

Exercício em ratas jovens grávidas portadoras de desnutrição protéica: efeitos sobre o metabolismo glicídico

Exercise in young, pregnant, protein-deficient rats: the effects on glucose metabolism

Maria Alice Rostom de Mello, Eliete Luciano, Adriana Françoso Correa

Resumo

[1] Mello, M.A.R., Luciano, E., Correa, A.F. Exercício em ratas jovens grávidas portadoras de desnutrição protéica: efeitos sobre o metabolismo glicídico. Rev. Bras. Ciên. e Mov. 10 (2): 55-62, 2002.

Gestação e desnutrição são condições que acarretam profundas alterações metabólicas no organismo. No presente estudo, foram analisados aspectos do metabolismo glicídico em resposta a uma única sessão de exercício em ratas jovens grávidas desnutridas. Foram utilizadas ratas wistar, (50 dias), grávidas ou não, controles (dieta normo [17%] protéica) e desnutridas (dieta hipo [6%] protéica). No 19º dia de experimento/prenhez, as ratas foram separadas em dois lotes: repouso e exercício (50 min natação) e sacrificadas. A ingestão da dieta hipoprotéica acarretou redução do ganho de peso corporal e dos níveis séricos de proteínas totais e elevação dos teores hepáticos de glicogênio, que são sinais de desnutrição. A gestação evitou o aumento da glicemia, mas não dos AGL séricos, induzido pelo exercício. A associação entre gravidez e desnutrição impediu a mobilização do glicogênio hepático e provocou queda da glicemia e do glicogênio do muscular, em seguida ao exercício. Em repouso, o conteúdo pancreático de insulina foi maior nas ratas desnutridas do que nas controles. O inverso ocorreu com a insulina sérica e a liberação do hormônio por ilhotas pancreáticas isoladas, em resposta a concentrações crescentes de glicose. Esses resultados indicam que o pâncreas endócrino adaptou-se à desnutrição, reduzindo a resposta insulínica à glicose. Contudo, essa adaptação foi insuficiente para evitar as alterações que levaram as ratas grávidas desnutridas a apresentarem glicemia e glicogênio muscular baixos quando submetidas à sessão única de exercício.

PALAVRAS-CHAVE: desnutrição, exercício, gravidez, glicose, insulina.

Abstract

[2] Mello, M.A.R., Luciano, E., Correa, A.F. Exercise in young, pregnant, protein-deficient rats: the effects on glucose metabolism. Rev. Bras. Ciên. e Mov. 10 (2): 55-62, 2002.

Pregnancy and malnutrition are conditions that lead to metabolic alterations. The aim of the present study was to analyze the effects of acute (single section) exercise in malnourished pregnant young rats on some aspects of glucose metabolism. Pregnant and non pregnant young (50 days), control (25% protein diet) and malnourished (6% protein diet) wistar rats were used. On the 19th day of experiment or pregnancy, the rats were separated into two groups: rest and exercise (50 min swimming) and immediately sacrificed. Feeding the low protein diet led to decreased body weight gain and serum protein and to increased liver glycogen, indicating the ability of this diet in inducing malnutrition. Pregnancy associated to malnutrition impaired exercise-induced liver glycogen mobilization, leading to low blood glucose levels and sharp decrease in gastrocnemius muscle glycogen content after exercise. At rest, pancreas insulin was higher in protein deficient-rats than in normal-protein rats. The opposite situation was observed in relation to serum glucose and glucose-induced insulin release by pancreatic isolated islets. These results suggest that the pancreas have adapted to malnutrition reducing insulin secretion. However, this adaptation failed in preventing low blood glucose and muscle glycogen levels in pregnant malnourished rats submitted to a single section exercise.

KEYWORDS: malnutrition, exercise, pregnancy, glucose, insulin.

Departamento de Educação Física, Instituto de Biociências, UNESP, Rio Claro, SP

Endereço para correspondência: Profa. Dra, Maria Alice Rostom de Mello, Departamento de Educação Física, IB, UNESP, Av. 24-A, 1515, CEP: 13506-900, Rio Claro, SP

Introdução

A gravidez é um dos quadros mais complexos de alterações e ajustes metabólicos que ocorrem num ser vivo e tem, como principal função, a formação de ambiente adequado para o desenvolvimento fetal (4). Atualmente, a prática de atividade física durante a gravidez tem sido bastante discutida, havendo controvérsias quanto ao efeito sobre o curso da gestação. De um lado, existe a prática voluntária de exercícios programados, que pode trazer benefícios (4, 20, 32, 40). De outro, existe o trabalho profissional, envolvendo esforço físico pesado, que pode acarretar retardo no desenvolvimento da criança (5, 12, 29).

A desnutrição protéico-calórica, por sua vez, é grave problema médico-social nos países em desenvolvimento. Ocorrendo durante a gravidez, a desnutrição, tanto aguda (2, 36) quanto crônica (14, 26-28), é fator determinante de retardo no desenvolvimento fetal. Especialmente entre mulheres pertencentes a populações de baixa renda, onde a desnutrição é prevalente, há elevadas proporções de recém-nascidos de baixo peso e alta incidência de abortos naturais, natimortos e mortalidade peri-natal (10, 23), bem como grande taxa de morbidade e mortalidade maternas, em consequência de problemas decorrentes da gestação (38). São raros os estudos que abordam os efeitos da associação entre desnutrição e atividade física na gestação. Os poucos relatos existentes são relacionados ao desenvolvimento e sobrevivência fetais (13, 37). Faltam informações acerca do impacto da desnutrição sobre a capacidade bioquímica materna para a realização de exercícios. Dessa forma, o presente estudo foi delineado para examinar o efeito do exercício agudo (sessão única de exercício) em ratas jovens grávidas desnutridas, no que tange, especialmente, ao metabolismo glicídico.

Metodologia

Animais e seu tratamento

Foram utilizados ratos Wistar [fêmeas jovens, com 50 dias de idade e machos adultos, com 90 dias]. Para o acasalamento, foi empregado o método do harém, 4 fêmeas para 1 macho, mantidos por uma noite em gaiolas coletivas. O cruzamento foi confirmado pela presença de espermatozoides em esfregaço vaginal. As ratas cobertas foram separadas em gaiolas individuais, com livre acesso ao alimento e à água. As gaiolas foram mantidas em sala sob condições controladas de temperatura (25° C) e ciclo claro/escuro (12/12 h).

Dietas e exercício

A partir do cruzamento, os animais receberam dietas semipurificadas, contendo 17% (controles) ou 6% (desnutridos) de proteína, cuja composição encontra-se no Qua-

dro 01. As ratas exercitadas foram submetidas a uma sessão de natação livre com duração de 50 minutos, em tanques coletivos, com água mantida a 30°C.

Grupos e procedimentos experimentais

Todas as ratas tiveram comprimento e massa corporal registrados diariamente. No 19º dia de experimento (ou prenhez) ratas grávidas e não-grávidas foram separadas em 2 lotes. Um lote foi sacrificado imediatamente após uma sessão de exercício e o outro, em repouso. Dessa forma, compuseram-se os seguintes grupos:

Controles	Desnutridas
Não grávidas repouso (CR)	Não grávidas repouso (DR)
Grávidas repouso (CGR)	Grávidas repouso (DGR)
Não grávidas exercício (CE)	Não grávidas exercício (DE)
Grávidas exercício (CGE)	Grávidas exercício (DGE)

No momento do sacrifício, foram coletados da mãe: sangue, para obtenção de soro onde se efetuaram as dosagens de glicose, proteínas totais, albumina e ácidos graxos livres [AGL] (30); amostras do fígado, do útero, do coração e dos músculos gastrocnêmio e sóleo, para dosagem do glicogênio (11, 35). Fetos e placentas foram, também, retirados, contados e pesados.

Houve, ainda, uma segunda etapa de experimentos, realizada em lote separado de ratas grávidas, alimentadas com ambos os tipos de dieta e sacrificadas em repouso, onde foram avaliados os teores de insulina séricas (16) e pancreáticas (7) e a secreção de insulina, em resposta a concentrações crescentes de glicose por ilhotas pancreáticas isoladas.

O isolamento das ilhotas pancreáticas foi efetuado pela técnica da collagenase (21). Para a medida da secreção estática de insulina, grupos de 100 a 150 ilhotas foram incubadas por 60 minutos, na presença de diferentes concentrações de glicose (0,0; 2,8; 4,4; 8,3 e 16,7 mM), de acordo com o procedimento descrito em CARNEIRO et al. (6).

Análise estatística

Os procedimentos estatísticos incluíram análise de variância e teste de Scheffé, onde apropriado (8), estabelecendo-se o nível de significância de 5%.

Resultados

As ratas-controles apresentaram peso ($C = 212,5 \pm 25,0$; $CG = 268,3 \pm 29,0$ g) e comprimento corporais ($C = 37,1$

+ 1,7 ; CG = 37,5 + 1,4 cm) significativamente superiores ($p < 0,05$, ANOVA) aos das desnutridas (peso: D = 178,5 + 33,7; DG = 207,0 + 37,0 g; comprimento: D = 34,8 + 2,1; DG = 34,8 + 1,8 cm) ao final do experimento. Não houve diferenças significativas ($p < 0,05$, teste t) entre ratas-controles e desnutridas, em relação ao peso dos fetos (CG = 2,3 + 0,1; DG = 2,3 + 0,2 g) e das placentas (CG = 0,4 + 0,1; DG = 0,4 + 0,1 g), bem como ao tamanho das ninhadas (CG = 8,3 + 2,0; DG = 7,0 + 3,0).

A glicose sérica de repouso foi semelhante, nas ratas grávidas e não-grávidas, controles e desnutridas. Houve aumento da glicose sérica frente ao exercício somente nas ratas não-grávidas controles (tabela 1). A análise estatística não apontou diferenças significativas quanto

aos teores séricos de AGL entre os grupos estudados. Contudo, os valores após a sessão de exercício tenderam a ser maiores do que os de repouso para todos os grupos (tabela 1). Ratas grávidas e não-grávidas submetidas ao mesmo tipo de dieta, mostraram níveis séricos de proteínas totais semelhantes. As ratas desnutridas não-grávidas tiveram redução das proteínas séricas totais em repouso, em comparação com as controles não-grávidas. As exercitadas controles não-grávidas apresentaram aumento significativo das proteínas totais circulantes, enquanto que as desnutridas grávidas, redução significativa em relação aos valores de repouso (tabela 1). A albumina sérica mostrou-se semelhante entre os grupos estudados. Apenas as desnutridas exercitadas tiveram valores significativamente inferiores aos das controles exercitadas (tabela 1).

TABELA 1: Glicose (mg/dL), ácidos graxos livres (AGL - mEq/L), proteínas totais (g/dL) e albumina (g/dL) no soro de todas as ratas aos 19 dias de experimento

GRUPOS	GLICOSE	AGL	PROTEÍNAS	ALBUMINA
CR (6)	122,6 + 6,4	0,52 + 0,09	4,92 + 0,11	2,98 + 0,39
CGR (4)	102,7 + 2,6	0,34 + 0,03	4,79 + 0,14	2,64 + 0,15
CE (10)	152,7 + 22,0a	0,80 + 0,09	5,27 + 0,24a	3,01 + 0,21
CGE (4)	115,4 + 18,8c	0,72 + 0,03	4,64 + 0,58c	2,69 + 0,52
DR (8)	136,2 + 15,3	0,50 + 0,17	4,42 + 0,30a	2,56 + 0,39
DGR (9)	127,7 + 9,7	0,50 + 0,06	4,50 + 0,01	1,92 + 0,74
DE (9)	167,6 + 22,9	1,22 + 0,30ce	4,51 + 0,14c	2,39 + 0,30c
DGE (4)	95,0 + 11,7	0,81 + 0,26	3,68 + 0,03df	2,10 + 0,13

Resultados expressos como média + desvio-padrão com o número de animais entre parênteses

Diferenças significativas ($p < 0,05$, ANOVA, teste de Scheffé) em relação a: a) CR; b) CGR; c) CG; d) CGE; e) DR; f) DGR; g) DE. C= Controle; D= Desnutrida; G= Grávida; E= Exercício; R= Repouso.

Ratas grávidas e não-grávidas controles em repouso mostraram teores semelhantes de glicogênio hepático, enquanto que as desnutridas grávidas apresentaram valores significativamente inferiores aos das não-grávidas equivalentes. Ainda, as ratas desnutridas não-grávidas apresentaram maiores reservas de glicogênio hepático em repouso do que as controles não-grávidas. Frente ao exercício, houve redução significativa em todos os grupos, quando comparados aos níveis de repouso, exceto nas desnutridas grávidas (tabela 2). Os teores de glicogênio no músculo gastrocnêmio mostraram-se mais elevados nas ratas controles grávidas do que nas não-grávidas equivalentes. Com o exercício, houve redução significativa do glicogênio muscular em todos os grupos, em relação aos valores de repouso, sendo essa redução bastante acentuada nas desnutridas, grávidas ou não (tabela 2). A análise estatística não acusou diferença significativa nos níveis de glicogênio no músculo sóleo entre os grupos, embora houvesse nítida tendência à redução desse substrato, na maioria dos gru-

pos, frente ao exercício (tabela 2). As ratas grávidas controles, exercitadas ou não, mostraram maior acúmulo de glicogênio no útero do que as correspondentes não-grávidas. Da mesma forma, as ratas desnutridas não-grávidas em repouso tiveram maiores valores do que as controles. O aumento com a gravidez apareceu nas desnutridas somente nas exercitadas (tabela 2). O conteúdo de glicogênio cardíaco das ratas desnutridas grávidas e não-grávidas em repouso foi maior do que o das controles correspondentes. Houve queda significativa desses níveis frente ao exercício e à gravidez, nas ratas desnutridas (tabela 2).

Na segunda etapa de experimentos, o teor sérico de insulina foi menor nas ratas desnutridas do que nas controles, ocorrendo o inverso com o conteúdo de insulina por grama de tecido pancreático (tabela 3). A liberação de insulina pelas ilhotas isoladas das ratas desnutridas foi inferior à das controles para todas as concentrações de glicose testadas (tabela 4).

TABELA 2: Glicogênio (mg/100mg) no fígado, nos músculos gastrocnêmio e sóleo, no útero e no coração de todas as ratas aos 19 dias de experimento

GRUPOS	FÍGADO	GASTROCNÊMIO	SÓLEO	ÚTERO	CORAÇÃO
CR (7)	5,90 + 0,98	0,39 + 0,09	0,33 + 0,09	0,07 + 0,03	0,17 + 0,04
CGR (4)	5,79 + 0,01	0,65 + 0,06a	0,32 + 0,01	0,27 + 0,05a	0,19 + 0,06
CE (8)	3,22 + 0,69a	0,22 + 0,06a	0,21 + 0,08	0,10 + 0,03	0,13 + 0,03
CGE (4)	2,36 + 0,82b	0,28 + 0,11b	0,11 + 0,01	0,36 + 0,02bc	0,34 + 0,07
DR (8)	9,14 + 1,54a	0,53 + 0,08a	0,39 + 0,12	0,45 + 0,06a	1,16 + 0,37
DGR (4)	4,81 + 0,09e	0,32 + 0,03b	0,31 + 0,06	0,33 + 0,01bc	0,52 + 0,21
DE (7)	2,40 + 0,98e	0,05 + 0,05cd	0,17 + 0,07	0,07 + 0,03e	0,05 + 0,02e
DGE (4)	2,30 + 0,47	0,01 + 0,01df	0,19 + 0,04	0,150 + 0,04df	0,01 + 0,01

Resultados expressos como média + desvio-padrão com o número de animais entre parênteses.

Diferenças significativas ($p < 0,05$, ANOVA, teste de Scheffé) em relação a: a) CR; b) CGR; c) CG; d) CGE; e) DR; f) DGR; g) DE. C= Controle; D= Desnutrida; G= Grávida; E= Exercício; R= Repouso.

TABELA 3: Teores de insulina séricos (mU/mL) e pancreáticos (U/g) de ratas prenhes no 19º dia de gestação

GRUPOS	SORO	PÂNCREAS
CONTROLES	114,0 + 16,7	5,7 + 1,14
DESNUTRIDAS	48,4 + 8,1*	9,0 + 2,1*

Resultados expressos como média + desvio-padrão de 4 animais por grupo

*Diferença significativa ($p < 0,05$, teste t) em relação aos controles

TABELA 4: Liberação de insulina (ng/ilhota/60 min) por ilhotas isoladas de ratas prenhes no 19º dia de gestação em resposta a concentrações crescentes de glicose

GRUPOS	0,0	2,8	[GLICOSE] (mM) 4,4	8,3	16,7
CONTROLES	2,40 + 0,22	2,18 + 0,80	3,38 + 0,81#	3,68 + 0,68#	9,23 + 1,5#
DESNUTRIDAS	0,99 + 0,26*	0,73 + 0,18*	0,71 + 0,07*	2,01 + 0,76#*	4,68 + 0,78#*

Resultados expressos como média + desvio-padrão de 4 experimentos

*Diferença significativa ($p < 0,05$, teste t) em relação às controles

#Diferença significativa ($p < 0,05$, teste t pareado) em relação aos valores basais (glicose 0,0 mM)

QUADRO 1: Composição das dietas (g/kg)

Ingrediente	17% de proteína*	6% de proteína**
Amido de Milho	397,0	480,0
Caseína (84% proteína)***	202,0	71,5
Dextrina	130,5	159,0
Sacarose	100,0	121,0
Óleo de Soja	70,0	70,0
Fibra (microcelulose)	50,0	50,0
Mistura de Minerais (AIN 93G)*	35,0	35,0
Mistura de Vitaminas (AIN 93G)*	10,0	10,0
L-Cistina	3,0	1,0
Cloreto de Colina	2,5	2,5

* Dieta para a fase de gravidez de roedores - AIN-93G. REEVES, P.G. et al. AIN-93 Purified diets for laboratory rodents: final reports of the American Institute of Nutrition ad hoc writing committee on the reformulation AIN-76A rodent diet. J. Nutr., n.23, p.939-51, 1993.

** LATORRACA, M.Q. et al., Descrição de dieta purificada para a indução de quadro de desnutrição em ratos. Revista Brasileira de Medicina do Esporte, v.4, n.1, p.9-12, 1998.

*** Valores corrigidos para o teor de proteína presente na caseína.

Discussão

A análise do tamanho das ninhadas do presente estudo mostrou que o número de filhotes foi semelhante para ratas controles e desnutridas. Tal fato já foi observado anteriormente (13, 22). Contudo, existem, também, estudos mostrando redução no número de filhotes de ratas alimentadas com dieta hipoprotéica (39). Os dados da literatura indicam que a deficiência na ingestão de proteínas, durante a gravidez de ratas, determina retardo no desenvolvimento fetal, resultando na geração de crias de baixo peso (9). Os dados da presente pesquisa são conflitantes com esses relatos. Por outro lado, os resultados, apontando menores peso e comprimento corporais nas ratas jovens desnutridas, em relação às controles confirmam dados de estudos anteriores de nosso grupo (13, 22) e de outros (33, 34), reforçando a importância nutricional das proteínas dietéticas em relação a suas funções plásticas.

Vários autores observaram queda da glicemia no final da gestação em ratas adultas, alimentadas ou em jejum (17, 19). As ratas jovens grávidas do presente experimento mostraram níveis glicêmicos de repouso semelhantes aos das não-grávidas correspondentes. Possivelmente isso se deveu à idade do animal, uma vez que a expansão da volemia observada normalmente na gestação parece ser menos acentuada no animal jovem do que no adulto, o que, consequentemente, implica menor diluição dos solutos no sangue (28).

A glicemia de repouso das ratas desnutridas não-grávidas estudadas foi semelhante à das controles. ANTHONY e FALOONA (1) observaram redução acentuada na glicemia de ratas jovens alimentadas com dieta hipoprotéica. Deve ser destacado que o estudo dos referidos autores teve maior duração que o presente; que o sangue dos animais foi coletado após uma noite de jejum, ao passo que, no presente estudo, o sangue foi colhido no estado alimentado e que o teor de proteína da dieta hipoprotéica empregada por eles era inferior àquele aqui utilizado.

Após 40 minutos de exercício contínuo, a produção hepática de glicose aumenta, enquanto que a captação pelos tecidos periféricos decresce. Esses eventos são mediados pelo aumento dos níveis circulantes de catecolaminas, que reduzem a liberação de insulina pelo pâncreas (25). Os elevados níveis circulantes de glicose, apresentados pelas ratas controles não-grávidas exercitadas do presente experimento, vão ao encontro dessa informação. A presença de gestação e/ou desnutrição impediu a ocorrência desse fenômeno.

No presente experimento, ratas controles grávidas e não-grávidas apresentaram teores semelhantes de AGL circulantes, em repouso. Esses dados confirmam resultados anteriores de nosso grupo de pesquisa (28). Ocorre utilização periférica elevada de AGL após 60 minutos de exercício sustentado, e essa utilização é regulada por fatores extramusculares que controlam a mobilização de gordura a partir do tecido adiposo (25). Nossos resultados, apon-

tando tendência de aumento nos níveis circulantes desses ácidos, após o exercício em todos os grupos, são sugestivos de que nem a gestação nem a desnutrição alteram essa importante adaptação ao exercício prolongado.

Os níveis de proteínas totais circulantes foram menores nas ratas desnutridas não-grávidas em repouso em comparação com as controles não-grávidas na mesma condição. Esses resultados confirmam relatos anteriores da literatura (15, 24). JOYE e PORTMAN (18) encontraram, em atletas, imediatamente após exercício de curta duração e grande intensidade, níveis elevados de proteínas totais plasmáticas. Os resultados do presente estudo, indicando altos níveis de proteínas totais circulantes, imediatamente após exercício prolongado nas ratas controles não-grávidas, sugerem o mesmo tipo de comportamento para animais. A gestação e a desnutrição provocaram alteração inversa na resposta desse parâmetro ao exercício. Provavelmente, essa alteração reflete uma adaptação materna, visando a preservar o desenvolvimento fetal.

PARVEZ e PARVEZ (31) verificaram decréscimo das reservas de glicogênio hepático e cardíaco e aumento concomitante do glicogênio uterino em ratas adultas nos 18º, 19º e 24º dias da gestação e no momento do parto. Os resultados aqui relatados, em relação a esse parâmetro, são parcialmente concordantes com o dos autores em questão. As ratas desnutridas do presente estudo mostraram, no 19º dia da gestação, redução significativa dos teores de glicogênio hepático e cardíaco, associado a aumento das reservas uterinas do substrato. As controles, por outro lado, apresentaram aumento do conteúdo uterino de glicogênio dissociado de queda dos teores hepáticos e cardíacos. A discrepância possivelmente é devida ao fato de os animais avaliados por PARVEZ e PARVEZ (31) terem sido, provavelmente, sacrificados em jejum. Em sua publicação, os referidos autores não fazem menção ao fato, porém os valores relatados para glicogênio hepático das ratas não-grávidas [0,4mg/g de tecido], são valores geralmente observados após jejum. Os animais do presente estudo foram sacrificados no estado alimentado. No caso dos animais controles bem nutridos, esse fato pode ter “mascarado” a resposta esperada. Por outro lado, a má-nutrição crônica dos animais mantidos com a dieta hipoprotéica pôs em evidência o fenômeno. Segundo PARVEZ e PARVEZ (31), ocorre “transporte ativo do glicogênio hepático e cardíaco para o útero, durante a parte final da gestação e o parto”. As modificações das reservas de glicogênio poderiam ocorrer por ação das catecolaminas, cujos níveis plasmáticos acham-se elevados no 18º dia da gestação (31), bem como na desnutrição protéico-calórica (14).

A desnutrição ocasionou aumento significativo do nível de glicogênio hepático nas ratas não-grávidas. Esses resultados são semelhantes aos obtidos por outros autores em animais alimentados com dietas hipoprotéicas (41). Um fator que poderia contribuir para tal acúmulo seria a baixa atividade da enzima glicose-6-fosfatase, detectada nos fígados desses animais (15), associada ao elevado teor de glicídios contido na dieta hipoprotéica aqui utilizada.

As ratas controles grávidas e não-grávidas do presente estudo, após 50 minutos de exercício sustentado, mostraram redução significativa do teor de glicogênio he-

pático, quando comparados aos valores de repouso. Segundo McARDLE et al. (25), as fases iniciais de redistribuição de sangue no exercício são acompanhadas de extração de glicose circulante, mantida, essencialmente, pela glicogenólise hepática. A desnutrição não impediu a queda esperada do glicogênio hepático frente ao exercício sustentado nas ratas não-grávidas. APGAR (3) verificou que ratas alimentadas com dieta hipoprotéica eram mais susceptíveis ao estresse que ratas controles. Isso poderia levar à elevação mais acentuada de catecolaminas, com aumento da mobilização do glicogênio hepático em condições de estresse, como o exercício agudo. Esse processo poderia, inclusive, predominar sobre o efeito depressor da desnutrição na mobilização hepática do referido substrato, permitindo sua liberação durante o exercício. No caso das ratas desnutridas grávidas, a análise estatística não apontou diferenças entre os níveis de repouso e pós-exercício, embora houvesse tendência à queda na última condição. Esse fato pode estar relacionado à variação individual mostrada dentro do grupo exercitado.

As ratas controles do presente experimento, grávidas ou não, não apresentaram decréscimo do glicogênio cardíaco frente ao exercício, em comparação com os valores de repouso, sugerindo pouca contribuição do carboidrato como fonte energética nas presentes condições. A pequena contribuição dos hidratos de carbono no fornecimento energético poderia, em parte, ser ocasionada pelos elevados teores de ácidos graxos livres circulantes, através do ciclo glicose-ácidos graxos (25). Por outro lado, nas ratas desnutridas, grávidas ou não, as reservas cardíacas de glicogênio parecem ter importante papel energético no exercício, uma vez que houve redução significativa desse substrato nas ratas exercitadas em relação aos valores de repouso, a despeito dos altos níveis circulantes de ácidos graxos livres.

Os resultados referentes à segunda etapa do presente estudo, efetuado com ratas grávidas recebendo ambos os tipos de dieta e sacrificadas em repouso, mostraram que a quantidade de insulina por grama de tecido pancreático foi maior nas ratas desnutridas do que nas controles, confirmando dados anteriormente relatados por CARPINELLI (7). Tem sido relatada atrofia acentuada do pâncreas exócrino e melhor preservação da parte endócrina (15). Fenômeno semelhante poderia explicar o grande aumento do teor de insulina por grama de pâncreas nas ratas desnutridas do presente estudo. Ocorreria, portanto, não um aumento na quantidade absoluta de insulina, mas diminuição da massa não-endócrina do pâncreas. Assim sendo, os baixos níveis circulantes de insulina, mostrados pelas ratas desnutridas não parecem ser devidos à redução das reservas insulínicas do pâncreas, mas provavelmente estejam relacionados a defeito na liberação do hormônio.

Os resultados referentes à liberação de insulina por ilhotas isoladas das ratas controles e desnutridas, em resposta a concentrações crescentes de glicose, parecem confirmar essa hipótese, uma vez que as ilhotas provenientes das ratas desnutridas mostraram menor liberação de insulina frente a todas as concentrações de glicose testadas. Os mecanismos através dos quais a desnutrição levou à redução da liberação de insulina induzida pela glicose nas con-

dições do presente estudo ainda não são totalmente compreendidos. Algumas possibilidades podem ser aventadas, como alteração nos fluxos iônicos nas ilhotas de Langerhans, uma vez que estudos anteriores de nosso laboratório mostraram que ilhotas pancreáticas isoladas de ratos mantidos com dieta hipoprotéica apresentam comprometimento do aumento na captação de cálcio normalmente observada durante a liberação de insulina induzida pela glicose (6).

Conclusões

Considerando o que foi exposto anteriormente, conclui-se que, apesar de mostrar conteúdo aumentado de insulina, o pâncreas das ratas grávidas desnutridas apresentou redução da resposta ao estímulo com glicose, acarretando hipoinsulinemia. Contudo, essa adaptação foi insuficiente para evitar falha na liberação hepática de glicogênio nessas ratas, durante o exercício, resultando em baixa glicemia e depleção acentuada do glicogênio muscular após o esforço. O conjunto de todos os resultados é sugestivo de profundas modificações no metabolismo glicídico, em resposta a uma única sessão de exercício em ratas grávidas desnutridas, o que, fatalmente, deve levar a comprometimento na capacidade de realização de atividades físicas por esses animais.

Bibliografia

1. ANTHONY, L.E. e FALOONA, G.R. Plasma insulin and glucagon levels in protein malnourished rats. *Metabolism*. 1974; 23: 303-306.
2. ANTONOV, A.N. Children born during the siege of Leningrad in 1942. *J. Pediatr.* 1947; 30: 250-9.
3. APGAR, J. Effects of some nutritional deficiencies on parturition in rats. *J. Nutr.* 1975; 105: 1553-1561.
4. ARTHAL, R. e WISWELL, R.A. *Exercícios na Gravidez*. São Paulo, Manole. 1987.
5. BAMJI, M.S. e THIMAYAMMA, B.V.S. Impact of woman's work on maternal and child nutrition. *Ecology of Food and Nutrition*. 2000; 39: 13-31.
6. CARNEIRO, E.M.C. et al. Low protein diet impairs glucose-induced insulin secretion from and ^{45}Ca uptake by pancreatic islets. *J. Nutr. Biochem.* 1995; 6: 314-317.
7. CARPINELLI, A.R. Estudo da secreção de insulina e da homeostase glicêmica em ratos desnutridos. Tese de Doutorado. Instituto de Ciências Biomédicas da USP, São Paulo, 1978.
8. COSTA NETO, P.L.O. *Estatística*. São Paulo, Edgard Blücher., 1977.
9. CURY, L. et al. Effects of protein-calorie malnutrition on the body growth and blood chemistry of young pregnant rat and the neonate. *Braz. J. Med. Biol. Res.* 1983; 16: n.530.
10. DIAZ DEL CASTILLO, E. Considerações sobre desnutricion materna y desnutricion in utero. *Ginecol. Obstet.* 1975; 37: 103-18.
11. DUBOIS, B. et al. Colorimetric method for determination of sugar and related substances. *Anal. Chem.* 1956; 28: 350-356, 1956.
12. FOX, M.E., HARRIS, R.E., BREKKEN, A.L. The active-duty military pregnancy: a new-high-risk category. *Am. J. Obstet. Gynecol.* 1977; 129: 705-7.
13. GALDINO, R.S. e MELLO, M.A.R. Efeitos da ingestão de dieta hipoprotéica e do exercício físico moderado sobre a evolução da gestação e o desenvolvimento fetal em ratas jovens. *Rev. Paul. Educ. Fis.* 2000; 14: 118-27.
14. GALDINO, R.S. et al. Desnutrição protéico-calórica. In DÂMASO, A. (ed.) *Nutrição e exercício na prevenção de doenças*. Rio de Janeiro, R.J., MEDSI, 2001, p.255-275.
15. HEARD, C.R.C. et al. Characteristics of different forms of protein-energy malnutrition: an experimental model using young rats. *Br. J. Nutr.* 1977; 37: 1-21.
16. HERBERT, V. et al. Coated charcoal immunoassay for insulin. *J. Clin. Endocrinol.* 1965; 25: 1375-1384.
17. HERRERA, E. et al. Carbohydrate metabolism in pregnancy. VI. plasma fuels, liver composition, glycogenesis and nitrogen metabolism during gestation in the fed and fasted rats. *J. Clin. Invest.* 1969; 48: 2260-2272.
18. JOYE, H.G. e PORTMAN, J.R. Hematocrit and serum protein during arm exercise. *Med. Sci. Sports.* 1970; 2: 187-190.
19. KNOPP, R.H. et al., Two phases of adipose tissue metabolism in pregnancy: maternal adaptations for fetal growth. *Endocrinology*. 1973; 2: 984-988.
20. KULPA, J.P. et al. Aerobic exercise in pregnancy. *Am. J. Obstet. Gynecol.* 1987; 156: 1395-403.
21. LACY, P.E. e KOSTIANOVSKY, M. Method for isolation of intact islets of Langerhans from rat pancreas. *Diabetes*. 1967; 16: 35.
22. LATORRACA, M.Q. et al., Descrição de dieta purificada para a indução de quadro de desnutrição em ratos. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*. 1998; 4: 9-12.
23. LIVERPOOL, G.G. et al. Malnutricion materna. Labor

de enfermagem. *Rev. Cubana Enfermer.* 1990; 6: 69-87.

24. LUNN, P.G. e AUSTIN, S. Differences in nitrogen metabolism between protein deficient and energy deficient rats with similar restricted growth. *Ann. Nutr. Metab.* 1983; 27: 242-251.

25. McARDLE, W.D.; KATCH, F.I. e KATCH, W.L. *Essentials of exercise physiology*. Philadelphia, Lea & Febiger, 1994

26. MELLO, M.A.R.; CURY, L. Maternal adaptations for fetal growth in young malnourished rats. *Braz. J. Med. Biol. Res.* 1988; 21: 1053-1056.

27. MELLO, M.A.R.; OLIVEIRA-FILHO, R.M.; CURY, L.; VALLE, L.B.S. Pregnancy in young rats. Effects of malnutrition. *Nutr. Rep. Int.* 1987; 36: 527-535.

28. MELLO, M.A.R. Effect of exercise during pregnancy and dam age on maternal blood chemistry and fetal growth. *Braz. J. Med. Biol. Res.* 1992; 25: 537-42.

29. NAEYE, R.L. e PETERS, E.C. Work during pregnancy: effects on the fetus. *Pediatrics*. 1982; 69: 724-7.

30. NOGUEIRA, D.M., et al. *Métodos de Bioquímica Clínica - Técnica e interpretação*. São Paulo, Pancast. 1990.

31. PARVEZ, S. e PARVEZ, H. Glycogen storage during last part of pregnancy in uterus, liver and heart of rats. *Experientia*. 1974; 30: 1215-1217.

32. PIVARNIK, J.M. et al. Maternal respiration and blood gases during aerobic exercise performed at moderate altitude. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1992; 24: 868-72.

33. QURESHI, M.I. e QURESHI, Z. Effect of protein malnutrition on the weight and serum albumin of albino rats. *J. Ayub. Med. Coll. Abbottabad*. 2001; 13: 8-10.

34. REICHLING, T. D. e GERMAN, R.Z. Bones, muscles and visceral organs of protein malnourished rats (*Rattus norvegicus*) grow more slowly but for longer durations to reach normal final size. *J. Nutr.* 2000, 130: 2326-32.

35. SJÖRGREEN, B. et al. Bertrag zur kenntnis des le berrhythmik. *Pflügers Arch. Gesante Physiol. Menschen Tiere*. 1938; 240: 247.

36. SMITH, C.A. Effects of maternal undernutrition upon newborn infants in Holanda (1944-5). *J. Pediat.* 1947; 30: 229-43.

37. TAFARI, N. et al. Effects of maternal undernutrition and heavy physical work during pregnancy on birth weight. *Br. J. Obstet. Gynecol.* 1980; 87: 222-6.

38. TOMKINS, A. Nutrition and maternal morbidity and

mortality. *Br. J. Nutr.* 2001; 85: S93-S99.

39. TURNER, M.R. Perinatal mortality, growth and survival to weaning in offspring of rats reared on diets moderately deficient in protein. *Br. J. Nutr.* 1973; 29: 139-47.

40. WEBB, K.A. et al. Effects of acute and chronic exercise on fetal heart rate. *J. Appl. Physiol.* 1994; 77: 2207-14.

WEINKOVE, C.; WEINKOVE, E.A.; PIMSTONE, B.L. Glucose tolerance and insulin release in malnourished rats. *Clin. Sci. Mol. Med.* 1976; 50: 153-163.

Agradecimentos

Os autores agradecem a C.Y. Sibuya, J.R.R Silva e E. Custódio pelo indispensável apoio técnico; aos Drs E.M. Carneiro e M.Q. Latorraca pela participação nos experimentos com ilhotas isoladas; a Corn Products Brasil, pela doação de matéria-prima para a preparação das dietas e a FAPESP, CNPq, FINEP/PRONEX, pelo suporte financeiro.