma dieta do dia 1, exceto que sua última refeição às 18h foi substituída por um *shake* padronizado [650 kcal: 60% CHO (maltodextrina), 25 % de lipídios e 15% de proteína) (Tabela 1). O *shake* foi fornecido para que pudessemos controlar a refeição na noite anterior aos testes experimentais e também porque este *shake* foi anteriormente utilizado para repor os estoques de glicogênio no fígado em indivíduos de massa corporal semelhante (TAYLOR et. al., 1996). No total, o dia 2 envolveu um consumo de 2.874 ± 409 kcal ($58 \pm 4\%$ de CHO, $23 \pm 3\%$ de lipídios e $19 \pm 4\%$ de proteína). Os participantes então, foram submetidos à um jejum noturno.

Tabela 1 - Ingredientes e distribuição energética das refeições fornecidas no jantar (18h) e no dejejum (6h).

		Energia (Kcal)	CHO	LIP	PTN
Jantar*	G	650	97,5	24,2	18,1
	%		60	15	25
Dejejum**	G	824	138,6	29,2	16,9
	%		67,3	14,2	18,5

*Ingredientes: 40 g Maltodextrina, 32 g Leite integral, 32 g Leite desnatado, 12 g Aveia, 30 g Chia, 8 g Castanha do Pará, 80 g Banana

**Ingredientes: 85 g Dextrose, 40 g Leite integral, 48 g Leite desnatado, 8 g Castanha do Pará, 90 g Goiaba.

5.5 TESTE EXPERIMENTAL

Os participantes chegaram ao laboratório às 5:45h da manhã. Às 6h e às 9h da manhã foram realizadas punções capilares (50 μ L) do lóbulo da orelha para mensurar a glicose plasmática. Nas condições “J”, os participantes permaneceram em jejum até as 9h, resultando em um total de 15h de jejum. Durante as condições de “A”, imediatamente após a coleta de sangue capilar, os participantes ingeriram um *shake* contendo 824 kcal [67% de CHO (dextrose), 19% de gordura e 14% de proteína] (Tabela 1). Escolhemos este protocolo de alimentação porque espera-se que um jejum noturno de 15h reduza os estoques de glicogênio hepático, mas não

muscular (TAYLOR et. al., 1996), enquanto que o *shake* rico em CHO ingerido às 6h restauraria o glicogênio hepático após 3h de ingestão, para níveis próximos aos de pré-jejum, o que foi visto em indivíduos com massa corporal semelhante (TAYLOR et. al., 1996).

Os testes experimentais foram iniciados às 9h e consistiram de 105 min de ciclismo em uma carga constante (50% da diferença entre LL1 e LL2), seguido imediatamente por um TCR de 10 km. Optamos por realizar exercício de carga constante usando LLs ao invés de porcentagem de $\dot{V}O_2$ pico para melhor adequar o estresse metabólico entre os participantes (POOLE e JONES 2012). Além disso, um exercício com essa duração é longo o suficiente para obter os benefícios do CHO exógeno (MCCONELL et. al., 1996). Os participantes foram instruídos a completarem o TCR de 10 km o mais rápido possível e eram livres para escolher a potência de pedal e estabelecerem suas próprias estratégias de prova. A bebida CHO ou PLA (2 ml/kg de massa corporal) foi ingerida imediatamente antes do exercício, a cada 15 min durante todo o exercício de carga constante e aos 5 km do TCR. A solução de CHO consistiu em maltodextrina (Neonutri-Malto, Brasil) diluída a 8% em água. A solução placebo consistiu em uma bebida sem CHO. Ambas as bebidas foram adoçadas artificialmente adicionando aspartame (Finn, Cosmed, Indústria de Cosméticos e Medicamentos, Barueri, São Paulo, Brasil), corante laranja (Mix, indústria alimentícia, São Bernardo do Campo, São Paulo, Brasil) e fragrância de laranja (Arcolor, Arco-íres Brasil, Indústria de produtos alimentícios, São Paulo, São Paulo, Brasil). Uma equipe do laboratório preparou as soluções de CHO e placebo. Um estudo piloto com seis participantes mostrou que eles foram incapazes de identificar diferenças significativas entre as soluções CHO e PLA para cheiro, sabor, doçura, cor ou viscosidade (todos $P > 0,05$ com um teste t aplicado em uma escala analógica visual de 10 cm). Além disso, os participantes foram questionados após cada teste se conseguiram identificar o que haviam ingerido. Os participantes responderam corretamente em ~ 50% da ingestão de CHO, o que indicou a adequação do protocolo de blindagem.

Amostras de sangue capilar (50 μ l) do lóbulo de orelha foram coletadas imediatamente antes, aos 15, 60 e 105 min durante o exercício de carga constante, e imediatamente após o TCR para medir a concentração de lactato e glicose plasmática. A percepção subjetiva de esforço (escala de 15 pontos de Borg, PSE) foi obtida a cada 15 minutos durante o exercício de carga constante e ao final do TCR.

As trocas gasosas ($\dot{V}O_2$ e $\dot{V}CO_2$) e a FC foram medidas em repouso, nos 5 min antes de completar os tempos 15, 30, 45, 60, 75 e 105 min do teste de carga constante e continuamente ao longo do TCR.

5.6 TÉCNICAS ANALÍTICAS

As amostras de sangue capilar foram imediatamente transferidas para microtubos com EDTA e centrifugadas a 4000 rpm por 10 min a 4°C. As concentrações de lactato e glicose plasmática foram analisadas utilizando um espectrofotômetro UV (Quimis®, modelo 239 Q798U2V5, São Paulo, Brasil) com kits comerciais (Labtest, Labtest Diagnostic S.A., Vista Alegre / Lagoa Santa, Brasil).

5.7 TAXAS DE OXIDAÇÃO DE CHO E GORDURA

A razão da troca respiratória (RER), e as taxas de oxidação de gordura e CHO em repouso e durante o exercício de carga constante (aos 5 min finais dos tempos: 15, 30, 45, 60, 75, 90 e 105 min) foram calculadas usando os valores médios de $\dot{V}O_2$ e $\dot{V}CO_2$. As taxas de oxidação de gordura e CHO foram calculadas a partir do quociente respiratório não proteico (FRAYN, 1983) usando equações estequiométricas:

$$\text{Taxa de oxidação de gordura} = (1.67 \cdot \dot{V}O_2) - (1.67 \cdot \dot{V}CO_2) \quad \text{equação (1)}$$

$$\text{Taxa de oxidação de CHO} = (4.55 \cdot \dot{V}CO_2) - (3.21 \cdot \dot{V}O_2) \quad \text{equação (2)}$$

Onde $\dot{V}O_2$ e $\dot{V}CO_2$ estão em L/min e as taxas de oxidação estão em g/min.

As médias para $\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$ e RER durante o TCR de 10 km também foram calculadas em todos os pontos de coleta de dados, no entanto, as taxas de oxidação de gordura e CHO não foram calculadas para o TCR de 10 km, pois o RER excedeu 1.0.

5.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados são apresentados como média \pm SEM. ANOVA de três fatores com medidas repetidas foi usada para comparar glicose antes e após o café da manhã [fatores: disponibilidade de CHO pré-exercício (J vs. A), suplementação (PLA vs.

CHO) e tempo (antes e após o café da manhã)]. ANOVA de três fatores com medidas repetidas também foi usada para verificar o efeito da disponibilidade de CHO pré-exercício (J vs. A), suplementação (PLA vs. CHO) e tempo (repouso, 15, 30, 45, 60, 75, 90 e 105min) na resposta do $\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$, RER, FC, glicose, lactato, taxas de oxidação de CHO e gordura e resposta da PSE durante o exercício de carga constante. A ANOVA de dois fatores com medidas repetidas foi usada para verificar o efeito da disponibilidade de CHO pré-exercício (J vs. A) e suplementação (PLA vs. CHO) sobre o desempenho e as variáveis fisiológicas médias ou finais do TCR de 10 km. Quando ANOVA revelou efeito significativo ou interações, o teste *Bonferroni* foi realizado. A significância foi aceita quando $P \leq 0,05$. Todas as análises foram realizadas no software Statistica (versão 10.0; Tulsa, EUA).

6 RESULTADOS

6.1 ALTERAÇÕES PRÉ E PÓS-CAFÉ DA MANHÃ DA GLICOSE PLASMÁTICA

Houve uma interação entre a disponibilidade de CHO pré-exercício vs. tempo para a glicose plasmática ($P=0,006$, Fig 5). Como esperado, a glicose plasmática aumentou de 6 às 9 da manhã nos grupos “A” ($+ 0.52 \pm 0.23 \text{ mmol.L}^{-1}$), mas não quando o jejum foi continuado “J” ($- 0.24 \pm 0.16 \text{ mmol.L}^{-1}$).

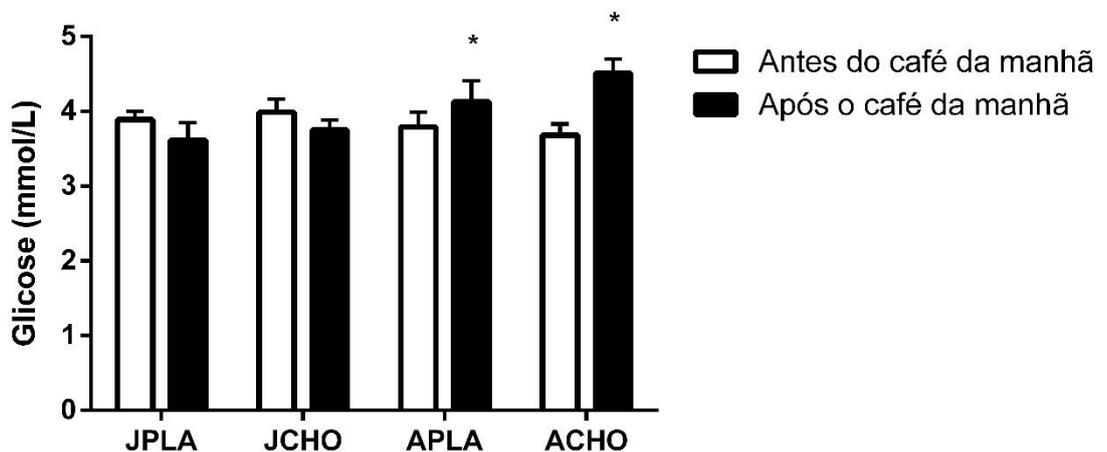


Figura 5. Valores pré e pós-café da manhã (barras brancas e pretas, respectivamente) para concentração plasmática de glicose. “Antes do café da manhã” corresponde à coleta de sangue às 6 h da manhã após jejum noturno (12 h), enquanto que “Após o café da manhã” corresponde à coleta realizada às 9 h da manhã, ou seja, 3 h após o café da manhã (A) ou em 15 h de jejum (J). Valores são médias \pm SEM. * Significativamente maior que o “Antes do café da manhã” para a mesma condição ($P < 0,05$).

6.2 RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E PERCEPTIVAS AO EXERCÍCIO DE CARGA CONSTANTE DE 105 MIN

Os exercícios de carga constante foram realizados a $162 \pm 19 \text{ W}$. O $\dot{V}O_2$ e $\dot{V}CO_2$ aumentaram do repouso aos 15 min ($P < 0,01$) e depois permaneceram estáveis ($P > 0,05$) até o final do exercício submáximo em todas as condições (Fig. 6A e 6B, respectivamente). A oxidação de CHO e a RER aumentaram do repouso aos 15 min ($P < 0,05$) em todas as condições, mas os valores foram mais altos nas condições “A” em relação ao “J” durante todo o exercício (efeito da disponibilidade de CHO pré-exercício, $P=0,011$ e $0,018$, Fig. 6C e 6D, respectivamente). A oxidação de CHO também foi maior com a ingestão de CHO aos 30, 90 e 105 min (interação suplementação vs. tempo, $P=0,017$), e a RER maior com ingestão de CHO aos 45 e 105 min (interação suplementação vs. tempo, $P=0,008$). A oxidação da gordura

aumentou do repouso aos 30 min ($P<0,05$), mas os valores foram mais altos no “J” comparado com as condições “A” (efeito da disponibilidade de CHO pré-exercício, $P=0,042$, Fig. 6E). A FC aumentou de repouso aos 15 min ($P<0,01$) e permaneceu estável até 105 min em todas as condições ($P<0,05$, Figura 6F).

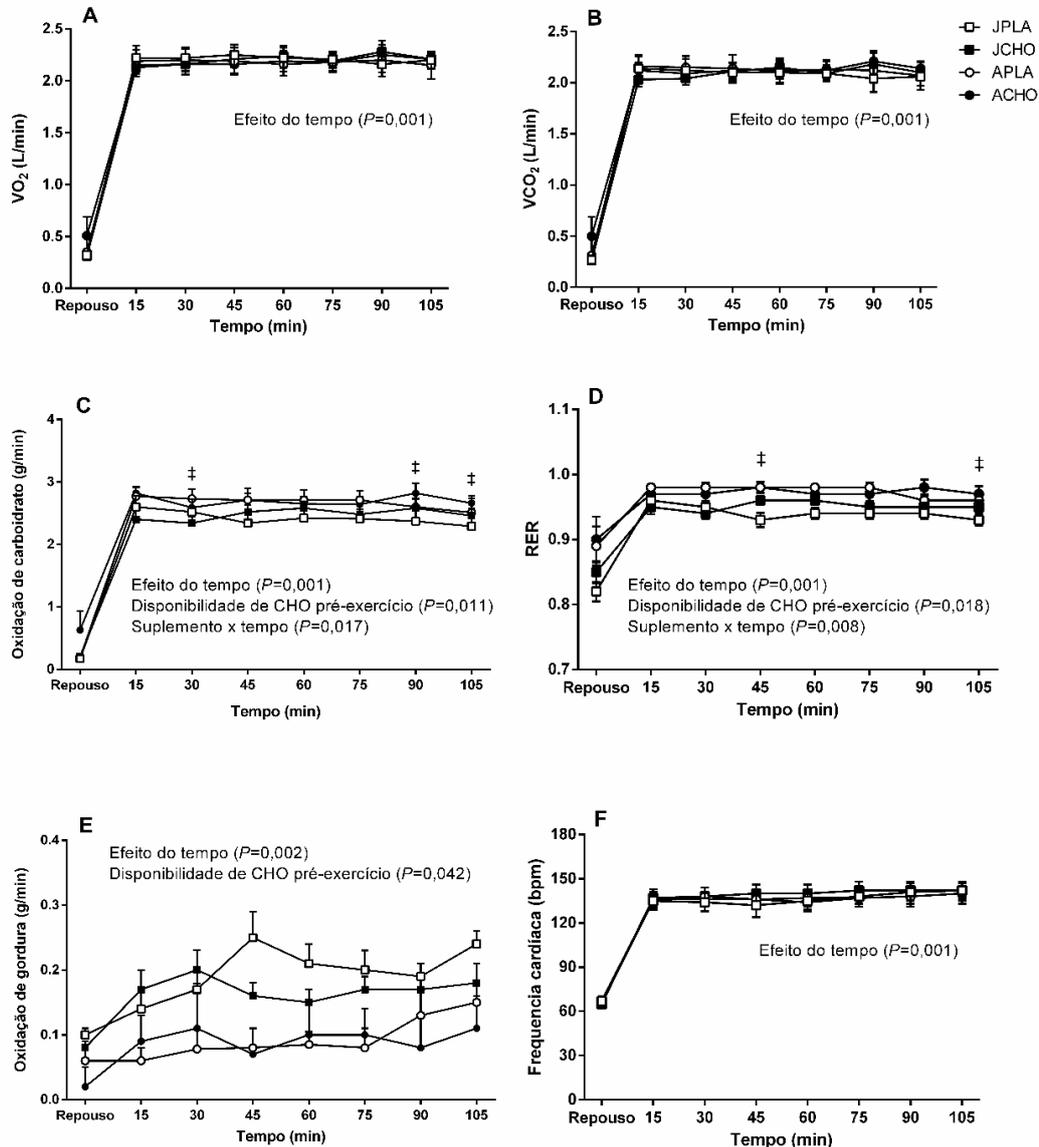


Figura 6. Consumo de oxigênio (A), produção de dióxido de carbono (B), taxas de oxidação de CHO (C), razão da troca respiratória (D), taxa de oxidação de gordura (E) e frequência cardíaca (F) durante exercício de carga constante de 105 min nas condições “J” e “A”, com e sem suplementação de CHO. Valores são médias \pm SEM. ‡ Valores maiores nas condições CHO em relação às condições PLA ($P<0,05$). Detalhes dos efeitos do tempo e disponibilidade CHO pré-exercício foram omitidos para maior clareza.

Houve uma interação entre a disponibilidade de CHO pré-exercício vs. tempo ($P=0,012$) e também uma interação da suplementação vs. tempo ($P=0,005$) para a glicose plasmática (Fig. 7A). A glicose plasmática foi maior no “A” comparada ao “J”

em repouso ($P < 0,05$) e reduziu do repouso aos 15 min em JPLA, APLA e ACHO ($P < 0,05$), mas não em JCHO ($P > 0,05$). Os valores em JCHO foram também maiores que JPLA e APLA aos 15 e 60 min ($P < 0,01$). Aos 60 min, a glicose plasmática foi maior em ACHO em comparação com JPLA ($P < 0,05$). No final do exercício de carga constante (105 min), a glicose plasmática foi maior em ambas as condições CHO em comparação com ambas as condições PLA ($P < 0,01$).

Houve interação entre a disponibilidade de CHO pré-exercício vs. suplemento vs. tempo ($P = 0,020$) para o lactato plasmático (Fig. 7B). O lactato plasmático aumentou do repouso aos 15 min em todas as condições ($P < 0,01$), mas os valores foram maiores aos 15 min em ACHO em relação à APLA ($P < 0,05$). O lactato plasmático reduziu significativamente dos 15 aos 105 min em ACHO, JCHO e JPLA ($P < 0,05$), mas permaneceu inalterado em APLA ($P > 0,05$).

Houve uma interação entre o suplemento vs. tempo ($P = 0,022$) para PSE (Fig. 7C). A PSE aumentou ao longo do exercício em todas as condições ($P < 0,01$), no entanto, mais lentamente quando o CHO foi ingerido ($P < 0,05$).

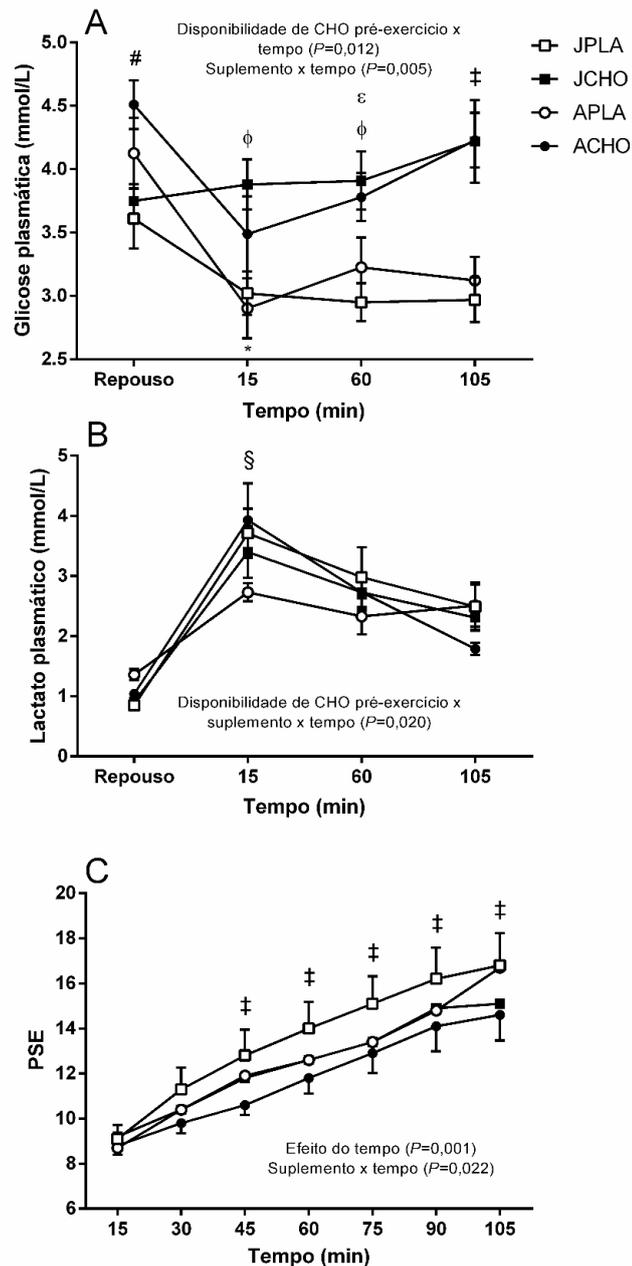


Figura 7. Glicose plasmática (A), lactato (B) e PSE (C) durante um exercício de carga constante de 105 min nas condições “J” e “A”, com e sem suplementação de CHO. Valores são médias \pm SEM. O SEM positivo e negativo foram omitidos em C para melhorar a visualização. # Os valores em ambas as condições “A” são maiores em relação às condições “J” ($P<0,05$). * Valores em JPLA, APLA e ACHO são menores que em repouso ($P<0,05$). ϕ JCHO é maior que JPLA e APLA ($P<0,05$). ϵ ACHO maior que JPLA ($P<0,05$). ‡ Os valores em ambas as condições CHO são significativamente maiores (em A) e menores (em C) do que em ambas as condições PLA ($P<0,05$). § ACHO maior que APLA ($P<0,05$). Detalhes dos efeitos do tempo e disponibilidade de CHO pré-exercício foram omitidos para maior clareza.

6.3 TESTE CONTRARRELÓGIO DE 10-KM (TCR)

O tempo para completar a prova de 10 km foi menor nas condições CHO (JCHO: $18,7 \pm 0,4$ min e ACHO: $18,5 \pm 0,3$ min) em relação às condições PLA (JPLA: $21,7 \pm 1,4$ min e APLA: $20,2 \pm 0,8$ min, efeito do suplemento: $P=0,019$, Fig. 8), independente da disponibilidade de CHO pré-exercício (sem interação da disponibilidade prévia de CHO vs. suplemento, $P=0,260$). Conseqüentemente, a potência média, $\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$, RER, glicose e lactato plasmático finais foram maiores na condição CHO comparados ao PLA ($P<0,05$), independente da disponibilidade prévia de CHO (Tabela 2). A PSE final foi semelhante entre as condições ($P>0,05$), indicando que os participantes terminaram o TCR com esforço semelhante, independente da disponibilidade de CHO pré-exercício ou suplementação (Tabela 2).

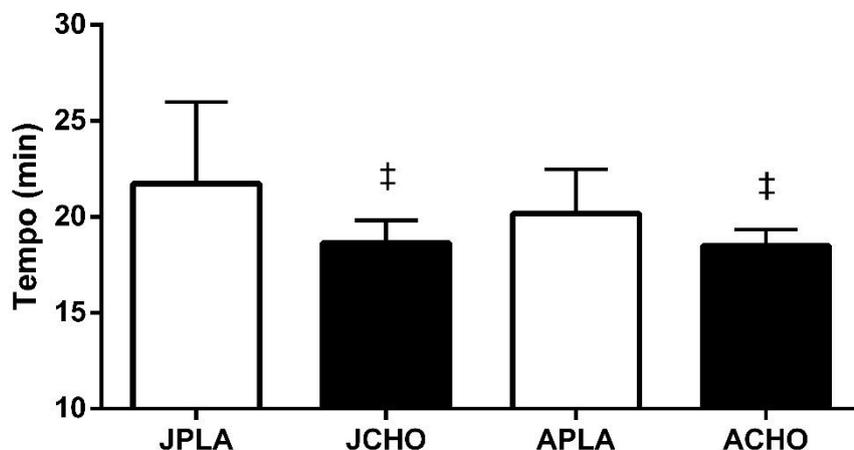


Figura 8. Tempo para concluir o TCR de 10 km realizado após um exercício de carga constante de 105 min nas condições “J” e “A”, com e sem suplementação de CHO. Valores são médias \pm SEM. ‡ Menor que PLA ($P<0,05$).

TABELA 2. Potência, parâmetros fisiológicos e percepção subjetiva de esforço durante o TCR de 10 km.

	JPLA	JCHO	APLA	ACHO
Potência (W)	154 ± 7	197 ± 7‡	173 ± 9	198 ± 9‡
VO₂ (L/min)	2,23 ± 0,04	2,67 ± 0,05‡	2,28 ± 0,08	2,71 ± 0,06‡
VCO₂ (L/min)	2,18 ± 0,06	2,78 ± 0,10‡	2,48 ± 0,12	2,79 ± 0,12‡
RER	0,96 ± 0,01	1,04 ± 0,02‡	1,02 ± 0,02	1,08 ± 0,02‡
Glucose (mmol.L⁻¹)	3,1 ± 0,2	4,5 ± 0,2‡	3,7 ± 0,2	4,7 ± 0,2‡
Lactate (mmol.L⁻¹)	3,4 ± 0,6	4,2 ± 0,7‡	3,5 ± 0,7	4,2 ± 0,4‡
PSE	19 ± 0,7	18 ± 0,6	19 ± 0,3	18 ± 0,6

Valores são média ± SEM. A: alimentado; J: jejum; PLA: placebo; CHO: carboidrato;. Consumo de oxigênio ($\dot{V}O_2$), produção de dióxido de carbono ($\dot{V}CO_2$) e razão de troca respiratória (RER) são representados pelas médias do teste completo, enquanto a glicose, lactato e percepção subjetiva de esforço (PSE) são valores obtidos imediatamente ao final do teste. Houve efeito do suplemento para todas as variáveis, exceto PSE ($P=0,46$). ‡ Significativamente diferente das condições de PLA.

7 DISCUSSÃO

Dado que um jejum noturno provoca depleção do glicogênio hepático (TAYLOR et. al., 1996), levantamos a hipótese de que a ingestão de CHO durante o exercício melhoraria o desempenho de forma mais acentuada na condição “jejum” do que no estado alimentado. No entanto, contrário à nossa hipótese, não houve interação entre a disponibilidade de CHO pré-exercício vs suplementação para o desempenho, mas houve um efeito do suplemento, indicando que o desempenho foi melhorado com a ingestão de CHO, independente da disponibilidade de CHO pré-exercício (Fig. 8). A glicose plasmática (Fig. 7A) e a oxidação de CHO (Fig. 6C) foram maiores e a PSE (Fig. 7C) menor quando o CHO foi ingerido, um efeito que foi independente da disponibilidade de CHO pré-exercício. Estes resultados sugerem que a melhoria no desempenho do TCR pode ter sido devido, pelo menos em parte, a uma combinação de mudanças na resposta metabólica e perceptual durante o exercício de carga constante realizado anteriormente ao TCR quando o CHO foi ingerido.

Com base em achados anteriores, seria esperado que um jejum noturno de 15h resultasse em uma redução no glicogênio hepático (TAYLOR et. al., 1996). No entanto, após um café da manhã, espera-se que os níveis de glicogênio hepático sejam restaurados nas três horas seguintes (TAYLOR et. al., 1996). Como esperado, a concentração de glicose no plasma aumentou das 6 às 9 h em “A”, mas não nas condições “J”. Essa maior concentração de glicose plasmática indica que nossa manipulação foi útil para iniciar o exercício com maior disponibilidade de glicose quando o café da manhã foi fornecido (Fig. 7A). O estoque de glicogênio hepático também deve ter sido reabastecido nas condições “A” (TAYLOR et. al., 1996).

A maior concentração de glicose no plasma no início do exercício nas condições “A” parece ter promovido uma hipoglicemia reativa no início do exercício (ou seja, maior redução aos 15 min, Fig. 7A). Uma hipoglicemia reativa pode ter ocorrido devido à alta porcentagem de CHO ingerida no café da manhã (67% CHO). Adotamos essa refeição padronizada porque uma refeição semelhante restaurou os níveis de glicogênio hepático três horas após a ingestão em participantes de massa corporal similar ao do presente estudo (TAYLOR et. al., 1996). A hipoglicemia reativa acontece quando o exercício inicia algumas horas após uma refeição rica em

CHO, com os níveis elevados de insulina desencadeando maior captação muscular de glicose devido ao efeito aditivo dos mecanismos insulino-dependentes (refeição) e independentes de insulina (exercício) (FOSTER et. al., 1979; MOSELEY et. al., 2003; JENTJENS et. al., 2003). No entanto, a hipoglicemia reativa após a ingestão de CHO e antes do exercício não é um achado consistente (CHRYSSANTHOPOULOS et. al., 1997; CHRYSSANTHOPOULOS et. al., 2004). Contudo, a hipoglicemia reativa aparentemente foi parcialmente revertida pela ingestão de CHO durante os primeiros 15 min de exercício, e a glicose plasmática foi mantida elevada durante todo o exercício quando o CHO foi ingerido. Este achado sugere que a hipoglicemia reativa pode ser prevenida pela ingestão de CHO imediatamente antes e durante o exercício.

Acompanhando a elevada concentração de glicose plasmática, a taxa de oxidação de CHO foi maior nos últimos estágios do exercício de carga constante quando o CHO foi ingerido (Fig. 6C). Estudos anteriores mostraram que a taxa de oxidação de CHO é mantida elevada durante os últimos estágios do exercício prolongado quando o CHO é ingerido (ROLLO et. al., 2012; MCGAWLEY et. al., 2012). Sabe-se que a ingestão de CHO durante o exercício reduz a produção de glicose no fígado e provavelmente poupa o glicogênio hepático (JEUKENDRUP et. al., 1999; MCCONELL et. al., 1994). Mostramos anteriormente que ingerir CHO durante todo o exercício é mais benéfico para o desempenho do exercício que ingerir a mesma quantidade no final do exercício (MCCONELL et. al., 1996). Nós imaginamos se isso pode ter acontecido porque a depleção de glicogênio hepático seria menor com a ingestão de CHO durante o exercício. No entanto, dado que no presente estudo a ingestão de CHO aumentou a taxa de oxidação de CHO e melhorou o desempenho do exercício independente da disponibilidade prévia de CHO, nossos resultados sugerem que a ingestão de CHO durante o exercício pode ser útil tanto para poupar o glicogênio hepático quanto para substituir o estoque de glicogênio hepático que provavelmente estaria mais esgotado conforme o progresso do exercício.

Além dessas alterações metabólicas, o aumento da PSE durante o exercício de carga constante foi atenuado pela ingestão de CHO, independente da disponibilidade de CHO pré-exercício (Fig. 7C). Os valores mais baixos da PSE com ingestão de CHO podem estar relacionados a um meio metabólico favorável (isto é, glicose plasmática elevada e maior taxa de oxidação de CHO) e/ou um efeito direto

do CHO no sistema nervoso central (CARTER et. al., 2004; CHAMBERS et. al., 2009). A presença de CHO na boca estimula um grupo de receptores sensoriais que ativam algumas áreas cerebrais associadas à recompensa e ao controle motor (CHAMBERS et. al., 2009), e ultimamente reduziu a PSE em relação ao PLA (BASTOS-SILVA et. al., 2016). Interessante que esse efeito central do CHO parece ser mais pronunciado quando a disponibilidade de CHO é baixa (LANE et. al., 2013; ATAIDE-SILVA et. al., 2016). Portanto, parece razoável supor que o efeito central do CHO se tornará mais importante à medida que o exercício progride (ou seja, quando a disponibilidade de CHO está diminuindo). No entanto, como a oxidação de CHO foi mantida elevada nos últimos estágios do exercício com a ingestão de CHO, é possível que uma combinação do efeito central e periférico explique porque as diferenças da PSE entre CHO e PLA aumentaram conforme o exercício progrediu.

Como a PSE foi atenuada durante o exercício de carga constante nas condições CHO (Fig. 7C), o TCR de 10 km começou com uma percepção de desconforto mais baixa nas condições CHO em relação às condições PLA. Além disso, a glicose plasmática (Fig. 7A) e a taxa de oxidação de CHO (Fig. 6C) foram maiores nas condições CHO imediatamente antes do início do TCR de 10 km. Curiosamente, a potência aumentou de ~160 W (~65% $\dot{V}O_{2max}$) durante o exercício de carga constante para ~200 W (~82% $\dot{V}O_{2max}$) durante o TCR nas condições CHO, mas o aumento foi mais discreto em APLA (~175 W, ~69% $\dot{V}O_{2max}$) e JPLA (~155 W, ~67% $\dot{V}O_{2max}$). Um aumento de 65% para 82% do $\dot{V}O_{2max}$ na intensidade do exercício ocorre principalmente devido ao aumento nas taxas de oxidação da glicose muscular e plasmática (ROMIJN e COYLE, 1993). Dado que a ingestão de CHO durante o exercício de ciclismo mostrou aumentar a disponibilidade de glicose sem afetar o uso de glicogênio muscular (CHRYSSANTHOPOULOS et. al., 2004; COYLE et. al., 1986; HARGREAVES et. al., 1988), acreditamos que é provável que a ingestão de CHO tenha melhorado o desempenho do TCR, permitindo uma maior potência em todo o TCR por meio de uma maior taxa de oxidação da glicose plasmática. Dessa forma, como a PSE foi reduzida no início do TCR, nossos dados sugerem que a combinação de vantagens metabólicas e perceptivas pode favorecer o desempenho quando o CHO é ingerido.

Nenhum estudo testou diretamente a hipótese de que a ingestão de CHO durante o exercício seria mais importante quando nenhuma refeição prévia fosse

fornecida. No entanto, o desempenho não melhorou em maior medida com a ingestão de CHO em jejum em comparação com o estado alimentado (isto é, sem interação entre disponibilidade de CHO pré-exercício vs. suplemento). Em vez disso, observamos que o desempenho foi melhorado com a ingestão de CHO, independente da disponibilidade de CHO pré-exercício (Fig. 8). Esses achados reforçam a importância da ingestão de CHO para manter a taxa de oxidação de CHO e reduzir os aumentos da PSE, já que o glicogênio muscular e hepático estarão se esgotando durante o exercício submáximo. Além disso, nossos resultados fornecem evidências de que o jejum pode não ser crítico para o desempenho se o CHO é ingerido imediatamente antes e durante o exercício. Nossos resultados têm relevância prática, pois permite aos atletas programarem seus horários de sono e dieta para otimizar a disponibilidade de CHO em preparação para um evento matinal.

Esta investigação tem algumas limitações que devem ser mencionadas. Nossa amostra não consiste de ciclistas bem treinados, então será importante confirmar se achados semelhantes ocorrem nesses indivíduos. Embora não seja realmente uma limitação, é importante que mais estudos examinem se a captação de glicose é semelhante durante o exercício quando o CHO é ingerido, independente da ingestão do café da manhã. Isso exigirá a infusão de marcadores de glicose antes e durante o exercício. Também seria interessante determinar se há diferenças no drive central durante o exercício submáximo usando o protocolo atual, e se resultados similares são obtidos quando o exercício é maior que 2 horas.

8 CONCLUSÃO

O desempenho em um TCR de ciclismo de 10 km é melhorado pela ingestão de CHO, independente se o exercício foi iniciado em um estado alimentado ou em jejum. Este melhor desempenho pode estar relacionado a uma combinação de alterações metabólicas (maior concentração de glicose plasmática e maior taxa de oxidação de CHO) e perceptivas (PSE reduzida) no final do exercício de carga constante quando o CHO foi ingerido, o que pode ter permitido a maior potência observada durante o TCR. Finalmente, nossos resultados sugerem que o café da manhã pode não ser crítico para o desempenho se o CHO for oferecido em taxas suficientes durante o exercício.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Consumo de CHO como recurso ergogênico para melhorar o desempenho apresenta resultados positivos consolidados na literatura, seja por meio de uma dieta seguida dias antes da competição e/ou suplementação antes, durante ou após o exercício. Alguns cuidados devem ser seguidos quando se deseja ingerir CHO antes do exercício, visto que algumas pessoas são suscetíveis a ocorrência de hipoglicemia de rebote, e o uso de CHO de baixo IG parece para evitá-la, mas nem sempre adiciona melhorias ao desempenho.

O aumento na taxa de absorção e oxidação dos CHO é uma estratégia eficiente para melhorar o desempenho e isso tem sido alcançado com a ingestão de diferentes tipos de CHO, por apresentarem diferentes transportadores de glicose no lúmen intestinal. No entanto, é interessante voltar a atenção para os estudos com jejum e suplementação com CHO, porque foi sugerido que nessa condição, a utilização do CHO exógeno é maior.

Nessa tese foi mostrado que o tempo de prova em um TCR de ciclismo de 10 km foi menor quando o CHO foi ingerido durante o exercício, mas esse efeito foi independente se o exercício foi iniciado em um estado alimentado ou em jejum. Acreditamos que esse resultado é devido a uma combinação de alterações metabólicas e perceptivas no final do exercício de carga constante quando o CHO foi ingerido. Sugerimos que o café da manhã pode não ser crítico para o desempenho se o CHO for oferecido em taxas suficientes durante o exercício.

REFERÊNCIAS

AHLBORG B, BERGSTRÖM J, LMA, EKELUND L, HULTMAN E. Muscle glycogen and muscle electrolytes during prolonged physical exercise. **Acta Physiol Scand.** 1967; 70. 129-142.

ANDRADE-SOUZA VA, BERTUZZI R, DE ARAUJO GG, BISHOP D, LIMA-SILVA AE. Effects of isolated or combined carbohydrate and caffeine supplementation between two daily training sessions on soccer performance. **Appl Physiol Nutr Metab.** 2015; 40(5): 457-63.

ATAIDE-SILVA T, GHIARONE T, BERTUZZI R, STATHIS CG, LEANDRO CG, LIMA-SILVA AE. Cho mouth rinse ameliorates neuromuscular response with lower endogenous cho stores. **Med Sci Sports Exerc.** 2016; 48(9): 1810-20.

BAKER LB, ROLLO I, STEIN KW, JEUKENDRUP AE. Review. Acute effects of carbohydrate supplementation on intermittent sports performance. **Nutrients.** 3 2015; 14;7(7): 5733-63.

BASTOS-SILVA VJ, MELO AA, LIMA-SILVA AE, MOURA FA, BERTUZZI R, DE ARAUJO GG. Carbohydrate mouth rinse maintains muscle electromyographic activity and increases time to exhaustion during moderate but not high-intensity cycling exercise. **Nutrients.** 2016; 8(3): 49.

BAUR DA, SCHROER AB, LUDEN ND, WOMACK CJ, SMYTH SA, SAUNDERS MJ. Glucose–Fructose Enhances Performance versus Isocaloric, but Not Moderate, Glucose. **Med Sci Sports Exerc.** 2014; 46(9): 1778-86.

BERGSTRÖM J, HERMANSEN L, HULTMAN E, SALTIN B. Diet, Muscle Glycogen and Physical Performance. **Acta Physiol Scand.** 1967; 71: 140-150.

BERTUZZI R et. al. Aptidão aeróbia: desempenho esportivo, saúde e nutrição. 2017. Ed.: Manole. Barueri, São Paulo.

BISHOP D, JENKINS DG, MACKINNON LT. The relationship between plasma lactate parameters, Wpeak and 1-h cycling performance in women. **Med Sci Sports Exerc.** 1998; 30(8): 1270-5.

BJORKMAN O, SAHLIN K, HAGENFELDT L, WAHREN J. Influence of glucose and fructose ingestion on the capacity for long-term exercise in well-trained men. **Clin Physiol.** 1984; 4, 483 - 494.

BOJE O. Arbeits hypoglykämie nach Glucose Eingabe. **Skand Arch Physiol.** 1940; 83:30-312.

BROWN LJ, MIDGLEY AW, VINCE RV, MADDEN LA, MCNAUGHTON LR. High versus low glycemic index 3-h recovery diets following glycogen-depleting exercise has no effect on subsequent 5-km cycling time trial performance. **J Sci Med Sport.** 2013; 16(5): 450-4.

BROOKS GA. Anaerobic threshold: review of the concept and directions for future research. **Med Sci Sports Exerc.** 1985; 17(1): 22-34.

BURDON CA, SPRONK I, CHENG HL, O'CONNOR HT. Effect of glycemic index of a pre-exercise meal on endurance exercise performance: a systematic review and meta-analysis. **Sports Med.** 2017; 47 (6): 1087-1101.

BURKE LM, READ RS. Dietary supplements in sport. **Sports Med.** 1993; 15(1): 43-65.

BURKE LM, HAWLEY JA, WONG SH, JEUKENDRUP AE. Carbohydrates for training and competition. **J Sports Sci.** 2011; 29 Suppl 1:S17-27.

BURKE LM, ROSS ML, GARVICAN-LEWIS LA, WELVAERT M, HEIKURA IA, FORBES SG, MIRTSCHEIN JG, CATO LE, STROBEL N, SHARMA AP, HAWLEY JA. Low carbohydrate, high fat diet impairs exercise economy and negates the performance benefit from intensified training in elite race walkers. **J Physiol.** 2017; 1;595(9): 2785-2807.

CHAMBERS, E.S., BRIDGE, M.W., & JONES, D.A. Carbohydrate sensing in the human mouth: effects on exercise performance and brain activity. **J Physiol.** 2009; 587(8): 1779–1794.

CHEN YJ, WONG SH, WONG CK, LAM CW, HUANG YJ, SIU PM. Effect of preexercise meals with different glycemic indices and loads on metabolic responses and endurance running. **Int J Sport Nutr Exerc Metab.** 2008; 18(3): 281-300.

CHEN YC, TRAVERS RL, WALHIN JP, GONZALEZ JT, KOUMANOV F, BETTS JA, THOMPSON D. Feeding influences adipose tissue responses to exercise in overweight men. **Am J Physiol Endocrinol Metab.** 2017; 313(1): E84-E93.

CRAIG CL, MARSHALL AL, SJÖSTRÖM M, BAUMAN AE, BOOTH ML, AINSWORTH BE, PRATT M, EKELUND U, YNGVE A, SALLIS JF, OJA P. International physical activity questionnaire: 12-country reliability and validity. **Med Sci Sports Exerc.** 2003; 35(8):1381-95.

CHRISTENSEN EH & HANSEN O. V. Respiratorischer Quotient und O₂-Aufnahme. **Scand Arch Physiol.** 1939; 81: 180 – 89.

CHAMBERS ES, BRIDGE MW, JONES DA. Carbohydrate sensing in the human mouth: effects on exercise performance and brain activity. **J Physiol.** 2009; 587(8):1779–1794.

CHRYSSANTHOPOULOS C, WILLIAMS C. Pre-exercise carbohydrate meal and endurance running capacity when carbohydrates are ingested during exercise. **Int J Sports Med.** 1997; 18(7): 543-8.

CHRYSSANTHOPOULOS C, WILLIAMS C, NOWITZ A, BOGDANIS G. Skeletal muscle glycogen concentration and metabolic responses following a high glycaemic carbohydrate breakfast. **J Sports Sci.** 2004; 22(11-12): 1065-71.

CHRYSSANTHOPOULOS, C., WILLIAMS, C., NOWITZ, A., KOTSIPOULOU, C. AND VLECK, V. The effect of a high carbohydrate meal on endurance running capacity. **Int J Sport Nutr Exerc Metab.** 2002; 12: 157 – 171.

CLUBERTON LJ, MCGEE SL, MURPHY RM, HARGREAVES M. Effect of carbohydrate ingestion on exercise-induced alterations in metabolic gene expression. **J Appl Physiol (1985).** 2005; 99(4):1359-63.

COGGAN AR & COYLE EF. Reversal of fatigue during prolonged exercise by carbohydrate infusion or ingestion. **J Appl Physiol.** 1987; 63, 2388 - 2395.

COGGAN AR & COYLE, EF. Effect of carbohydrate feedings during high-intensity exercise. **J Appl Physiol.** 1988; 65, 1703 - 1709.

CORREIA-OLIVEIRA CR, BERTUZZI R, DAL'MOLIN KISS MA, LIMA-SILVA AE. Strategies of dietary carbohydrate manipulation and their effects on performance in cycling time trials. **Sports Med.** 2013; 43(8): 707-19.

COYLE EF, HAGBERG JM, HURLEY BF, MARTIN WH, EHSANI AA, HOLLOSZY JO. Carbohydrate feeding during prolonged strenuous exercise. **J Appl Physiol.** 1983; 55, 230 - 235.

COUTO PG & BERTUZZI R. High Carbohydrate Diet Induces Faster Final Sprint and Overall 10,000-m Times of Young Runners. **Pediatr Exerc Sci.** 2015; 27: 355 -363.

COUTO PG, LIMA YM, SOARES ZP, BERTUZZI R, DE-OLIVEIRA FR, LIMA-SILVA AE. Effect of Fat- and Carbohydrate-Rich Diets on Metabolism and Running Performance in Trained Adolescent Boys. **J Pediatr Gastroenterol Nutr.** 2014; 59(3): 380-5.

DAVISON GW, MCCLEAN C, BROWN J, MADIGAN S, GAMBLE D, TRINICK T, DULY E. The effects of ingesting a carbohydrate-electrolyte beverage 15 minutes prior to high-intensity exercise performance. **Res Sports Med.** 2008. 16(3): 155-66.

DOHM GL, BEEKER RT, ISRAEL RG, TAPSCOTT EB. Metabolic responses to exercise after fasting. **J Appl Physiol (1985).** 1986; 61(4):1363-8.

FEBBRAIO MA, KEENAN J, ANGUS DJ, CAMPBELL SE, GARNHAM AP. Preexercise carbohydrate ingestion, glucose kinetics, and muscle glycogen use: effect of the glycemic index. **J Appl Physiol.** 2000; 89:1845-51.

FOSTER-POWELL K, HOLT SA, BRAND-MILLER JC. International table of glycemic index and glycemic load values: 2002. **Am J Clin Nutr.** 2002; 76(1): 5-56.

FOSTER C, COSTILL DL, FINK WJ. Effects of preexercise feedings on endurance performance. **Med Sci Sports Exerc.** 1979; 11:1-5.

FOX SI, Fisiologia humana. 2007, 7^a ed. Ed.: Manole, Barueri: São Paulo.

GALLOWAY SD, LOTT MJ, TOULOUSE LC. Pre-exercise carbohydrate feeding and high-intensity exercise capacity: effects of timing 1 of intake and carbohydrate concentration. **Int J Sport Nutr Exerc Metab.** 2014; 24(3): 258-66.

GONZALEZ JT, FUCHS CJ, BETTS JA, VAN LOON LJ. Liver glycogen metabolism during and after prolonged endurance-type exercise. **Am J Physiol Endocrinol Metab.** 2016; 1;311(3): E543-53.

GORDON B, KOHN LA, LEVINE SA, MATTON M, SCRIVER WM, WHITING WB. Sugar content of the blood in runners following a marathon race with especial reference to the prevention of hypoglycemia: further observations. **JAMA.** 1925; 85(7): 508-509.

GOMES RV, MOREIRA A, COUTTS AJ, CAPITANI CD, AOKI MS. Effect of carbohydrate supplementation on the physiological and perceptual responses to prolonged tennis match play. **J Strength Cond Res.** 2014; 28(3): 735-41.

GRANATA C, OLIVEIRA RS, LITTLE JP, RENNER K, BISHOP DJ. Mitochondrial adaptations to high-volume exercise training are rapidly reversed after a reduction in training volume in human skeletal muscle. **FASEB J.** 2016; 30(10): 3413-3423.

GEISLER CE, HEPLER C, HIGGINS MR, RENQUIST BJ. Hepatic adaptations to maintain metabolic homeostasis in response to fasting and refeeding in mice. **Nutr Metab (Lond).** 2016; 26;13:62.

HARGREAVES M, COSTILL DL, COGGAN A, FINK WJ; NISHIBATA I. Effect of carbohydrate feedings on muscle glycogen utilization and exercise performance. **Med Sci Sports Exer.** 1984; 16, 219 - 222.

HERMANSEN L, HULTMAN E, SANTIL B. Muscle glycogen during prolonged severe exercise. **Acta Physiol Scand.** 1967; 71: 129 -39.

HIBBERT AW, BILLAUT F, VARLEY MC, POLMAN RCJ. Familiarization Protocol Influences Reproducibility of 20-km Cycling Time-Trial Performance in Novice Participants. **Frontiers in Physiology.** 2017; 8: 488.

HULSTON CJ, WALLIS GA, JEUKENDRUP AE. Exogenous cho oxidation with glucose plus fructose intake during exercise. **Med Sci Sports Exerc.** 2009; 41(2): 357-63.

IVY JL, KATZ AL, CUTLER CL, SHERMAN WM, COYLE EF. Muscle glycogen synthesis after exercise: effect of time of carbohydrate ingestion. **J Appl Physiol.** 1988; 64(4): 1480-5.

JAMURTAS AZ, TOFAS T, FATOUROS I, NIKOLAIDIS MG, PASCHALIS V, YFANTI V, RAPTIS S, KOUTEDAKIS Y. The effects of low and high glycemic index foods on exercise performance and beta-endorphin responses. **J Int Soc Sports Nutr.** 2011; 20: 8:15.

JEUKENDRUP AE. Possible links between nutrition and overtraining. **Vlaams Tijdschrift voor Sportgeneeskunde.** 1999a; 80:37 - 45.

JEUKENDRUP AE, RABEN A, GIJSEN A, STEGEN JHCH, BROUNS F, SARIS WHM, WAGENMAKERS AJM. Glucose kinetics during prolonged exercise in highly trained human subjects: effect of glucose ingestion. **J Physiol.** 1999b; 515(2): 579-589.

JEUKENDRUP AE, WAGENMAKERS AJM, STEGEN JHCH, GIJSEN AP, BROUNS F, SARIS WHM. Carbohydrate ingestion can completely suppress endogenous glucose production during exercise. **Am J Physiol.** 1999c; 276(4 Pt 1): E672-83.

JENTJENS RL, JEUKENDRUP AE. High rates of exogenous carbohydrate oxidation from a mixture of glucose and fructose ingested during prolonged cycling exercise. **Br J Nutr.** 2005; 93:485 - 92.

JEUKENDRUP, AE. Carbohydrate intake during exercise and performance. **Nutrition.** 2004; 20(7/8).

JEUKENDRUP AE, KILLER SC. The Myths Surrounding Pre-Exercise Carbohydrate Feeding. **Ann Nutr Metab.** 2010; 57(suppl 2): 18–25.

JEUKENDRUP A, BROUNS F, WAGENMAKERS AJ, SARISWH. Carbohydrate–electrolyte feedings improve 1 h time trial cycling performance. **Int J Sports Med.** 1997; 18: 125–9.

JEUKENDRUP AE, HOPKINS S, ARAGON-VARGAS LF, HULSTON C. No effect of carbohydrate feeding on 16 km cycling time trial performance. **Eur J Appl Physiol.** 2008; 104: 831–837.

JENTJENS RL, CALE C, GUTCH C, JEUKENDRUP AE. Effects of pre-exercise ingestion of differing amounts of carbohydrate on subsequent metabolism and cycling performance. **Eur J Appl Physiol.** 2003; 88: 444-452.

KROGH A & LINDHARD J. The relative value of fat and carbohydrate as sources of muscular energy. With appendices on the correlation between standard metabolism and the respiratory quotient during rest and work. **Bioch XIV**. 1920.

KIRWAN JP, O'GORMAN DJ, CYR-CAMPBELL D. Effects of a moderate glyceimic meal on exercise duration and substrate utilization. **Med Sci Sports Exerc**. 2001; 33 (9): 1517-23.

LAURSEN PB, FRANCIS GT, ABBISS CR, NEWTON MJ, NOSAKA K. Reliability of time-toexhaustion versus time-trial running tests in runners. **Med Sci Sports Exerc**. 2007; 39(8): 1374–9.

LANE SC, BIRD SR, BURKE LM, HAWLEY JA. Effect of a carbohydrate mouth rinse on simulated cycling time-trial performance commenced in a fed or fasted state. **Appl Physiol Nutr Metab**. 2013; 38(2): 134-9.

LEE JD, STERRETT LE, GUTH LM, KONOPKA AR, MAHON AD. The effect of pre-exercise carbohydrate supplementation on anaerobic exercise performance in adolescent males. **Pediatr Exerc Sci**. 2011; 23(3): 344-54.

LEVINE SA, GORDON B, DERICK CL. Some changes in the chemical constituents of the blood following a marathon race with special reference to the development of hypoglycemia. **JAMA**. 1924; 82(22):1778-1779.

LIMA-SILVA AE, BERTUZZI RC, PIRES FO, FRONCHETTI L, GEVAERD MS, DE-OLIVEIRA FR. A low carbohydrate diet affects autonomic modulation during heavy but not moderate exercise. **Eur J Appl Physiol**. 2009b; 108(6): 1133-40.

LIMA-SILVA AE, DE-OLIVEIRA FR, NAKAMURA FY, GEVAERD MS. Effect of carbohydrate availability on time to exhaustion in exercise performed at two different intensities. **Braz J Med Biol Res**. 2009a; 42(5): 404-412.

LIMA-SILVA AE, PIRES FO, BERTUZZI R, SILVA-CAVALCANTE MD, OLIVEIRA RS, KISS MA, BISHOP D. Effects of a low- or a high-carbohydrate diet on performance, energy system contribution and metabolic responses during supramaximal exercise. **Appl Physiol Nutr Metab**. 2013; 38(9): 928-34.

LIMA-SILVA AE, PIRES FO, BERTUZZI RC, LIRA FS, CASARINI D, KISS MA. Low carbohydrate diet affects the oxygen uptake on-kinetics and rating of perceived exertion in high intensity exercise. **Psychophysiology**. 2011; 48(2): 277-84.

MACDERMID PW, STANNARD S, RANKIN D, SHILLINGTON D. A comparative analysis between the effects of galactose and glucose supplementation on endurance performance. **Int J Sport Nutr Exerc Metab.** 2012; 22(1): 24-30.

MASSICOTTE D, PÉRONNET F, BRISSON G, BOIVIN L, HILLAIRE-MARCEL C. Oxidation of exogenous carbohydrate during prolonged exercise in fed and fasted conditions. **Int J Sports Med.** 1990; 11(4):253-8.

MCCONELL G, FABRIS S, PROIETTO J, HARGREAVES M. Effect of carbohydrate ingestion on glucose kinetics during exercise. **J Appl Physiol.** 1994; 77(3): 1537-41.

MCCONELL G, KLOOT K, HARGREAVES M. Effect of timing of carbohydrate ingestion on endurance exercise performance. **Med Sci Sports Exerc.** 1996; 28(10): 1300-4.

MCCONELL G, SNOW RJ, PROIETTO J, HARGREAVES M. Muscle metabolism during prolonged exercise in humans: influence of carbohydrate availability. **J Appl Physiol.** 1999; 87(3): 1083-6.

MCGAWLEY K, SHANNON O, BETTS J. Ingesting a high-dose carbohydrate solution during the cycle section of a simulated Olympic distance triathlon improves subsequent run performance. **Appl. Physiol. Nutr. Metab.** 2012; 37: 664–671.

MCGLORY C, MORTON JP. The effects of postexercise consumption of high-molecular-weight versus low-molecular-weight carbohydrate solutions on subsequent high-intensity interval-running capacity. **Int J Sport Nutr Exerc Metab.** 2010; 20(5): 361-9.

MOORE L, SZPALEK AAHM, MCNAUGHTON BLR. Pre-exercise High and Low Glycemic Index Meals and Cycling Performance in Untrained Females: Randomized, Cross-Over Trial of Efficacy. **Res Sports Med.** 2013; 21(1): 24-36.

MOSELEY L, LANCASTER GI, JEUKENDRUP AE. Effects of timing of pre-exercise ingestion of carbohydrate on subsequent metabolism and cycling performance. **Eur J Appl Physiol.** 2003; 88:453-458.

MUHAMED AMC, MOHAMED NG, ISMAIL N, AZIZ AR, SINGH R. Mouth rinsing improves cycling endurance performance during Ramadan fasting in a hot humid environment. **Appl Physiol Nutr Metab.** 2014; 39(4): 458-64.

O'NEAL EK, POULOS SP, WINGO JE, RICHARDSON MT, BISHOP PA. Post-prandial carbohydrate ingestion during 1-h of moderate-intensity, intermittent cycling does not improve mood, perceived exertion, or subsequent power output in recreationally-active exercisers. **J Int Soc Sports Nutr.** 2013; 24;10(1):4.

PFEIFFER B, STELLINGWERFF T, ZALTAS E, JEUKENDRUP AE. Oxidation of solid versus liquid CHO sources during exercise. **Med Sci Sports Exerc.** 2010a; 42(11): 2030-7.

PFEIFFER B, STELLINGWERFF T, ZALTAS E, JEUKENDRUP AE. CHO oxidation from a CHO gel compared with a drink during exercise. **Med Sci Sports Exerc.** 2010b; 42(11): 2038-45.

PNG W, BHASKARAN K, SINCLAIR AJ, AZIZ AR. Effects of ingesting low glycemic index carbohydrate food for the sahur meal on subjective, metabolic and physiological responses, and endurance performance in Ramadan fasted men. **Int J Food Sci Nutr.** 2014; 65(5): 629–636.

RILEY ML, ISRAEL RG, HOLBERT D, TAPSCOTT EB, DOHM GL. Effect of carbohydrate ingestion on exercise endurance and metabolism after a 1-day fast. **Int J Sports Med.** 1988; 9(5):320-4.

RODRIGUEZ NR, DI MARCO NM, LANGLEY S. American College of Sports Medicine position stand. Nutrition and athletic performance. **Med Sci Sports Exerc.** 2009; 41: 709–31.

ROLLO I, HOMEWOOD G, WILLIAMS C, CARTER J, GOOSEY-TOLFREY VL. The influence of carbohydrate mouth rinse on self-selected intermittent running performance. **Int J Sport Nutr Exerc Metab.** 2015; 25(6): 550-8.

ROLLO I, WILLIAMS C, NEVILL M. Influence of ingesting versus mouth rinsing a carbohydrate solution during a 1-h run. **Med Sci Sports Exerc.** 2011; 43(3): 468-75.

ROWLANDS DS, THORBURN MS, THORP RM, BROADBENT S, SHI X. Effect of graded fructose coingestion with maltodextrin on exogenous ¹⁴C-fructose and ¹³C-glucose oxidation efficiency and high-intensity cycling performance. **J Appl Physiol.** 2008; 104(6): 1709-19.

ROSSET R, LECOULTRE V, EGLI L, CROS J, DOKUMACI AS, ZWYGART K, BOESCH C, KREIS R, SCHNEITER P, TAPPY L. Postexercise repletion of muscle

energy stores with fructose or glucose in mixed meals. **Am J Clin Nutr March.** 2017; 105(3): 609-617.

ROLLO I, WILLIAMS C, NEVILL M. Influence of Ingesting versus Mouth Rinsing a Carbohydrate Solution during a 1-h Run. **Med Sci Sports Exer.** 2010; 43(3): 468-75.

ROLLO I, WILLIAMS C. Influence of ingesting a carbohydrate-electrolyte solution before and during a 1-hr running performance test. **Int J Sport Nutr Exerc Metab.** 2009; 19(6): 645-58.

RUSSELL, M.; BENTON, D.; KINGSLEY, M. Carbohydrate ingestion before and during soccer match play and blood glucose and lactate concentrations. **J. Athl. Train.** 2014; 49, 447–453.

ROTHMAN DL, MAGNUSSON I, KATZ LD, SHULMAN RG, SHULMAN GI. Quantitation of hepatic glycogenolysis and gluconeogenesis in fasting humans with ¹³C NMR. **Science.** 1991; 25;254(5031):573-6.

SAHLIN K, KATZ A, BROBERG S. Tricarboxylic acid cycle intermediates in human muscle during prolonged exercise. **Am J Physiol.** 1990; 259(5 Pt 1): C834 - 41.

SHERMAN WM, COSTILL DL. The marathon: dietary manipulation to optimize performance. **Am J Sports Med.** 1984; 12(1): 44-51.

SKEIN M, DUFFIELD R, KELLY BT, MARINO FE. The effects of carbohydrate intake and muscle glycogen content on self-paced intermittent-sprint exercise despite no knowledge of carbohydrate manipulation. **Eur J Appl Physiol.** 2012; 112(8): 2859-70.

STEVENSON E, WILLIAMS C, MCCOMB G, ORAM C. Improved recovery from prolonged exercise following the consumption of low glycemic index carbohydrate meals. **Int J Sport Nutr Exerc Metab.** 2005; 15:333–349.

STANNARD SR, CONSTANTINI NW, MILLER JC. The effect of glycemic index on plasma glucose and lactate levels during incremental exercise. **Int J Sport Nutr Exerc Metab.** 2000; 10 (1): 51-61.

SOUGLIS AG, CHRYSANTHOPOULOS CI, TRAVLOS AK, ZORZOU AE, GISSIS IT, PAPADOPOULOS CN, SOTIROPOULOS AA. The effect of high vs. low

carbohydrate diets on distances covered in soccer. **J Strength Cond Res.** 2013; 27(8): 2235-47.

TAYLOR R, MAGNUSSON II, ROTHMAN DL, CLINE GW, CAUMO A, COBELLI C, SHULMAN GI. Direct assessment of liver glycogen storage by ¹³C nuclear magnetic resonance spectroscopy and regulation of glucose homeostasis after a mixed meal in normal subjects. **J Clin Invest.** 1996; 97(1): 126-32.

THOMAS DE, BROTHERHOOD JR, BRAND JC. Carbohydrate feeding before exercise: effect of glycemic index. **Int J Sports Med.** 1991; 12:180-6.

TSINTZAS OK, WILLIAMS C, BOOBIS L, GREENHAFF P. Carbohydrate ingestion and single muscle fiber glycogen metabolism during prolonged running in men. **J Appl Physiol.** 1996; 81:801.

TEMESI J, JOHNSON NA, RAYMOND J, BURDON CA, O'CONNOR HT. Carbohydrate ingestion during endurance exercise improves performance in adults. **J Nutr.** 2011; 7, 5733-5763.

VANDENBOGAERDE TJ & HOPKINS WG. Meta-analysis. Effects of acute carbohydrate supplementation on endurance performance. **Sports Med.** 2011; 41(9): 773-92.

WAX B, BROWN SP, WEBB HE, KAVAZIS AN. Effects of carbohydrate supplementation on force output and time to exhaustion during static leg contractions superimposed with electromyostimulation. **J Strength Cond Res.** 2012; 26(6): 1717-23.

WILLIAMS C, SERRATOSA L. Nutrition on match day. **J Sports Sci.** 2006; 24(7):687-97. Review.

WIDRICK JJ, COSTILL DL, FINK WJ, HICKEY MS, McCONNELL GK, TANAKA H. Carbohydrate feedings and exercise performance: effect of initial muscle glycogen concentration. **J Appl Physiol.** 1993; 74(6): 2998-3005.

WONG HS, SUN FH, CHEN YJ, LI C, ZHANG YJ, HUANG YW. Effect of pre-exercise carbohydrate diets with high vs low glycemic index on exercise performance: a meta-analysis. **Nutr Rev.** 2017; 1;75(5): 327-338.

WONG SH, CHAN OW, CHEN YJ, HU HL, LAM CW, CHUNG PK. Effect of preexercise glycemic-index meal on running when CHO-electrolyte solution is consumed during exercise. **Int J Sport Nutr Exerc Metab.** 2009; 19(3):222- 42.

WU CL, WILLIAMS C. A low glycemic index meal before exercise improves endurance running capacity in men. **Int J Sport Nutr Exerc Metab.** 2006; 16(5):510-27.

YOSHIDA T, CHIDA M, ICHIOKA M, SUDA Y. Blood lactate parameters related to aerobic capacity and endurance performance. **Eur J Appl Physiol Occup Physiol.** 1987; 56(1): 7-11.

APÊNCIDE A – ARTIGO EXPERIMENTAL: CYCLING TT PERFORMANCE IS IMPROVED BY CARBOHYDRATE INGESTION DURING EXERCISE REGARDLESS OF A FED OR FASTED STATE.

REVISTA: “SCANDINAVIAN JOURNAL OF MEDICINE AND SCIENCE IN SPORTS”

Original investigation

S. K. Lears^{1,2}, T. Ghiarone¹, M. D. Silva-Cavalcante¹, V. A. Andrade-Souza¹, T. Ataide-Silva¹, R. Bertuzzi³, G. G. de Araujo², G. McConell⁴, & A. E. Lima-Silva^{1,5}.

¹Sport Science Research Group, Academic Center of Vitoria, Federal University of Pernambuco, Vitoria de Santo Antao, Pernambuco, BRAZIL;

²Sciences Applied in Sports Research Group, Department of Physical Education, Federal University of Alagoas, Maceio, BRAZIL;

³Endurance Performance Research Group, School of Physical Education and Sport, University of São Paulo, São Paulo, BRAZIL;

⁴Institute for Health and Sport, Victoria University, Footscray, Victoria, AUSTRALIA;

⁵Human Performance Research Group, Academic Department of Physical Education, Technological Federal University of Parana, Curitiba, Parana, BRAZIL.

Corresponding author:

A. E. Lima-Silva

Human Performance Research Group, Technological Federal University of Parana. Pedro Gusso Street 2601. Neoville, Parana, Brazil. Postal Code: 81310900. email: aesilva@utfpr.edu.br. Phone/fax number: +55 41 32681749.

Running head: CHO intake, fasting and endurance performance

ABSTRACT

Purpose: We tested the hypothesis that carbohydrate ingestion during exercise improves time trial (TT) performance and that this carbohydrate-induced improvement is greater when carbohydrates are ingested during exercise in a fasted rather than a fed state. **Methods:** Nine males performed 105 min of constant-load exercise (50% of the difference between the first and second lactate thresholds), followed by a 10-km cycling TT. Exercise started at 9 am, 3 h after either breakfast (FED, 824 kcal, 67% carbohydrate) or a 15-h overnight fast (FAST). Before exercise, after every 15 min of exercise and at 5 km of the TT, participants ingested 2 mL.kg⁻¹ body mass of a non-caloric sweetened solution containing either carbohydrate (8% of maltodextrin, CHO) or placebo (0% carbohydrate, PLA). **Results:** Irrespective of the fasting state, when carbohydrate was ingested during exercise, the rating of perceived exertion (RPE) was lower throughout the constant-load exercise, while the plasma glucose concentration and carbohydrate oxidation were higher during the last stages of the constant-load exercise ($P < 0.05$). Consequently, TT performance was faster when carbohydrate was ingested during exercise (18.5 ± 0.3 and 18.7 ± 0.4 min for the FEDCHO and FASTCHO conditions, respectively) than when the placebo was ingested during exercise (20.2 ± 0.8 and 21.7 ± 1.4 min for the FEDPLA and FASTPLA conditions, respectively), regardless of fasting. **Conclusion:** These findings indicate that even when breakfast is provided before exercise, carbohydrate ingestion during exercise is still beneficial for exercise performance. However, ingesting carbohydrate during exercise can overcome a lack of breakfast.

Key-words: *fasting; liver glycogen; carbohydrate supplementation; endurance performance.*

INTRODUCTION

The importance of carbohydrate supplementation during exercise for endurance performance during prolonged exercise has been reported over many years.¹ However, most laboratory studies investigating the effect of carbohydrate ingestion during exercise on performance have been performed in an overnight fasted state in an effort to maintain a methodological control of the experiment (for review, see ²). Therefore, the results of such studies may not be indicative of real life and provide incomplete information about the importance of carbohydrate ingestion during exercise on exercise performance.

Overnight fasting results in a substantial degree of liver glycogen depletion, while a carbohydrate-rich breakfast replenishes liver glycogen.³ The reduction in pre-exercise liver glycogen by overnight fasting results in a greater decrease in blood glucose concentration during prolonged exercise, which likely contributes to the observed impairment of endurance performance, compared to when exercise is commenced following breakfast.^{4,5} In addition, muscle glucose uptake during exercise is increased when carbohydrate is ingested during exercise in a fasted state compared to a fed state.⁵ Therefore, we hypothesize that carbohydrate ingestion during exercise results in greater improvement in prolonged exercise performance when the exercise is commenced in a fasted rather than a fed state. However, we are not aware of any study that has directly tested this hypothesis.

Interestingly, Chryssanthopoulos et al⁴ examined the effect of carbohydrate ingestion during exercise on time to task failure during an exercise performed at 70% of maximal oxygen uptake ($\dot{V}O_2\text{max}$) commencing in a fasted or fed state. Time to task failure was longer when combining carbohydrate ingestion during exercise with a pre-exercise meal than with carbohydrate ingestion during exercise but without a pre-exercise meal (fasting).⁴

Unfortunately, conditions without carbohydrate ingestion during the exercise (placebo) were not included, which prevents determination of whether carbohydrate ingestion during exercise is more important when exercise begins after a fasting period. In a further study, however, the same research team compared carbohydrate and placebo ingestion during a task-to-failure exercise ($70\% \dot{V}O_2\text{max}$) in a fed state.⁶ Although time to exhaustion was longer with carbohydrate ingestion during the exercise than in the placebo group, whether the benefits of carbohydrate ingestion during exercise have different effects in a fasted compared to a fed state was not assessed in that study, as there were no fasting conditions. In addition, both studies used time to exhaustion at a constant workload as their performance measure. The time to exhaustion test is more variable than a time trial (TT) exercise, and a TT exercise is also more relevant to real world competitions.⁷ Therefore, it is important to explore this question during more realistic scenarios of competition such as during a TT exercise.

The objective of the present study was to determine the impact of carbohydrate or placebo ingestion during a 105-min constant-load exercise followed by a 10-km cycling TT in both fed and fasted states. We hypothesized that carbohydrate ingestion during exercise would improve TT performance, but this carbohydrate-induced improvement would be greater when carbohydrate is ingested during exercise in a fasted rather than a fed state.

METHODS

Participants

Nine healthy males (28 ± 6 years old, 178.9 ± 4.6 cm, 79.8 ± 9.6 kg, $10.6 \pm 4.7\%$ body fat, $\dot{V}O_2\text{max}$ 3.26 ± 0.33 L.min⁻¹ and 41.2 ± 3.7 mL.min.kg⁻¹) volunteered to participate in this study. Participants exercised ~ 8 h.week⁻¹ including cycling recreationally ~ 80 km.week⁻¹ and were classified as physically active according to the International Physical Activity Questionnaire.⁸ The required sample size was estimated using G*Power software (Heinrich-

Heine-University Düsseldorf, version 3.1.9.2, Düsseldorf, Germany). The input parameters used were an alpha of 0.05 and a desired power of 0.80. Because no previous study has been conducted using a similar experimental design with multiple comparisons, an expected partial eta squared of 0.15 (moderate) for the interaction between state and supplement was used.⁹ Therefore, the required sample size was estimated to be eight participants. Participants were informed of all risks and benefits before providing written informed consent and then answered a Physical Activity Readiness Questionnaire to exclude potential cardiovascular risks. The Ethics Research Committee of the Federal University of Pernambuco approved this study (approval number: 790.169).

Experimental procedures

Participants visited the laboratory on six different occasions (Fig. 1). During the first visit, participants completed a 24-h diet recall form and performed anthropometric measurements, a cycling graded exercise test to exhaustion (GXT) and, after a recovery period, familiarization with TT procedures. During the second visit, at least three days later, participants completed an additional 24-h diet recall form and a full familiarization session with the experimental protocol. Participants had the opportunity to practice a 10-km TT twice (one after the GXT and another after the constant-load exercise in the second visit) to reduce the influence of learning on TT performance.¹⁰ From the third to sixth visits, participants performed the experimental sessions, with a 1-week washout period (Fig. 1). Two experimental trials were performed in the morning in a fed state (FED, i.e., three hours after breakfast), and two trials were performed in the morning in a fasted state (FAST, i.e., after a 15-h overnight fast with no breakfast). Participants ingested a carbohydrate or a placebo solution immediately before and periodically during the exercise. Therefore, four experimental conditions were performed: FEDPLA, FEDCHO, FASTPLA and FASTCHO.

Experimental sessions were performed using an incomplete, counterbalanced measures “balanced Latin Square” design. The carbohydrate and placebo drinks consumed during the exercise were offered in a double-blind manner.

All tests started at the same time of day (9 am) in a stable temperature and relative humidity environment (21.1 ± 1.2 °C and $35.0 \pm 2.8\%$, respectively). A fan was placed in front of the participant to minimize thermal stress. All trials were performed on a bicycle coupled to a cyclosimulator (Computrainer ProTM, RacerMate®, Seattle, USA). The seat height was adjusted for each participant during the first visit and reproduced for all subsequent sessions. Exercise and food ingestion were controlled two days before each experimental test to maintain muscle and hepatic glycogen at similar levels across the conditions. Participants were also asked to refrain from alcohol and caffeine 24 h before each experimental session.

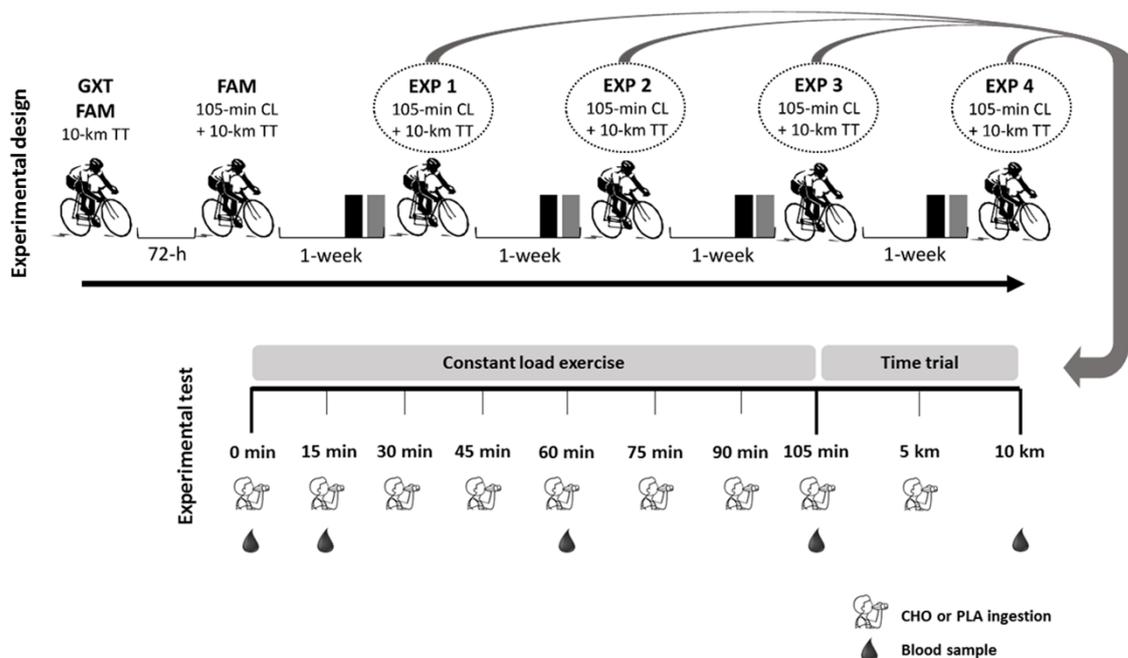


FIGURE 1. Experimental design. First visit: graded exercise test (GXT) followed by familiarization (FAM) with the 10-km time trial (TT). Second visit: a complete FAM session with the experimental protocol [105 min constant load (CL) + 10 km TT]. EXP 1 to 4: the four experimental conditions performed in a counterbalanced order: FAST + PLA during the exercise, FAST + CHO during the exercise, FED + PLA during the exercise, and FED + CHO

during the exercise. Black bars represent two days before an experimental trial in which participants followed their usual diet (~2,800 kcal) and performed standardized, 60-min cycling training at 50% of the difference between the first and second lactate thresholds. Gray bars represent the day before an experimental trial in which participants followed their usual diet and replaced their last meal by a shake at 6 pm (650 kcal). No exercise was performed on this day. A second shake (breakfast) was ingested at 6 am on the experimental day in the FED condition only (824 kcal). Times at which beverage was ingested and blood samples were taken during the experimental trial are shown at the bottom of the figure. CHO: carbohydrate; PLA: placebo.

Graded exercise test (GXT) with lactate threshold

A previously validated GXT, starting with 50 W and increasing 30 W every 4 min, with a 1-min rest interval was performed until voluntary exhaustion.¹¹ Blood capillary puncture was performed during rest intervals. Pedal cadence was maintained between 70-80 rpm throughout the GTX. Oxygen consumption ($\dot{V}O_2$) and carbon dioxide production ($\dot{V}CO_2$) were measured breath-by-breath using an on-line gas analyzer (Cortex Metalyzer 3B, Cortex Biophysik Leipzig, Germany). The O₂ and CO₂ sensors were calibrated according to the manufacturer's specifications before each test with gas containing known concentrations of O₂ (12%) and CO₂ (5%). The volume of expired air was measured by a bidirectional flow sensor that was calibrated before each test with a 3-L syringe. Heart rate (HR) was continually monitored using a HR transmitter coupled to the gas analyzer.

We considered the $\dot{V}O_{2max}$ to be the highest 60-s average value registered during the test. The first lactate threshold (LT1) was identified by two experienced researchers who visually identified the first work rate at which the lactate concentration suddenly increased above the resting level.^{12,13} The two researchers agreed in 100% of the cases. The second lactate threshold (LT2) was identified using a modified Dmax-method,¹⁴ which has been demonstrated to provide a valid estimate of the maximal steady state of lactate.¹⁵ Briefly, the lactate-work rate curve was adjusted with a third order polynomial regression from LT1 until

peak power output, and the maximal perpendicular distance to a straight line connecting LT1 to peak power output was assumed as LT2.

Diet and exercise control during the two days before each experimental trial

During the two days preceding each experimental trial, participants followed a standardized diet and exercise protocol (Fig. 1). Water was consumed during the two days preceding the first experimental trial ad libitum and replicated during the two days preceding the following experimental trials. The diet on the first of these two days comprised six meals: breakfast, morning snack, lunch, afternoon snack, dinner and supper. This diet had the same energy and macronutrient composition as the participants' usual macronutrient consumption. The usual macronutrient consumption was measured from the two 24-h diet recall forms completed at visit 1 and 2. The nutritional values of foods reported on the 24-h diet recalls (kcal, carbohydrate, protein and fat) were analyzed using a computer program designed to perform nutritional calculations (Nutwin, Nutrition Support Program, version 1.5, Department of Health Informatics, Federal University of São Paulo, Brazil). The usual energy and macronutrient intake amounts of participants were $2,866 \pm 410$ kcal (36.7 ± 8.2 kcal.kg⁻¹), $57 \pm 6\%$ carbohydrates (409.9 ± 91.1 g, 5.3 ± 1.5 g.kg⁻¹), $22 \pm 3\%$ lipids (70.6 ± 12.1 g, 0.9 ± 0.2 g.kg⁻¹) and $21 \pm 3\%$ protein (147.3 ± 15.9 g, 1.9 ± 0.4 g.kg⁻¹). Participants also performed standardized control exercises on this day (60 min of constant-load exercise at 50% of the difference between LT1 and LT2).

On the second day, no exercise was performed, and participants followed the same diet as that of the previous day, except that their dinner at 6 pm was replaced by a standardized shake. The shake consisted of 32 g of skim milk, 32 g of whole milk, 42 g of maltodextrin, 12 g of oats, 30 g of chia, 8 g Brazilian chestnuts (two units) and 80 g of banana (two units) diluted in 300 mL of water [650 kcal, 60% (98.4 g) carbohydrate, 25% (16.9 g)

lipids and 15% (24.8 g) protein]. No supper was consumed. Altogether, this second day involved consumption of $2,874 \pm 409$ kcal (36.8 ± 8.2 kcal.kg⁻¹), $58 \pm 4\%$ carbohydrates (420.8 ± 73.6 g, 5.4 ± 1.4 g.kg⁻¹), $23 \pm 3\%$ lipids (73.3 ± 13.4 g, 0.9 ± 0.2 g.kg⁻¹) and $19 \pm 4\%$ protein (132.7 ± 19.9 g, 1.7 ± 0.4 g.kg⁻¹). The standardized shake that we used has been shown previously to fully load liver glycogen content for individuals of similar body mass.³ Participants then fasted overnight. This diet and exercise control was rigorously repeated before each experimental trial.

Experimental trials

Participants arrived at the laboratory at 5:45 am, and then at 6 am and 9 am, capillary blood samples (50 μ L) were collected from the earlobe to measure plasma glucose concentrations. During the FED conditions, immediately after capillary blood collection, participants ingested a shake for breakfast. The shake consisted of 48 g of skim milk, 40 g of whole milk, 85 g of dextrose, 8 g Brazilian chestnuts (two units) and 90 g of guava (one unit) diluted in 300 mL of water [824 kcal, 67% (137.0 g) carbohydrate, 19% (16.9 g) fat and 14% (29.8 g) protein]. This standardized shake ingested at 6 am has been shown to be sufficient to restore liver glycogen 3 hours after ingestion to levels close to the pre-fasting level in individuals of similar body mass.³ In the FAST conditions, participants did not have any food and remained fasted until 9 am, resulting in a total of 15 h of fasting. We chose this fasting protocol because a 15-h overnight fast has been shown to reduce hepatic but not muscle glycogen stores.³

The trials started at 9 am and consisted of 105 min of cycling at 50% of the difference between LT1 and LT2, followed immediately by a 10-km TT. We chose this kind of protocol because previous work by our group was able to detect differences in TT performance with carbohydrate ingestion during exercise using a similar protocol.¹⁶ In addition, we chose to

perform constant-load exercise using LTs rather than percentage of $\dot{V}O_{2\max}$ to better match metabolic stress across participants.¹⁷ Participants were instructed to complete the 10-km TT as quickly as possible and were free to choose their pedaling rate and establish their own pacing strategies. However, participants received visual feedback only for distance completed and not for exercise time, power output, pedal frequency, or physiological parameters. Participants ingested a beverage (2 mL.kg⁻¹ of body mass) containing carbohydrate (maltodextrin, CHO) or placebo (0% carbohydrate, PLA) immediately before exercise, every 15 min throughout the constant-load exercise and at the 5th km point during the 10-km TT. At the 5-km point, the mouthpiece was removed, the beverage was ingested, and the mouthpiece was rapidly replaced (~10 s). The placebo beverage was prepared from a commercially available non-caloric artificial sweetener (aspartame, 0.2 mL, Finn, Cosmed, Cosmetics and Medicines Industry, Barueri, São Paulo, Brazil), yellow dye (0.3 mL, Mix, food industry, São Bernardo do Campo, São Paulo, Brazil) and orange essence (0.2 mL, Arcolor, Arco-Ires Brasil, Industry trade in food products, São Paulo, São Paulo, Brazil) diluted to 1000 mL with water. The CHO beverage contained 80 g of a commercially available unflavored maltodextrin (Neonutri, Poços de Caldas, Brazil) per 1000 mL of the same solution. A staff member of the laboratory, who was not directly involved in the study, prepared the carbohydrate and placebo solutions. We demonstrated during a pilot study involving six participants that the carbohydrate and placebo solutions were indistinguishable in smell, flavor, sweetness, color and viscosity (all $P>0.05$ with a *t*-test applied using a 10-cm visual analogue scale). In addition, participants were asked after each experimental trial to guess whether they ingested the carbohydrate or the placebo. Participants were able to guess correctly 50% of the time, indicating the success of the blinding protocol.

Capillary blood samples (50 μ L) from the earlobe for determination of plasma glucose and lactate concentrations were obtained immediately before, at 15, 60 and 105 min of

constant-load exercise, and then immediately after the TT. The rating of perceived exertion (RPE, 15-point Borg's scale) was obtained every 15 min during the constant-load exercise and at the end of the TT. Gas exchange ($\dot{V}O_2$ and $\dot{V}CO_2$) and HR were measured over the 5 min before the 15-, 30-, 45-, 60-, 75-, 90- and 105-min intervals of constant-load exercise and continuously throughout the TT. Body mass was measured before each trial.

Analytical techniques

Capillary blood samples were immediately transferred to micro tubes containing EDTA and centrifuged at 4000 rpm for 10 min at 4 °C. Following centrifugation, plasma lactate and glucose concentrations were immediately analyzed in duplicate using a UV spectrophotometer (Quimis®, 239 model Q798U2V5, São Paulo, Brazil) with commercial kits (Labtest, Labtest Diagnostic S.A., Vista Alegre/Lagoa Santa, Brazil). The intra-assay coefficients of variation were $2.8 \pm 0.6\%$ and $1.8 \pm 1.4\%$ for the plasma lactate and glucose concentrations, respectively.

Fat and carbohydrate oxidation rates

The respiratory exchange ratio (RER) and fat and carbohydrate oxidation rates at rest and during the constant-load exercise were calculated using the mean $\dot{V}O_2$ and $\dot{V}CO_2$ values over the 5 min collection periods. Fat and carbohydrate oxidation rates were calculated from the non-protein respiratory quotient¹⁸ using the following stoichiometric equations:

$$\text{Fat oxidation rate} = (1.67 \cdot \dot{V}O_2) - (1.67 \cdot \dot{V}CO_2) \quad (\text{equation 1})$$

$$\text{Carbohydrate oxidation rate} = (4.55 \cdot \dot{V}CO_2) - (3.21 \cdot \dot{V}O_2) \quad (\text{equation 2})$$

where $\dot{V}O_2$ and $\dot{V}CO_2$ are in $L \cdot \text{min}^{-1}$, and oxidation rates are in $g \cdot \text{min}^{-1}$.

The area under the curve was calculated to measure the total oxidized amounts (g) of carbohydrate and fat during the constant-load exercise. The average of $\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$ and RER for the entire 10-km TT were also calculated; however, fat and carbohydrate oxidation rates were not calculated because the RER exceeded 1.0.

Statistical Analysis

The data are presented as the mean and standard error of the mean (mean \pm SEM). Three-way ANOVA with repeated measures was used to compare plasma glucose concentrations pre and post breakfast [factors: feeding (FAST vs. FED), supplementation during exercise (placebo vs. carbohydrate), and time (pre vs. and post breakfast)]. Three-way ANOVA with repeated measures was also used to verify the effect of pre-exercise feeding (FAST vs. FED), supplementation during exercise (placebo vs. carbohydrate) and time (rest and exercise time points) on $\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$, RER, HR, plasma glucose and lactate concentrations, carbohydrate and fat oxidation rates, and RPE response during the constant-load exercise. The effect of pre-exercise feeding (FAST vs. FED), supplementation during exercise (placebo vs. carbohydrate) and distance (from 1 to 10 km) on power output during the 10-km TT was also verified with three-way ANOVA with repeated measures. Two-way ANOVA with repeated measures was used to verify the effect of pre-exercise feeding (FAST vs. FED) and supplementation during exercise (placebo vs. carbohydrate) on exercise performance, total carbohydrate and fat oxidized, and mean or end physiological variables during the 10-km TT. One-way ANOVA with repeated measures was used to determine whether pre-exercise body mass was different across the conditions. When ANOVA revealed a significant main effect or interaction, a *Bonferroni* post hoc test was performed.

Significance was accepted at $P \leq 0.05$. All analyses were performed using Statistica software (version 10.0; Tulsa, USA).

RESULTS

10-km time trial (TT)

The time to cover 10-km was shorter (main effect of supplement, $P=0.019$, Table 1) when carbohydrate was ingested during exercise (FEDCHO and FASTCHO) than when the placebo was ingested during exercise (FEDPLA and FASTPLA), regardless of a fed or fasted state (no interaction of feeding *vs.* supplement, $P=0.260$). Accordingly, the $\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$, and RER and end plasma glucose and lactate concentrations were all higher with carbohydrate ingestion during exercise (FEDCHO and FASTCHO) than with placebo ingestion during exercise (FEDPLA and FASTPLA) (Table 1). Power output was higher during the initial (first 2 km) and final (last 2 km) stages than during the middle stages (main effect of distance, $P=0.001$, Fig. 2) and was higher throughout the trial in the FEDCHO and FASTCHO conditions in relation to the FEDPLA and FASTPLA conditions (main effect of supplement, $P=0.002$), regardless of whether breakfast was eaten (no interaction of feeding *vs.* supplement, $P=0.268$ or of feeding *vs.* supplement *vs.* distance, $P=0.799$). The end RPE was similar between conditions ($P>0.05$).

TABLE 1. Performance, physiological parameters, and rating of perceived exertion during the 10-km TT.

	FASTPLA	FASTCHO	FEDPLA	FEDCHO
Time (min)	21.7 ± 1.4	18.7 ± 0.4‡	20.2 ± 0.8	18.5 ± 0.3‡
Power output (W)	154 ± 7	197 ± 7‡	173 ± 9	198 ± 9‡
$\dot{V}O_2$ (L.min⁻¹)	2.23 ± 0.04	2.67 ± 0.05‡	2.28 ± 0.08	2.71 ± 0.06‡
$\dot{V}CO_2$ (L.min⁻¹)	2.18 ± 0.06	2.78 ± 0.10‡	2.48 ± 0.12	2.79 ± 0.12‡
RER	0.96 ± 0.01	1.04 ± 0.02‡	1.02 ± 0.02	1.08 ± 0.02‡
Glucose (mmol.L⁻¹)	3.1 ± 0.2	4.5 ± 0.2‡	3.7 ± 0.2	4.7 ± 0.2‡
Lactate (mmol.L⁻¹)	3.4 ± 0.6	4.2 ± 0.7‡	3.5 ± 0.7	4.2 ± 0.4‡
RPE	19 ± 0.7	18 ± 0.6	19 ± 0.3	18 ± 0.6

Values are mean ± SEM. FED: fed state; FAST: fast state; PLA: placebo; CHO: carbohydrate. Oxygen uptake ($\dot{V}O_2$), carbon dioxide production ($\dot{V}CO_2$) and respiratory exchange ratio (RER) are mean of the entire trial, while glucose, lactate and rating of perceived exertion (RPE) are values at the end of the trial. There was a main effect of supplement for all variables ($P < 0.05$), except to RPE ($P = 0.46$). ‡ Significantly different from PLA conditions.

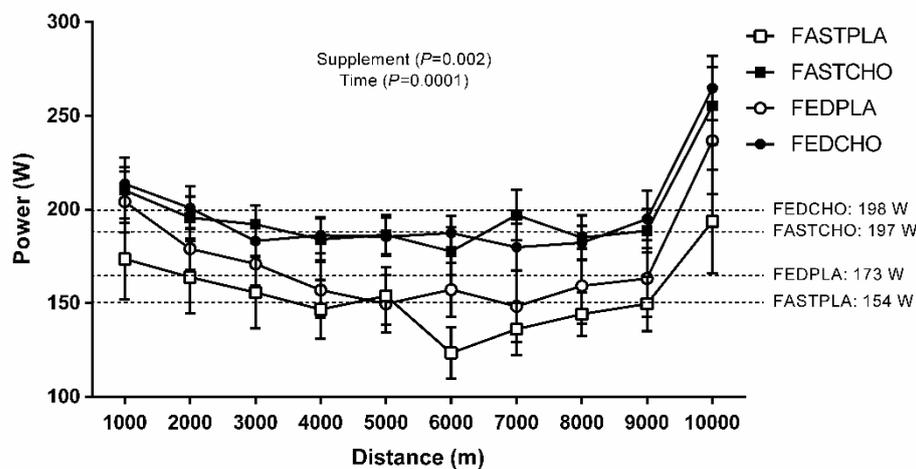


FIGURE 2. Power output during the 10-km cycling time trial. Values are the means ± SEM. Details of the main effect of distance are omitted for clarity. The dashed horizontal line represents mean power output during the trial for each condition.

Physiological and perceptual responses to the 105-min constant-load exercise

The 105-min constant-load exercise bouts were performed at 162 ± 19 W ($60.8 \pm 0.2\%$, $\dot{V}O_{2\max}$). The $\dot{V}O_2$ and $\dot{V}CO_2$ increased from rest to 15 min ($P < 0.01$) and then remained stable ($P > 0.05$) until the end of submaximal exercise in all conditions (Fig. 3A and 3B, respectively). The carbohydrate oxidation rate and RER increased from rest to 15 min ($P < 0.05$) in all conditions, but values were higher in the FEDPLA and FEDCHO conditions than in the FASTPLA and FASTCHO conditions throughout the exercise (main effect of pre-exercise feeding, $P = 0.011$ and 0.018 , Fig. 3C and 3D, respectively). The carbohydrate oxidation rate was also higher with carbohydrate ingestion during exercise (FEDCHO and FASCHO conditions) at 30, 90 and 105 min (supplementation vs. time interaction, $P = 0.017$), and the RER was higher with carbohydrate ingestion during exercise at 45 and 105 min (supplementation vs. time interaction, $P = 0.008$). However, total carbohydrate oxidization was higher in the FEDPLA (263.9 ± 15.7 g) and FEDCHO (265.8 ± 11.2 g) conditions than in the FASTPLA (232.9 ± 17.5 g) and FASTCHO (243.4 ± 9.9 g) conditions (main effect of pre-exercise feeding, $P = 0.008$). The fat oxidation rate was higher in the FASTPLA and FASTCHO conditions than in the FEDPLA and FASTCHO conditions throughout the submaximal exercise (main effect of pre-exercise feeding, $P = 0.010$, Fig. 3E). Consequently, total fat oxidized was higher in the FASTPLA (19.8 ± 2.2 g) and FASTCHO (17.4 ± 2.1 g) conditions than in the FEDPLA (9.1 ± 2.3 g) and FEDCHO (9.4 ± 4.4 g) conditions (main effect of pre-exercise feeding, $P = 0.010$). The HR increased from rest to 15 min ($P < 0.01$) and then remained stable and similar among trials until 105 min in all conditions ($P > 0.05$, Fig. 3F).

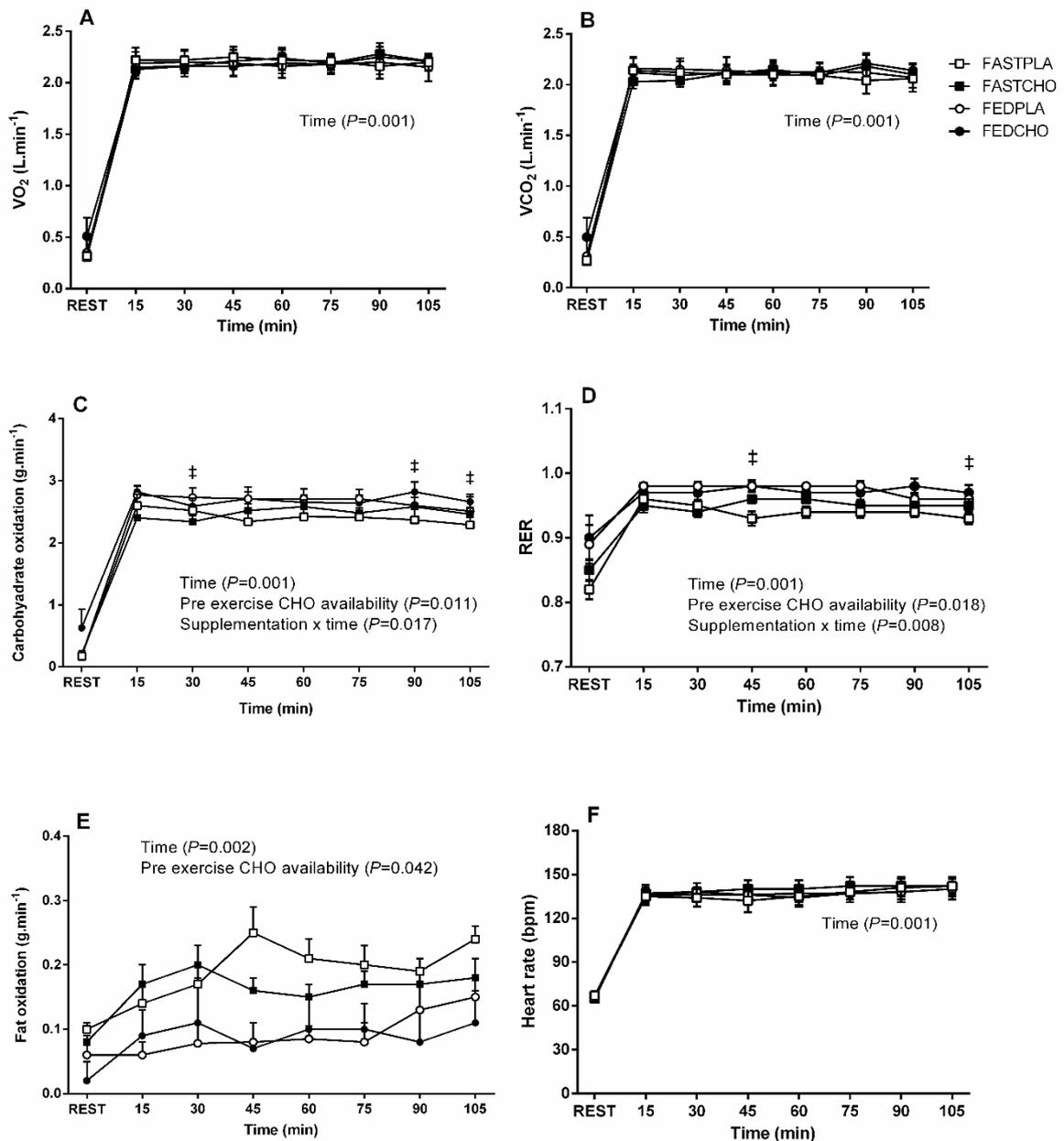


FIGURE 3. Oxygen uptake (A), carbon dioxide production (B), carbohydrate oxidation rate (C), respiratory exchange ratio (D), fat oxidation rate (E), and heart rate (F) during a 105-min constant-load exercise in the FAST and FED conditions, with and without carbohydrate supplementation. Values are the means \pm SEM. † Values are significantly higher in the carbohydrate than in the placebo conditions ($P<0.05$). Details of time and pre-exercise feeding effects are omitted for clarity.

Pre-exercise feeding vs. time ($P=0.012$) and supplementation vs. time ($P=0.005$) interactions were found for plasma glucose concentration (Fig. 4A). The plasma glucose

concentration was higher in the FEDPLA and FEDCHO conditions than in the FASTPLA and FASTCHO conditions at rest ($P<0.05$) and decreased from rest to 15 min in the FASTPLA, FEDPLA and FEDCHO conditions ($P<0.05$), but not in the FASTCHO condition ($P>0.05$). The plasma glucose concentration in the FASTCHO condition was also higher than in the FASTPLA and FEDPLA conditions at 15 and 60 min ($P<0.01$). At 60 min, the plasma glucose concentration was higher in the FEDCHO than in the FASTPLA condition ($P<0.05$). At the end of the submaximal exercise (105 min), the plasma glucose concentration was higher ($P<0.01$) when carbohydrate was ingested during exercise (FEDCHO and FASTCHO conditions) than when the placebo was ingested during exercise (FEDPLA and FASTCHO conditions).

A pre-exercise feeding vs. supplementation vs. time interaction ($P=0.020$) was observed for plasma lactate concentration (Fig. 4B). The plasma lactate concentration increased from rest to 15 min exercise in all conditions ($P<0.01$), but the lactate concentration was higher at 15 min in the FEDCHO than in the FEDPLA condition ($P<0.05$). The plasma lactate concentration was reduced significantly from 15 to 105 min in the FEDCHO, FASTCHO and FASTPLA conditions ($P<0.05$) but remained unaltered in the FEDPLA condition ($P>0.05$).

A supplementation vs. time interaction ($P=0.022$) was observed for RPE, with values increasing more slowly when carbohydrate was ingested during exercise (FEDCHO and FASTCHO conditions) (Fig. 4C).

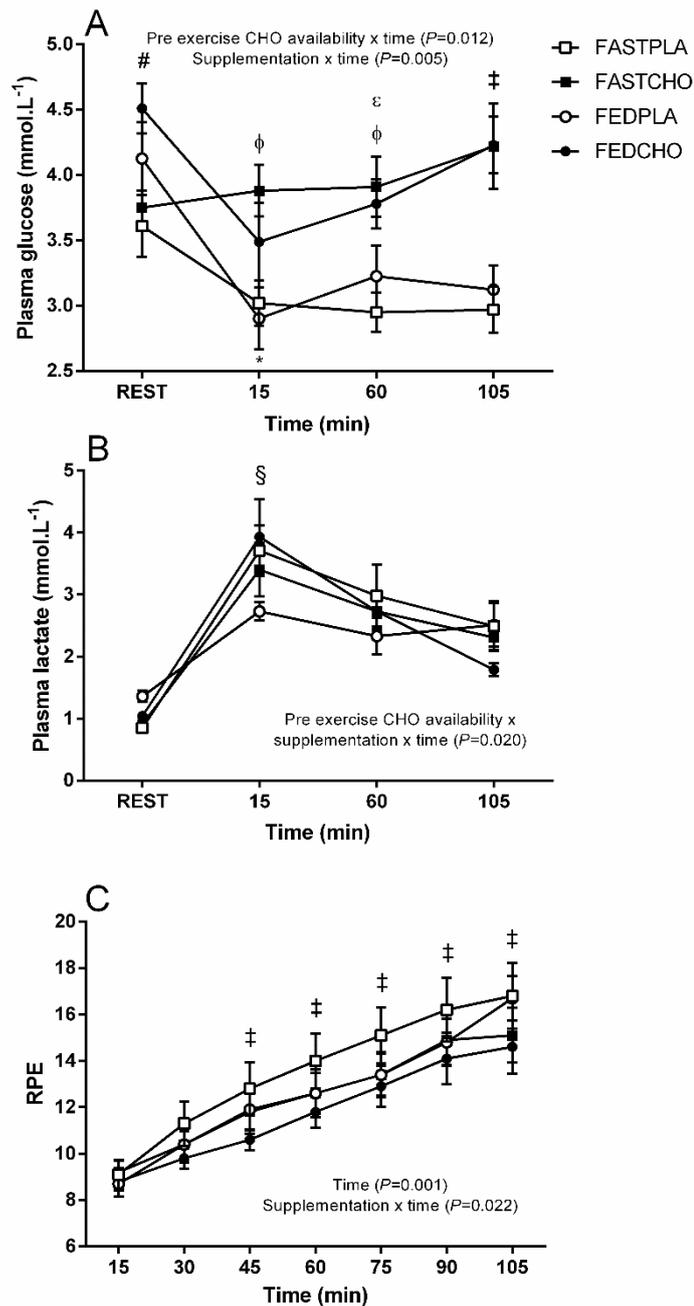


FIGURE 4. Plasma glucose concentration (A), plasma lactate concentration (B), and rating of perceived exertion (C) during a 105-min constant-load exercise in the FAST and FED conditions, with and without carbohydrate supplementation. Values are the means \pm SEM. # Values in both FED conditions are significantly higher than those in both FAST conditions ($P<0.05$). * Values in the FASTPLA, FEDPLA and FEDCHO conditions are significantly lower than those at rest ($P<0.05$). ϕ Values in the FASTCHO condition are significantly higher than those in the FASTPLA and FEDPLA conditions ($P<0.05$). ϵ Values in the FEDCHO condition are significantly higher than those in the FASTPLA ($P<0.05$) condition. \ddagger Values in both carbohydrate conditions are significantly higher (in A) and lower (in C) than those in both placebo conditions ($P<0.05$). \S Values are significantly higher in the FEDCHO than in the FEDPLA condition ($P<0.05$). Details of time and pre-exercise feeding effects are omitted for clarity.

Pre- and post-breakfast effects on plasma glucose concentration

The plasma glucose concentration significantly increased from 6 to 9 am in the FEDPLA ($+ 0.30 \pm 0.21 \text{ mmol.L}^{-1}$) and FEDCHO ($+ 0.74 \pm 0.24 \text{ mmol.L}^{-1}$) conditions but not in the FASTPLA ($- 0.26 \pm 0.19 \text{ mmol.L}^{-1}$) and FASTCHO ($- 0.22 \pm 0.13 \text{ mmol.L}^{-1}$) conditions (pre-exercise feeding vs. time interaction, $P=0.006$).

Body mass and total fluid intake

No difference was found across the experimental conditions for pre-exercise body mass (FEDPLA: $80.3 \pm 4.8 \text{ kg}$, FEDCHO: $80.6 \pm 4.9 \text{ kg}$, FASTPLA: 80.6 ± 5.0 , FASTCHO: 79.9 ± 5.0 , $P=0.165$). The total fluid intake during the trials was $1,436 \pm 57 \text{ mL}$.

DISCUSSION

We have hypothesized that carbohydrate ingestion during exercise improves TT performance but that this carbohydrate-induced improvement is greater when carbohydrate was ingested during exercise in a fasted state rather than a fed state. However, contrary to our hypothesis, exercise performance was improved with carbohydrate ingestion during exercise regardless of a fed or fasted state. Similarly, the plasma glucose concentration and carbohydrate oxidation were higher and the RPE was lower during exercise when carbohydrate was ingested during exercise, an effect that was independent of a fed or fasted state. These results suggest that the improvement in TT performance may have been due to changes in metabolic and perceptive responses during the previous constant-load exercise when carbohydrate was ingested during exercise.

We were surprised that exercise performance was similarly improved with carbohydrate ingestion during exercise irrespective of whether the exercise was started after an overnight fast or 3 h after breakfast (Table 1). The power output was significantly higher at the beginning of the trial in the FEDCHO and FASTCHO conditions than in the FEDPLA and FASTPLA conditions (Fig. 2). In fact, power output increased from ~160 W (~65% $\dot{V}O_{2max}$) during the constant-load exercise to ~200 W (~82% $\dot{V}O_{2max}$) during the TT for the FEDCHO and FASTCHO conditions (Fig. 2). However, the increase was much more discrete in the FEDPLA and FASTPLA conditions (from ~160 W, ~65% $\dot{V}O_{2max}$ to ~165 W, ~68% $\dot{V}O_{2max}$). It has been determined that 75% of all liver glucose output during a prolonged exercise (120 min at 60% $\dot{V}O_{2max}$) is due to glycogenolysis; only 25% is due to gluconeogenesis, highlighting the importance of liver glycogen for prolonged exercise.¹⁹ After prolonged exercise (> 90 min) at ~60-70% $\dot{V}O_{2max}$, muscle and liver glycogen are considerably reduced (~65% and ~50%, respectively).^{20,21,22} Therefore, the TT in the present study must have started under reduced muscle and liver glycogen stores. However, to increase exercise intensity from 65% to 82% of $\dot{V}O_{2max}$, as occurred at the onset of the TT in the FEDCHO and FASTCHO conditions, the carbohydrate oxidation rate in the muscle must increase because high-intensity exercises (~85% of $\dot{V}O_{2max}$) are mainly supported by carbohydrate oxidation.²³ Because carbohydrate ingestion during exercise at ~65% of $\dot{V}O_{2max}$ has minimal effects on muscle glycogen sparing but can considerably conserve liver glycogen⁵, the carbohydrate ingestion during the constant-load exercise in the FEDCHO and FASTCHO conditions must have spared liver glycogen stores, which may have enabled the increase in muscle carbohydrate oxidation to support the increased power output during the following TT. Alternatively, exogenous carbohydrate ingested during exercise may have also directly supported the increased muscle carbohydrate oxidation during the TT by increased

plasma glucose disposal. This result reinforces the importance of carbohydrate ingestion during prolonged exercise to increase the power output during a subsequent TT.

Although total carbohydrate oxidization during the constant-load exercise was not affected by carbohydrate ingestion during exercise, consistent with elevated plasma glucose concentrations, the carbohydrate oxidation rate was higher during the last stages of the constant-load exercise in the FEDCHO and FASTCHO conditions (Fig. 3C). Previous studies have shown that the carbohydrate oxidation rate is significantly higher during the latter stages of prolonged exercise with carbohydrate ingestion during exercise than with placebo ingestion.^{24,20} It is known that carbohydrate ingestion during exercise attenuates the increase in liver glucose output and likely spares liver glycogen utilization.⁵ We showed previously that ingesting carbohydrate throughout exercise is more beneficial for exercise performance than ingesting the same amount late in exercise.¹⁶ We have suggested that periodic ingestion of carbohydrate during the exercise may attenuate liver glycogen depletion.¹⁶ In the present study, the increased carbohydrate oxidation rates at 90 and 105 min of exercise with carbohydrate ingestion during exercise highlights the importance of exogenous carbohydrate to spare liver glycogen and/or maintain muscle glucose oxidation when liver glycogen is likely reduced (i.e., in the last stage of prolonged exercise).

The increase in RPE during the constant-load exercise was attenuated by carbohydrate ingestion during exercise (FEDCHO and FASTCHO conditions), regardless of a fed or fasted state (Fig. 4C). The lower values of RPE with carbohydrate ingestion during exercise might be related to a direct effect of carbohydrate on the central nervous system^{25,26} and/or a favorable metabolic *milieu* (i.e., higher plasma glucose concentration and increased carbohydrate oxidation rate). The presence of carbohydrate in the mouth stimulates a group of sensory receptors that activates some areas of the brain that are associated with reward and motor control,²⁵ ultimately reducing RPE.²⁷ Interestingly, this central effect of carbohydrate

supplementation during exercise seems to be more pronounced when endogenous carbohydrate availability is low.²⁸ Therefore, it seems reasonable to assume that any central effect of carbohydrate ingestion during exercise would become more important as the exercise progresses and endogenous carbohydrate availability decreases. However, as plasma glucose concentration and carbohydrate oxidation were also better maintained during the latter stages of the exercise with carbohydrate ingestion during exercise, this treatment could reduce the perturbation in muscle energy homeostasis, ultimately reducing afferent signals to the brain.^{29,30} It is possible that a combined central and peripheral effect of carbohydrate ingestion explains why RPE differences between carbohydrate and non-carbohydrate conditions increased as the exercise progressed in the present study.

Based on previous findings, which we attempted to replicate, it would be expected that a 15-h overnight fast would result in a reduction in liver glycogen³ and that consuming breakfast would result in an increase in liver glycogen.³ Corroborating this assumption, the plasma glucose concentration in the present study increased from 6 to 9 am in the FEDPLA and FEDCHO conditions but not in the FASTPLA and FASTCHO conditions. The higher plasma glucose concentration at the beginning of exercise in the FEDPLA and FEDCHO conditions seemed to have promoted reactive hypoglycemia early in exercise (i.e., a larger reduction at 15 min in both FED trials, Fig. 4A). Reactive hypoglycemia may have occurred due to the high content of carbohydrate ingested at breakfast (137 g of carbohydrate). We adopted this meal regimen because a previous study reported that participants of similar body mass fed breakfast of the same composition showed a large increase in liver glycogen three hours later.³ Reactive hypoglycemia occurs when exercise starts a few hours after a carbohydrate-rich meal, with elevated blood insulin levels triggering a larger muscle glucose uptake due the additive effect of insulin-dependent (meal) and insulin-independent (exercise) mechanisms.^{31,32} However, the influence of reactive hypoglycemia on exercise performance is

controversial, with some studies showing an impairment^{34,34} and others showing no effect.^{35,36} It seems that reactive hypoglycemia is an individual phenomenon, as some individuals with very low glycemic levels ($< 3.5 \text{ mmol.L}^{-1}$) demonstrate no symptoms of hypoglycemia, while some individuals with normal glycemic levels (3.7 to 4.6 mmol.L^{-1}) report symptoms of hypoglycemia.³⁶ As the present study was not directly designed to investigate reactive hypoglycemia, it is not possible to fully disregard a possible negative influence of reactive hypoglycemia on exercise performance. It is noteworthy, however, that no participant reported symptoms of reactive hypoglycemia in the present study. The apparent reactive hypoglycemia was also reversed by carbohydrate ingestion during exercise as plasma glucose concentrations increased throughout the exercise. This finding suggests that reactive hypoglycemia can be prevented by carbohydrate ingestion during exercise.

Some limitations of the present study must be recognized. The first breakpoint of the lactate-power curve was visually identified. Any error in this identification could impact the determination of exercise intensity of the constant-load exercise. However, the percentage of $\dot{V}O_2\text{max}$ during the constant-load exercise was not largely variable across participants ($60.8 \pm 0.2\%$). We believe this lack of variation may have had no impact on our results. We have also used a non-protein respiratory quotient to calculate carbohydrate and fat oxidation. When fasting before exercise, amino acid oxidation during exercise increases.^{37,38} However, amino acid oxidation is still low after several hours of fasting;^{37,38} therefore, it is improbable that considerable error has occurred in our calculations of carbohydrate and fat oxidation. Additionally, we did not provide a calorie deficient meal for the no breakfast condition. The perception of ingesting breakfast *per se* can also influence exercise performance.³⁹ However, as the present study showed that performance was improved with carbohydrate ingestion during exercise regardless of a fed or fasted state, this result reinforces the importance of carbohydrate ingestion during exercise to maintain the plasma glucose concentration and

carbohydrate oxidation rate. It is also important to mention that a 105-min steady-state exercise followed by a 10-km TT in cyclists who are not well-trained may not entirely reproduce a real-world scenario. Therefore, further studies should be performed to test this experimental approach during an exercise protocol simulating escape and attacks in experienced well-trained cyclists. In addition to controlling initial muscle glycogen levels, participants followed a rigorous diet and exercise regimen during the two days before each experimental trial. While this controlled diet-exercise regime should have guaranteed similar initial muscle glycogen levels across experimental trials, athletes usually adopt a carbohydrate-rich diet (~80% carbohydrates) two or three days before a competition to increase their muscle glycogen stores. Therefore, further studies should replicate our approach using a pre-exercise carbohydrate-rich diet. Finally, water ingestion before trials was not strictly controlled, and any influence of hydration status cannot be fully disregarded. It is noteworthy, however, that pre-exercise body mass was not different across the conditions, suggesting that participants must have started the trial with a similar hydration status.

In conclusion, cycling TT performance is improved by carbohydrate ingestion during exercise regardless of whether the exercise is begun in a fed or fasted state. The improved exercise performance with carbohydrate ingestion during exercise may be related to metabolic (higher plasma glucose concentration and higher carbohydrate oxidation rate) and perceptible (reduced RPE) alterations at the end of previous constant-load exercise, which enabled a larger power output during the following TT. Finally, our results suggest that breakfast may not be critical for exercise performance if carbohydrates are offered at adequate amounts during exercise.

PERSPECTIVE

Our results provide evidence that breakfast may not be critical for exercise performance if carbohydrates are ingested during exercise.⁵ These findings are of practical relevance, as they suggest that athletes may not need to have a breakfast in the morning prior to an event. It is important to consider that our findings relate to the conditions of our experiment and may not be as relevant to longer or more intense exercise.⁴⁰ Our sample did not consist of well-trained cyclists; therefore, it will be important to confirm that similar results occur in these individuals. Further studies should also confirm that muscle glucose uptake is similar during exercise when carbohydrate is ingested during exercise irrespective of whether breakfast is consumed. Infusion of glucose tracers before and during exercise and assessment of muscle and liver glycogen will be required for this purpose. It would also be interesting to determine whether differences are observed in central drive during submaximal exercise using the current protocol.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank all participants who took part in this study. SKL thanks the Coordination of Improvement of Higher Education Personnel (CAPES) of Brazil PhD for her scholarship. The authors declare no conflict of interest.

FINANCIAL DISCLOSURE

This study was financially supported by the National Counsel of Technological and Scientific Development (CNPq), grant number: 406201/2013-7.

REFERENCES

1. Krogh A & Lindhard J. The relative value of fat and carbohydrate as sources of muscular energy. With appendices on the correlation between standard metabolism and the respiratory quotient during rest and work. *Bioch XIV* 1920; 14(3-4):290-363.
2. Correia-Oliveira CR, Bertuzzi R, Dal'molin Kiss MA, Lima-Silva AE. Strategies of dietary carbohydrate manipulation and their effects on performance in cycling time trials. *Sports Med* 2013; 43(8):707-19.
3. Taylor R, Magnusson II, Rothman DL, Cline GW, Caumo A, Cobelli C, Shulman GI. Direct assessment of liver glycogen storage by ¹³c nuclear magnetic resonance spectroscopy and regulation of glucose homeostasis after a mixed meal in normal subjects. *J Clin Invest* 1996; 97(1):126-132.
4. Chryssanthopoulos C & Williams C. Pre-exercise carbohydrate meal and endurance running capacity when carbohydrates are ingested during exercise. *Int J Sports Med* 1997; 18(7):543-8.
5. Jeukendrup AE, Wagenmakers AJM, Stegen JHCH, Gijsen AP, Brouns F, Saris WHM. Carbohydrate ingestion can completely suppress endogenous glucose production during exercise. *Am J Physiol* 1999; 276(4 Pt 1):E672-83.
6. Chryssanthopoulos C, Williams C, Nowitz A, Kotsiopolou C, Vleck V. The effect of a high carbohydrate meal on endurance running capacity. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2002; 12(2):157-171.
7. Laursen PB, Francis GT, Abbiss CR, Newton MJ, Nosaka K. Reliability of time-to-exhaustion versus time-trial running tests in runners. *Med Sci Sports Exerc* 2007; 39(8):1374-9.

8. Craig CL, Marshall AL, Sjöström M, Bauman AE, Booth ML, Ainsworth BE, Pratt M, Ekelund U, Yngve A, Sallis JF, Oja P. International physical activity questionnaire: 12-country reliability and validity. *Med Sci Sports Exerc* 2003; 35(8):1381-95.
9. Cohen J. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. New York, NY: Routledge Academic; 1988. 490 p.
10. Hibbert AW, Billaut F, Varley MC, Polman RCJ. Familiarization Protocol Influences Reproducibility of 20-km Cycling Time-Trial Performance in Novice Participants. *Front Physiol* 2017; 20;8:488.
11. Granata C, Oliveira RS, Little JP, Renner K, Bishop DJ. Mitochondrial adaptations to high-volume exercise training are rapidly reversed after a reduction in training volume in human skeletal muscle. *FASEB J* 2016; 30(10):3413-3423.
12. Brooks GA. Anaerobic threshold: review of the concept and directions for future research. *Med Sci Sports Exerc* 1985; 17(1):22-34.
13. Yoshida T, Chida M, Ichioka M, Suda Y. Blood lactate parameters related to aerobic capacity and endurance performance. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1987; 56(1):7-11.
14. Bishop D, Jenkins DG, Mackinnon LT. The relationship between plasma lactate parameters, W_{peak} and 1-h cycling performance in women. *Med Sci Sports Exerc* 1998; 30(8):1270-5.
15. Jamnick NA, Botella J, Pyne DB, Bishop DJ. Manipulating graded exercise test variables affects the validity of the lactate threshold and [Formula: see text]. *PLoS One* 2018; 30;13(7):e0199794.
16. McConell G, Kloot K, Hargreaves M. Effect of timing of carbohydrate ingestion on endurance exercise performance. *Med Sci Sports Exerc* 1996; 28(10):1300-4.
17. Poole DC, Jones AM. Oxygen uptake kinetics. *Compr. Physiol* 2012; 2(2):933-996.

18. Frayn KN. Calculation of substrate oxidation rates in vivo from gaseous exchange. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol* 1983; 55(2):628-34.
19. Coggan AR, Swanson SC, Mendenhall LA, Habash DL, Kien CL. Effect of endurance training on hepatic glycogenolysis and gluconeogenesis during prolonged exercise in men. *Am J Physiol*. 1995; 268(3 Pt 1):E375-83.
20. Coyle EF, Coggan AR, Hemmert MK, Ivy JL. Muscle glycogen utilization during prolonged strenuous exercise when fed carbohydrate. *J Appl Physiol* (1985) 1986; 61(1):165-72.
21. Casey A, Mann R, Banister K, Fox J, Morris PG, Macdonald IA, Greenhaff PL. Effect of carbohydrate ingestion on glycogen resynthesis in human liver and skeletal muscle, measured by (13)C MRS. *Am J Physiol Endocrinol Metab*. 2000; 278(1):E65-75.
22. Stevenson EJ, Thelwall PE, Thomas K, Smith F, Brand-Miller J, Trenell MI. Dietary glycemic index influences lipid oxidation but not muscle or liver glycogen oxidation during exercise. *Am J Physiol Endocrinol Metab*. 2009; 296(5):E1140-7.
23. Romijn JA, Coyle EF, Sidossis LS, Gastaldelli A, Horowitz JF, Endert E, Wolfe RR. Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. *Am J Physiol* 1993; 265(3 Pt 1):E380-91.
24. McGawley K, Shannon O, Betts J. Ingesting a high-dose carbohydrate solution during the cycle section of a simulated Olympic-distance triathlon improves subsequent run performance. *Appl Physiol Nutr Metab* 2012; 37(4):664-71.
25. Chambers ES, Bridge MW, Jones DA. Carbohydrate sensing in the human mouth: effects on exercise performance and brain activity. *J Physiol* 2009; 587(8):1779-1794.
26. Khong TK, Selvanayagam VS, Sidhu SK, Yusof A. Role of carbohydrate in central fatigue: a systematic review. *Scand J Med Sci Sports* 2017; 27(4):376-384. Review.

27. Bastos-Silva VJ, Melo A de A, Lima-Silva AE, Moura FA, Bertuzzi R, de Araujo GG. Carbohydrate Mouth Rinse Maintains Muscle Electromyographic Activity and Increases Time to Exhaustion during Moderate but not High-Intensity Cycling Exercise. *Nutrients* 2016; 8(3):49.
28. Ataide-Silva T, Ghiarone T, Bertuzzi R, Stathis CG, Leandro CG, Lima-Silva AE. Cho mouth rinse ameliorates neuromuscular response with lower endogenous cho stores. *Med Sci Sports Exerc* 2016; 48(9):1810-20.
29. Noakes TD. Linear relationship between the perception of effort and the duration of constant-load exercise that remains. *J Appl Physiol (1985)* 2004; 96(4):1571-2.
30. Lima-Silva AE, De-Oliveira FR, Nakamura FY, Gevaerd MS. Effect of carbohydrate availability on time to exhaustion in exercise performed at two different intensities. *Braz J Med Biol Res* 2009; 42(5):404-12.
31. Foster C, Costill DL, Fink WJ. Effects of preexercise feedings on endurance performance. *Med Sci Sports Exerc* 1979; 11(1):1-5.
32. Jentjens RL, Cale C, Gutch C, Jeukendrup AE. Effects of pre-exercise ingestion of differing amounts of carbohydrate on subsequent metabolism and cycling performance. *Eur J Appl Physiol* 2003; 88(4-5):444-452.
33. Boje O. Arbeits hypoglykämie nach Glucose Eingabe. *Skand Arch Physiol* 1940; 83:30-312
34. Lee JD, Sterrett LE, Guth LM, Konopka AR, Mahon AD. The effect of pre-exercise carbohydrate supplementation on anaerobic exercise performance in adolescent males. *Pediatr Exerc Sci* 2011; 23(3):344-54.
35. Galloway SD, Lott MJ, Toulouse LC. Pre-exercise carbohydrate feeding and high-intensity exercise capacity: effects of timing 1 of intake and carbohydrate concentration. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2014; 24(3):258-66.

36. Jeukendrup AE, Killer SC. The Myths Surrounding Pre-Exercise Carbohydrate Feeding. *Ann Nutr Metab* 2010; 57(suppl 2):18-25.
37. Lemon and Mullin. Effect of initial muscle glycogen levels on protein catabolism during exercise. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol* 1980; 48(4):624-9.
38. Jeukendrup AE, Wallis GA. Measurement of substrate oxidation during exercise by means of gas exchange measurements. *Int J Sports Med* 2005; 26 Suppl1:S28-37. Review.
39. Mears SA, Dickinson K, Bergin-Taylor K, Dee R, Kay J, James LJ. Perception of Breakfast Ingestion Enhances High-Intensity Cycling Performance. *Int J Sports Physiol Perform* 2018; 1:13(4):504-509.
40. McConell GK, Canny BJ, Daddo MC, Nance MJ, Snow RJ. Effect of carbohydrate ingestion on glucose kinetics and muscle metabolism during intense endurance exercise. *J Appl Physiol* (1985) 2000; 89(5):1690-8.

ANEXO A – PARECER DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA

<p>Comitê de Ética em Pesquisa Envolvendo Seres Humanos</p>	<p>UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE / UFPE-</p>	
--	--	--

PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: INGESTÃO DE CARBOIDRATOS E DESEMPENHO: INFLUÊNCIA DO EXERCÍCIO PRÉVIO E DO JEJUM

Pesquisador: Adriano Eduardo Lima da Silva

Área Temática:

Versão: 3

CAAE: 31867514.6.0000.5208

Instituição Proponente: Centro Acadêmico de Vitória de Santo Antão

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 790.169

Data da Relatoria: 15/09/2014

Apresentação do Projeto:

Indicado na relatoria inicial.

Objetivo da Pesquisa:

Indicado na relatoria inicial.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Indicado na relatoria inicial.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Indicado na relatoria inicial.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Indicado na relatoria inicial.

Recomendações:

s/recomendação;

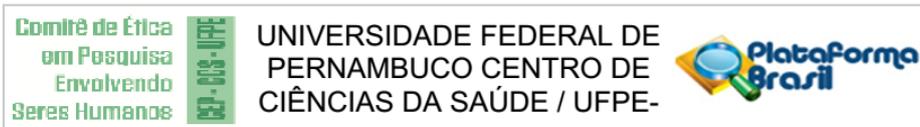
Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

aprovado.

Situação do Parecer:

Aprovado

<p>Endereço: Av. da Engenharia s/nº - 1º andar, sala 4, Prédio do CCS Bairro: Cidade Universitária CEP: 50.740-600 UF: PE Município: RECIFE Telefone: (81)2126-8588 E-mail: cepccs@ufpe.br</p>
--



Continuação do Parecer: 790.169

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

Considerações Finais a critério do CEP:

O Colegiado aprova o parecer do protocolo em questão e o pesquisador está autorizado para iniciar a coleta de dados.

Projeto foi avaliado e sua APROVAÇÃO definitiva será dada, após a entrega do relatório final, na PLATAFORMA BRASIL, através de "Notificação " e, após apreciação, será emitido Parecer Consubstanciado .

RECIFE, 12 de Setembro de 2014

Assinado por:
GERALDO BOSCO LINDOSO COUTO
 (Coordenador)

Endereço: Av. da Engenharia s/nº - 1º andar, sala 4, Prédio do CCS
Bairro: Cidade Universitária **CEP:** 50.740-600
UF: PE **Município:** RECIFE
Telefone: (81)2126-8588 **E-mail:** cepccs@ufpe.br

ANEXO B – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM NUTRIÇÃO

Convido o (a) Sr.(a) para participar, como voluntário (a), do estudo 1 “*Ingestão de carboidratos e desempenho: influência do jejum*” da pesquisa (“*INGESTÃO DE CARBOIDRATOS E DESEMPENHO: INFLUÊNCIA DO EXERCÍCIO PRÉVIO E DO JEJUM*”).

Este Termo de Consentimento pode conter alguns tópicos que o/a senhor/a não entenda. Caso haja alguma dúvida, pergunte à pessoa a quem está lhe entrevistando, para que o/a senhor/a esteja bem esclarecido (a) sobre tudo que está respondendo. Após ser esclarecido (a) sobre as informações a seguir, caso aceite em fazer parte do estudo, rubriche as folhas e assine ao final deste documento, que está em duas vias. Uma delas é sua e a outra é do pesquisador responsável. Em caso de recusa o (a) Sr. (a) não será penalizado (a) de forma alguma. Também garantimos que o (a) Senhor (a) tem o direito de retirar o consentimento da sua participação em qualquer fase da pesquisa, sem qualquer penalidade. Em caso de dúvida você pode procurar o Comitê de Ética em Pesquisa Envolvendo Seres Humanos da UFPE no endereço: (Avenida da Engenharia s/n – 1º Andar, Sla 4 - Cidade Universitária, Recife-PE, CEP: 50740- 600, Tel.: 2126.8588 – e-mail: cepccs@ufpe.br).

INFORMAÇÕES SOBRE A PESQUISA:

Título do Projeto: *Ingestão de carboidratos e desempenho: influência do exercício prévio e do jejum.*

Pesquisador Responsável: Adriano Eduardo Lima da Silva.

Endereço/Telefone/e-mail para contato (inclusive ligações a cobrar): Núcleo de Educação Física e Ciências do Esporte. Centro Acadêmico de Vitória. Rua do Alto do Reservatório s/n, Bela Vista. Vitória de Santo Antão/PE. CEP: 55608-680 / (81) 35233351/ limasilvae@hotmail.com.

Pesquisadores participantes: Sara Kely Learsi da Silva Santos Alves; Thays de Ataíde e Silva; Gustavo Gomes de Araujo; Glenn McConell.

Telefones para contato: (81) 95935980

- Que o estudo se destina a entender os efeitos da ingestão de carboidrato durante o exercício após eu estar em jejum;
- Que os resultados desta investigação pode ajudar atletas, nutricionistas e treinadores que buscam melhores resultados em competições;

- Que esse estudo começará em Agosto de 2015, com previsão de término para Dezembro de 2015, mas eu estou ciente que a minha participação resume-se a um período de quarenta e seis dias, e que minha alimentação poderá ser controlada, assim como a prática de exercícios físicos.
- Que o estudo será feito da seguinte maneira: Eu deverei visitar o laboratório de Fisiologia do Exercício do Centro Acadêmico de Vitória, CAV/UFPE, onze vezes. Na primeira visita, serei submetido a um teste onde os pesquisadores irão aumentar a intensidade do esforço a cada quatro minutos até eu não conseguir mais pedalar ou pedir para interromper o teste. Este teste terá a duração de 30 minutos. Em seguida, farei uma familiarização do teste contrarrelógio de 10km no menor tempo possível. Na visita 2 realizarei uma sessão de familiarização do protocolo experimental, onde eu irei pedalar 105 minutos em uma bicicleta ergométrica, seguido de mais 10 km pedalando o mais rápido que eu puder. Na visita 3, 4, 5 e 6, realizarei o teste experimental de 105 minutos pedalando, seguido de mais 10 km pedalando. Uma bebida contendo 8% de carboidrato (2 ml/kg) ou placebo será administrada antes do exercício e a cada 15 minutos de exercício. Eu fui informado que os testes poderão ser interrompidos por decisão dos pesquisadores ou caso eu me sinta cansado e indisposto.
- Eu fui informado que será coletado meu sangue venoso em dois momentos: 3 horas antes do exercício e imediatamente antes do exercício. Também será coletado sangue no lóbulo da minha orelha 3 horas antes do teste (repouso), imediatamente antes do teste, bem como durante o teste (15, 60 e 105 minutos do teste). Uma amostra final será retirada após o teste de 10km.
- Que existem riscos quanto à realização da coleta de sangue, mas que os pesquisadores irão adotar todos os procedimentos conhecidos para amenizar esses riscos.
- Que os possíveis riscos à minha saúde física e mental são: desconforto, hematomas, dor, dor tardia, sangramento, tonturas e mal estar que possam ocorrer durante o teste.
- Que não existem outros meios conhecidos para se obter os mesmos resultados.
- Que deverei contar com a seguinte assistência: caso eu tenha algum problema, eu serei atendido de imediato pelo médico responsável pelo estudo, Dr. André Sansonio de Moraes, médico cardiologista, CRM 15251, conforme carta de anuência em anexo. O médico possui treinamento de suporte avançado de vida, estando habilitado para utilizar todos os recursos necessários para manutenção da minha vida em caso de urgência. Assim que possível, em caso de alguma decorrência mais grave, o médico irá acionar o SAMU pelo telefone 192 e serei transportado para o hospital público mais próximo da Universidade, sendo responsável pelo transporte a equipe do SAMU. Estou ciente de que serei atendido pelo SAMU e em algum hospital público como qualquer outro cidadão brasileiro em caso de urgência.
- Que os benefícios que deverei esperar com a minha participação, mesmo que não diretamente são: eu terei acesso a qualquer resultado referente ao meu teste e que

poderei, a qualquer momento, esclarecer minhas dúvidas com o pesquisador responsável.

- Que a minha participação será acompanhada do seguinte modo: o professor responsável irá realizar os meus testes e irá coletar minhas amostras sanguíneas. Eu estarei sendo monitorado por um monitor cardíaco durante todas as sessões.
- Que, sempre que desejar serão 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 minha participação não permitirão a identificação da minha pessoa, exceto aos responsáveis pelo estudo, e que a divulgação das mencionadas informações só será feita entre os profissionais estudiosos do assunto.
- Nome e Assinatura do pesquisador _____

Prof. Dr. Adriano Eduardo Lima Silva

As informações desta pesquisa serão confidenciais e serão divulgadas apenas em eventos ou publicações científicas, não havendo identificação dos voluntários, a não ser entre os responsáveis pelo estudo, sendo assegurado o sigilo sobre a sua participação. Os dados coletados nesta pesquisa (entrevistas, filmagens, etc), ficarão armazenados no computador do Laboratório de Fisiologia do Exercício, sob a responsabilidade do pesquisador principal, no endereço acima informado, pelo período de no mínimo 5 anos.

O (a) senhor (a) não pagará nada para participar desta pesquisa. Se houver necessidade, as despesas para a sua participação serão assumidos pelos pesquisadores (ressarcimento de transporte e alimentação). Fica também garantida indenização em casos de danos, comprovadamente decorrentes da participação na pesquisa, conforme decisão judicial ou extra-judicial.

CONSENTIMENTO DA PARTICIPAÇÃO DA PESSOA COMO VOLUNTÁRIO

Eu, _____, RG: _____, CPF: _____, abaixo assinado, após a leitura deste documento e de ter tido a oportunidade de conversar e ter esclarecido as minhas dúvidas com o pesquisador responsável, concordo em participar do estudo “Ingestão de carboidratos e desempenho: influência do jejum” – Estudo 1, como voluntário. Fui devidamente informado(a) e esclarecido(a) pelo(a) pesquisador(a) _____ sobre a pesquisa, os procedimentos nela envolvidos, assim como os possíveis riscos e benefícios decorrentes de minha participação. Foi-me garantido que posso retirar meu consentimento a qualquer

momento, sem que isto leve a qualquer penalidade ou interrupção de meu acompanhamento/assistência/tratamento.

Local e data _____

Nome e Assinatura do participante: _____

Presenciamos a solicitação de consentimento, esclarecimentos sobre a pesquisa e aceite do voluntário em participar.

02 testemunhas (não ligadas à equipe de pesquisadores):

Nome: _____

Assinatura: _____

Nome: _____

Assinatura: _____