



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO – UFPE
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTU SENSU* EM FISIOTERAPIA

MÁRCIO ALMEIDA BEZERRA

**EFEITO PREVENTIVO DO EXERCÍCIO EM MEIO AQUÁTICO SOBRE A
INSTALAÇÃO DA TENDINOPATIA DO TENDÃO DO CALCÂNEO EM RATOS
DIABÉTICOS**

Recife, 2012

MÁRCIO ALMEIDA BEZERRA

**EFEITO PREVENTIVO DO EXERCÍCIO EM MEIO AQUÁTICO SOBRE A
INSTALAÇÃO DA TENDINOPATIA DO TENDÃO DO CALCÂNEO EM RATOS
DIABÉTICOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Strictu Sensu* em Fisioterapia do Centro de Ciências da Saúde da Universidade Federal de Pernambuco para obtenção do Grau de Mestre em Fisioterapia.

Linha de Pesquisa: Fisioterapia: Desempenho físico-funcional e qualidade de vida.

Orientadora: Prof^a Dr^a Silvia Regina Arruda de Moraes.

Recife, 2012

Catálogo na fonte
Bibliotecária Gláucia Cândida da Silva, CRB4-1662

B574e Bezerra, Márcio Almeida.
Efeito preventivo do exercício em meio aquático sobre a instalação da tendinopatia do tendão do calcâneo em ratos diabéticos / Márcio Almeida Bezerra. – Recife: O autor, 2012.
93 folhas : il. ; 30 cm.

Orientador: Sílvia Regina Arruda de Moraes.
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CCS. Programa de Pós-Graduação em Fisioterapia, 2012.
Inclui bibliografia, anexos e apêndices.

1. Natação. 2. Tendão do Calcâneo. 3. Exercício. 4. Biomecânica I. Moraes, Sílvia Regina Arruda de (Orientador). II. Título.

615.8 CDD (23.ed.) UFPE (CCS2012-179)

ANÁLISE DO EFEITO PREVENTIVO DA ATIVIDADE FÍSICA EM MEIO AQUÁTICO SOBRE A INSTALAÇÃO DA TENDINOPATIA DO TENDÃO CALCÂNEO EM RATOS DIABÉTICOS

MÁRCIO ALMEIDA BEZERRA

APROVADA EM: 26/06/2012

ORIENTADORA: Prof^a. Dr^a. SÍLVIA REGINA ARRUDA DE MORAES

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof^a. Dr^a. ARMELE DORNELAS DE ANDRADE – FISIOTERAPIA/ UFPE

Prof^a. Dr^a. DENISE MARIA MARTINS VANCEA – EDUCAÇÃO FÍSICA / UPE

Prof^a. Dr^a. CELINA CORDEIRO DE CARVALHO – FISIOTERAPIA / FIR

Visto e permitida à impressão

Coordenador do PPGFISIOTERAPIA / DEFISIO / UFPE

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FISIOTERAPIA

COORDENADORA

Prof^a. Dr^a. Glória Elizabeth Carneiro Laurentino

VICE-COORDENADORA

Prof^a. Dr^a. Armèle Dornelas de Andrade

CORPO DOCENTE

Prof. Dr. Alberto Galvão de Moura Filho

Prof^a. Dr^a. Andréa Lemos Bezerra de Oliveira

Prof^a. Dr^a. Armèle Dornelas de Andrade

Prof^a. Dr^a. Caroline Wanderley Souto Ferreira Anselmo

Prof^a. Dr^a. Daniella Araújo de Oliveira

Prof^a. Dr^a. Glória Elizabeth Carneiro Laurentino

Prof^a. Dr^a. Karla Mônica Ferraz Teixeira de Barros

Prof^a. Dr^a. Katia Karina do Monte Silva

Prof. Dr. Marco Aurélio Benedetti Rodrigues

Prof^a. Dr^a. Maria Cristina Falcão Raposo

Prof^a. Dr^a. Maria do Socorro Brasileiro Santos

Prof. Dr. Murilo Carlos Amorim de Brito

Prof^a. Dr^a. Silvia Regina Arruda de Moraes

ORIENTADORA**Silvia Regina Arruda de Moraes**

Professora Associada 01 do Departamento de Anatomia do Centro de Ciências
Biológicas da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Doutora em Ciências Morfofuncionais pela Universidade de São Paulo – USP

DEDICATÓRIA

Com amor, dedico este trabalho:

Aos meus Pais Raimundo Leidimar Bezerra e Sheila Dalva Almeida Bezerra que proporcionaram todas as oportunidades que um filho poderia ter para vencer na vida;

Aos meus irmãos Lígia Almeida Bezerra e Leidimar Almeida Bezerra;

À minha avó Maria Evangelista (Dona Maria) “*In Memoriam*”

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me guiado com retidão e não permitir que eu sucumbisse perante as dificuldades;

Aos meus pais, Raimundo Leidimar Bezerra e Sheila Dalva Almeida Bezerra, e meus irmãos Leidimar Almeida Bezerra e Lúgia Almeida Bezerra, pelas orações e pensamentos positivos enviados me mantendo perseverante sempre;

A minha namorada Rayane Nascimento Almeida, por conseguir transformar meu abuso em alegria e me confortar nos momentos de angústia e ansiedade. Obrigado minha “Linda Pequena”;

A Prof^ª. Dr^ª. Silvia Regina Arruda de Moraes, por aceitar um aluno sem muita experiência em pesquisa, pelos ensinamentos preciosos compartilhados durante a execução deste projeto, pelo exemplo de profissional, pela paciência, dedicação e apoio durante todos os momentos;

Ao Departamento de Fisioterapia, principalmente aos Docentes e servidores da pós-graduação em Fisioterapia, pela paciência, apoio e amizade construída;

Ao Departamento de Engenharia Química, principalmente ao Engenheiro Magno Felipe Holanda Barboza Inácio Teixeira, pela paciência e disposição na execução dos ensaios mecânicos, e pela amizade construída;

Ao amigo e parceiro Rodrigo Oliveira, pelos ensinamentos, paciência e comprometimento com a pesquisa, pela prontidão e exemplo de pessoa. Valeu “Garotinho”;

Aos meus parceiros no mestrado, Daphne Gilly, Vivian Passos, Diogo Andrade e Carla Daher, pelas conversas sobre a vida, pelos aconselhamentos, companheirismo e pela oportunidade de ter conhecido pessoas ímpares como vocês;

Aos colegas de mestrado, Rafaela, Maíra, Larissa, Luis, Patrícia, Mariana, Luciana, Priscila e Marcela, pelo convívio durante esta fase importante de minha vida e por dividir o conhecimento adquirido entre seus colegas;

Aos alunos de Iniciação Científica e de Mestrado/Doutorado do Laboratório de Plasticidade Neuromuscular do Departamento de Anatomia, Patrícia Silveira, Marcos Galdino, Kamilla Dinah, Gabriel Mesquita, Karyne Albino, Thainá Figueiredo, Anna Karollyna, Raíssa Belarmino, Marcos Vinícius, Filipe Miranda, Cybelle Nery, Hugo Fitipaldi, Deniele Lós, Ivson Bezerra, Juliana Netto e Rodrigo Fragoso, pela ajuda e participação nessa empreitada, pois sem a paciência e o esmero de vocês eu não teria conseguido;

Aos amigos Olávio Campos e Fernanda Dias, pesquisadores natos que me ensinaram muito sobre a pesquisa experimental;

A Mary, figura ilustre, pelas conversas e acolhida em sua morada;

A todos da família Resgate das Dunas pelo incentivo, conversas e, acima de tudo, pelos momentos de descontração e amizade;

Agradeço a toda minha família e meus amigos pela torcida, incentivos, amizade e confiança. Valeu galera!

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
1.1. Diabetes	16
1.2. Diabetes e Exercício Físico	17
1.3. Propriedades biomecânicas do tendão	18
1.3.1 A influência do exercício física e do diabetes na biomecânica tendínea.....	19
2. REVISÃO DA LITERATURA	21
Artigo de Revisão Sistemática	21
3. HIPÓTESE	39
4. OBJETIVOS.....	40
4.1. Objetivo Geral	40
4.2. Objetivos Específicos	40
5. MATERIAIS E MÉTODOS	41
5.1. Animais	41
5.2. Grupos Experimentais	41
5.3. Delineamento Experimental	41
5.4. Indução ao Diabetes	42
5.5. Treinamento Físico em Meio Aquático	42
5.6. Análise Metabólica, Controle Glicêmico e Ponderal	43
5.7. Coleta do Material	44
5.8. Ensaio Mecânico	45
5.9. Análise Estatística	46
6. Referências	47
7. RESULTADOS	54
7.1. Artigo Original 1	54
7.2. Artigo Original 2	68
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	83
9. LIMITAÇÕES DO ESTUDO.....	84
10. ANEXOS	85
10.1. Anexo A – Submissão do Artigo de Revisão	85
10.2. Anexo B – Comitê de Ética	86
11. APÊNDICES	87

APRESENTAÇÃO

Esta dissertação é a continuação de uma linha de pesquisa desenvolvida no Laboratório de Plasticidade Neuro-Muscular - Departamento de Anatomia da UFPE, que visa estudar as comorbidades resultantes do diabetes ao organismo humano, mediante experimentações com modelos animais.

Em estudos prévios realizados pelo grupo de pesquisa, foram observados sinais de fragilidade tendínea em animais com diabetes crônica experimental não-controlada, a partir da avaliação das características biomecânicas do tendão e que demonstraram normalização de alguns parâmetros após a implementação de um exercício físico aeróbio em esteira. A partir desses resultados, pensou-se em desenvolver um modelo que privilegiasse uma modalidade aeróbia menos intensa e traumática e avaliar, também, se o organismo previamente treinado teria uma melhor resistência a desenvolver essa suposta tendinopatia diabética.

Inicialmente foi realizada uma revisão da literatura buscando avaliar as repercussões que o exercício físico aeróbio poderia ou não ocasionar na estrutura e biomecânica do tendão. Da revisão, originou-se o primeiro artigo resultante desta dissertação intitulado - *DOES AEROBIC PHYSICAL TRAINING PROMOTE CHANGES IN STRUCTURAL AND BIOMECHANICAL PROPERTIES OF THE TENDONS IN EXPERIMENTAL ANIMALS? A SYSTEMATIC REVIEW* (incluído no capítulo de Revisão da Literatura e submetido para publicação no periódico *Biology of Sport* - Conceito A2 na área 21 da CAPES). (Anexo A)

Este levantamento seria o ponto de partida para o entendimento das possíveis alterações observadas após a instalação do diabetes experimental nos animais. Através da revisão sistemática, foi elaborado um protocolo experimental utilizando animais de laboratório, ratos *Wistar*, com o objetivo de avaliar o efeito do exercício físico no tendão do calcâneo de ratos saudáveis e, posteriormente, o efeito desta atividade aplicado de maneira preventiva em animais induzidos quimicamente ao diabetes. Desde forma, imaginava-se que o exercício físico aplicado no período pré-indução promoveria adaptações tendíneas e metabólicas de modo a exercer um papel protetor.

Atendendo às normas vigentes do Programa de Pós-Graduação *Strictu Sensu* em Fisioterapia da UFPE para a elaboração da dissertação, o presente exemplar está estruturado da seguinte maneira:

Capítulo 1: Introdução

Capítulo 2: Revisão da Literatura

Capítulo 3: Hipótese Adotada

Capítulo 4: Objetivos

Capítulo 5: Materiais e Métodos

Capítulo 6: Referências: do corpo da dissertação.

Capítulo 7: Resultados – apresentação dos resultados desse estudo no formato de dois artigos originais:

Artigo Original 1 intitulado - **Parâmetros biomecânico e estrutural do tendão de ratos submetidos ao exercício físico em meio aquático** teve como objetivo avaliar o efeito do exercício físico de natação sobre o comportamento biomecânico e as propriedades estruturais do tendão do calcâneo de ratos *Wistar* saudáveis. Será submetido ao periódico *International Journal of Sports Medicine*, Conceito A2 na área 21 da CAPES.

Artigo Original 2 intitulado – **O exercício físico preventivo em meio aquático pode retardar os distúrbios metabólicos e o efeito degenerativo promovido pelo diabetes experimental no tendão do calcâneo de ratos *Wistar*?** teve como objetivo avaliar o efeito do exercício físico de natação aplicada de forma preventiva em animais induzidos quimicamente ao diabetes experimental.

Capítulo 8: Considerações Finais.

Capítulo 9: Limitações do Estudo.

Capítulo 10: Anexos

Capítulo 11: Apêndices

RESUMO

INTRODUÇÃO: Diabetes *Mellitus* é uma síndrome metabólica com índices de prevalência alarmantes na população geral. As complicações causadas pelas alterações metabólicas, principalmente pelos níveis elevados de glicose circulante, geram fragilidade do sistema músculo-tendíneo, podendo cursar com degeneração e ruptura. Uma forma de diminuir o avançar da síndrome é utilizando terapêuticas que aumentem a metabolização da glicose pelo organismo, tendo o exercício físico como propedêutica precípua. **OBJETIVO:** Realizar uma revisão sistemática sobre as repercussões do exercício físico aeróbio sobre o tendão de modelos experimentais e avaliar o efeito do exercício físico aeróbio em meio aquático pré e pós-indução sobre as alterações dos parâmetros clínicos e metabólicos e a instalação da tendinopatia do tendão do calcâneo em ratos induzidos ao diabetes experimental. **METODOLOGIA:** foram utilizados 54 ratos *Wistar* machos (70 dias de vida; $314,57g \pm 36,54$) distribuídos aleatoriamente em quatro grupos, Grupo controle (GC; n=15), Grupo Natação (GN; n=12), Grupo Diabético (GD; n=15), Grupo Diabético Natação (GDN; n=12). Os grupos treinados foram submetidos ao treinamento em um tanque com temperatura da água a $30 \pm 1^\circ C$, durante 1h/dia, 5 dias/semana durante oito semanas, enquanto os não treinados permaneceram restritos dentro das gaiolas. Todos os animais receberam ração e água *ad libitum*, além de serem mantidos em um ciclo invertido claro/escuro de 12h. A avaliação do consumo hídrico, ingestão sólida e urina foram realizadas em dois momentos do protocolo de treinamento, contudo os níveis glicêmicos foram analisados durante todo o experimento. Após o período experimental, os animais foram eutanasiados e o tendão do calcâneo da pata traseira esquerda do animal coletado. O tendão foi encaminhado para a realização do ensaio mecânico em uma máquina de ensaio convencional EMIC (modelo DL 500, Brasil) através de garras auto travantes e fixados a conectores de metal (2,5 x 3,5 cm). As amostras tendíneas foram tracionadas até o ponto de fracasso e captadas por uma célula de carga. Do gráfico tensão x deformação foram analisados os dados biomecânicos. Para a análise estatística foi utilizado o teste ANOVA one-way ($p < 0,05$). **RESULTADOS:** O exercício físico foi capaz de diminuir os níveis glicêmicos dos animais diabéticos treinados, porém sem o retorno a normalidade. Quanto às alterações biomecânicas e estruturais tendíneas, o treinamento não evitou o aumento da rigidez tendínea (módulo elástico), a

diminuição da área de seção transversal e o aumento da tensão no tendão.

CONCLUSÃO: O exercício físico em meio aquático, aplicado de maneira preventiva e continuada, não foi suficiente para reverter às complicações tendíneas geradas pelo diabetes, permanecendo o tendão predisposto a lesões, nem regularizar os parâmetros clínicos avaliados. Contudo, um sinal de controle glicêmico foi perceptível através do treinamento físico após a indução ao diabetes experimental.

DESCRITORES: Natação; tendão; modelos experimentais; exercício; biomecânica.

ABSTRACT

INTRODUCTION: Diabetes *Mellitus* is a metabolic syndrome with alarming prevalence rates in the general population. The complications caused by metabolic alterations, primarily by high levels of blood glucose, generate fragility in the muscle-tendon system, and can result in degeneration and rupture. One way to diminish the progression of the syndrome is by using therapies that increase the metabolism of glucose by the body, with physical activity as preventative treatment. **OBJECTIVE:** To evaluate the effect of aquatic aerobic exercise, pre- and post-induction, on changes of clinical and metabolic parameters and development of tendinopathy of the calcaneal tendon in rats induced to experimental diabetes. **METHODOLOGY:** 54 male Wistar rats were used (70 days old; $314.57 \pm 36.54\text{g}$) distributed randomly into four groups: Control Group (CG; n=15), Swimming Group (SG; n=12), Diabetic Group (DG; n=15), Diabetic Swimming Group (DSG; n=12). The trained groups were subjected to training in a tank with a water temperature of $30 \pm 1^\circ\text{C}$, during 1h/day, 5 days/week for eight weeks, while the sedentary groups remained restricted within the cages. All animals received feed and water *ad libitum*, in addition to being kept in a reversed light/dark cycle of 12h. The assessment of water consumption, solid intake and urine were performed at two moments in the training protocol, however glucose levels were analyzed during the entire experiment. After the experimental period, the animals were euthanized and the calcaneus tendons of the animals' left hind leg were collected. The tendon was prepared for a mechanical test on a conventional EMIC test machine (model DL 500, Brazil) through auto-locking claws fixed to metal connectors (2.5 x 3.5 cm). The tendon samples were strained to the point of failure and captured by a load cell. From the graph of strain x deformation, the biomechanical data were analyzed. For the statistical analysis, the one-way ANOVA test ($p < 0.05$) was used. **RESULTS:** physical activity was able to lower the glucose levels in trained, diabetic animals, but without a return to normality. As for the biomechanical and structural changes in tendons, training did not prevent the increase in tendon stiffness (elastic module), the decrease in transverse section area and the increase in tension in the tendon. **CONCLUSION:** Physical exercise in an aquatic environment, when applied in a preventive and continuous way, was not sufficient to reverse complications in tendons caused by diabetes, leaving the tendon predisposed to injuries, nor was it able to normalize the clinical parameters

evaluated. However, a degree of glucose control was apparent through physical training after the induction of experimental diabetes.

DESCRIPTORS: swimming; tendons; experimental models; exercise; biomechanics

1. INTRODUÇÃO

1.1. Diabetes *Mellitus*

O sedentarismo associado aos hábitos da sociedade pós-moderna têm se tornado fator desencadeante para inúmeras doenças crônicas degenerativas. Dentre estas o diabetes se apresenta com um aumento de incidência vertiginoso, caracterizando-se, atualmente, como um problema de saúde pública (MORAES et al., 2010), e uma das principais ameaça à saúde humana no século XXI (ZIMMET, ALBERTI, SHAW, 2001).

Estimativas expõem números alarmantes de 366 milhões de diabéticos por todo o mundo, apresentando uma projeção de aumento para 552 milhões em 2030 (WHITING et al., 2011). A contribuição da população brasileira para estes valores é de aproximadamente 8% entre a faixa dos 30-69 anos (MALERBI, FRANCO, 1992).

Considerada uma síndrome metabólica, o diabetes decorre da falta de insulina e/ou da incapacidade da mesma de exercer adequadamente sua função no organismo, podendo ser dividida etiologicamente em duas classes: a) diabetes do tipo 1, originado pela destruição das células beta pancreáticas que produzem a insulina capaz de transportar a glicose em nosso organismo. Em decorrência da ausência deste hormônio nestas condições, os índices glicêmicos elevam-se caracterizando o quadro de hiperglicemia que pode cursar com cetoacidose e o óbito, caso não seja controlada; e b) diabetes do tipo 2, originária de uma resistência a ação da insulina ou de uma deficiência na secreção da mesma, podendo ser originária de fatores relacionados aos hábitos não saudáveis como dieta hipercalórica, obesidade e sedentarismo (Consenso Brasileiro Sobre Diabetes, 2002).

A hiperglicemia crônica, quadro característico da diabetes, ocasiona distúrbios e complicações que podem ser decorrentes de alterações micro e macro-vasculares (RIBEIRO, OLIVEIRA, MELLO, 2007). Tais alterações podem culminar em nefropatias, retinopatias, doenças vasculares ateroscleróticas e amputação de membros (AGUIAR, VILLELA, BOUSKELA, 2007; ROSA, BARONI, PORTAL, 2007). Além disto, inúmeras associações entre diabetes e patologias músculo-esqueléticas foram descritas, sendo estas associações indiretas ou secundárias às complicações

vasculares e/ou neurológicas (CHAMMAS et al., 1995; KOESTER, GEORGE, KUHN, 2005; Diretrizes da Sociedade Brasileira de Diabetes, 2008; ROLIM et al., 2009).

No tecido conjuntivo do tendão, rico em colágeno, ocorre uma série de reações entre a porção amino-terminal do colágeno e a glicose livre, denominada glicosilação não enzimática. Este processo é apontado por alguns autores como determinante no processo degenerativo criado pelo quadro diabético (LE PAPE, MUH, BAILEY, 1981; SENSI et al., 1995; BARBOSA, OLIVEIRA, SEARA, 2008), assemelhando-se ao processo degenerativo do tendão em decorrência das modificações na estrutura do colágeno presentes no envelhecimento (MONNIER, KOHN, CERAMI, 1984).

No intuito de evitar ou impedir o avanço da doença e suas complicações, os tratamentos são utilizados de maneira criteriosa. Para os diabéticos do tipo 1 e 2, o exercício físico tem se tornado um recurso terapêutico e preventivo importante no manejo da síndrome (NIELSEN et al., 2006). Além disso, tratamentos que visam à reeducação alimentar e aplicação de substâncias que facilitem a metabolização da glicose têm sido utilizados.

1.2. Diabetes e o Exercício Físico

A utilização do exercício físico aeróbio isolado ou sua associação com exercício de resistência têm demonstrado resultados relevantes no equilíbrio glicêmico (SIGAL et al., 2007), na redução de hemoglobina glicada (MOSTARDA et al., 2009), do peso corporal, melhorias no sistema cardiorrespiratório e na saúde física geral de pessoas com diabetes (REID et al., 2010).

Um dos mecanismos relacionados a esta condição de regulação metabólica promovida pela prática de exercício físico está no âmbito do trabalho muscular. O músculo é responsável por 30% do consumo glicêmico corporal, além de estimular o transporte de glicose através de mediadores GLUT-4 (PAULI et al., 2009), promovendo uma maior captação e metabolização da glicose disponível no organismo.

Concomitante ao processo anteriormente descrito, o exercício físico também demonstrou ser importante no aumento do conteúdo insulínico, promovendo uma maior secreção deste hormônio em ilhotas pancreáticas isoladas em diabéticos do tipo 1 (HUANG et al., 2011).

Tancrede, Rousseau-Migneron e Nadeu (1982) foram os primeiros a descreverem os benefícios do exercício físico quando aplicados em animais induzidos ao diabetes experimental, obtendo melhorias na resistência a insulina e uma diminuição nos níveis de glicose plasmática após treinamento ergométrica durante 10 semanas.

Em outro estudo, Selagzi et al. (2008) submeteram ratos induzidos ao diabetes, através de uma dose única de streptozotocina, a realizarem exercício físico aeróbio do tipo natação no intuito de analisarem a resposta da neuropatia periférica ao treinamento. Os autores sugeriram um papel protetor e terapêutico do exercício físico visto que diminuía as latências dos potenciais de ação muscular.

Shima et al. (1993), em um estudo realizado com ratos, demonstrou que o aumento do exercício físico é efetivo na prevenção do desenvolvimento do diabetes *mellitus* não insulino-dependente, provavelmente pelo aumento da sensibilidade à insulina.

1.3. Propriedades Biomecânicas do tendão

A disposição em paralelo das fibras de colágeno ao eixo de movimentação tendínea propicia bastante resistência contra os estresses mecânicos ao qual o tendão é submetido constantemente nas atividades físicas ou atividades do dia-a-dia (KIRKENDALL, GARRETT, 1997).

A figura 1 (Adaptada de ALMEIDA-SILVEIRA et al., 2000) demonstra a curva característica formada pela carga e deformação impostas ao tendão quando tracionado até o ponto de ruptura, assim como a curva traçada pela tensão e deformação. A partir destas curvas, é possível identificar e quantificar parâmetros biomecânicos inerentes ao tendão e que podem caracterizar suas propriedades (JUNG, FISHER, WOO, 2009).

- a) Força máxima – máximo de carga suportada passivamente pelo tendão tracionado;
- b) Deformação máxima – o máximo de alongamento imposto ao tendão até a completa ruptura;
- c) Energia – quantidade de energia armazenada pela deformação elástica do tendão;

- d) Tensão máxima – calculada pelo quociente da força máxima suportada pela área de seção transversal do tendão, identifica a quantidade de tensão suportada pelas estruturas intrínsecas do tendão;
- e) Deformação específica – taxa de alongamento desempenhada pelo tendão, calculada pelo quociente entre o comprimento inicial pelo comprimento final;
- f) Módulo de elasticidade – determinada pelo inclinação da encontrada na curva tensão x deformação, a qual representa a viscoelasticidade tendínea ou rigidez representativa do tendão quanto material biológico.

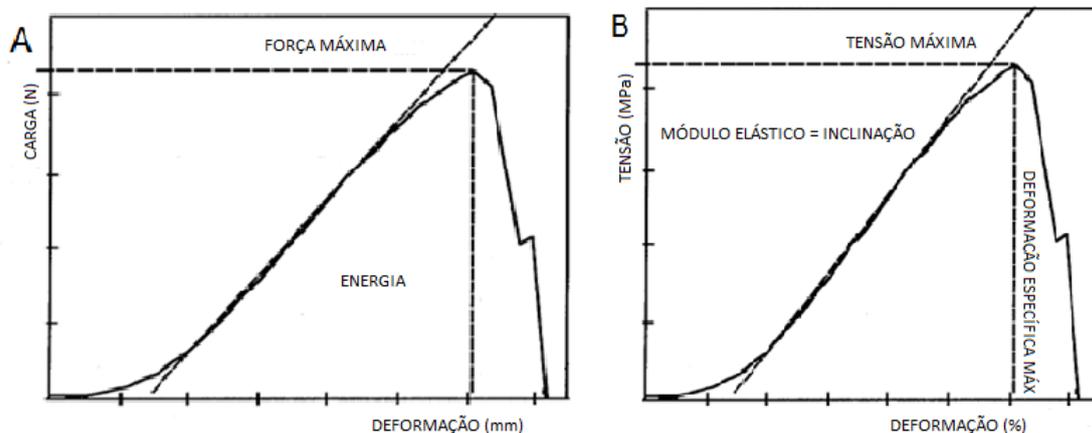


Figura 1. A) Curva carga x deformação; B) Curva tensão x deformação (Adaptada de ALMEIDA-SILVEIRA, M.I.; LAMBERTZ, D.; PEÂROT, C.; GOUBEL, F. Changes in stiffness induced by hindlimb suspension in rat Achilles tendon. *Eur J Appl Physiol*, v.81, p. 252-7, 2000)

A estrutura tendínea pode adaptar-se a diferentes situações como o treinamento físico (BUCHANAN, MARSH, 2001), períodos de imobilidade (AMEIDA-SILVEIRA et al., 2000) e patologias (OLIVEIRA et al., 2011). Segundo estes autores, estas adaptações desencadeiam alterações biomecânicas que implicam em tendões mais rígidos e resistentes ou frágeis e elásticos.

Por outro lado, o estudo da prática do exercício físico sobre a estrutura tendínea tem demonstrado aumento na síntese de colágeno (LANGBERG, ROSENDAL, KJÆR, 2001), além de adaptações estruturais (BUCHANAN & MARSH, 2002).

Esta plasticidade estrutural, resultante da sobrecarga tendínea, foi apontada por alguns pesquisadores, os quais observaram aumento da carga máxima suportada pelo tendão quando submetidos ao treinamento em meio aquático (SIMONSEN, KLITGAARD, BOJSEN-MOLLER, 1995) ou com treinamento de corrida (WOO et al., 1980; WOO et al., 1981). Além disso, alterações na deformação tendínea (WOO et al., 1980) e área de seção transversal (SOMMER, 1987) podem influenciar diretamente o comportamento biomecânico do tendão.

O aprimoramento do tendão como um material tênsil (VIIDIK 1967) e a capacidade de armazenamento e transmissão de energia (ROBERTS et al., 1997) são características do comportamento biomecânico passíveis de modificações através do treinamento físico (JUNG, FISHER, WOO, 2009).

Não obstante, a instalação de patologias como o diabetes podem causar degeneração tendínea e promover alterações biomecânicas como o aumento da deformação tendínea associada a uma diminuição da viscoelasticidade e redução da área de seção transversal (OLIVEIRA et al., 2011).

Entretanto, um estudo recente (OLIVEIRA et al. 2012) demonstrou a possibilidade de o exercício físico reverter às alterações biomecânicas originadas após a instalação do diabetes em modelos experimentais. Este estudo pode ser referência para uma possível proteção do sistema tendíneo caso seja submetido previamente ao exercício físico.

Contudo, apesar de alguns estudos relataram o aumento da força e da *stiffness* (rigidez) do tendão associada ao exercício físico (BUCHANAN e MARSH, 2002) e de nenhum estudo até o presente momento ter avaliado as respostas biomecânicas tendíneas de animais submetidos previamente ao exercício antes de adquirir o diabetes, acredita-se que o exercício física possa atenuar ou proteger da instalação de comorbidades biomecânicas promovendo uma adaptação prévia do sistema miotendíneo.

2. REVISÃO DA LITERATURA

ARTIGO DE REVISÃO SISTEMÁTICA

Submetido para publicação no periódico *Biology of Sport* - Conceito A2 na área 21 da CAPES).

DOES AEROBIC EXERCISE TRAINING PROMOTE CHANGES IN STRUCTURAL AND BIOMECHANICAL PROPERTIES OF THE TENDONS IN EXPERIMENTAL ANIMALS? A SYSTEMATIC REVIEW.

Bezerra, M.A.¹; Lira, K.D.S.¹; Silveira, P.V.C.¹; Coutinho, M.P.G.²; Lemos A.³ e Moraes, S.R.A.⁴

1 Physiotherapist, Masters Student in the Physiotherapy Graduate Program of the Federal University of Pernambuco – UFPE;

2 Physiotherapist of the Federal University of Pernambuco – UFPE;

3 Doctoral Professor of the Physiotherapy Department of the Federal University of Pernambuco – UFPE;

4 Associate Professor of the Anatomy Department of the Federal University of Pernambuco – UFPE;

CORRESPONDING AUTHOR:

Márcio Almeida Bezerra

Rua João Julião Martins, 179

58.429-015 Campina Grande PB – Brazil

Telefone +55 83 3333 2995

Cell phone +55 83 9352 3204

E-mail address: marcioalmeidabezerra@gmail.com (M. A. Bezerra)

ABSTRACT

Objective: To develop a systematic review to evaluate, through the best scientific evidence available, the effectiveness of aerobic exercise in improving the biomechanical characteristics of tendons in experimental animals. **Methods:** Two independent assessors conducted a systematic search in the databases Medline/PUBMED and Lilacs/BIREME, using the descriptors of *Mesh* in animal models. The ultimate load of traction and the elastic modulus tendon were used as primary outcomes and transverse section area, ultimate stress and tendon strain as secondary outcomes. The assessment of risk of bias in the studies was carried out using the following methodological components: light/dark cycle, temperature, nutrition, housing, research undertaken in conjunction with an ethics committee, randomization, adaptation of the animals to the training and preparation for the mechanical test. **Results:** Eight studies, comprising 384 animals, were selected; it was not possible to combine them into one meta-analysis due to the heterogeneity of the samples. There was a trend to increasing ultimate load without changes in the other outcomes studied. Only one study met more than 80% of the quality criteria. **Conclusion:** Physical training performed in a structured way with imposition of overloads seems to be able to promote changes in tendon structure of experimental models by increasing the ultimate load supported. However, the results of the influence of exercise on the elastic modulus parameters, strain, transverse section area and ultimate stress, remain controversial and inconclusive. Such a conclusion must be evaluated with reservation as there was low methodological control in the studies included in this review.

INTRODUCTION

The tendon is a connective tissue responsible for the transmission of force from the muscular tissue to the bones, promoting body movement. Its hierarchical structure composed of collagen fibrils, organized into fascicles makes it a living structure and subject to adjustments and modifications when subjected to overloads (WANG, 2006) imposed on the body, in a planned, structured and repetitive way, in order to maintain or promote improvements in the body, as observed during physical exercise (Caspersen, 1985).

The study of the practice of physical exercise on tendon structure has shown improvement in vascularization post-physical exercise (COOK et al., 2005), increased production of Interleukin-6 near the peritendinous structure (LANGBERG et al., 2002), increased collagen synthesis (LANGBERG et al., 2001), in addition to structural adaptations (BUCHANAN & MARSH, 2002).

To evaluate these structural adaptations, animal models are used in order to analyze the tendon through biomechanical tests to the point of rupture of the tendon through conventional mechanical test machines (ALMEIDA-SILVEIRA et al., 2000). However, the large variety of these machines and the different outcomes of the tendons subjected to an overload of exercise make uncertain the real contribution of this therapeutic modality.

Therefore, this review aims to evaluate, through the scientific evidence available, the effectiveness of aerobic physical exercise in improving the biomechanical characteristics of the tendon in animal models.

METHODOLOGY

This systematic review was carried out by means of a search in the databases of MEDLINE/PUBMED and Lilacs/BIREME, without restriction of year or language. Through the *Medical Subject Headings* (MeSH) the following descriptors were extracted for selecting

articles: “motor activity”, “exercise, running”, “swimming”, “mechanical phenomenal”, “mechanical stress”, “biomechanics”, “tendons” and “connective tissue”. In addition, the following keywords were used: “Mechanical Test”, “Mechanical Properties”, “Mechanical Trial”, “Physical Training”, “Training”, “Physical Activity” and “Treadmill Running”. Moreover, a limitation was established to only include articles that used experimental animals in the study.

The search was conducted in the electronic databases by two independent researchers (MAB and PVCS) using a computer and a pre-defined protocol. A third evaluator (KDSL) was consulted when necessary as an arbitrator for defining inclusion or non-inclusion of articles contested between the researchers. Finally, data extractions were performed in accordance with the evaluation criteria of the eligible studies.

For inclusion in this review, the studies had to 1) present intervention research that assessed the tendon response of experimental animals of any species, submitted to aerobic physical exercise, of any kind, by means of 2) the conventional mechanical test to the point of failure of the tendon and 3) compare the group that had trained with a control group without training. Studies were excluded where animals were subjected to surgical interventions to repair the tendon, replacement of the anatomical part or structural sutures, the use of any substances which could enhance or impair the biomechanics of the tendon (e.g., hormones, medicines and anabolic agents), in addition to mechanical tests that used any form of *in vivo* biomechanical assessment of the tendon.

The assessment of risk of bias of the studies was carried out by individual components of the specific points which interfered in the internal validity of experimental studies, in accordance with the recommendation of Hoojimans et al. (2010). In this way, the following items were assessed: laboratory control over temperature, light/dark cycle, nutrition and housing, randomization of the groups and the evaluation of the study by an ethics committee.

With regard to the quality of the exercise protocol used in different studies, the following aspects were analyzed: animal adaptation to the training and preparation of the tendon for the mechanical test.

The following were considered as primary outcomes: ultimate load and elastic modulus; as secondary outcomes: the transverse sectional area of the tendon, tendon strain, and the ultimate stress reached by the tendon.

RESULTS

Of the 259 articles found, 10 were potentially eligible and selected for a more detailed review. Of these, only seven met the search criteria with the inclusion of another article selected from the list of references of the included studies (Figure 1).

In regards to the assessment of the quality criteria examined in this review, the studies are linked chronologically in Table 1. These showed a methodological deficit, with only four studies meeting 50% or more of the criteria analyzed.

The characteristics of the samples analyzed in this review are presented in chronological order in the Table 2. Of these, a total of 384 animals were studied between control groups (n=87) and exercised (n=105). In one study, the number of animals belonging to the treatment group was not reported, but only the total number of animals used, 192 (SOMMER 1987). One study (VIIDIK, 1967) did not report the gender of species studied and the age of the animal. As for the tendon chosen, the Achilles was the most frequent in the eligible studies.

Concerning the modality of physical activity used in the studies, racing was prevalent, being replaced by swimming without load in the study by Simonsen and collaborators (1995). Two studies (SIMONSEN et al., 1995; LEGERLOTZ et al., 2007) presented a third group of animals subjected to resistance training (anaerobic exercises of force). With respect to the

training time, the studies ranged from three to 18 months depending on the protocol used in each study (Table 2).

The relationship of the variables analyzed and the results of the eight studies included in this review are described in Table 3. One of the studies (VIIDIK, 1967) had a significance level ($2p=0.1$) different from those used by the other studies ($p=0.05$) and the study of Sommer and collaborators (1987) do not report the statistical value of results found. The elastic modulus presented contradictory results in two studies that found changes in this parameter (Viidik, A 1967; VIIDIK et al., 1996), while an increase in the ultimate load supported by the tendon in the mechanical test was found in three (WOO et al., 1960; WOO et al., 1981; SIMONSEM et al., 1995) of the five surveys that analyzed this outcome. The transverse section of the tendon had an increased value in two (WOO et al., 1981; SOMMER, 1987) of the four studies that investigated this variable.

DISCUSSION

Research on experimental animals has been viewed as a prerequisite for designing studies in humans, because it helps the scientific community in the understanding of diseases and the effect of interventions on the metabolism in general.

Research through translational studies is a striking example of the connection of studies and laboratory discoveries being transformed into tools or means of targeted treatments in clinical studies. In this way, basic research not only fulfills the role of uncovering new discoveries through animal models, but also of enhancing and promoting knowledge applicable in the future to patients and public health (AZEVEDO, 2009; OLIVEIRA, 2009).

Despite this scientific momentum, research involving animal experimentation has shown shortcomings in methodological conceptions, compromising the accuracy and the transition of these findings to clinical research (DIRNAGL, 2006).

The aim in this study, of assessing changes in the biomechanical characteristics and structural properties of the tendon of animals subjected to aerobic training, by means of a systematic review, found differences in the methodology of the studies, as well as contradictory results regarding the effect of the training intervention.

With regard to the primary outcomes, this research found a tendency for increased ultimate load supported by the tendons of animals that have undergone training in addition to conflicting results regarding the elastic modulus. The former can be justified by the increase of organic components (e.g. collagen) in the tendon structure when subjected to physical training (WOO et al., 1980), while the latter finding requires better biomechanical research in view of the disparity of outcomes.

Concerning the secondary outcomes, the ultimate stress produced controversial results when subjected to physical training, while tendon strain showed biomechanical changes, in only one study, reporting a decrease in this parameter that can be confirmed by increased percentage of collagen fibers examined biochemically by the same author. On the other hand, physical training was able to promote an increase in transverse section area, making it one of the factors responsible for tendon plasticity. However, the diverse methods of evaluation used in the absence of a gold standard of benchmarks, can derail the end result, making it inconclusive.

Nevertheless, looking at the article which best managed the risks of biases (LEGERLOTZ et al., 2007), it was not possible to detect any significant change resulting from physical training both in structure and in the biomechanical properties of the tendon of the sample in question.

A systematic review has as its main focus not only to bring together major works involving major changes in structural and biomechanical properties of tendons in experimental animals submitted to aerobic physical training, but also to examine the methodological process on which the articles were based to assess the trustworthiness of the results found, whether they be positive or negative.

Among the methodological findings, only one study reported submission to an ethics committee for the development of a research using experimental animals. Approval by a committee specialized in the management of these specimens is necessary in order that the research maintain a proper internal validity and a reproducible pattern of study, in addition to not causing mistreatment. Despite the fact that the *Guide for the Care and Use of Laboratory Animals* was created in 1963 and is widely used as basic reference in experimentation (ILAR, 2003), only one article (LEGERLOTZ et al., 2007) of this review reported the approval of the research protocol by a committee specialized in animal studies.

The conflict of results found in the literature, primarily the discordant ones, deserves a careful analysis of the methodologies which were undertaken in order to find fault or even divergent points to justify differentiated results. In this way, the information about the management of experimental animals, including the environment in which they were kept during development of the experiment, nutrition, water supply, lighting, temperature, among others, are all of extreme importance for the understanding of the experimental process in which the animals were subjected (ELLERY, 1985). Despite this premise only two studies reported the temperature at which the animals were kept (VIIDIK et al., 1996; NIELSEN et al., 1998) and only three reported the light/dark cycle to which the animals were subjected (VIIDIK et al., 1996; NIELSEN et al., 1998; LEGERLOTZ et al., 2007).

The temperature and the light/dark cycle under which the animals are kept can alter metabolic rates, as well as cardiac pressure and frequency (LI et al., 1999; SWOAP et al.,

2003, AZAR et al., 2008), which in animals subjected to aerobic training can affect animal performance and compromise the results of the activity. In addition, changes in the light/dark cycle may also affect corporal metabolism (body weight, ingested liquid, excretion) and animal behavior by making it more aggressive (VAN DER MEER et al., 2004) and without predisposition for training.

In our review, three studies did not report the manner in which the animals were kept, singly or in groups (VIIDIK, 1967; SOMMER et al., 1987; SIMONSEN et al., 1995). In research that requires the use of a large number of animals, their grouping in common or individual environments completely influences their performance and adaptation before and after the interventions. The animal population in a micro-environment can influence the central hormonal responses (STRANAHAN, KHALIL and GOULD, 2006), hierarchical dominance behavior (ARNDT et al., 2009), or even influence the immune system when the animals are isolated. These differences make comparisons unreliable between studies using isolated animals with those using groups (BARTOLOMUCCI et al., 2003).

In an attempt to keep a sensible default, as regards the methodology employed in experimental research, the risks of biases in managing basic situations such as the amount of food and water available to the animal or even the type of food that is made available, cannot be neglected. Food restriction or changes in the supply of food can result in elevation of corticosteroids with consequent changes in behavior and stress (HEIDERSTADT et al., 2000). In addition, the need to maintain the same kind of food becomes necessary in order to provide the same amount of proteins, carbohydrates and lipids. However, three studies (VIIDIK, 1967; SOMMER et al., 1987; SIMONSEN et al., 1995) did not report the necessary information about nutrition and supply of water and food.

In the case of assigning a new activity to the daily life of animals, it is imperative to allow an adjustment period for the animals to become familiar with the space in which the

procedure is performed in order to avoid any kind of stress to the animal. In only four works was a period of adaptation of the animals to the training performed (WOO et al., 1981; SOMMER, 1987; SIMONSEN et al., 1995; LEGERLOTZ et al., 2007).

The lack of adaptation of animals to the exercise can affect the final results of the research, as can the method used for preparing the test of structures evaluated by the study. When it comes to biomechanical testing of soft tissues such as tendon, after the storage period of the anatomical part or even in the use of fresh tissue, the preconditioning of the tendon structure has become a rule (CHENG; CLARKE; BILSTON 2009). This preconditioning generates a baseline load level used to test the biomechanical properties, with the procedure adopted appropriate for the type of tissue used (CONZA 2005). In this review, only three studies (WOO et al., 1981; SIMONSEN et al., 1995; LEGERLOTZ et al., 2007) conducted these adjustments before the mechanical test.

In this review we found studies that have identified changes of biomechanical properties and others where exercise has not imposed any modifications. Studies with greater internal control are needed to fill the existing scientific gap regarding the real contribution of physical exercise to the biomechanical behavior of the tendon.

CONCLUSION

Physical training performed in a structured way with the imposition of overloads seems to be able to promote changes in tendon structure of experimental models by increasing the ultimate load supported. However, the result of the influence of physical training on the parameters of elastic modulus, strain, transverse section area and ultimate stress, remain controversial and inconclusive. Such a conclusion must take into account the low methodological control of the studies included in this review. Thus, the implications of these findings for future research in animal models include greater methodological control,

specifically with appropriate randomization of samples, greater control of the conditions of keeping animals and principally in the form of evaluation of biomechanical characteristics.

REFERERENCES

1. ALMEIDA-SILVEIRA, M.I.; LAMBERTZ, D.; PÉAROT, C.; GOUBEL, F. Changes in stiffness induced by hindlimb suspension in rat Achilles tendon. *Eur J Appl Physiol* 2000, 81: 252-7.
2. ARNDT, S.S.; LAARAKKER, M.C.; VAN LITH, H.A.; VAN DER STAAY, F.J.; GIELING, E.; SALOMONS, A.R.; VAN'T KLOOSTER, J.; OHL, F. Individual housing of mice - Impact on behaviour and stress responses. *Physiology & Behavior* 2009, 97: 385–93.
3. AZAR, T.A.; SHARP, J.L.; LAWSON, D.M. Effect of Housing Rats in Dim Light or Long Nights on Heart Rate *Journal of the American Association for Laboratory Animal Science* 2008, 47(4): 25-34.
4. AZEVEDO, V.F. Medicina translacional: qual a importância para a prática reumatológica? *Revista Brasileira de Reumatologia* 2009, 49(1):81-3.
5. BARTOLOMUCCI, A.; PALANZA, P.; SACERDOTE, P.; CERESINI, G.; CHIRIELEISON, A.; PANERAI, A.E.; PARMIGIANI, S. Individual housing induces altered immunoendocrine responses to psychological stress in male mice. *Psychoneuroendocrinology* 2003, 28: 540–58.
6. BUCHANAN, C.I.; MARSH, R.L. Effects of exercise on the biomechanical, biochemical and structural properties of tendons. *Comparative biochemistry and physiology Part A Molecular integrative physiology* 2002, 133(4): 1101-7.
7. CASPERSEN, C.J.C.; POWELL, K.E.; CHRISTENSON, G.M. Physical Activity, Exercise and Physical Fitness: Definitions and Distinctions for Health-Related Research. *Public Health Reports* 1985, 100(2): 126-31
8. CHENG, S.; CLARKE, E.C.; BILSTON, L.E. The effects of preconditioning strain on measured tissue properties. *Journal of Biomechanics* 2009, 42(9): 1360-2.
9. CONZA, N. Part 3: Tissue preconditioning. *Engineering issues in experimental biomedicine series. Experimental Techniques* 2005, 29(2): 43-6.
10. COOK, J.L.; KISS, Z.S.; PTASZNIK, R.; MALLIARAS, P. Is vascularity more evident after exercise? Implications for tendon imaging. *AJR* 2005, 185:1138–40.

11. DIRNAGL, U. Bench to bedside: the quest for quality in experimental stroke research. *Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism* 2006, 26: 1465–78.
12. ELLERY, A.W. Guidelines for specification of animals and husbandry methods when reporting the results of animal experiments. *Laboratory Animals* 1985, 19: 106-8.
13. HEIDERSTADT, K.M.; MCLAUGHLIN, R.M.; WRIGHE, D.C.; WALKER, S.E.; GOMEZ-SANCHEZ, C.E. The effect of chronic food and water restriction on open-field behaviour and serum corticosterone levels in rats. *Laboratory Animals* 2000, 34: 20-8.
14. HOOIJMANS, C.R.; MARLIES LEENAARS, M.; RITSKES-HOITINGA, M. A Gold Standard Publication Checklist to Improve the Quality of Animal Studies, to Fully Integrate the Three Rs, and to Make Systematic Reviews More Feasible. *Alternatives to Laboratory Animals (ATLA)* 2010, 38: 167–82.
15. INSTITUTE OF LABORATORY ANIMALS RESOURCES (ILAR), Commission on Life Sciences, National Research Council. *Manual sobre Cuidados e Usos de Animais de Laboratório/ tradução Guillermo Rivera*. Goiânia: AAALAC e COBEA, 2003.
16. LANGBERG, H.; OLESEN, J.L.; GEMMER, C.; KJÆR, M. Substantial elevation of interleukin-6 concentration in peritendinous tissue, in contrast to muscle, following prolonged exercise in humans. *Journal of Physiology* 2002, 542(3): 985–90.
17. LANGBERG, H; ROSENDAL, L; KJÆR, M. Training-induced changes in peritendinous type I collagen turnover determined by microdialysis in humans. *Journal of Physiology* 2001, 534(1): 297–302.
18. LEGERLOTZ, K.; SCHJERLING, P.; LANGBERG, H.; BRUGGEMANN, G-P.; NIEHOFF, A. The effect of running, strength, and vibration strength training on the mechanical, morphological, and biochemical properties of the Achilles tendon in rats. *J Appl Physiol* 2007, 102: 564–72.
19. LI, P.; SUR, S.H.; MISTLBERGER, R.E.; MARIANA MORRIS, M. Circadian blood pressure and heart rate rhythms in mice. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 1999, 276: 500-4.
20. LIBERATI, A.; ALTMAN, D.G.; TETZLAFF, J.; MULROW, C.; GØTZSCHE, P.C.; IOANNIDIS, J.P.A.; CLARKE, M.; DEVEREAUX, P.J.; KLEIJNEN, J.; MOHER, D. The PRISMA Statement for Reporting Systematic Reviews and Meta-Analyses of Studies That Evaluate Health Care Interventions: Explanation and Elaboration. *PLoS Medicine* 2009, 6(7).
21. NIELSEN, H.M.; SKALICKY, M; VIIDIK, A. Influence of physical exercise on aging rats. III. Life-long exercise modifies the aging changes of the mechanical properties of limb muscle tendons. *Mechanisms of Ageing and Development* 1998, 100: 243–60.

22. OLIVEIRA, L.V.F Da bancada ao leito: a partir de um diagnóstico preciso para o tratamento adequado. O uso crescente da pesquisa translacional. *ConScientiae Saúde* 2009, 8(4): 545-7.
23. SIMONSEN, E.B.; KLITGAARD, H.; BOJSEN-MOLLER, F. The influence of strength training, swim training and ageing on the Achilles tendon and m. soleus of rat. *Journal of Sports Sciences* 1995, 13: 291-5.
24. SOMMER, H.M. The biomechanical and metabolic effects of a running regime on the Achilles tendon in the rat. *International Orthopaedics (SICOT)* 1987, 2: 71-5.
25. STRANAHAN, A.M.; KHALIL, D.; GOULD, E. Social isolation delays the positive effects of running on adult Neurogenesis. *Nat Neurosci* 2006, 9(4): 526–533.
26. SWOAP, S.J.; OVERTON, J.M.; GARBER, G. Effect of ambient temperature on cardiovascular parameters in rats and mice: a comparative approach. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 2004, 287: 391-6.
27. VAN DER MEER, E.; VAN LOO, P.L.P.; BAUMANS, V. Short-term effects of a disturbed light–dark cycle and environmental enrichment on aggression and stress-related parameters in male mice. *Laboratory Animals* 2004, 38: 376–83.
28. VIIDIK, A. The effects of training on the tensile strength of isolated rabbits tendons. *Scand J Plast Reconstr Surg* 1967, 1: 141-7.
29. VIIDIK, A.; NIELSEN, H.M.; SKALICKY, M. Influence of physical exercise on aging rats: II. Life-long exercise delays aging of tail tendon collagen. *Mechanisms of Ageing and Development* 1996, 88:139-48.
30. WANG, J.H.C. Mechanobiology of tendon. *Journal of Biomechanics*, 2006 39: 1563–82
31. WOO, S.L-Y.; GOMEZ, M.A.; AMIEL, D.; RITTER, M.A.; GELBERMAN, R.H.; AKESON, W.H. The effects of exercise on the biomechanical and biochemical properties of swine digital flexor tendons. *Journal of Biomechanical Engineering* 1981, 103: 51-6.
32. WOO, S.L-Y.; RITTER, M.A.; AMIEL, D.; SANDERS, T.M.; GOMEZ, M.A.; KUEI, S.C.; GARFIN, S.R.; AKESON, W.H. The biomechanical and biochemical properties of swine tendons - long term effects of exercise on the digital extensors. *Connective Tissue Research*, 1980, 7:177-83.

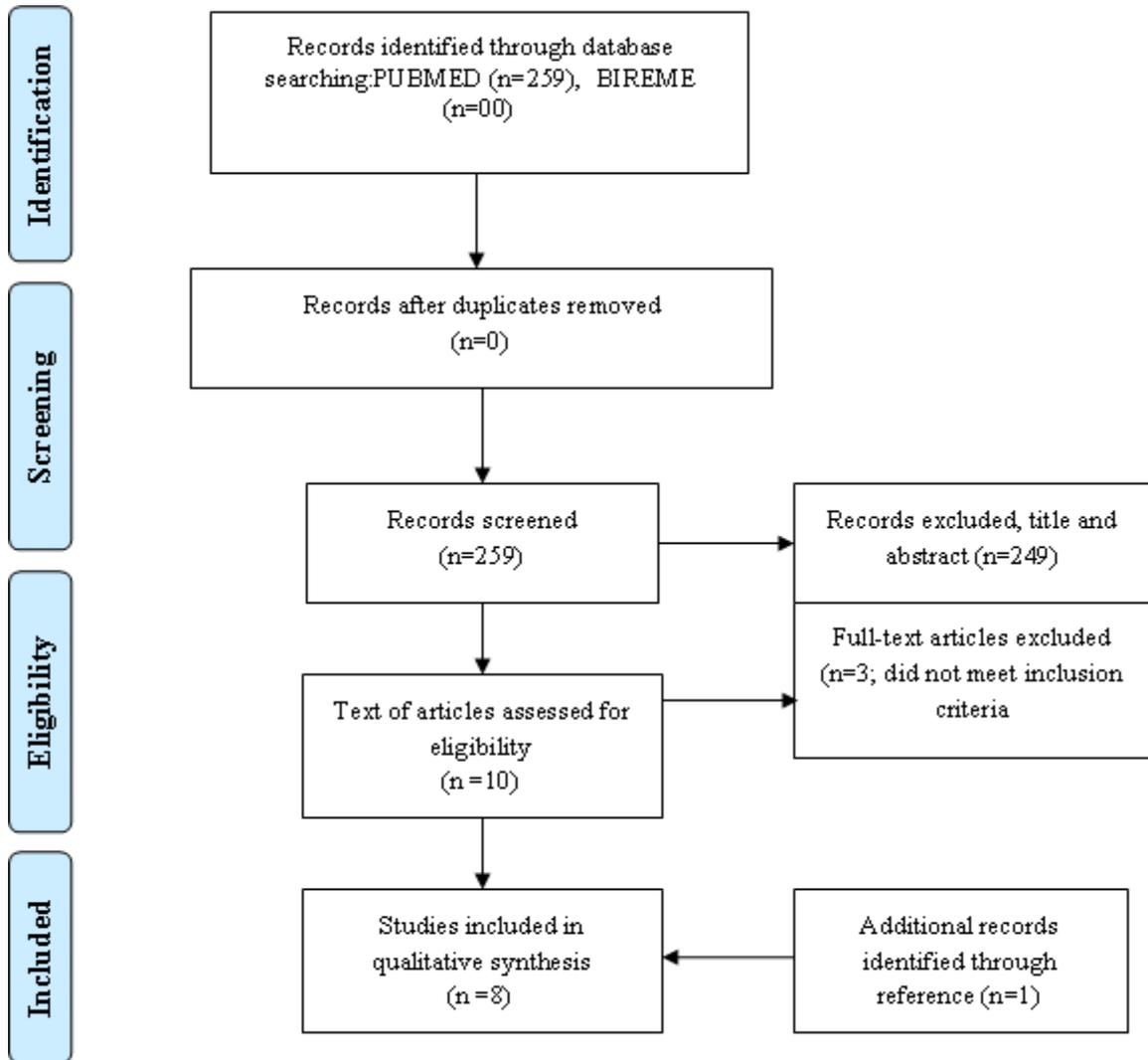


Figure 1 - Search and selection of studies for systematic review according to PRISMA (Preferred Reporting of Systematic Reviews and Meta-Analyses) (LIBERATI et. al., 2009).

Table 1 - Quality of the studies included in the systematic review.

AUTOR YEAR	LABORATORY MANAGEMENT			WATER AND FOOD NUTRITION	ETHICAL PROTOCOL	RANDOMIZATION	TRAINING ADAPTATION	PRE- LOADING
	TEMPERATURE	LIGHTING	HOUSING					
VIIDIK, 1967	-	-	-	-	-	-	-	-
WOO et al., 1980	-	-	+	+	-	+	-	-
WOO et al., 1981	-	-	+	+	-	+	+	+
SOMMER et al., 1987	-	-	-	-	-	-	+	-
SIMONSEN et al., 1995	-	-	-	-	-	-	+	+
VIIDIK et al., 1996	+	+	+	+	-	-	-	-
NIELSEN et al., 1998	+	+	+	+	-	-	-	-
LEGERLOTZ et al., 2007	-	+	+	+	+	+	+	+

+ variable studied; - variable not studied

Table 2 – Characteristics of the studies eligible for the review in chronological order.

AUTOR YEAR	SAMPLE	GENDER	SAMPLE AGE	TENDON	PHYSICAL ACTIVITY	PHYSICAL PROTOCOL
Viidik, A 1967	CG = 13 TG = 15	Rabbit Gender not indicated	Not informed	- Tibialis posterior - Peronei	Treadmill	40 weeks of training. How the training was carried out was not informed
Woo et al., 1980	CG = 4 TG = 5	<i>Yucatan swine</i> Males and females	12M at the start of training	- Digital extensors	Treadmill	Animals trained 8 months in a circular track and 4 months on a motorized treadmill. One hour per day at 1.6 m/s and an additional 30 minutes per day at 2.2 m/s, 5 days a week. A training of 12 months' duration.
Woo et al., 1981	CG = 4 TG = 5	<i>Yucatan swine</i> Males and females	12M at the start of training	- Digital flexor	Treadmill	Conditioning during 1 month, 5 days a week, at 5km/h during 20 minutes. After the 3 rd week, the duration and velocities were increased to 60 minutes at 6km/h. Over the next 8 months, the animals trained for 60 min/day at 6km/h with an additional 30min/day at 8 km/hr.
Sommer, HM 1987	Division not informed, total of 192 rats	<i>Wistar rats</i> Males	4 M at the start of training	- Achilles tendon	Treadmill	The groups of animals (except control) were subjected to the same progressive race until the 8 th week. After the 8 th week, the animals were divided into speed training, endurance and speed, and endurance only.
Simonsen et al., 1995	CG = 19; FTG = 6;	<i>Wistar rats</i> Males	CG - 9 M STG and FTG- 24M	- Achilles tendon	Swimming	1 st week – 4 days of training for 30, 45, 60 and 75 minutes. In the

	STG = 5		STG and FTG- 29M On the day of sacrifice			subsequent 15 weeks, 90 minute trainings were conducted, 4 times a week without extra loads.
Viidik et al., 1996	CG = 26; TG = 18 YCG = 20	<i>Sprague-Dawley rats</i> Males	CG – 23M TG – 23M YCG – 5M On the day of sacrifice	Tail tendon	Treadmill	Two training sessions per day, 5 times a week, for 18 months, with a duration of 20 minutes for each session at a speed of 20 m/s.
Nielson et al., 1998	CG = 21 TG = 17 YCG = 20	<i>Sprague-Dawley rats</i> Males	CG – 23M TG – 23M YCG – 5M On the day of sacrifice	- Tibialis anterior - Flexor digitorum longus	Treadmill	Two training sessions per day, 5 times a week, for 18 months, with a duration of 20 minutes for each session at a speed of 20 m/min.
Legerlotz et al., 2007	CG = 20 RTG = 20 WTG = 24	<i>Sprague-Dawley rats</i> Females	10W at the start of training	- Achilles tendon	Running Wheel	The animals ran freely for 12 weeks, maintaining an average daily distance of 10.1±2.9 km/day.

CG-control group; TG – Trained group; YCG – young control group; FTG – force trained group; STG – swim trained group; RTG – running trained group; WTG – weight trained group; M – months; W – weeks

Table 3- Characteristics of the eligible studies in terms of the variables analyzed.

AUTHOR YEAR	ULTIMATE LOAD	STRAIN	TRANSVERSE SECTIONAL AREA	ELASTIC MODULUS	ULTIMATE TENSILE STRESS
Viidik, A 1967	Ø	Ø	NA	TG 703.4±26.5 MPa CG 637±19.6 MPa 2p<0.10	NA
Woo et al., 1980	*TG ↑ p< 0.005	*TG ↓ p< 0.005	*TG ↑ p< 0.005	NA	*TG ↑ p< 0.005
Woo et al., 1981	TG 1.95±0.06 10 ³ N CG 1.63±0.07 10 ³ N p<0.005	Ø	Ø	NA	Ø
Sommer, HM 1987	NA	NA	TG 1.72 ± 0.36 mm ² CG 1.55±0.35 mm ² p- not reported	NA	TG 50.7±13.5 MPa CG 55.8±11.1 MPa p- not reported
Simonsen et al., 1995	TG-56.8 N CG- 45 N p=0.01	NA	NA	NA	NA
Viidik et al., 1996	NA	Ø	NA	TG 350.1±21.9 MPa CG 413.4±9.4 MPa p<0.001	TG 457.2±21.9 MPa CG 534±17 MPa p<0.05
Nielson et al., 1998	NA	Ø	NA	Ø	Ø
Legerlotz et al., 2007	Ø	Ø	Ø	Ø	Ø

* value not reported; N – Newtons; MPa – Mega Pascal; mm²- square millimeters; Ø – no significant difference; NA- not analyzed; TG- trained group; CG – control group

3. HIPÓTESE ADOTADA

- O exercício físico aeróbio em meio aquático aplicado nos período pré e pós-indução do Diabetes poderia prevenir o desenvolvimento do processo degenerativo do tendão do calcâneo de ratos e preservar as características biomecânicas do mesmo.

4. OBJETIVOS

4.1. GERAL

- Avaliar o efeito do treino físico aeróbio em meio aquático pré e pós-indução sobre as alterações nos parâmetros clínicos e metabólicos e na instalação da tendinopatia do tendão do calcâneo em ratos induzidos ao diabetes experimental.

4.2. ESPECÍFICOS

- Avaliar parâmetros clínicos e metabólicos através da análise da evolução ponderal, da glicemia, da ingestão de água e ração, e da diurese dos animais;
- Realizar o ensaio mecânico para avaliar as propriedades estruturais (análise da força máxima suportada pelo tendão, comprimento base tendíneo, deformação máxima do tendão e área de seção transversal);
- Avaliar o comportamento biomecânico do tendão (análise do módulo de elasticidade, tensão máxima, energia/área e deformação específica).

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1. ANIMAIS

Para o estudo foram utilizados ratos machos da raça *Rattus Novergicus Albinus*, linhagem *Wistar*, provenientes do biotério de criação do Departamento de Nutrição (70 dias de vida; $314,57g \pm 36,54$) e mantidos no Biotério de Experimentação do Departamento de Anatomia em gaiolas de prolipropileno de tamanho 41x34x16 cm (quatro animais por gaiola), em ambiente climatizado ($22 \text{ graus} \pm 1^\circ$), ciclo de luz claro/escuro invertido de 12 horas e acesso livre à ração (Labina® - Purina) e água.

Todo o manejo e procedimento adotados estavam de acordo com o *Guide for the Care and Use of Laboratory Animal* e aprovado pelo Comitê de Ética em Experimentação Animal (CEEA) da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (ANEXO B).

5.2. GRUPOS EXPERIMENTAIS

Os animais foram distribuídos aleatoriamente em quatro grupos experimentais: a) Grupo Controle (GC, n= 15), animais não diabéticos e não treinados, restritos apenas às atividades no interior da gaiola, b) Grupo Controle Diabético (GD, n= 15), animais não submetidos a nenhum tipo de treino, restrito apenas as atividades no interior da gaiola e posteriormente induzidos ao diabetes experimental, c) Grupo Treinado Natação (GN, n= 12), submetidos ao treino físico durante oito semanas e, d) Grupo Treinado Natação Diabético (GND, n= 12), submetido ao treino físico durante oito semanas e induzido ao diabetes experimental.

2.3. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Ao completarem 70 dias de vida os animais dos grupos de treino iniciaram o período de treinamento pré-indução (quatro semanas), enquanto os animais controles foram mantidos nas suas gaiolas. Na quinta semana do experimento, o treinamento foi interrompido para a realização da indução ao diabetes para os grupos GD e GND e reprodução do estresse da indução nos grupos não diabéticos e

realização das avaliações dos consumos hídricos, ingestão alimentar e diurese gaiola metabólica 1, numa amostra aleatoriamente selecionada. Nas quatro semanas seguintes os animais dos dois grupos de treino (GN e GND) continuaram o período de treinamento durante mais quatro semanas. Ao final do período de treinamento foi realizada as mesmas avaliações de consumo e diurese no período da gaiola metabólica 2 e em seguida a coleta do material tendíneo. (Figura 1).

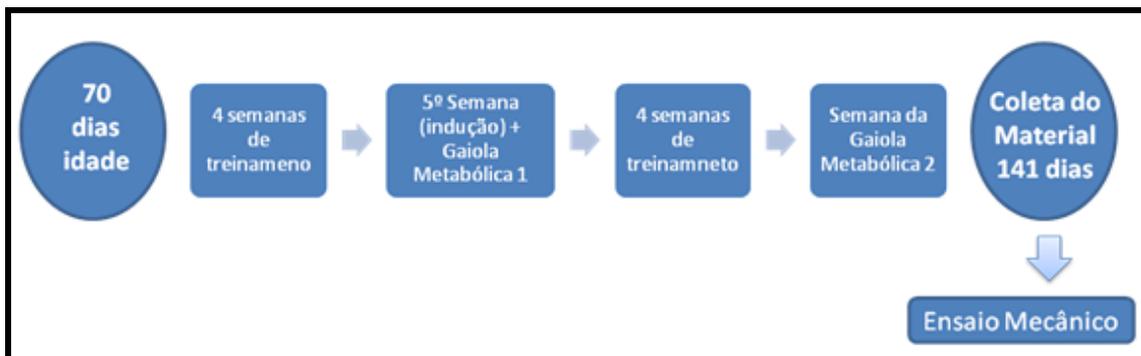


Figura 2. Fluxograma demonstrando o delineamento experimental utilizado no estudo.

5.4. INDUÇÃO AO DIABETES

Ao completarem 96 ± 2 dias de vida, ($364,84g \pm 45,48$) e após um jejum de 14 horas, os animais foram induzidos ao diabetes experimental (tipo 1) através da injeção intraperitoneal de solução de Estreptozotocina (Sigma Chemical Co., USA) $60mg/kg$ de peso animal por via intraperitoneal diluída em solução tampão de Citrato de Sódio a 10 mM e pH 4,5, em dose única. Para os animais não diabéticos, foi realizado um estresse da injeção com doses semelhantes de solução tampão Citrato de Sódio. Decorridos 30 minutos após o procedimento todos os animais tiveram acesso livre a ração e a água (LENZEN, 2008).

Os animais que apresentaram valores glicêmicos acima de 200 mg/dL foram considerados diabéticos e incluídos no estudo (CARVALHO, CARVALHO, FERREIRA, 2003), enquanto os animais que permaneceram com níveis glicêmicos inferiores a esse patamar foram eutanasiados.

5.5. TREINAMENTO FÍSICO EM MEIO AQUÁTICO

Todos os animais do GN e GND foram submetidos ao treino físico aeróbio de natação em um tanque de amianto com 60 cm de comprimento, 50 cm de largura e 40 cm de profundidade, temperatura da água de $31\pm 1^{\circ}\text{C}$ (Figura 2). O protocolo de treino consistiu no total de oito semanas, subdividido em duas fases. A primeira fase (fase pré-indução) teve a duração de quatro semanas. Na primeira semana (semana de adaptação) os animais treinaram durante 10 minutos no primeiro dia e a cada dia foi acrescentado mais 10 minutos. A partir da segunda à quarta semanas os animais foram treinados durante 60 minutos, uma vez ao dia, cinco dias por semana (NAKAO et al. 2000; GOBATTO et al., 2001). Entre a quarta e quinta semanas, o treinamento dos animais foi interrompido para realização da indução ao diabetes. A segunda fase (fase pós-indução) consistiu de quatro semanas de treinamento nas quais os animais mantiveram o protocolo de 60 minutos. Os animais dos grupos não treinados permaneceram em suas respectivas gaiolas durante os períodos de treinamento.



Figura 3 – Foto ilustrativa do treinamento dos animais no meio aquático.

5.6. ANÁLISE METABÓLICA, CONTROLE GLICÊMICO E PONDERAL

Para a análise do consumo hídrico, ingestão alimentar e diurese foram selecionados cinco animais (aleatoriamente) de cada grupo experimental e colocados em gaiolas metabólicas individuais (TECNIPLAST 3701M081) (Figura 3) durante um período de 72 horas em dois momentos: 1) Aos 99 dias \pm 2 dias (Gaiola Metabólica 1) após a indução do diabetes ou estresse da indução; e 2) Aos 130 dias \pm 2 dias, (Gaiola Metabólica 2) na semana anterior à coleta do material (tendão).

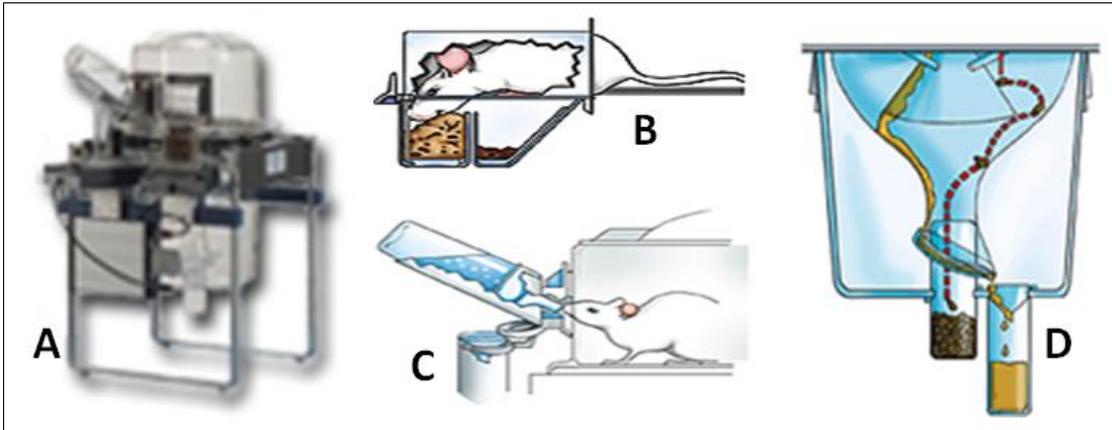


Figura 4 – (A) Gaiola Metabólica utilizada no experimento; (B) Câmara de alimentação bi-partida; (C) Bebedouro para reservatório de água com dreno para coleta de restos líquidos; (D) Processamento de separação de urina e fezes para coletores individuais.

Para reduzir a influência da diferença de peso encontrada em cada grupo sobre as coletas, os achados foram apresentados e discutidos com a correção do peso do animal a cada 100g adotando os valores encontrados após 48 horas dentro da gaiola metabólica.

A verificação da glicose foi realizada após um jejum de 14 horas uma vez por semana a partir do 60º dia de vida dos animais até o término do período de treinamento, no terceiro e sétimo dias após a indução com o objetivo de constatar a instalação da diabetes e no dia da coleta do material. Para tanto foram utilizadas fitas reagentes (Accu-Chek Activ) para dosagem da glicose sanguínea a partir de uma gota de sangue extraída da cauda do animal.

Como forma de acompanhamento do estado nutricional, os animais foram pesados em uma balança digital (FILIZOLA, modelo BP6), três vezes por semana, a partir do 60º dia de vida até o último dia do experimento.

5.7. COLETA DO MATERIAL

Após o término do período de treinamento e do procedimento de avaliação dos consumos na gaiola metabólica, os animais foram anestesiados com uma solução de Xilazina (Rompum® - Bayer) (10mg/Kg) e Cloridrato de Ketamina (Ketalar®) (25mg/kg), 0,10 ml para cada 100g de peso do animal. A pata traseira esquerda do animal foi removida e realizada a dissecação e remoção do tendão do calcâneo do rato preservando sua inserção óssea e musculotendínea. O material foi

umedecido em soro fisiológico e encaminhado sob-refrigeração ao Laboratório de Engenharia Química - UFPE para a realização do ensaio mecânico logo após o momento da coleta.

5.8. ENSAIO MECÂNICO

Para a realização do ensaio mecânico (Figura 4), o tendão foi acoplado em dois conectores de metal (2,5 x 3,5 cm) um em cada extremidade. A extremidade proximal composta pelo tendão do calcâneo e a junção mio-tendínea foi posicionada superiormente e a extremidade distal composta pelo tendão e sua junção com o osso calcâneo, posicionada inferiormente, em posição anatômica. Para melhorar a fixação da peça anatômica aos conectores, foi utilizada uma gota de monoacrilato gel (super cola) e em seguida foi utilizada a fórmula da elipse para mensurar a área da seção transversal do tendão em seu terço medial (SILVEIRA e NERY, 1999). Posteriormente, o conjunto (conector e tendão) foi conectado a uma máquina de ensaio mecânico convencional EMIC (modelo DL 500, Brasil) através de garras auto-travantes, sendo em seguida aferido o comprimento da amostra para o ensaio.

As amostras tendíneas foram tracionadas até o ponto de falha do corpo de prova, com velocidade de 0,1 mm/s e célula de carga de 500 N. Dos ensaios foram obtidos gráficos de carga x deformação os quais permitiram analisar as propriedades estruturais: força máxima (N), carga máxima suportada pela peça; deformação máxima (mm), comprimento inicial do tendão (mm) e deformação máxima alcançada pelo ensaio. Após normalizar a força pela área da seção transversal e a deformação pelo comprimento inicial obteve-se o gráfico tensão x deformação no qual se avaliou as seguintes características biomecânicas tendíneas: módulo elástico (MPa), representado através da tangente do ângulo formado pela porção mais linear da curva ascendente do gráfico; tensão na força Máxima (MPa), calculada pelo quociente da carga máxima suportada pela peça anatômica pela área da seção transversal; deformação específica (%), representado pelo quociente entre o comprimento base e a deformação máxima multiplicado por 100 e energia/área (N.mm/mm²).

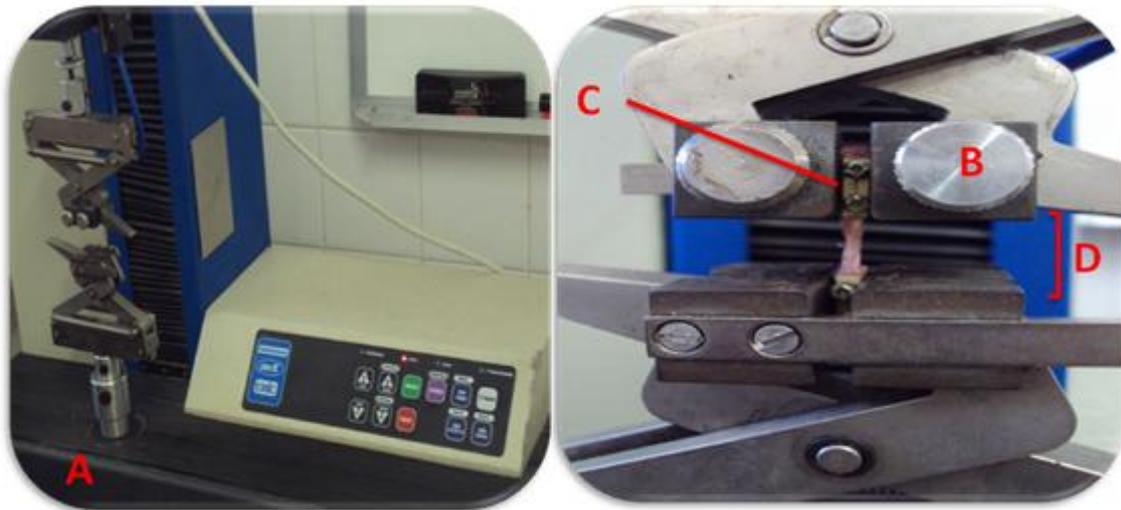


Figura 5 – (A) Máquina de ensaio, modelo EMIC DL 500; (B) Garras auto-travantes; (C) Conector de metal; (D) Comprimento do tendão em milímetros.

5.9. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Quanto ao estudo estatístico deste trabalho, os dados foram apresentados através de medidas descritivas como, medida de tendência central (média) e dispersão (desvio padrão).

Em relação ao estudo da amostra, foi utilizado o teste de Kolmogorov-Smirnov, apresentando homogeneidade de sua distribuição.

Para o teste de hipóteses, comparando a média de dois grupos com distribuição normal, utilizou-se o Teste t para amostras independentes (Independent-Samples t-student Test). Quando foi necessária a análise de três ou mais grupos, utilizou-se o teste de inferência de análise de variâncias (ANOVA on Way) complementado por um exame Post-hoc (Bonferroni).

Os dados foram avaliados no *software* SPSS (Statistical Package for Social Sciences 13.0) com nível de segurança de 95% de confiabilidade.

6. REFERÊNCIAS

AGUILAR, L.G.K.; VILLELA, N.R.; BOUSKELA, E. A microcirculação no diabetes: implicações nas complicações crônicas e tratamento da doença. *Arq Bras Endocrinologia Metab*, v. 51, n. 2, p. 204-211, 2007.

BARBOSA, J.H.P.; OLIVEIRA, S.L.; SEARA, L.T. O papel dos produtos finais da glicação avançada (AGEs) no desencadeamento das complicações vasculares do diabetes. *Arquivos Brasileiros de Endocrinologia e Metabolismo*, v. 52, n. 6, p. 940-50, 2008.

BUCHANAN, C.I.; MARSH, R.L. Effects of long-term exercise on the biomechanical properties of the Achilles tendon of guinea fowl. *Journal of Applied Physiology*, v.90, p.164-71, 2001.

BUCHANAN, C.I.; MARSH, R.L. Effects of exercise on the biomechanical, biochemical and structural properties of tendons. *Comparative biochemistry and physiology Part A Molecular integrative physiology*, 133(4): 1101-7, 2002.

CARVALHO, E.N.; CARVALHO, N.A.S.; FERREIRA, L.M. Experimental model of induction of diabetes mellitus in rats. *Acta Cir Bras*, v.18, p.60-4, 2003.

CASPERSEN, C.J.C.; POWELL, K.E.; CHRISTENSON, G.M. Physical Activity, Exercise and Physical Fitness: Definitions and Distinctions for Health-Related Research. *Public Health Reports*, 100(2): 126-3, 1985.

CHAMMAS, M.; BOUSQUET, P.; RENARD, E.; POIRIER, J.L.; JAFFIOL, C.; ALLIEU, Y. Dupuytren's disease, carpal tunnel syndrome, trigger finger, and diabetes mellitus. *The Journal of Hand Surgery*, v. 20, n. 1, p. 109-114, 1995.

COHEN, M; FERRETTI, M.; MARCONDES, F.B.; AMARO, J.T.; EJNISSMAN, B. Tendinopatia patelar. *Revista Brasileira de Ortopedia*, v. 43, n. 8, p. 309-18, 2008.

CONSENSO BRASILEIRO SOBRE DIABETES. Diagnóstico e classificação do diabetes melito e tratamento do diabetes melito do tipo 2. Sociedade Brasileira de Diabetes, 2002.

COOK, J.L.; KISS, Z.S.; PTASZNIK, R.; MALLIARAS, P. Is vascularity more evident after exercise? Implications for tendon imaging. *AJR*, 185:1138–40, 2005.

COSKUN, O.; OCAKCI, A.; BAYRAKTAROGLU, T.; KANTER, M. Exercise training prevents and protects Streptozotocin-induced oxidative stress and β -cell damage in rat pancreas. *Tohoku Journal Experimental Medicine*. V. 203, p. 145-154, 2004.

DIRETRIZES DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE DIABETES. Sociedade Brasileira de Diabetes, 2008.

GOBATTO, C. A.; MELLO, M.A.R.; SIBUYA, C.Y.; AZEVEDO, J.R.M.; SANTOS, L.A.; KOKUBUN, E. Maximal lactate steady state in rats submitted to swimming exercise. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol*, v.130, p.21-7, 2001.

HUANG, H.H.; FARMER, K.; WINDSCHEFFEL, J.; YOST, K.; POWER, M.; WRIGHT, D.E.; STEHNO-BITTEL, L. Exercise increases insulin content and basal secretion in pancreatic islets in type I diabetic mice. *Experimental Diabetes Research*, DOI: 10.1155/2011/481427, 2011. [on line]: <http://www.hindawi.com/journals/edr/2011/481427/>

JUNG, H-J; FISHER, M.B.; WOO, S.L-Y. Role of biomechanics in the understanding of normal, injured, and healing ligaments and tendons. *Sports Medicine, Arthroscopy, Rehabilitation, Therapy & Technology*, v. 1, n. 9, 2009.

KIRKENDALL, D.T.; GARRETT, W.E. Function and biomechanics of tendons. *Scand J Med Sci Sports* v. 7, n. 2, p. 62-6, 1997.

KOESTER, M.; GEORGE, M.; KUHN, J. Shoulder impingement syndrome. *The American Journal of Medicine*, v. 118, n. 5, p. 452-455, 2005.

LANGBERG, H.; OLESEN, J.L.; GEMMER, C.; KJÆR, M. Substantial elevation of interleukin-6 concentration in peritendinous tissue, in contrast to muscle, following prolonged exercise in humans. *Journal of Physiology*, 542(3): 985–90, 2002.

LANGBERG, H; ROSENDAL, L; KJÆR, M. Training-induced changes in peritendinous type I collagen turnover determined by microdialysis in humans. *Journal of Physiology*, 534(1): 297–302, 2001.

LE PAPE, A.; MUH, J-P.; BAILEY, A.J. Characterization of N-glycosylated type I collagen in streptozotocin-induced diabetes. *Biochem. J.*, v. 197, p. 405-12, 1981.

LENZEN, S. The mechanisms of alloxan- and streptozotocin-induced diabetes. *Diabetologia*, v. 51, p. 216-226, 2008.

MALERBI, D.A.; FRANCO, L.J. Multicenter Study of the Prevalence of Diabetes Mellitus and Impaired Glucose Tolerance in the Urban Brazilian Population Aged 30-69 Yr. *Diabetes Care*, v. 15, n. 11, p. 1509-16, 1992.

MONNIER, V.M.; KOHN, R.R.; CERAMI, A. Accelerated age-related browning of human collagen in diabetes mellitus. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, v. 81, p. 583-587, 1984.

MORAES, S.A.; FREITAS, I.C.M.; GIMENO, S.G.A.; MONDINI, L. Prevalência de diabetes mellitus e identificação de fatores associados em adultos residentes em área urbana de Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil, 2006: Projeto OBEDIARP. *Cad. Saúde Pública*, v. 26, n. 5, p. 929-94, 2010.

MOSTARDA, C.; ROGOW, A.; SILVA, I.C.M.; LA FUENTE, R.N; JORGE, L.; RODRIGUES, B.; HEEREN, M.V.; CALDINI, E.G.; DE ANGELIS, K.; IRIGOYEN, M.C. Benefits of exercise training in diabetic rats persist after three weeks of detraining. *Autonomic Neuroscience: Basic and Clinical*, v. 145, p. 11-16, 2009.

NAKAO, C.; OOKAWARA, T.; KIZARI, T.; OH-ISHI, S.; MIYAZAKI, H.; HAGA, S.; SATO, Y.; JI, L.L.; OHNO, H. Effects of swimming training on three superoxide dismutase isoenzymes in mouse tissue. *J Appl Physiol.*, v.88, p. 649-54, 2000.

NIELSEN, P.J.; HAFDAHL, A.R.; CONN, V.S.; LEMASTER, J.W.; BROWN, S.A. Meta-analysis of the effects of exercise interventions on fitness outcomes among adults with type 1 and type 2 diabetes. *Diabetes Research and Clinical Practice*, v. 74, p. 111-20, 2006.

OLIVEIRA, R.R.; LIRA, K.D.S.; SILVEIRA, P.V.C.; COUTINHO, M.P.G.; MEDEIROS, M.N.; TEIXEIRA, M.F.H.B.I.; MORAES, S.R.A. Mechanical Properties of Achilles Tendon in Rats Induced to Experimental Diabetes. *Annals of Biomedical Engineering*, v. 39, n. 5, p. 1528-34, 2011.

OLIVEIRA, R.R.; BEZERRA, M.A.; LIRA, K.D.S.; NOVAES, K.A.; TEIXEIRA, M.F.H.B.I.; CHAVES, C.C.; MORAES, S.R.A. Aerobic physical training restores biomechanical properties of Achilles tendon in rats chemically induced to diabetes mellitus. *Journal of Diabetes and Its Complications*, doi:10.1016/j.jdiacomp.2012.03.017, 2012

PAULI, J.R.; CINTRA, D.E.; SOUZA, C.T.; ROPELLE, E.R. Novos mecanismos pelos quais o exercício físico melhora a resistência à insulina no músculo esquelético. *Arq. Bras. Endocrinol Metab.*, v. 53, n. 4, p. 399-408, 2009.

REID, R.D.; TULLOCH, H.E.; SIGAL, R. J.; KENNY, G. P.; FORTIER, M.; MCDONNELL, L.; WELLS, G. A.; BOULÉ, N. G.; PHILLIPS, P.; COYLE, D. Effects of aerobic exercise, resistance exercise or both, on patient-reported health status and well-being in type 2 diabetes mellitus: a randomised trial. *Diabetologia*, v. 53, p. 632–640, 2010.

RIBEIRO, C.; OLIVEIRA, C.A.M.; MELLO, M.A.R. Exercício e prevenção do diabetes mellitus: importância do modelo experimental utilizando ratos. *Motriz*, v. 13, n. 1, p. 72-77, 2007.

ROBERTS, T.J.; MARSH, R.L.; WEYAND, P.G.; TAYLOR, C.R. Muscular force in running turkeys: the economy of minimizing work. *Science*, v.275, n. 5303, p. 1113-5, 1997.

ROLIM, L.C.; AS, J.R.; CHACRA, A.R.; DIB, S.A. Heterogeneidade clínica e coexistência das neuropatias diabéticas: diferenças e semelhanças entre diabetes melito tipos 1 e 2. *Arquivos Brasileiros de Endocrinologia e Metabolismo*, v. 53, n. 7, p. 818-824, 2009.

ROSA, M.P.; BARONI, G.V.; PORTAL, V.L. Potencial Terapêutico para a Prevenção e Tratamento da Nefropatia e Neuropatia Diabéticas: Evidências do Uso do Cilostazol. *Arquivos Brasileiros de Endocrinologia e Metabolismo*, v. 51, n. 9, p. 1528-1532, 2007.

SEE, E.K.; NG, G.Y.; NG, C.O.; FUNG, D.T. Running exercise improve the strength of a partially ruptured Achilles tendon. *Br J. Sports Med*, v. 38, p. 597-600, 2004.

SELAGZI, H.; BUYUKAKILLI, B; CIMEN, B; YILMAZ, N.; ERDOGAN, N. Protective and therapeutic effects of swimming exercise training on diabetic peripheral neuropathy of streptozotocin-induced diabetic rats. *J. Endocrinol.* V. 31, p. 971-978, 2008.

SENSI, M.; PRICCI, F.; PUGLIESE, G.; DE ROSSIA, M. G.;PETRUCCIB, A.F.G.; CRISTINA, A.; MORANO, S.; POZZESSEREB, G.; VALLEB, E.; ANDREANI, D.; DI MARIOC, U. Role of advanced glycation end-products (AGE) in late diabetic complications. *Diabetes Research and Clinical Practice* , v. 28, p. 9-17, 1995.

SHIMA, K.; SHI, K.; SANO, T.; IWAMI, T.; MIZUNO, A.; NOMA, Y. Is exercise training effective in preventing diabetes mellitus in the otsuka-long-evans-tokushima fatty rat, a model of spontaneous non-insulin-dependent diabetes mellitus? *Metabolism*, v. 42, n. 8, p. 971-977, 1993.

SIGAL, R.J.; KENNY, G.P.; BOULE, N.G.; WELLS, G.A.; PRUD'HOMME, D.; FORTIER, M.; REID, R.D.; TULLOCH, H.; COYLE, D.; PHILLIPS, P.; JENNINGS, A.; JAFFEY, J. Effects of Aerobic Training, Resistance Training, or Both on Glycemic Control in Type 2 Diabetes. *Ann Intern Med*, v.147, p.357-369, 2007.

SILVEIRA, A.C.M. e NERY, C.A.S. Estudo macroscópico e morfométrico do tendão do músculo tibial posterior. *Revista Brasileira de Ortopedia*, v. 34, n. 8, p. 475-480, 1999.

SIMONSEN, E.B.; KLITGAARD, H.; BOJSEN-MOLLER, F. The influence of strength training, swim training and ageing on the Achilles tendon and m. soleus of rat. *Journal of Sports Sciences*, 13: 291-5, 1995.

SOMMER, H.M. The biomechanical and metabolic effects of a running regime on the Achilles tendon in the rat. *International Orthopaedics (SICOT)*, 2: 71-5, 1987.

TANCREDE, G.; ROUSSEAU-MIGNERON, S.; NADEAU, A. Beneficial effects of physical training in rats with a mild streptozotocin-induced diabetes mellitus. *Diabetes*, v.31, p. 406-409, 1982.

VIIDIK, A. The effects of training on the tensile strength of isolated rabbits tendons. *Scand J Plast Reconstr Surg*, 1: 141-7, 1967.

WANG, J.H.C. Mechanobiology of tendon. *Journal of Biomechanics*, 39: 1563–82, 2006.

WHITING, D.R.; GUARIQUATA, L.; WEIL, C.; SHAW, J. IDF Diabetes Atlas: Global estimates of the prevalence of Diabetes for 2011 and 2030. *Diabetes Research and Clinical Practice*, v. 29, n.3, p. 311-21, 2011.

WILSON, J.J.; BEST, T.M. Common overuse tendon problems: a review and recommendations for treatment. *American Family Physician*, v. 72, n. 5, p. 811-8, 2005.

WOO, S.L-Y.; GOMEZ, M.A.; AMIEL, D.; RITTER, M.A.; GELBERMAN, R.H.; AKESON, W.H. The effects of exercise on the biomechanical and biochemical properties of swine digital flexor tendons. *Journal of Biomechanical Engineering*, 103: 51-6, 1981.

WOO, S.L-Y.; RITTER, M.A.; AMIEL, D.; T. M. SANDERS, T.M.; GOMEZ, M.A.; KUEI, S.C.; GARFIN, S.R.; AKESON, W.H. The biomechanical and biochemical properties of swine tendons - long term effects of exercise on the digital extensors. *Connective Tissue Research*, 7:177-83, 1980.

ZIMMET,P.; ALBERTI, K.G.M.M.; SHAW, J. Global and societal implications of the diabetes epidemic. *Nature*, v. 414, p. 782-7, 2001.

7. RESULTADOS

7.1. ARTIGO ORIGINAL 1

PARÂMETROS BIOMECÂNICO E ESTRUTURAL DO TENDÃO DE RATOS SUBMETIDOS AO TREINAMENTO EM MEIO AQUÁTICO.

*Márcio Almeida Bezerra¹, Kamilla Dinah Santos de Lira¹, Marcos Paulo Galdino Coutinho², Gabriel Nunes de Mesquita^{2,4}, Karyne Albino Novaes^{2,4}, Raíssa Thaís Belarmino da Silva^{2,4}, Anna Karollyna de Brito Nascimento², Magno Felipe Holanda Barboza Inácio Teixeira³ e Sílvia Regina Arruda de Moraes^{1,5}

1 Programa de Pós-Graduação em Fisioterapia da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE;

2 Graduação em Fisioterapia - Universidade Federal de Pernambuco – UFPE;

3 Graduação em Engenharia Química – Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

4 Bolsista do Programa de Iniciação Científica.

5 Departamento de Anatomia da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE;

*AUTOR CORRESPONDENTE:

Márcio Almeida Bezerra

Rua João Julião Martins, 179

58.429-015 Campina Grande PB – Brazil

Telefone +55 83 3333 2995

Cell phone +55 83 9352 3204

E-mail address: marcioalmeidabezerra@gmail.com (M. A. Bezerra)

RESUMO

Objetivos: Avaliar o efeito do exercício físico em meio aquático, sem sobrecarga, no comportamento biomecânico e estrutural do tendão do calcâneo de ratos. **Métodos:** 27 ratos machos *Wistar* (70 dias) foram distribuídos aleatoriamente em dois grupos, Grupo Controle (GC) (n=15) e Grupo Natação (GN) (n=12). O GC ficou restrito a movimentos dentro da própria gaiola enquanto o GN foi submetido ao exercício físico em meio aquático em um tanque com temperatura da água a $30\pm 1^{\circ}\text{C}$, durante 1h/dia, 5 dias/semana durante oito semanas. Os animais foram mantidos em um ciclo invertido claro/escuro de 12h com ração e água *ad libitum*. Após oito semanas de exercício, foram anestesiados e coletados o tendão calcâneo da pata traseira esquerda e em seguida eutanasiados. O ensaio mecânico foi realizado em uma máquina de ensaio convencional EMIC (modelo DL 500, Brasil). As amostras tendíneas foram tracionadas até o ponto de fracasso e captadas por uma célula de carga. Do gráfico Tensão x Deformação foram analisados os dados biomecânicos. Para a análise estatística foi utilizado o teste T-student ($p < 0,05$). **Resultados:** A tensão máxima ($p=0,009$), força máxima ($p=0,03$), energia/área ($p=0,017$) e módulo elástico do tendão ($p=0,013$) apresentaram valor maior no GN. Não houve diferença nos demais parâmetros. **Conclusão:** O exercício físico em meio aquático, sem sobrecarga, foi um estímulo importante no aprimoramento do comportamento biomecânico e das propriedades estruturais do tendão do calcâneo. Em contrapartida foi perceptível também o aumento da rigidez tendínea refletido no maior valor do módulo elástico.

DESCRITORES: exercício, biomecânica, modelo animal, tecido conjuntivo.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, os estudos têm se voltado a avaliar o comportamento da plasticidade do tendão quando submetido ao treinamento físico (LANGBERG et al., 2001) e como resultados, tem sido demonstrados, tanto adaptações de caráter estrutural da matrix celular tendínea (aumento das fibras colágenas e redução no número de núcleos celulares) (BARONE et al., 2009) como também modificações nas propriedades biomecânicas, sendo esses últimos achados, entretanto, ainda escassos e de caráter inconclusivo (LEGERLOTZ et al., 2007; BIRCH et al., 2008).

A atividade física em meio aquático é frequentemente utilizada na recuperação do sistema musculoesquelético (BRADY et al., 2008). Além disso, constitui um modelo experimental bastante difundido em estudos relacionados à resposta metabólica deste sistema (MATSAKAS et al., 2006; GOMES et al., 2006; OLIVEIRA et al., 2007), embora os estudos não sejam conclusivos com relação ao comportamento das propriedades biomecânicas dos tendões quando submetido a esse tipo de atividade.

O tendão possui a capacidade de transmitir a energia gerada durante a contração muscular. Quando estas são induzidas por uma atividade física podem promover um aumento na capacidade tendínea de resistir às cargas elevadas (Simonsen *et al.*, 1995) e contribuir na melhora biomecânica, em tendões parcialmente rompidos (SEE et al., 2004).

O entendimento do comportamento tendíneo frente a atividade física em meio aquático torna-se imperativo visto que produzirá subsídios e suporte para uma utilização mais embasada desta modalidade física no âmbito clínico e no campo do treinamento físico.

Para tanto, hipotetizamos que o trabalho muscular promovido pelas contrações realizadas no exercício em meio aquático, e conseqüentemente transmitidas ao tendão, possa ser capaz de promover alterações perceptíveis no comportamento biomecânico tendíneo quando comparados com grupos sedentários. Desta forma, o objetivo do estudo foi avaliar se o estímulo gerado a partir do trabalho muscular desenvolvido no meio aquático sem carga promoveria alguma modificação no comportamento biomecânico e estrutural do tendão do calcâneo de ratos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Amostra

Foram utilizados 27 ratos machos da raça *Rattus Novergicus Albinus*, (linhagem *Wistar*), 70 dias de vida; $322\text{g} \pm 26$) mantidos em gaiolas de prolipileno de tamanho 41x34x16 cm (quatro animais por gaiola), em ambiente climatizado ($22\text{ graus} \pm 1^\circ$) e ciclo de luz claro/escuro invertido de 12 horas e acesso livre à ração (Labina® - Purina) e água. Os animais foram distribuídos aleatoriamente em dois grupos experimentais: a) Grupo Controle (GC), animais não submetidos a nenhum tipo de treino, restrito apenas as atividade no interior da gaiola e, b) Grupo Treinado Natação (GN), submetidos ao exercício físico durante oito semanas. Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Experimentação Animal (CEEA) da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE (protocolo n. 23076.028377/2010-25).

Exercício em meio aquático

Todos os animais do GN foram submetidos ao exercício físico aeróbio em meio aquático durante oito semanas em um tanque de amianto com 60 cm de comprimento, 50 cm de largura e 40 cm de profundidade, onde era realizado o exercício, com a temperatura da água a $31 \pm 1^\circ\text{C}$. A primeira semana de exercício consistiu na fase de adaptação dos animais ao meio aquático, com duração de 10 minutos no primeiro dia com acréscimo de 10 minutos a cada dia da semana de adaptação. Durante as sete semanas subsequentes os animais realizaram exercício físico com duração de 60 minutos, uma vez ao dia, cinco dias por semana (NAKAO et al. 2000; GOBATTO et al., 2001).

Coleta do material

Após a anestesia dos animais com solução de Xilazina (Rompum® - Bayer) (10mg/Kg) e Cloridrato de Ketamina (Ketalar®) (25mg/kg), ($0,10\text{ ml}$ para cada 100g de peso do animal), foi realizada a desarticulação e dissecação da pata traseira esquerda do animal para coleta do tendão do calcâneo do rato. O material foi umedecido em soro fisiológico e encaminhado sob refrigeração ao Laboratório de Engenharia Química - UFPE para a realização do ensaio mecânico.

Ensaio Mecânico

Para a realização do ensaio mecânico, o tendão foi acoplado em dois conectores de metal (2,5 x 3,5 cm) um em cada extremidade. A extremidade proximal composta pelo tendão do calcâneo e a junção mio-tendínea foi posicionado superiormente e a extremidade distal composta pelo tendão e sua junção com o osso calcâneo posicionado inferiormente em posição anatômica. Para melhorar a fixação da peça anatômica aos conectores, foi utilizada uma gota de monoacrilato gel (super cola) e em seguida foi utilizada a fórmula da elipse para mensurar a área da seção transversal do tendão em seu terço medial (SILVEIRA e NERY, 1999). Em seguida, o conjunto (conector e tendão) foi conectado em uma máquina de ensaio mecânico convencional EMIC (modelo DL 500, Brasil) através de garras auto-travantes, sendo em seguida aferido o comprimento da amostra para o ensaio.

As amostras tendíneas foram tracionadas até o ponto de falha do corpo de prova, com velocidade de 0,1 mm/s e célula de carga de 500 N. Dos ensaios foram obtidos gráficos de carga x deformação os quais permitiram analisar as propriedades estruturais: Força Máxima (N), carga máxima suportada pela peça; Deformação máxima (mm), Comprimento base do tendão (mm) e deformação máxima alcançada pelo ensaio. Após normalizar a força pela área de seção transversal e a deformação pelo comprimento inicial obtivemos o gráfico tensão x deformação no qual avaliamos as seguintes características biomecânicas tendíneas: módulo elástico (MPa), representado através da tangente do ângulo formado pela porção mais linear da curva ascendente do gráfico; Tensão na Força Máxima (MPa), calculada pelo quociente da carga máxima suportada pela peça anatômica pela área da seção transversal; Deformação Específica (%), representado pelo quociente entre o comprimento base e a deformação máxima multiplicado por 100 e Energia/Área (N.mm/mm²). (Figura 2).

Análise Estatística

Para análise estatística dos dados foi utilizado o software SPSS versão 13. Foi realizado o teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov nos grupos e para o estudo das variáveis foi utilizado o teste t-Student para as variáveis. Para todos os testes foi utilizado o nível de 5% de significância.

RESULTADOS

Dos 27 animais que iniciaram o experimento, sete foram descartados por motivos de falhas no procedimento técnico. Os tendões do GN apresentaram valores maiores do que os do GC para os seguintes parâmetros: módulo elástico (97,45%; $p=0,013$), tensão máxima (55,77%; $p=0,009$), energia/área (63,74%; $p=0,017$) e força máxima suportada (41,16%; $p=0,03$). Os demais parâmetros avaliados não demonstraram diferenças entre os grupos (tabelas 1 e 2).

DISCUSSÃO

O meio aquático, em função de sua densidade, favorece uma adequada utilização para fins de exercício e tratamento (WAJCHEMBERG *et al.*, 2002). O arraste realizado pelo movimento dentro da água e o empuxo gerado pela mesma simula um ambiente onde a descarga de peso corporal é reduzida, enquanto que a resistência ao exercício pode alcançar nível intenso (TROUP 1999).

O tendão, considerado um tecido conectivo, apresenta papel importante na transmissão da força gerada pela musculatura, no intuito de movimentar o arcabouço ósseo corporal de maneira eficiente (Wang 2006) e com o menor gasto metabólico exigido pela musculatura (BIEWENER, ROBERTS, 2000). Contudo, para que o tendão exerça esta função, suas propriedades visco-elásticas e estruturais necessitam estar íntegras e em perfeito funcionamento biomecânico.

O modelo aplicado no presente estudo para o teste mecânico convencional, utilizado para mensurar os parâmetros biomecânicos, foi semelhante aos dos estudos de Almeida-Silveira *et al.* (2000) e Müller *et al.* (2004) que demonstraram ser um método reprodutível para análise dos dados biomecânicos tendíneos. A escolha do tendão do calcâneo para a análise foi em decorrência da sua importância no movimento executado durante a natação e por apresentar um volume adequado para as amostras tendíneas, somando-se a localização superficial que permitiu a fácil coleta para análise funcional.

O método utilizado para adaptação do tendão a máquina de teste foi semelhante ao apresentado por Almeida-Silveira e colaboradores (2000) e Oliveira e colaboradores (2011). A ruptura do tendão, em todos os testes, foi localizada próxima à região miotendínea na interface conector-tendão, região cujo stress à tensão é maior (LEGERLOTZ, RILEY E SCREEN 2010).

O meio aquático como forma de resistência é utilizado em experimentações de laboratório por ser uma atividade que pode oscilar de leve a intensa dependendo

da sobrecarga imposta (ARAUJO et al, 2010). No presente estudo utilizou-se um modelo sem aplicação de sobrecarga visando uma atividade aeróbia e de intensidade leve (OLIVEIRA, LUCIANO, MELLO, 2004; OLIVEIRA et al., 2007) que permitiu observar alterações no comportamento biomecânico e estrutural, decorrentes do exercício físico aplicado aos animais.

Nos animais submetidos ao exercício físico em meio aquático, sem sobrecarga, o módulo elástico, representado pela parte “linear” na curva tensão x deformação, demonstrou um valor maior na rigidez viscoelástica do tendão provavelmente devido à resistência ou carga de trabalho imposta pelo exercício. Resultado similar, embora utilizando um modelo de exercício diferente, foi demonstrado por Birch, Wilson e Goodship (2008), os quais avaliaram a intensidade forte e leve do exercício físico de corrida em cavalos. Nestes animais, observaram um aumento no módulo elástico no tendão extensor digital comum daqueles que realizaram exercício de grande intensidade em comparação com o grupo de exercícios leves. Os autores confirmaram esse resultado com análises bioquímicas que constataram uma diminuição na quantidade de água no tendão, porém com a mesma proporção de colágeno por peso seco, desta forma enfatizando a maior rigidez do tendão.

Da mesma forma, a Tensão máxima apresentou valor aumentado corroborando o estudo de Woo et al. (1980) que avaliaram a influência do exercício de corrida nas propriedades mecânicas do tendão dos extensores digitais de suínos. Embora a avaliação desse parâmetro em estudos com tecidos colagenosos não tenha grande importância como achado mecânico, sendo de maior valor a avaliação da Força máxima e do deslocamento alcançado pelo tendão (Viidik 1980), a tensão máxima reflete a quantidade de carga suportada por área tendínea testada.

O único estudo que avaliou a biomecânica tendínea submetida ao exercício em meio aquático, que pode ser comparado com os resultados do presente estudo, foi o de Simonsen, Klitgaard e Bojsen-Moller (1995), o qual utilizou um protocolo de exercício de 15 semanas em meio aquático, quatro dias por semana e com duração de 90 minutos em cada sessão. Nele os autores observaram um aumento na força máxima do tendão de ratos *Wistar* submetidos ao exercício (29 meses de vida) quando comparado aos controles que ficaram restritos a movimentação na própria gaiola. Segundo esses autores, o valor aumentado na força tendínea poderia ser em função do número elevado de contrações exigidas pelo exercício no meio aquático,

submetendo o tendão a uma carga de trabalho mais elevada. No presente estudo, a força máxima também atingiu valores maiores no GN, mostrando que mesmo protocolos de exercício físico de menor duração (8 semanas de treinamento /60 minutos/diários) podem trazer resultados positivos na estrutura tendínea. Além disto, os valores superiores do GN em relação aos resultados dos desfechos no módulo elástico, tensão máxima e força máxima em nossa pesquisa, refletem uma evolução do tendão enquanto material.

Com relação à área de seção transversal, o presente estudo não demonstrou nenhuma alteração entre os grupos avaliados. Este achado corrobora com o estudo de Huang, Perry e Soslowsky (2004), o qual realizando um treinamento em esteira de 16 semanas e de alta intensidade em ratos também não observou nenhuma alteração macroscópica no tendão ou em sua área de seção transversa. Contudo, diferentemente do nosso achado, Sommer (1987), utilizando o tendão de calcâneo de ratos submetidos ao treinamento de esteira também durante 16 semanas, observou um aumento na área de seção transversa nos animais treinados com *endurance* (oito semanas de treinamento progressivo de esteira seguido de mais oito semanas de treinamento um minuto por dia com velocidades de 35 metros por minuto). Isto sugere que a carga adotada no exercício físico possa influenciar a plasticidade tendínea, ou seja, exercícios curtos de grande intensidade pode ser o fator causador deste aumento na área da seção transversal. A eficiência biomecânica também pôde ser constatada através do aprimoramento do armazenamento de energia elástica por área tendínea, ou seja, o tendão do grupo natação apresentou uma relação energia/área maior que o grupo controle, tornando-se capaz de potencializar mais energia no tendão revertendo-a em movimento. Este achado corrobora o estudo de Roberts et al. (1997), os quais sugerem que alterações no comportamento biomecânico podem induzir a um aumento no armazenamento de energia.

O comprimento base ou inicial do tendão, mensurado antes da realização do teste mecânico convencional, quando não realizado de maneira adequada pode superestimar os valores encontrados. Legerlotz, Riley e Screen (2010), estudaram a influência do comprimento base nas propriedades biomecânicas dos tendões da cauda de ratos, constatando uma correlação entre o valor aumentado do deslocamento do tendão submetido ao teste mecânico em tendões curtos e o valor reduzido do módulo elástico nessas amostras. No presente estudo, entretanto, não

foi observada diferença entre os grupos quanto ao Comprimento Base do tendão e Deformação Específica alcançada pelas amostras.

A resistência imposta pela água na atividade física foi capaz de desenvolver maior capacidade de resistir a sobrecargas no tendão, refletidos no aumento da tensão máxima e força máxima, além de uma melhor eficiência biomecânica constatada pelo valor aumentado da energia/área armazenada pelo tendão no grupo treinado.

CONCLUSÃO

O exercício físico em meio aquático, sem sobrecarga, demonstrou ser um estímulo importante no aprimoramento estrutural e no comportamento biomecânico do tendão do calcâneo. Além disso, a otimização biomecânica através do aproveitamento da energia/área armazenada pelo tendão no grupo treinado não sofreu a interferência do aumento da rigidez tendínea que foi refletida pelo valor aumentado do módulo elástico.

AGRADECIMENTOS

Ao Depto de Engenharia Química – Universidade Federal de Pernambuco.

APOIO FINANCEIRO

O Sr. Bezerra teve apoio da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) além do suporte financeiro do CNPq - Edital Universal – (Processo nº 477096/2008-5).

REFERÊNCIAS

ALMEIDA-SILVEIRA, M.I.; LAMBERTZ, D.; PEÂROT, C.; GOUBEL, F. Changes in stiffness induced by hindlimb suspension in rat Achilles tendon. *Eur J Appl Physiol*, v.81, p. 252-7, 2000.

ARAUJO, G.G.; PAPOTI, M.; GOBATTO, F.B.M.; MELLO, M.A.R.; GOBATTO, C.A. Padronização de um protocolo experimental de treinamento Periodizado em natação utilizando ratos Wistar. *Rev Bras Med Esporte*, v.16, n. 1, p.51-6 , 2010.

BARONE, R.; BELLAFFIORE, M.; V. LEONARDI, V.; ZUMMO, G. Structural analysis of rat patellar tendon in response to resistance and endurance training. *Scand J Med Sci Sports*, v. 19, p. 782–789, 2009.

BIEWENER, A.A.; ROBERTS, T.J. Muscle and tendon contributions to force, work, and elastic energy savings: a comparative perspective. *Exerc Sport Sci Rev*, v.204, p. 533-42, 2001.

BIRCH, H.L.; WILSON, A.M.; GOODSHIP, A.E. Physical activity: does long-term, high-intensity exercise in horses result in tendon degeneration? *J Appl Physiol*, v.105, p. 1927–33, 2008.

BRADY, B.; REDFERN, J.; MACDOUGAL, G.; WILLIAMS, J. The addition of aquatic therapy to rehabilitation following surgical rotator cuff repair: a feasibility study. *Physiother Res Int.*, v.13, n.3, p. 153-61, 2008.

GOBATTO, C. A.; MELLO, M.A.R.; SIBUYA, C.Y.; AZEVEDO, J.R.M.; SANTOS, L.A.; KOKUBUN, E. Maximal lactate steady state in rats submitted to swimming exercise. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol*, v.130, p.21-7, 2001.

GOMES, R.J.; MELLO, M.A.R.; CAETANO, F.H.; SIBUYA, C.Y.; ANARUMA, C.A.; ROGATTO, G.P.; PAULI, J.R.; LUCIANO, E. Effects of swimming training on bone mass and the GH/IGF-1 axis in diabetic rats. *Growth Hormone & IGF Research*, v.16, p.326-31, 2006.

HUANG, T.F.; PERRY, S.M.; SOSLOWSKY, L.J. The effects of overuse activity on Achilles tendon in an animal model: a biomechanical study. *Ann Biomed Eng*, v. 32, n. 3, p. 336-41, 2004.

LANGBERG, H; ROSENDAL, L; KJÆR, M. Training-induced changes in peritendinous type I collagen turnover determined by microdialysis in humans. *Journal of Physiology*, v.534, n.1, p. 297–302. 2001

LEGERLOTZ, K.; SCHJERLING, P.; LANGBERG, H.; BRUGGEMANN, G-P.; NIEHOFF, A. The effect of running, strength, and vibration strength training on the mechanical, morphological, and biochemical properties of the Achilles tendon in rats. *J Appl Physiol*, v.102, p. 564–72, 2007.

LEGERLOTZA, K.; RILEY, G.P.; SCREEN, H.R.C. Specimen dimensions influence the measurement of material properties in tendon fascicles. *J Biomech.*, v. 43, n.12, p. 2274–80, 2010.

MATSAKAS, A.; BOZZO, C.; CACCIANI, N.; CALIARO, F.; REGGIANI, C.; MASCARELLO, F.; PATRUNO, M. Effect of swimming on myostatin expression in white and red gastrocnemius muscle and in cardiac muscle of rats. *Exp Physiol*, v.91, n..6, p 983–94, 2006.

MULLER, S.S.; SILVARES, P.R.A.; PEREIRA, H.R.; SILVA, M.A.M.; SARDENBERG, T.; LEIVAS, T.P. Análise comparativa das propriedades mecânicas do ligamento da patela e do tendão calcâneo. *Acta Ortopédica Brasileira*, v. 12, p. 134-40, 2004.

NAKAO,C.; OOKAWARA,T.; KIZARI,T.; OH-ISHI, S.; MIYAZAKI, H.; HAGA, S.; SATO, Y.; JI, L.L.; OHNO, H. Effects os swimming training on three superoxide dismutase isoenzymes in mouse tissue. *J Appl Physiol.*, v.88, p. 649-54, 2000.

OLIVEIRA, C.A.M.; LUCIANO, E.; MELLO, M.A.R. The role of exercise on long-term effects of alloxan administered in neonatal rats. *Exp Physiol*, v. 90, n. 1, p. 79-86, 2004.

OLIVEIRA, C.A.M.; LUCIANO, E.; MARCONDES, M.C.C.G.; MELLO, M.A.R. Effects of swimming training at the intensity equivalent to aerobic/anaerobic metabolic transition in alloxan diabetic rats. *Journal of Diabetes and Its Complications*, v. 21, p. 258– 64, 2007.

OLIVEIRA, R.R.; LIRA, K.D.S.; SILVEIRA, P.V.C.; COUTINHO, M.P.G.; MEDEIROS, M.N.; TEIXEIRA, M.F.H.B.I.; MORAES, S.R.A. Mechanical Properties

of Achilles Tendon in Rats Induced to Experimental Diabetes. *Annals of Biomedical Engineering*, v. 39, n. 5, p. 1528-34, 2011.

ROBERTS, T.J.; MARSH, R.L.; WEYAND, P.G.; TAYLOR, C.R. Muscular force in running turkeys: the economy of minimizing work. *Science*, v.275, n. 5303, p. 1113-5, 1997.

SEE, E.K.; NG, G.Y.; NG, C.O.; FUNG, D.T. Running exercise improve the strength of a partially ruptured Achilles tendon. *Br J. Sports Med*, v. 38, p. 597-600, 2004.

SILVEIRA, A.C.M. e NERY, C.A.S. Estudo macroscópico e morfométrico do tendão do músculo tibial posterior. *Revista Brasileira de Ortopedia*, v. 34, nº 8, pag. 475-480, 1999.

SIMONSEN, E.B.; KLITGAARD, H.; BOJSEN-MOLLER, F. The influence of strength training, swim training and ageing on the Achilles tendon and m. soleus of rat. *Journal of Sports Sciences*, v.13, p. 291-5, 1995.

SOMMER, H.M. The biomechanical and metabolic effects of a running regime on the Achilles tendon in the rat. *International Orthopaedics (SICOT)*, v.2, p. 71-5, 1987.

TROUP, J.P. The physiology and biomechanics of competitive swimming. *CLINICS IN SPORTS MEDICINE*, v. 18, n. 2, p. 267-85, 1999.

VIIDIK, A. Mechanical properties of parallel-fibred collagenous tissues. *Biology of Collagen London*, Academic Press, p. 237-55, 1980.

WAJCHEMBERG, M.; PIRES, L.; RODRIGUES, R.C.; MANO, K.S.; SOTTOMAIOR, M.S.; COHEN, M.; ABDALLA, R.J.; PUERTAS, E.B. Early rehabilitation of athletes using hydrotherapy after surgical treatment of lumbar disc herniation: preliminary report of three cases. *Acta Ortop Bras*, v.10, n. 2, p. 48-57, 2002.

WANG, J.H.C. Mechanobiology of tendon. Journal of Biomechanics, v.39, p. 1563–82, 2006.

WOO, S.L-Y.; RITTER, M.A.; AMIEL, D.; T. M. SANDERS, T.M.; GOMEZ, M.A.; KUEI, S.C.; GARFIN, S.R.; AKESON, W.H. The biomechanical and biochemical properties of swine tendons - long term effects of exercise on the digital extensors. Connective Tissue Research, v.7, p. 177-83, 1980.

Tabela 1 - Valores dos parâmetros biomecânicos do tendão do calcâneo submetido ao exercício físico em meio aquático

PARÂMETROS AVALIADOS	GRUPO CONTROLE (n=10)	GRUPO NATAÇÃO (n=10)	p
Tensão Máxima (MPa)	13,16 ± 5,8	20,50 ± 5,32	0,009 ^a
Deformação Específica (%)	78,05 ± 25,49	96,61 ± 34,58	0,189
Energia/Área (N.mm/mm²)	28,05 ± 12,28	45,93 ± 17,65	0,017 ^a
Módulo Elástico (MPa)	24,78 ± 19,09	48,93 ± 19,87	0,013 ^a

a– valores diferentes estatisticamente $p < 0,05$ (teste t-Student); mm – milímetros; MPa – Mega Pascal; N – Newtons; % - percentagem.

Tabela 2 - Valores das propriedades estruturais do tendão do calcâneo submetido ao exercício físico em meio aquático.

PARÂMETROS AVALIADOS	GRUPO CONTROLE (n=10)	GRUPO NATAÇÃO (n=10)	p
Seção Transversal (mm²)	1,85 ± 0,36	1,71 ± 0,36	0,418
Comprimento Base do Tendão (mm)	5,75 ± 0,96	5,54 ± 1,26	0,670
Força Máxima (N)	25,02 ± 13,27	35,32 ± 3,75	0,03 ^b

b– valores diferentes estatisticamente $p < 0,05$ (teste t-Student); mm – milímetros; N – Newtons; % - percentagem.

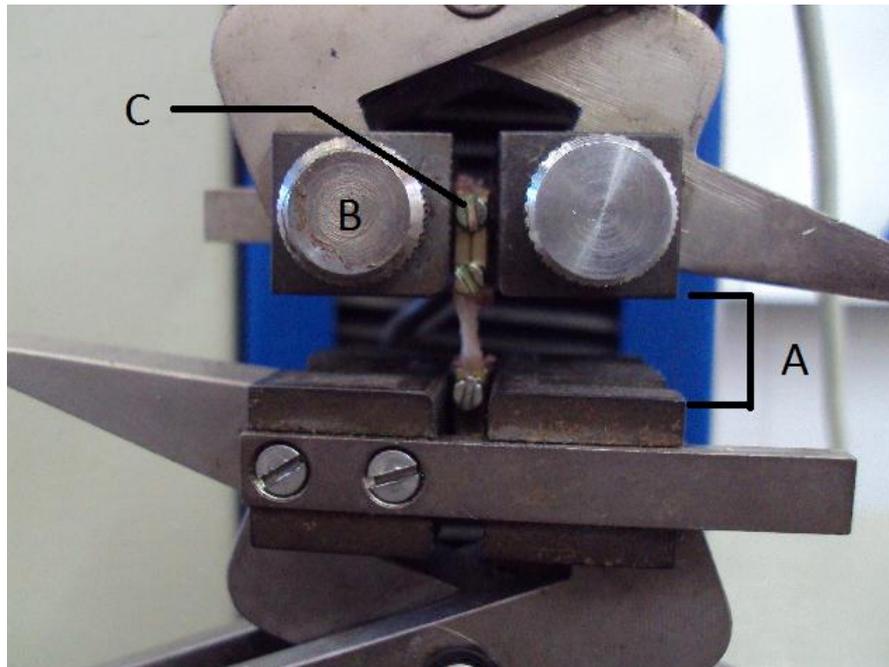


Figura 1: Máquina utilizada no **ensaio mecânico** das estruturas tendíneas. A – Mensuração do comprimento do tendão em milímetros; B – Garras auto-travantes; C – Conector de metal.

7.2. ARTIGO ORIGINAL 2

O EXERCÍCIO FÍSICO PREVENTIVO EM MEIO AQUÁTICO PODE RETARDAR OS DISTÚRBIOS METABÓLICOS E O EFEITO DEGENERATIVO PROMOVIDO PELO DIABETES EXPERIMENTAL NO TENDÃO DO CALCÂNEO DE RATOS WISTAR?

Márcio Almeida Bezerra*

Programa de Pós-graduação em Fisioterapia – Universidade Federal de Pernambuco – UFPE;

Patrícia Verçoza de Castro Silveira

Programa de Pós-graduação em Fisioterapia – Universidade Federal de Pernambuco – UFPE;

Gabriel Nunes de Mesquita

Curso de Fisioterapia – Universidade Federal de Pernambuco – UFPE;

Thainá de Gomes Figueiredo

Curso de Fisioterapia – Universidade Federal de Pernambuco – UFPE;

Magno Felipe Holanda Barboza Inácio Teixeira

Curso de Pós-graduação em Engenharia Química – Universidade Federal de Pernambuco;

Silvia Regina Arruda de Moraes

Programa de Pós-graduação em Fisioterapia – Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

Departamento de Anatomia da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE;

*AUTOR CORRESPONDENTE:

Márcio Almeida Bezerra

Rua João Julião Martins, 179

58.429-015 Campina Grande PB – Brazil

Telefone +55 83 3333 2995

Cell phone +55 83 9352 3204

E-mail address: marcioalmeidabezerra@gmail.com (M. A. Bezerra)

RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi avaliar o comportamento estrutural e biomecânico do tendão do calcâneo e os parâmetros clínicos e metabólicos de ratos induzidos ao diabetes experimental e submetidos ao exercício física pré e pós-indução em meio aquático. **Matérias e métodos:** foram utilizados 44 ratos *Wistar* machos (70 dias de vida; $314,57g \pm 36,54$) distribuídos aleatoriamente em quatro grupos, Grupo controle (GC; n=15), Grupo Natação (GN; n=12), Grupo Diabético (GD; n=15), Grupo Diabético Natação (GDN; n=12). Os grupos treinados foram submetidos ao treinamento em meio aquático por oito semanas, 60 minutos ao dia, cinco vezes por semana, enquanto os grupos não treinados permaneceram restritos às gaiolas. Foram avaliados como parâmetros clínicos e metabólicos o consumo hídrico, ingestão sólida, volume urinário e níveis glicêmicos. Para o teste mecânico do tendão, estes foram fixados à máquina de ensaio convencional EMIC (modelo DL 500, Brasil) através de garras auto travantes e fixados a conectores de metal. Do teste, foram extraídos a força máxima (N), módulo elástico (MPa), tensão máxima (MPa), área de seção transversal (mm^2) e deformação específica (%). Para a análise estatística foi utilizado o teste ANOVA one-way ($p < 0,05$). **Resultados:** Os parâmetros clínicos não apresentaram alteração mediante o treinamento pré e pós-indução, permanecendo seus valores acima da normalidade. A análise do tendão do GDN mostrou valores aumentados para o módulo elástico ($p < 0,01$), tensão máxima ($p < 0,001$) e valor menor para área de seção transversal ($p < 0,001$) quando comparado ao GN, contudo não apresentou diferença quando comparado ao GD. **Conclusão:** Os valores homogêneos apresentados pelos tendões do GD e GDN mostram que o treinamento físico aplicado no modelo pré e pós-indução não promoveu um efeito protetor na instalação do processo degenerativo da tendinopatia.

DESCRITORES: propriedades mecânicas, animais, diabetes *mellitus*

INTRODUÇÃO

Apesar da correlação existente entre o diabetes e distúrbios musculoesqueléticos, principalmente na estrutura tendínea, gerando afecções degenerativas que prejudicam a função biológica e biomecânica (OLIVEIRA et al, 2011; FOX et al., 2011), pouca atenção ainda tem sido dispensada ao estudo de intervenções que possam prevenir tal processo patológico.

Segundo a American Diabetes Association (2012) o exercício físico estruturado e planejado deve ser realizado como forma de manejo do diabetes na prevenção dos acometimentos gerados pela hiperglicemia crônica. Esta intervenção eleva a necessidade energética do corpo e promove alterações no metabolismo celular e no controle endócrino (MOSTARDA et al., 2009) podendo, em alguns casos, aumentar a secreção de insulina (HUANG et al., 2011), realizar o controle glicêmico (SOUTO, MIRANDA 2011) evitando a cronicidade e conter alguns riscos cardiovasculares (HERBST et al., 2007).

Na estrutura tendínea, adaptações das propriedades estruturais e biomecânicas, frente aos mais diferentes tipos de exercício, têm sido demonstradas através de estudos em animais experimentais (WOO et al., 1980; SIMONSEN, KLITGAARD, BOJSEN-MOLLER, 1995; LEGERLOTZ et al., 2007). Especificamente em atividades no meio aquático, apenas o estudo de SIMONSEN, KLITGAARD, BOJSEN-MOLLER (1995) analisou a plasticidade tendínea em animais, observando o aumento da carga suportada quando submetido ao teste mecânico de tração máxima. Contudo, todos estes estudos foram conduzidos em animais saudáveis, livres de qualquer acometimento patológico, não existindo quaisquer referências quanto ao desfecho do exercício físico em tendões de humanos ou animais diabéticos.

Recentemente, foi relatado que mecanismos ligados ao desenvolvimento muscular com aumento do transporte de glicose através de mediadores da glicose (GLUT-4) (PAULI et al., 2009) podem ser o caminho para parte da solução da hiperglicemia crônica diabética.

Sendo assim, hipotetiza-se que o trabalho muscular desenvolvido pela série de contrações impostas pela atividade áquatica, promova um aumento no consumo de glicose corporal, diminuindo os níveis glicêmicos e gerando um efeito protetor no tendão de ratos induzidos ao diabetes quando comparados a grupos sedentários. Por fim, o objetivo deste estudo foi avaliar o comportamento estrutural e

biomecânico do tendão do calcâneo de ratos induzidos ao diabetes experimental e submetidos nos períodos pré e pós-indução o exercício físico em meio aquático, bem como os parâmetros metabólicos e clínicos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Animais

No estudo foram utilizados 54 ratos machos (*Rattus Novergicus Albinus*), da linhagem *Wistar* (70 dias de vida; 314,57g \pm 36,54) mantidos em gaiolas de prolipropileno de tamanho 41x34x16 cm (quatro animais por gaiola), em ambiente climatizado (22 graus \pm 1^o), ciclo de luz claro/escuro invertido de 12 horas e acesso livre à ração (Labina® - Purina) e água. (Estudo aprovado pelo Comitê de Ética em Experimentação Animal (CEEA) da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE - protocolo n. 23076.028377/2010-25).

Os animais foram distribuídos aleatoriamente em quatro grupos experimentais: a) Grupo Controle (GC, n= 15), animais não submetidos a nenhum tipo de treino, restrito apenas a movimentação livre no interior da gaiola, b) Grupo Controle Diabético (GD, n= 15), animais não submetidos a nenhum tipo de treino, restritos apenas às atividade no interior das gaiolas e induzidos ao diabetes, c) Grupo Treinado Natação (GN, n= 12), submetidos ao treino físico com natação durante oito semanas e, d) Grupo Treinado Natação Diabético (GND, n= 12), submetido ao treino físico durante oito semanas e induzido ao diabetes.

Treinamento Físico em Meio Aquático

Aos 70 dias de vida os animais dos grupos GN e GND iniciaram o período de treinamento durante quatro semanas. A primeira semana de atividade consistiu na adaptação dos animais ao meio aquático, no qual os mesmos eram colocados em um tanque de amianto com 60 cm de comprimento, 50 cm de largura e 40 cm de profundidade, onde era realizado o treino, com a temperatura da água a 31 \pm 1^oC. Na quinta semana experimental, o treinamento foi interrompido para a realização da indução ao diabetes. Na semana seguinte, os animais iniciaram o treino pós-indução que consistiu em quatro semanas de treino durante 60 minutos, cinco dias por semana (NAKAO et al. 2000; GOBATTO et al., 2001).

Durante o período de treinamento os animais dos grupos GC e GD foram mantidos nas suas respectivas gaiolas.

Indução ao Diabetes

Ao completarem 96 ± 1 dia de vida, peso médio $364,84g \pm 45,48$ e após um jejum de 14 horas, os animais foram induzidos ao diabetes experimental (tipo 1) através de injeção de solução de Estreptozotocina (Sigma Chemical Co., USA) por via intraperitoneal, diluída em tampão Citrato de sódio a 10 mM e pH 4,5, em dose única (60mg/kg de peso animal). Os animais dos grupos controles receberam a mesma dose apenas de solução tampão citrato de sódio para reproduzir o mesmo estresse da indução. Trinta minutos após a indução, todos os animais tiveram livre acesso a ração e a água (LENZEN, 2008).

Todos os animais que obtiveram glicemia acima de 200 mg/dl foram considerados diabéticos (CARVALHO, CARVALHO, FERREIRA, 2003) e uma semana pós-indução reiniciaram o treinamento de natação.

Análise Metabólica e Controle Glicêmico

A análise do consumo hídrico, ingestão alimentar e diurese foi realizada através de gaiolas metabólicas (GM) (modelo TECNIPLAST 3701M081) durante um período de 72 horas, em uma amostra aleatória de cinco animais em cada grupo, em dois momentos: 1) aos 99 dias (± 1 dia), após a indução ao diabetes ou stress de indução e, 2) aos 130 dias (± 1 dia), semana anterior à coleta do material.

Para reduzir a influência da diferença de peso encontrada em cada grupo sobre as coletas, os achados estão apresentados e foram discutidos com a correção do peso do animal a cada 100g adotando os valores encontrados após 48 horas dentro da gaiola metabólica.

A verificação da glicose foi realizada após um jejum de 14 horas, uma vez por semana, a partir dos 60 dias de vida dos animais e três e sete dias após a indução do diabetes utilizando fitas reagentes (Accu-Chek Activ) para dosagem da glicose sanguínea a partir de uma gota de sangue extraída da cauda do animal.

Coleta do material

Após a anestesia dos animais com solução de Xilazina (Rompum® - Bayer) (10mg/kg) e Cloridrato de Ketamina (Ketalar®) (25mg/kg), 0,10 ml para cada 100g de peso do animal, seguida pela eutanásia com dessangramento, a pata traseira esquerda do animal foi removida e realizada a dissecação e remoção do tendão do

calcâneo do rato. O material foi umedecido em soro fisiológico e encaminhado sob refrigeração ao Laboratório de Engenharia Química - UFPE para a realização do ensaio mecânico.

Ensaio Mecânico

Para a realização do ensaio mecânico, o tendão foi acoplado em dois conectores de metal (2,5 x 3,5 cm), um em cada extremidade. A extremidade proximal composta pelo tendão do calcâneo e a junção mio-tendínea foi posicionada superiormente e a extremidade distal composta pelo tendão e sua junção com o osso calcâneo posicionada inferiormente em posição anatômica. Para melhorar a fixação da peça anatômica aos conectores, foi utilizada uma gota de monoacrilato gel (super cola) e em seguida foi utilizada a fórmula da elipse para mensurar a área da seção transversal do tendão em seu terço medial (SILVEIRA e NERY, 1999). Em seguida, o conjunto (conector e tendão) foi conectado em uma máquina de ensaio mecânico convencional EMIC (modelo DL 500, Brasil) através de garras auto-travantes, sendo em seguida aferido o comprimento da amostra para o ensaio.

As amostras tendíneas foram tracionadas até o ponto de falha do corpo de prova, com velocidade de 0,1 mm/s e célula de carga de 500 N. Dos ensaios foram obtidos gráficos de carga x deformação, os quais permitiram analisar as propriedades estruturais: força máxima (N), carga máxima suportada pela peça; deformação máxima (mm), deformação máxima alcançada pelo ensaio, além de parâmetros como área de seção transversal (mm²) e comprimento inicial do tendão (mm). Após normalizar a força pela área da seção transversal e a deformação pelo comprimento inicial, obteve-se o gráfico tensão x deformação no qual se avaliou as seguintes características biomecânicas tendíneas: módulo elástico (MPa), representado através da tangente do ângulo formado pela porção mais linear da curva ascendente do gráfico; tensão na força Máxima (MPa), calculada pelo quociente da carga máxima suportada pela peça anatômica pela área da seção transversal; e a deformação específica (%), representado pelo quociente entre o comprimento base e a deformação máxima multiplicado por 100.

Análise Estatística

A análise estatística dos resultados foi realizada com o software SPSS versão 17. Foi aplicado o teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov nos grupos e para o

estudo das variáveis foi utilizado o teste ANOVA one-way com nível de significância de 5%.

RESULTADOS

Durante o experimento houveram perdas amostrais nos grupos: GC, três amostras por problemas técnicos na máquina de ensaio mecânico - pane de energia e duas amostras perdidas no momento do ensaio – o tendão deslizou no conector; GN, dois animais foram a óbito por causas não identificadas; GND, uma amostra perdida no momento do ensaio – o tendão deslizou no conector; e no GD, duas amostras por não alcançaram os níveis ideais para considerá-los diabéticos. Desta forma, foram avaliados 10 amostras no GC, 10 amostras no GN, 11 no GND e 13 no GD.

Análise metabólica e controle glicêmico

Os dados dos dois momentos de análise nas gaiolas metabólicas estão dispostos na Tabela 1. Observou-se uma diminuição do peso dos animais, 96 horas após a indução do diabetes experimental, assim como aumento na ingestão de líquidos e ração e na eliminação de urina na GM 1. O protocolo de treinamento físico anterior e após a indução ao diabetes não foi capaz de normalizar o metabolismo do animal, permanecendo, desta forma, com os valores analisados aumentados e com uma diminuição do peso corporal bastante evidente nos animais diabéticos.

Quanto ao controle glicêmico, os valores médios das glicemias dos animais no período experimental estão dispostos na Figura 1. A glicemia dos animais diabéticos submetidos ao exercício físico apresentaram uma redução de 24,7% ($p < 0,01$) comparados com os valores do grupo diabético sem exercício no dia da eutanásia, porém com estes valores ainda muito acima do normal. Contudo, alguns animais do GND apresentaram valores glicêmicos abaixo de 200 mg/dl (Figura 2).

Análise estrutural e biomecânica do tendão

Os comportamentos estrutural e biomecânico do tendão apresentaram algumas modificações (Figura 3 e 4). Observou-se um aumento no valor do módulo elástico nos tendões induzidos ao diabetes tornando-o um material mais rígido. Em relação ao GD e GND houve um aumento de 202% e 198%, respectivamente.

A área da seção transversal apresentou uma diminuição de 44% no GD e de 47% no GND quando comparado com o valor do grupo controle, além de um aumento da tensão do GD e do GND de 123% e 182%, respectivamente.

DISCUSSÃO

Os resultados do presente estudo corroboraram os resultados já descritos anteriormente por nosso grupo de pesquisa (OLIVEIRA et al, 2012) os quais demonstraram alterações nas propriedades estruturais e biomecânicas tendíneas decorrentes da instalação do quadro diabético. Contudo, o protocolo de exercício físico aplicado pré- e pós-indução não se mostrou eficiente para reverter às alterações na biomecânica do tendão nem tampouco nos parâmetros metabólicos avaliados.

O aumento no módulo elástico nos animais induzidos ao diabetes experimental reflete uma maior rigidez ao tendão como material, o que o transforma em um tecido menos propício ao armazenamento e transmissão de energia para o arcabouço ósseo, função imperativa do tecido tendíneo para os movimentos corporais e principalmente para a locomoção. Este aumento na rigidez pode estar relacionado à desorganização causada nas fibras colágenas que, em sua normalidade, apresentam-se dispostas em paralelo (REDDY 2003), tornando-o predisposto às rupturas.

O valor diminuído da área da seção transversal dos tendões dos animais diabéticos corroboram com os achados anteriores deste grupo de pesquisa (OLIVEIRA et al., 2011), o qual sugerem que a diminuição não pode ser relacionada unicamente as alterações do tecido colagenoso, mas também ao baixo peso dos animais e ao aumento da diurese.

Por outro lado, o aumento da tensão máxima suportada pelo tendão pode gerar uma falsa impressão de melhora biomecânica. A tensão é calculada a partir do quociente entre a carga suportada pelo tendão e a área da seção transversal. Como não houve alteração entre os grupos na carga máxima suportada pelo tendão, a diminuição da área da seção transversal tornou-se determinante para este aumento no parâmetro biomecânico. O aumento considerável constatado em nosso estudo corrobora com os encontrados por Reddy (2003 e 2004) e Oliveira et al. (2011).

O exercício físico desenvolve o tecido muscular e, concomitantemente, promove o aumento da captação de glicose circulante através de transportadores

Glut-4 reduzindo os níveis glicêmicos (PAULI et al., 2009). A redução dos níveis foi perceptível nos animais do GND chegando ao ponto de apresentar em alguns animais com faixas consideradas normais (Figura 1). Contudo, o efeito não foi suficiente para alcançar a faixa glicêmica dos animais controles.

Desta forma, alterações como poliúria, polidipsia e polifagia, características em indivíduos diabéticos não apresentaram retorno às condições normais neste modelo de tratamento preventivo e continuado.

CONCLUSÃO

O exercício físico em meio aquático, aplicado de maneira preventiva e continuada, não foi suficiente para reverter as complicações tendíneas geradas pelo diabetes, permanecendo o tendão predisposto à lesões, além de não promover um controle nos parâmetros de consumo líquido e sólido, assim como na excreção de urina. Contudo, um sinal de controle glicêmico foi perceptível após a indução ao diabetes experimental.

AGRADECIMENTOS

Ao Depto de Engenharia Química – Universidade Federal de Pernambuco.

Ao Depto de Fisiologia e Farmacologia– Universidade Federal de Pernambuco

APOIO FINANCEIRO

O Sr. Bezerra teve apoio da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) além do suporte financeiro do CNPq - Edital Universal (Processo nº 477096/2008-5).

REFERÊNCIAS

AMERICAN DIABETES ASSOCIATION. Standards of Medical Care Diabetes. Diabetes Care, v.35, (suppl 1): S11-S63, 2012.

CARVALHO, E.N.; CARVALHO, N.A.S.; FERREIRA, L.M. Experimental model of induction of diabetes mellitus in rats. Acta Cir Bras, v.18, p.60-4, 2003.

DIRETRIZES DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE DIABETES. Sociedade Brasileira de Diabetes, 2008.

FOX, A.J.S.; BEDI, A.; DENG, X.H.; YING, L.; HARRIS, P.E.; WARREN, R.F.; RODEO, S.A. Diabetes Mellitus Alters the Mechanical Properties of the Native Tendon in an Experimental Rat Model. J Orthop Res, v. 29, p. 880–5, 2011.

GOBATTO, C. A.; MELLO, M.A.R.; SIBUYA, C.Y.; AZEVEDO, J.R.M.; SANTOS, L.A.; KOKUBUN, E. Maximal lactate steady state in rats submitted to swimming exercise. Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol, v.130, p.21-7, 2001.

HERBST, A.; KORDONOURI, O.; SCHWAB, K.O.; SCHMIDT, F.; HOLL, R.W. Impact of Physical Activity on Cardiovascular Risk Factors in Children With Type 1 Diabetes. A multicenter study of 23.251 patients. Diabetes Care, 30(8):: 2098-2100, 2007.

HUANG, H.H.; FARMER, K.; WINDSCHEFFEL, J.; YOST, K.; POWER, M.; WRIGHT, D.E.; STEHNO-BITTEL, L. Exercise Increases Insulin Content and Basal Secretion in Pancreatic Islets in Type 1 Diabetic Mice. Experimental Diabetes Research, vol. 2011, Article ID 481427, 10 pages, 2011.

LEGERLOTZ, K.; SCHJERLING, P.; LANGBERG, H.; BRUGGEMANN, G-P.; NIEHOFF, A. The effect of running, strength, and vibration strength training on the mechanical, morphological, and biochemical properties of the Achilles tendon in rats. J Appl Physiol, v. 102, p. 564–72, 2007.

LENZEN, S. The mechanisms of alloxan- and streptozotocin-induced diabetes. *Diabetologia*, v. 51, p. 216-226, 2008.

MOSTARDA, C.; ROGOW, A.; SILVA, I.C.M.; LA FUENTE, R.N; JORGE, L.; RODRIGUES, B.; HEEREN, M.V.; CALDINI, E.G.; DE ANGELIS, K.; IRIGOYEN, M.C. Benefits of exercise training in diabetic rats persist after three weeks of detraining. *Autonomic Neuroscience: Basic and Clinical*, v. 145, p. 11-16, 2009.

NAKAO,C.; OOKAWARA,T.; KIZARI,T.; OH-ISHI, S.; MIYAZAKI, H.; HAGA, S.; SATO, Y.; JI, L.L.; OHNO, H. Effects os swimming training on three superoxide dismutase isoenzymes in mouse tissue. *J Appl Physiol.*, v.88, p. 649-54, 2000.

OLIVEIRA, R.R.; LIRA, K.D.S.; SILVEIRA, P.V.C.; COUTINHO, M.P.G.; MEDEIROS, M.N.; TEIXEIRA, M.F.H.B.I.; MORAES, S.R.A. Mechanical Properties of Achilles Tendon in Rats Induced to Experimental Diabetes. *Annals of Biomedical Engineering*, v. 39, n. 5, p. 1528-34, 2011.

OLIVEIRA, R.R.; BEZERRA, M.A.; LIRA, K.D.S.; NOVAES, K.A.; TEIXEIRA, M.F.H.B.I.; CHAVES, C.C.; MORAES, S.R.A. Aerobic physical training restores biomechanical properties of Achilles tendon in rats chemically induced to diabetes mellitus. *Journal of Diabetes and Its Complications*, doi:10.1016/j.jdiacomp.2012.03.017, 2012.

PAULI, J.R.; CINTRA, D.E.; SOUZA, C.T.; ROPELLE, E.R. Novos mecanismos pelos quais o exercício físico melhora a resistência à insulina no músculo esquelético. *Arq. Bras. Endocrinol Metab.*, v. 53, n. 4, p. 399-408, 2009.

REDDY, G.K. Cross-linking in Collagen by Nonenzymatic Glycation Increases the matrix stiffness in rabbit Achilles Tendon. *Experimental Diab. Res.*, v. 5, p. 143-53, 2004.

REDDY, G.K. Glucose-mediated in vitro glycation modulates biomechanical integrity of soft tissues but not hard tissues. *Journal of Orthopaedic Research*, v. 21, p. 738-43, 2003.

SILVEIRA, A.C.M. e NERY, C.A.S. Estudo macroscópico e morfométrico do tendão do músculo tibial posterior. *Revista Brasileira de Ortopedia*, v. 34, n. 8, p. 475-480, 1999.

SIMONSEN, E.B.; KLITGAARD, H.; BOJSEN-MOLLER, F. The influence of strength training, swim training and ageing on the Achilles tendon and m. soleus of rat. *Journal of Sports Sciences*, v.13, p. 291-5, 1995.

SOUTO, L.D. E MIRANDA, M.P. Physical exercises on glycemic control in type 1 diabetes mellitus. *Nutrición Hospitalaria*, v. 26, n. 3, p. 425-9, 2011.

WOO, S.L-Y.; RITTER, M.A.; AMIEL, D.; T. M. SANDERS, T.M.; GOMEZ, M.A.; KUEI, S.C.; GARFIN, S.R.; AKESON, W.H. The biomechanical and biochemical properties of swine tendons - long term effects of exercise on the digital extensors. *Connective Tissue Research*, 7:177-83, 1980.

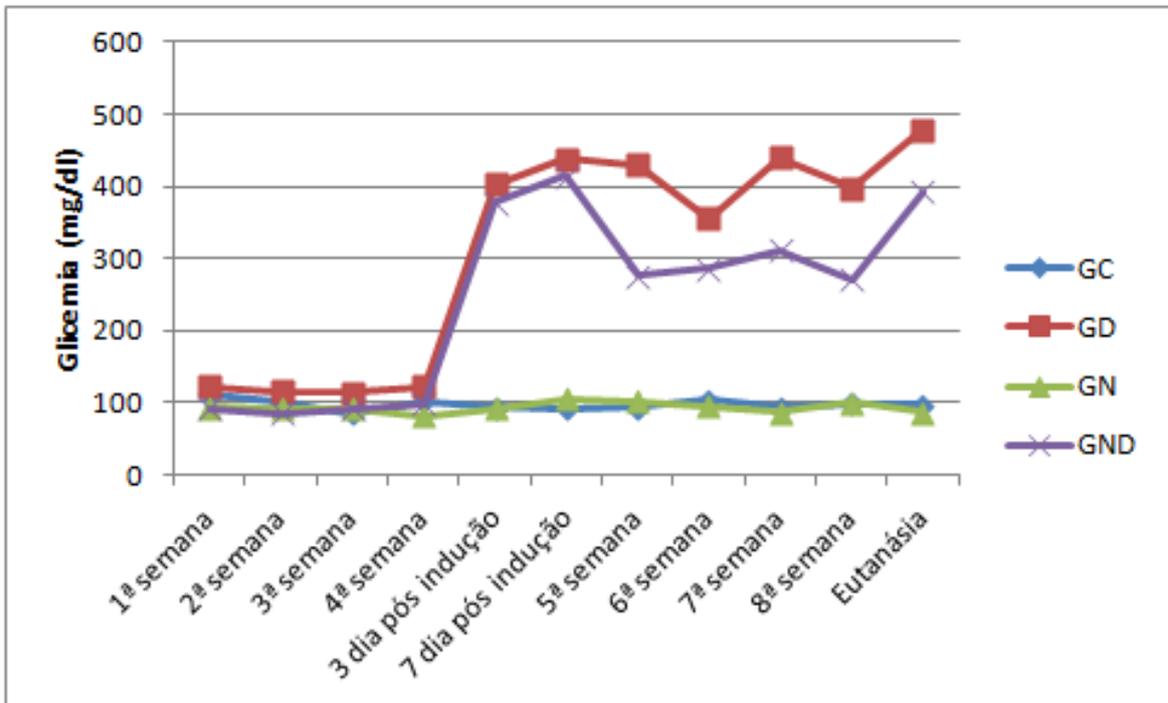


Figura 1- Avaliação semanal da glicemia dos grupos experimentais

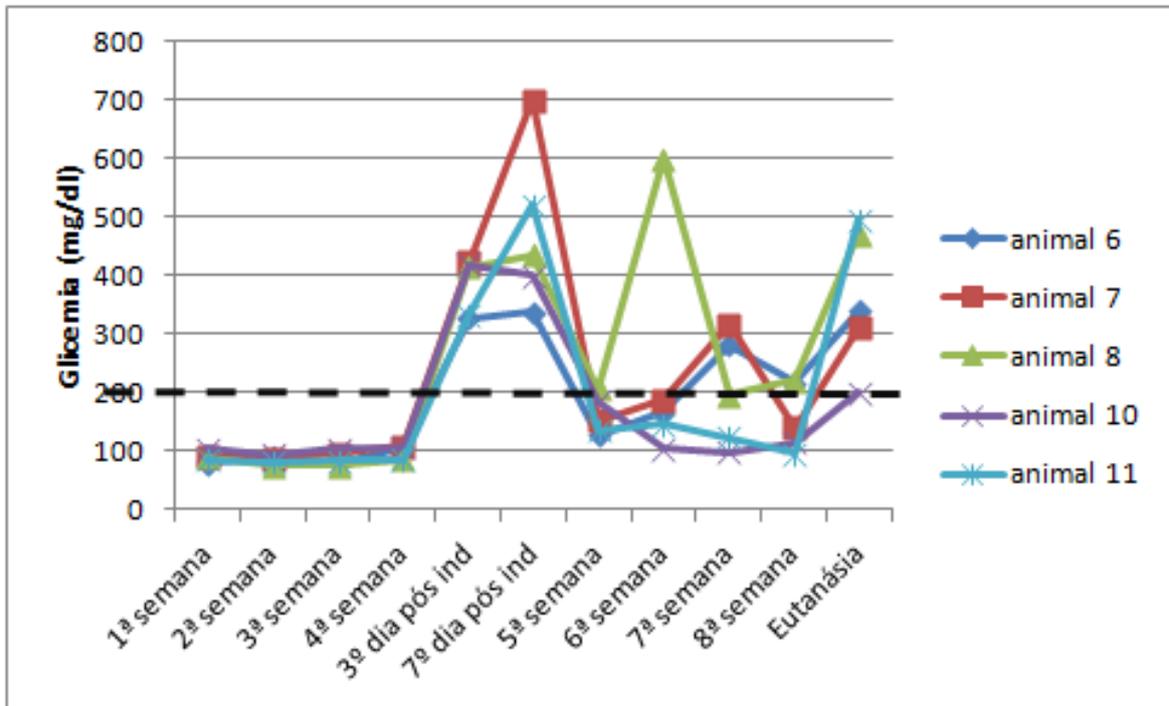


Figura 2 – Avaliação de uma amostra do grupo natação diabético. Linha pontilhada determinando valor limitrófe da normalidade glicêmica em ratos wistar.

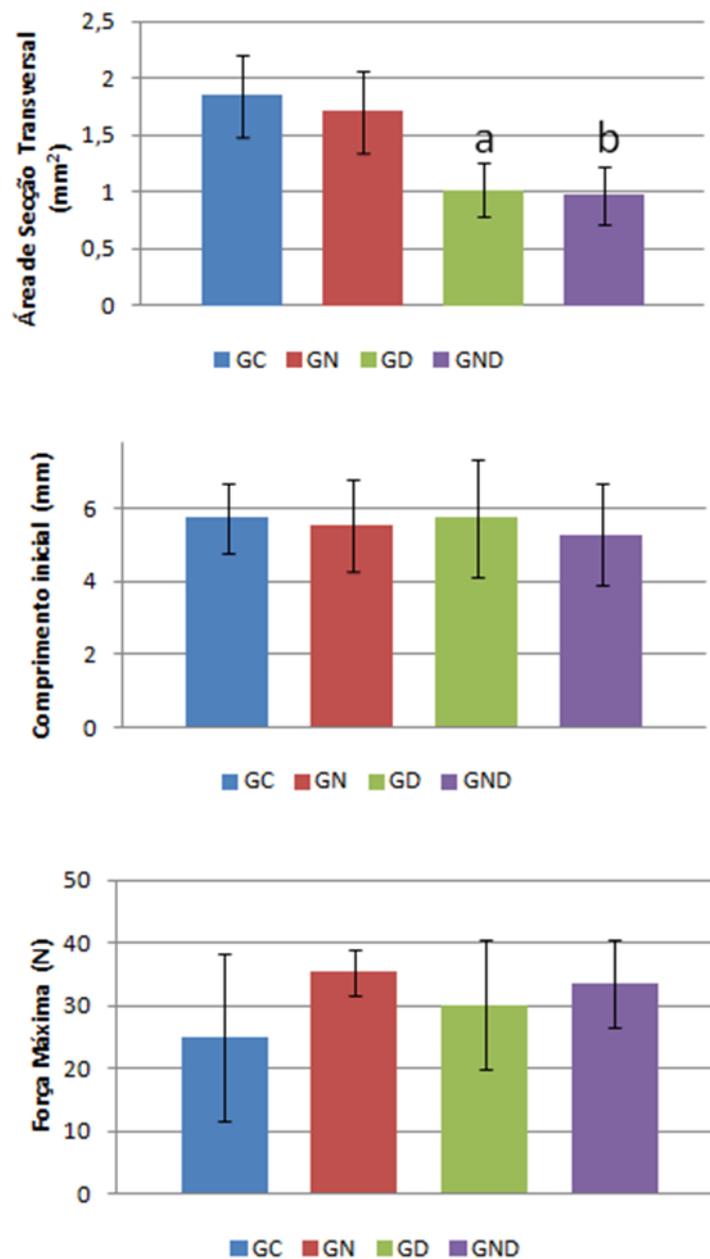


Figura 3 – Resultado das propriedades estruturais dos tendões dos grupos experimentais. GC – grupo controle; GN – grupo natação; GD – grupo diabético; GND – grupo natação diabético; (mm) - milímetros; (%) – porcentagem; (N) – Newton; (MPa) – mega-pascal; (a) GC→GD $p < 0,001$; (b) GN→GND $p < 0,001$.

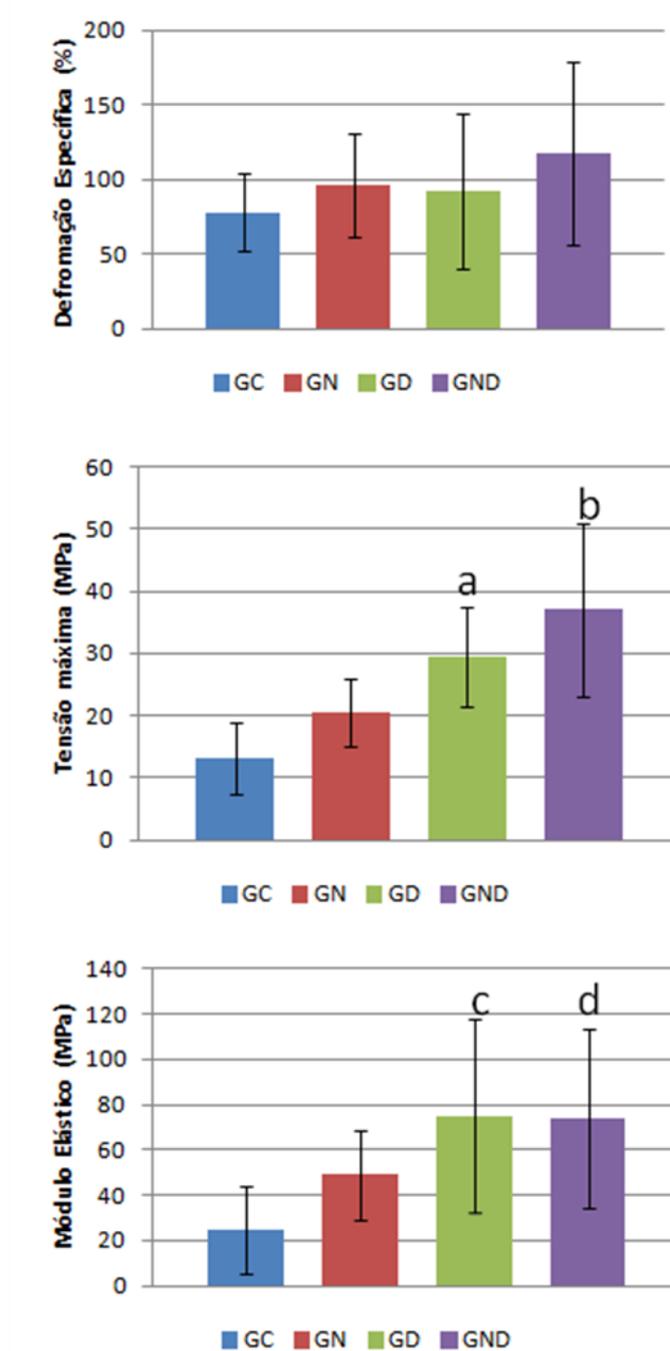


Figura 4 – Resultado das propriedades biomecânicas dos tendões dos grupos experimentais. GC – grupo controle; GN – grupo natação; GD – grupo diabético; GND – grupo natação diabético; (mm) - milímetros; (%) – porcentagem; (N) – Newton; (MPa) – mega-pascal; (a) GC→GD $p < 0,001$; (b) GN→GND $p < 0,001$; (c) GC→GD $p < 0,005$; (d) GC→GND $p < 0,01$

Tabela 1- Acompanhamento metabólico dos animais nas gaiolas metabólicas (GM) com os valores representados em média e desvio padrão.

GRUPOS GM 1	PESO (grama)	RAÇÃO (gramas)*	ÁGUA (mililitros)*	URINA (mililitros)*
GC	397,2 ± 49,16	7,49 ± 0,47	14,64 ± 4,43	4,06 ± 0,35
GD	350,4 ± 35,31	11,3 ± 1,62 ^c	54,61 ± 7,88 ^c	41,63 ± 8,40 ^c
GN	399,2 ± 31,41	6,76 ± 0,7 ^d	10,02 ± 1,8	3,92 ± 1,31
GND	328 ± 21,58 ^{a,b}	11,47 ± 0,99 ^{d,e}	49,44 ± 6,94 ^{d,e}	37,43 ± 5,76 ^{d,e}

GRUPOS GM 2	PESO (grama)	RAÇÃO (gramas)*	ÁGUA (mililitros)*	URINA (mililitros)*
GC	450,8 ± 49,10	5,76 ± 0,87	9,70 ± 2,32	3,17 ± 0,78
GD	297,2 ± 28,51 ^c	16,89 ± 1,58 ^c	88,06 ± 13,01 ^c	68,8 ± 10,14 ^c
GN	451,2 ± 32,01	6,42 ± 0,48	11,17 ± 2,37	3,08 ± 0,39
GND	272,4 ± 44,39 ^{d,e}	18,55 ± 2,73 ^{d,e}	95,28 ± 19,56 ^{d,e}	74,59 ± 19,96 ^{d,e}

*valores metabólicos referentes a 100 gramas de peso do animal; (a) GC→GND p<0,05; (b) GN→GND p<0,05; (c) GC→GD p<0,0001; (d) GN→GND p<0,0001; (e) GC→GND p<0,0001.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O diabetes tipo I, quimicamente induzido, reproduziu alterações clínicas esperadas como a polidípsia, polifagia e a produção em excesso de urina diária, além da perda de peso corpóreo dos animais com o desenvolvimento da síndrome. Além disso, o aumento nos níveis glicêmicos foi bastante evidente.

No âmbito do comportamento biomecânico e estrutural do tendão, a síndrome diabética foi capaz de promover a redução da área de seção transversal, aumento da tensão no tendão e aumento no valor do módulo elástico, refletindo em maior rigidez do tendão como material. Tais apontamentos transformam o tendão em um tecido aquém de sua função de transmitir a energia advinda da musculatura gerada durante o movimento corporal. Desta forma, o tendão tornou-se mais friável, ou seja, sujeito a lesões e/ou rupturas.

O exercício físico em meio aquático a qual foram submetidos os animais, demonstrou no tendão saudável ser eficiente em desenvolver o potencial biomecânico e estrutural. Contudo, nos animais diabéticos não foi eficiente para promover um efeito protetor na instalação do processo degenerativo da tendinopatia. No entanto, em relação aos níveis glicêmicos, o exercício físico promoveu uma pequena redução neste parâmetro, mostrando ter um papel importante na regulação metabólica na ausência e/ou diminuição de substâncias essenciais ao organismo (insulina).

9. LIMITAÇÕES DO ESTUDO

Pesquisas que envolvem o estudo do comportamento biomecânico de tecidos tendíneos através de testes de cargas progressivas (teste de tração), sofrem a influência de uma série de fatores, dentre elas os parâmetros utilizados no ensaio, o manuseio da peça anatômica testada e o tipo de material que deverá ser testado.

Sabe-se que as propriedades mecânicas do tendão sofrem a influência do posicionamento adotado no ensaio mecânico que, na maioria das vezes, não respeita a biomecânica tendínea (angulação das fibras tendíneas), a forma como é conectado o tendão à máquina (*gripping*), além da idade do animal e da espécie o qual pertence. Portanto, este estudo objetivou analisar os valores biomecânicos e estruturais obtidos pelo ensaio mecânico de tração entre os grupos experimentais avaliados, em detrimento à comparação de valores disponíveis na literatura.

10. ANEXOS

10.1. ANEXO A - CARTA DE SUBMISSÃO DE ARTIGO

Dear Márcio Bezerra ,

Thank for submission of your article:

Title: DOES AEROBIC EXERCISE TRAINING PROMOTE CHANGES IN STRUCTURAL AND BIOMECHANICAL PROPERTIES OF THE TENDONS IN EXPERIMENTAL ANIMALS? A SYSTEMATIC REVIEW

Authors: Bezerra A. Márcio, Lira D.S. Kamilla, Silveira V. C. Patrícia, Coutinho P.G. Marcos, Lemos Andrea, Moraes R. A. Silvia

Please refer to your manuscript registration number (#16144) in all your official correspondence.

Should you like to check the status of your manuscript please visit the Biology of Sport website at www.biolsport.com

From the left-side menu select Authors Pathway, login, and then select option My articles. Click on selected title from the list of your submission to check the status of the manuscript, submitted files, messages

Sincerely,

Piotr Zmijewski
Editorial Office
Biology of Sport
www.biolsport.com

10.2. ANEXO B - APROVAÇÃO DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA EXPERIMENTAL

Universidade Federal de Pernambuco
Centro de Ciências Biológicas
Av. Prof. Nelson Chaves, s/n
50670-420 / Recife - PE - Brasil
Fones: (55 81) 2126 8840 | 2126 8351
fax: (55 81) 2126 8350
www.ccb.ufpe.br



Recife, 11 de agosto de 2010.

Ofício nº 308/2010

Da Comissão de Ética no uso de Animais (CEUA) da UFPE
Para: **Profª Silvia Regina Arruda de Moraes**
Departamento: Anatomia
Universidade Federal de Pernambuco
Processo nº 23076.028377/2010-25

Os membros da Comissão de Ética no Uso de Animais do Centro de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Pernambuco (CEUA-UFPE) avaliaram seu projeto de pesquisa intitulado, "*Avaliação comparativa do efeito dos treinamentos físicos em esteira e natação sobre a instalação da tendinose do calcâneo em ratos diabéticos.*"

Concluímos que os procedimentos descritos para a utilização experimental dos animais encontram-se de acordo com as normas sugeridas pelo Colégio Brasileiro para Experimentação Animal e com as normas internacionais estabelecidas pelo National Institute of Health Guide for Care and Use of Laboratory Animals as quais são adotadas como critérios de avaliação e julgamento pela CEUA-UFPE.

Encontra-se de acordo com as normas vigentes no Brasil, especialmente a Lei 11.794 de 08 de outubro de 2008, que trata da questão do uso de animais para fins científicos e didáticos.

Diante do exposto, emitimos parecer favorável aos protocolos experimentais a serem realizados.

Observação:
Origem dos animais: Biotério do Departamento de Anatomia,
Animais: Ratos, sexo: Machos; idade: 60 dias; Nº de Animais: 90 (noventa).

Atenciosamente,

Maria Teresa Jansen

 Profª. Maria Teresa Jansen
Presidente do CEEA

CCB: Integrar para desenvolver

11. APÊNDICE

11.1. APÊNDICE A – Certificado SONAFE



V CONGRESSO BRASILEIRO III CONGRESSO INTERNACIONAL DA
SOCIEDADE NACIONAL DE FISIOTERAPIA ESPORTIVA
V JORNADA BRASIL - ARGENTINA DE FISIOTERAPIA ESPORTIVA

2011 Brazilian Sports Physical Therapy Society (SONAFE)
Biennial Conference

Certificado

Certificamos que o trabalho científico **"Avaliação do comportamento das propriedades biomecânicas do tendão de ratos submetidos à atividade física em meio aquático (AFMA)"**, autoria de Márcio Almeida Bezerra, Gabriel Nunes de Mesquita, Karyne Albino de Novaes, Raissa Belarmino da Silva, Anna Karollyna de Brito Nascimento, Sílvia Regina Arruda de Moraes foi apresentado em forma de oral durante o **V CONGRESSO BRASILEIRO E III CONGRESSO INTERNACIONAL DA SONAFE/ V JORNADA BRASIL – ARGENTINA DE FISIOTERAPIA ESPORTIVA**, realizado no período de 11 a 14 de novembro, no Centro Cultural e de Exposições de Maceió/AL.



RODRIGO RIBEIRO DE OLIVEIRA
Presidente do V Congresso Brasileiro e
III Congresso Internacional da SONAFE
V Jornada Brasil-Argentina



MARCO TÚLIO SALDANHA DOS ANJOS
Presidente da Sociedade Nacional de Fisioterapia
Esportiva - SONAFE

Maceió, 14 de novembro de 2011.

010003

Promoção:



SONAFE
Brasil

Patrocínio:



11.2. APÊNDICE B – Menção Honrosa SONAFE 2011



V CONGRESSO BRASILEIRO III CONGRESSO INTERNACIONAL DA
SOCIEDADE NACIONAL DE FISIOTERAPIA ESPORTIVA
V JORNADA BRASIL - ARGENTINA DE FISIOTERAPIA ESPORTIVA
2011 Brazilian Sports Physical Therapy Society (SONAFE)
Biennial Conference



Certificamos que o resumo OR003, intitulado **AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DAS PROPRIEDADES BIOMECÂNICAS DO TENDÃO DE RÁTOS SUBMETIDOS À ATIVIDADE FÍSICA EM MEIO AQUÁTICO (AFMA)** de autoria Márcio Almeida Bezerra, UFPE, Gabriel Nunes de Mesquita, UFPE, Karyne Albino de Novaes, UFPE, Raissa Belarmino da Silva, UFPE, Anna Karollyna de Brito Nascimento, UFPE, Sílvia Regina Arruda de Moraes, UFPE, foi premiado com **MENÇÃO HONROSA** - segundo colocado da sessão ORAL - do V Congresso Brasileiro e III Congresso Internacional da Sociedade Nacional de Fisioterapia Esportiva - SONAFE2011.



Rodrigo Azeiteiro de Oliveira
Presidente

Promoção:  SONAFE Brasil

Patrocínio:   

11.3. APÊNDICE C – Resumo publicado In Press (Conceito A2 - CAPES)

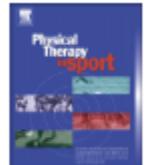
ARTICLE IN PRESS

Physical Therapy in Sport xxx (2012) 1–6



Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

Physical Therapy in Sport

journal homepage: www.elsevier.com/ptsp

 Proceedings from the 2011 Brazilian Sports Physical Therapy Society (SONAFE) Biennial Conference, 11-14 November, Maceio, Brazil: Selected abstracts

EVALUATION OF THE BIOMECHANICAL BEHAVIOR OF TENDON IN RATS SUBJECTED TO PHYSICAL ACTIVITY IN WATER

Márcio Bezerra, Gabriel Mesquita, Karyne Novaes, Raíssa Silva, Anna Nascimento, Sílvia Moraes

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, Brazil

Purpose: To evaluate the effect of physical activity in water on the biomechanical properties of the Achilles tendon in rats.

Methods: Twenty-five male Wistar rats (70 days old; 336 ± 37 g) were randomly assigned into two groups: Sedentary Control Group (SCG, $n = 15$) and Swimming Trained Group (STG, $n = 10$). The SCG was limited to movements within the cage while the STG was submitted to physical activity in water in a tank with a water temperature of 30 ± 1 °C for 1 hour/day, 5 days/week for eight weeks. All animals received food and water *ad libitum*, and were kept in a reversed 12 h light/dark cycle. After eight weeks of activity, the rats were euthanized and the Achilles tendon of the left hind leg was collected. The tendon was then subjected to mechanical testing in a conventional testing machine, using self-locking jaws and secured with metal connectors. The tendons were pulled to the point of failure at a speed of 0.1 mm/s and captured by a load cell of 500 N. Statistical analysis was performed using the Student's t test and Mann-Whitney test ($p < 0.05$).

11.4. APÊNDICE D – Produção Paralela

DIABETES
SBD 2011
 SOCIEDADE
 BRASILEIRA DE
 DIABETES

**XVIII Congresso da Sociedade
 Brasileira de Diabetes**

Centro de Convenções Ulysses Guimarães
 Brasília | 19 a 22 de outubro de 2011

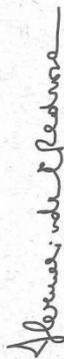
CERTIFICADO

CERTIFICAMOS QUE

OLIVEIRA RR, LIRA KDS, SILVEIRA, PVC, COUTINHO, MPG, BEZERRA MA, MORAES SRA

PARTICIPARAM DAS ATIVIDADES DO XVIII CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE DIABETES, NO PERÍODO DE 19 A 22 DE OUTUBRO DE 2011, NA CIDADE DE BRASÍLIA, COM CARGA HORÁRIA DE 24 HORAS, COMO AUTORES DO TRABALHO CIENTÍFICO: PO 23 - UTILIZAÇÃO DE TREINO AERÓBIO PARA RESTABELECEER AS PROPRIEDADES BIOMECÂNICAS DO TENDÃO DE CALCÂNEO DE RATOS DIABÉTICOS..

BRASÍLIA, 22 DE OUTUBRO DE 2011.


Hermelinda Cordeiro Pedrosa
 Presidente do Congresso


Saulo Cavalcanti da Silva
 Presidente da SBD



11.5. APÊNDICE E – Produção Paralela

Journal of Diabetes and Its Complications xxx (2012) xxx–xxx

Contents lists available at ScienceDirect



Journal of Diabetes and Its Complications

journal homepage: WWW.JDC.JOURNAL.COM



1 **Aerobic physical training restores biomechanical properties of Achilles tendon in rats**
2 **chemically induced to diabetes mellitus**

3 **Rodrigo Ribeiro de Oliveira^{a,b,*}, Márcio Almeida Bezerra^a, Kamilla Dinah Santos de Lira^c,**
4 **Karyne Albino Novaes^c, Magno Felipe Holanda Barboza Inácio Tebeira^d,**
5 **Carmen de Castro Chaves^a, Sílvia Regina Arruda de Moraes^{a,e}**

6 ^a Federal University of Pernambuco, Brazil
7 ^b Department of Physical Therapy-Federal University of Ceará, Brazil
8 ^c Department of Physical Therapy-Federal University of Pernambuco-Brazil;
9 ^d Department of Chemical Engineering-Federal University of Pernambuco, Brazil
10 ^e Department of Pharmacology and Physiology-Federal University of Pernambuco, Brazil
11 ^f Department of Anatomy-Federal University of Pernambuco-UFPE, Brazil

12 **ARTICLE INFO**

13 **Article history:**

14 Received 11 September 2011

15 Received in revised form 15 March 2012

16 Accepted 15 March 2012

17 Available online xxx

18 **Keywords:**

19 Diabetes mellitus

20 Achilles tendon

21 Mechanical properties

22 Aerobic physical training

23 Animal model

12 **ABSTRACT**

13 The aim of this study is to evaluate if the application of a moderate aerobic exercise protocol reverses the 28
14 damage caused by diabetes on the mechanical properties of the Achilles tendon. 29
15 **Methods:** Forty-four rats were divided randomly into four groups as follows: Sedentary Control Group-SCG, 30
16 Sedentary Diabetic Group-SDG, Trained Control Group-TCG and Trained Diabetic Group-TDG, the trained 31
17 groups were submitted to a protocol of moderate physical training on a continuous tread mill. For mechanical 32
18 testing the tendons were fixed in a conventional mechanical testing machine and pulled to the point of failure 33
19 of the specimens, the cuff load of 500N. The parameters were: Elastic Modulus (MPa), Stress Maximum 34
20 Strength (MPa), Strain Specific Maximum Force (mm), Energy / Tendon Area (N.mm/mm²) and Cross- 35
21 sectional Area (mm²). 36
22 **Results:** The evaluation of the biomechanical properties of the Achilles tendon of the SDG indicated that the 37
23 elastic modulus (MPa) had increased when compared to the TDG and the other groups ($p < 0.01$). However, the 38
24 specific deformation (X), the deformation at maximum force (mm), and energy / tendon area (N.mm/mm²) of 39
25 the SDG were significantly higher than in the other groups ($p < 0.01$). Moreover, moderate aerobic training on a 40
26 treadmill caused the biomechanical property values to move closer to the values shown by the control 41
27 groups ($p > 0.01$). 42
28 **Conclusion:** In summary, our study indicates that moderate-intensity aerobic training restored the normal 43
29 mechanical properties of tendons in diabetic animals, since the elastic modulus (MPa), the specific 44
30 deformation (X), the deformation of the maximum force (mm) and energy / tendon area (N.mm/mm²) 45
31 approached the values shown by the control groups. 46
32 © 2012 Published by Elsevier Inc. 47

12