CARLA CRISTINA ESTEVES SILVA OLIVEIRA

**INFLUÊNCIA DO EXERCÍCIO EM ESTEIRA NA
CONSOLIDAÇÃO DA OSTEOTOMIA NA TÍBIA DE
COELHO FIXADA COM FIXADOR EXTERNO
UNILATERAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Interunidades em Bioengenharia – Escola de Engenharia de São Carlos/ Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto/ Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Bioengenharia.

DEDALUS - Acervo - EESC

ORIENTADOR: Prof. Dr. CLEBER A. J. PACCOLA

São Carlos
2003

**Programa de Pós-Graduação Interunidades em Bioengenharia
EESC / FMRP / IQSC**

MEMBROS DA COMISSÃO JULGADORA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO
DA ALUNA CARLA CRISTINA ESTEVES SILVA OLIVEIRA, APRESENTADA
AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO INTERUNIDADES EM
BIOENGENHARIA EESC / FMRP / IQSC – USP NO DIA 17 DE DEZEMBRO
DE 2003.

PROF. DR. CLEBER ANTONIO JANSEN PACCOLA
Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto - USP - (Orientador)

DR. ORIVALDO LOPES DA SILVA
BIOENGENHARIA / Escola de Engenharia de São Carlos - USP

PROFA. DRA. STELA MÁRCIA MATTIELLO GONÇALVES ROSA
Departamento de Fisioterapia da Universidade Federal de São Carlos

Dedico este trabalho aos meus pais, Leuza e Nilson, ao meu marido Nuno e ao meu filho Nuninho e aos meus irmãos Carol e Guto, pessoas fundamentais na concretização deste objetivo. Amo muito vocês!

AGRADECIMENTOS

Ao **Prof. Dr. Cleber A. J. Paccola** pelo incentivo, orientação e ensinamentos para a realização deste trabalho.

Ao presidente da CPG do Programa de Pós-Graduação Interunidades em Bioengenharia EESC/FMRP/IQSC, **Prof. Tit. José Carlos Pereira**.

Ao **Prof. Dr. José B. Volpon**, pela presteza ao possibilitar a realização dos ensaios mecânicos na Máquina Universal de Ensaios EMIC®.

Aos funcionários do Lab. de Bioengenharia de Ribeirão Preto: **Moro, Francisco, Terezinha e Henrique** pela colaboração, dedicação e amizade.

Aos funcionários do Lab. de Bioengenharia de São Carlos: **Janete e Nelson** e ao **Prof. Dr. Orivaldo** pelos conselhos, apoio e dedicação.

Aos colegas de Pós-Graduação: **Víctor, Marquinho, Adriano, Ana Cristina e Tatiana** pela inestimável colaboração na realização deste trabalho.

Aos residentes **Dr. Rodrigo e Dr. André** pela colaboração na realização das cirurgias.

À **TRAUTEC®** pela confecção e fornecimento das osteossínteses e materiais necessários para o experimento.

Ao **Prof. Dr. Sérgio** do Laboratório de Fisiologia do Exercício da UFSCAR pelo empréstimo da esteira adaptada para animais.

Ao meu marido **Nuno** pelo apoio, incentivo, colaboração e compreensão.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

“Ama aquele que aponta as tuas falhas mais que aquele que te elogia.”

Bottach

SUMÁRIO¹

LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE TABELAS.....	ii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	iii
RESUMO.....	iv
ABSTRACT.....	v
1-INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Fixação externa.....	2
1.2 Tipos de montagem do fixador externo, vantagens da montagem unilateral.....	3
1.3 Tempo médio de consolidação de fraturas.....	4
1.4 Consolidação óssea e a aplicação de carga.....	5
1.5 Tecido ósseo x exercício.....	6
1.6 OBJETIVO.....	8
2-MATERIAL E MÉTODO.....	9
2.1 Animais do experimento.....	10
2.2 Grupos experimentais.....	10
2.3 O osso escolhido.....	11
2.4 O fixador externo.....	11
2.5 Guia de perfuração.....	11
2.6 Técnica cirúrgica.....	12
2.7 Procedimento experimental.....	14
2.7.1 Exercícios na esteira.....	14
2.7.2 Avaliação radiográfica.....	16
2.8 Eutanásia dos animais.....	17
2.9 Preparo e conservação das peças.....	17
2.10 Ensaio mecânico.....	17
2.10.1 Tipo de ensaio.....	17
2.10.2 Acessório.....	18
2.10.3 Preparo das tíbias para o ensaio.....	19
2.10.4 Parâmetros do ensaio.....	19
2.10.5 Registro dos dados.....	20

2.10.6 Cálculo das propriedades mecânicas.....	20
2.11 Análise estatística.....	21
3-RESULTADOS.....	22
3.1 Controle radiográfico.....	23
3.2 Propriedades mecânicas.....	25
3.2.1 Torque máximo.....	26
3.2.2 Deformação angular máxima.....	27
3.2.3 Energia total.....	28
4-DISCUSSÃO.....	29
5-CONCLUSÃO.....	35
6-REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	37

¹ Normas de acordo com as diretrizes para elaboração de dissertações e teses na EESC-USP, 3ª edição.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – (A) Pino de Schanz (B) Plataforma (C) Barra de conexão.....	11
Figura 2 – Guia de perfuração.....	12
Figura 3 – Aspecto da face ântero-medial da pata traseira do animal com o fixador implantado e o excesso dos pinos cortados.....	10
Figura 4 – Esteira adaptada.....	15
Figura 5 – Dispositivo de madeira.....	15
Figura 6 – Esteira com o dispositivo de madeira	16
Figura 7 – Coelhos realizando exercício na esteira.....	16
Figura 8 – Máquina de ensaio mecânico EMIC® montada para a realização do ensaio de torção (A) Acessório adaptado (B) Cabo de aço flexível (C) Travessão.....	18
Figura 9 – Representação esquemática do acessório. (A) Plataforma metálica (B) Bloco fixo (C) Bloco móvel.....	18
Figura 10 – Gráfico força x deformação, a partir do qual foram obtidas as propriedades mecânicas do ensaio de torção.....	20
Figura 11 – Radiografias ântero-posterior do grupo S em diferentes períodos. (A) PO imediato (B) 4 semanas de PO (C) 8 semanas de PO.....	23
Figura 12 – Curvas força x deformação dos 31 ossos analisados de ambos os grupos.....	25
Figura 13 – Distribuição dos dados em quartis com relação a variável Torque em $\text{Nm} \times 10^{-3}$	26
Figura 14 – Distribuição dos dados em quartis com relação a variável Deformação angular em graus.....	27
Figura 15 – Distribuição dos dados em quartis com relação a variável energia em Joules.....	28

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Controle radiográfico da consolidação óssea realizada a cada 10 dias de pós-operatório para cada animal do grupo exercitado.....	24
TABELA 2 – Controle radiográfico da consolidação óssea realizada a cada 10 dias de pós-operatório para cada animal do grupo sedentário.....	24
TABELA 3 – Proporção de coelhos com a tíbia consolidada antes e após 40 dias de pós-operatório.....	25
TABELA 4 – Análise descritiva da variável Torque em Newton metros x 10^{-3} (Nm x 10^{-3}).....	26
TABELA 5 – Análise descritiva da variável deformação angular em graus (°)..	27
TABELA 6 – Análise descritiva da variável energia em Joules (J).....	28

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

E –	exercitado
FMRP –	Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto
Gr. –	grupo
J –	Joule
MUE –	Máquina Universal de Ensaio
N –	Newton
PO –	Pós-operatório
S –	sedentário
TECF –	tíbia exercitada com fixador
TESF –	tíbia exercitada sem fixador
TSCF –	tíbia sedentária com fixador
TSSF –	tíbia sedentária sem fixador
USP –	Universidade de São Paulo

RESUMO

OLIVEIRA, C. C. E. S. (2003). Influência do exercício em esteira na consolidação da osteotomia na tíbia de coelho fixada com fixador externo unilateral. Defesa (Mestrado) – Engenharia de São Carlos/ Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto/ Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2003.

Sabe-se que a aplicação de carga influencia na consolidação óssea; e associada ao exercício podem reduzir o tempo de reparação óssea e a permanência com o fixador, que resultaria em muitas vantagens para a prática clínica. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do exercício em esteira, na consolidação da osteotomia na tíbia de coelhos, tratadas com fixador externo unilateral. O trabalho foi desenvolvido no laboratório de Bioengenharia da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da USP, utilizando-se 16 coelhos machos adolescentes da raça Nova Zelândia, que foram submetidos a uma osteotomia transversa no terço médio da tíbia e colocação do fixador externo unilateral para fixá-la. Após o procedimento cirúrgico os animais foram divididos em dois grupos: sedentários com $n = 10$ e exercitados com $n = 10$ (submetidos a exercícios diários em esteira, com intensidade moderada, durante 10'). Foi realizada uma avaliação radiográfica no pós-operatório imediato e a cada 10 dias até a oitava semana, quando os animais foram eutanasiados e suas tíbias retiradas e submetidas ao ensaio mecânico de torção. Na avaliação radiográfica observou-se um percentual maior de tíbias consolidadas, num período inferior a 40 dias no grupo exercitado, enquanto que os valores médios das variáveis mecânicas: torque máximo, deformação angular e energia absorvida até a ruptura, não apresentaram diferença estatística significativa para $p \leq 0,05$, apesar de ser observada uma tendência para maiores valores de torque no grupo exercitado. Estes resultados sugerem que o exercício não influencia na velocidade e no padrão de consolidação da fratura neste estudo.

Palavras chaves: consolidação óssea, fixador externo, exercício

ABSTRACT

OLIVEIRA, C. C. E. The influence of treadmill exercise on the consolidation of osteotomies, in rabbit tibias treated with unilateral external fixation. Msc. Thesis, School of Engineering of São Carlos/ Ribeirão Preto Medical School/ Institute of Chemistry of São Carlos – University of São Paulo, Ribeirão Preto, 2003.

It is known that a load application affects bone healing and in association with exercises, it can reduce bone healing time and fixator permanence time, what would result in several advantages in clinical practice. This article is aimed to evaluate the exercises influence on healing in osteotomised tibiae of rabbits fixed unilateral external fixator. This research was developed in the Bioengineering Laboratory of Medical School of Ribeirão Preto – USP. Sixteen young male New Zealand rabbits were submitted to transverse osteotomy in the middle third of the tibia and fixed with unilateral external fixator. After the surgical procedure, animals were divided into 2 groups: sedentary (n=10) and exercised (n=10), being the last group submitted to daily exercises on a mat for 10 minutes with moderate intensity. A radiographic control was made in the immediate post-operative period and every 10 days during the first 8 weeks. After that, animals were euthanized and their tibia were removed and submitted to a torsional test. For the exercised group, there was observed a larger percentage of healed tibia in a period shorter than 40 days in respect to the radiographic control. The means of mechanical variables (maximum torque, angular displacement and energy required to failure) have shown no significant statistical difference for $p \leq 0.05$, although it was noticed a tendency to higher values of torque in the exercised group. These results suggest no influence of exercises in relation the speed of and fracture healing in this study.

Key-words: bone healing, external fixator, exercises.

1. INTRODUÇÃO

1 - INTRODUÇÃO

1.1 - Fixação externa

Devido ao volume crescente da casuística de pacientes politraumatizados por acidentes automobilísticos, tem-se observado nos hospitais a utilização frequente da fixação externa como proposta de tratamento, devido ao acometimento na maioria das vezes de fraturas múltiplas e expostas graves, com grande dano das partes moles, que tornam inadequado o uso de aparelhos gessados ou tração (PACCOLA et al., 1985; CRENSHAW, 1996; RAMOS et al., 2000).

O estudo da fixação externa remonta ao século passado, com as fixações desenvolvidas por Malgaigne, em 1840 (*apud* CEBALLOS, 1983), Parkhill, em 1894 e Lambotte, 1902 (*apud* SELINGSON & POPE, 1982), teve um declínio na sua utilização durante a II Guerra Mundial e após estar quase esquecida, teve um novo estímulo com os trabalhos de VIDAL (1983) e de BURNY (1972). A partir daí, muitos autores vêm colaborando no desenvolvimento e aplicação clínica de diversos sistemas cada vez mais complexos e de maior versatilidade de montagem e indicação.

MORO (1992), desenvolveu um aparelho de fixação externa com grau de flexibilidade variável, tendo como principal característica a simplicidade, facilidade de aplicação e custo reduzido. A partir do modelo experimental foram confeccionados fixadores e utilizados em pacientes do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto (FMRP), da Universidade de São Paulo (USP), com resultados satisfatórios.

Na traumatologia atual, o uso do fixador externo possibilita: estabilização esquelética com menos implantes, livre acesso para procedimentos, acomodar lesões ósseas ou de partes moles, correções no alinhamento, comprimento e propriedades mecânicas, mobilização do membro e do paciente, inclusive com aplicação de carga no segmento em que está aplicado (BEHRENS, 1989a; MORO, 1992; CRENSHAW, 1996).

Segundo BEHRENS & SEARLS (1986), FRANCO & LOURENÇO (2003), a fixação externa é um método seguro e eficaz para se obter a estabilização dos fragmentos, com as vantagens de serem versáteis, na grande maioria fáceis de aplicar e pouco traumáticos para a área já lesada, além de permitirem acesso a ferida, possibilitando manter controle sobre a contaminação e cicatrização de partes moles.

Apesar destas vantagens, a fixação externa apresenta falhas clínicas decorrentes da má colocação dos pinos, infecções no trajeto dos mesmos, lesões neuro-vasculares, rigidez articular, falhas mecânicas nos componentes, retarde na consolidação e dificuldades de aceitação pelo paciente (BEHRENS & SEARLS, 1986; BEHRENS, 1989a).

Sabe-se que fraturas complexas tratadas com fixador externo geralmente consolidam pela formação de calo ósseo à semelhança de uma haste intramedular ou a fixação com placa-ponte, segundo critérios biológicos de fixação (TERJESEN, 1984); mas continuam pertinentes questões como: quando o fixador deve ser removido; se a dinamização é vantajosa; e como prevenir ou evitar o retarde da consolidação e a pseudoartrose (OLIVEIRA FILHO, 2000).

1.2 - Tipos de montagem do fixador externo, vantagens da montagem unilateral

Após a II Guerra Mundial, os modelos de fixador externo seguiram duas direções distintas; no Ocidente, montagens rígidas, uni ou bilaterais, mais simples e de fácil aplicação; na Europa Oriental, fixadores com estruturas

anelares, dinâmicas, mas que oferecem maiores dificuldades de aplicação no membro (BEHRENS, 1989a; ROTBANDE & RAMOS, 2000).

Segundo BEHRENS & SEARLS, (1982), BEHRENS, (1989a), BEHRENS, (1989b) E BEHRENS & JOHNSON, (1989) a montagem unilateral permite a utilização dos corredores ósseos seguros, que são segmentos em que o osso localiza-se excentricamente, em que os fios transósseos são introduzidos com segurança, sem se situar em locais que contenham unidades músculo-tendíneas e estruturas neurovasculares importantes. Nesses corredores, infecções no trajeto dos fios e afrouxamento dos mesmos, sofrem uma redução de 50%, o que levou a eleição deste tipo de montagem para aplicação nesse estudo.

1.3 - Tempo médio de consolidação de fraturas

O tempo de tratamento com os fixadores externos tem se reduzido significativamente; publicações mais recentes relatam de 4 a 5 meses até a união óssea e a remoção do fixador (HAX et al., 1988).

Segundo DOLDER (1991), dois fatores influenciam o tempo de consolidação de fraturas expostas: as condições de partes moles após o trauma e o início da aplicação de carga durante o uso do fixador externo.

Desta forma, a mudança no ambiente mecânico da fratura quando tratada com fixador externo; através de uma mobilização controlada ou limitada pode resultar em aumento na formação de calo. As maneiras de se criar a chamada dinamização da fratura, isto é, alternância de forças axiais através do foco de fratura sem distração dos fragmentos (O'SULLIVAN et al., 1989), são: carga precoce com fixador aplicado (DOLDER, 1991); redução progressiva e gradual da montagem (BEHRENS & JOHNSON, 1989); dispositivos de escorregamento ou telescópicos aplicados no fixador externo (De BASTIANI et al., 1984); e micromovimentos controlados aplicados no foco da fratura por meio de dispositivos pneumáticos (KENWRIGHT & GOODSHIP, 1989).

A dinamização estimula a consolidação secundária das fraturas pela formação de calo ósseo através da marcha com muletas à partir da quarta semana; pode ser aumentada pela desmontagem gradual do fixador, permitindo o deslizamento axial de dois tubos paralelos (PACCOLA, 2001) e através da desestabilização gradual de sua montagem, afastando progressivamente o fixador, aumentando a distância entre ele e a pele do paciente (TARGA et al, 2003).

Todos esses dados clínicos e experimentais sugerem que a mobilidade limitada ou controlada aplicada à fixação externa tem um efeito benéfico na consolidação das fraturas (PANJABI et al., 1979).

1.4 - Consolidação óssea e a aplicação de carga

A maioria das fraturas consolida-se entre 4 e 6 meses; quando não se consolidam neste período, diz-se que há um retarde na consolidação. A ausência de união após 8 meses de tratamento é definida como pseudoartrose (MÜLLER et al., 1993). Retarde de consolidação e pseudoartrose em fraturas expostas tratadas com fixador externo são frequentes (PACCOLA et al., 1985).

A consolidação de uma fratura é um processo especializado de reparação tecidual no qual a regeneração óssea conduz à restauração da integridade esquelética. Muitas fraturas consolidam-se sem problemas e vários fatores podem interferir nesse processo (ROLLAND & SABOURIN, 1998).

A dinamização axial tem sido utilizada mais recentemente no tratamento das fraturas dos ossos longos e é definida como uma fixação que permite carga axial sem restrições na fratura, através da aplicação fisiológica do peso corporal e da contração muscular, enquanto as forças de torção e flexão no foco fraturário são neutralizadas; com estes efeitos sobre o foco da fratura pretende-se a produção de calo ósseo em maior quantidade e num prazo inferior (O'SULLIVAN et al., 1989; DOLDER, 1991).

OLIVEIRA FILHO (2000), avaliou a influência da dinamização axial na consolidação da osteotomia da tíbia, tratada com fixador externo unilateral,

desenvolvido nos tipos dinâmico e estático, observando um índice de consolidação superior nas montagens do tipo dinâmico (70%) quando comparada ao tipo estático (34%).

Sabe-se que a aplicação de carga influi na velocidade da consolidação óssea (DOLDER, 1991) e associada à contração muscular constituem-se numa dinamização da fratura, podendo reduzir o tempo da reparação óssea e a permanência com o fixador, que resultaria em muitas vantagens para a prática clínica.

Vários métodos para facilitar a reparação do tecido ósseo vêm sendo estudados, mas até hoje nenhum se mostrou mais benéfico que a aplicação de carga na promoção da síntese da matriz óssea (BUCKWALTER & GRODZINSKY, 1999).

Apesar destas evidências disponíveis na literatura científica, são raros os trabalhos (BUCKWALTER, 1995), que avaliam de modo quantitativo o efeito da carga precoce associada ao exercício no processo de reparação óssea, de forma a permitir melhor direcionamento do tratamento.

Daí o interesse em desenvolver pesquisa na área, uma vez que o exercício é utilizado no tratamento de fraturas com fixador externo, visando colaborar para a análise da influência do exercício no processo de consolidação óssea na vigência da fixação externa.

1.5 – Tecido ósseo x exercício

O equilíbrio entre o aumento e a perda de massa óssea dependem da complexa interação entre fatores genéticos e da influência do ambiente externo, através da nutrição e da realização de exercícios, que direta ou indiretamente interferem no funcionamento das células ósseas (RALSTON, 1997).

Vários estudos relatam que o exercício aumenta a espessura cortical do osso, a massa óssea, o teor de cálcio, a energia absorvida para a ruptura e que diminui o osso endosteal (ANDERSON et al., 1971; KIISKINEM & HEIKKINEM,

1972; DALEN & OLSSON, 1974; KIISKINEM, 1979; JUDEX et al., 1997; ROBLING et al., 2001). Nestes estudos experimentais observou-se a influência de diferentes treinamentos: leves, moderados e intensos no tecido ósseo íntegro. ANDERSON et al. (1971), observaram que porcos submetidos a corridas moderadas apresentaram uma diminuição de hidroxiprolina na urina, indicando um aumento na síntese de colágeno. KIISKINEM & HEIKKINEM (1972) e KIISKINEM (1979), observaram aumento de massa óssea, ossos mais longos e pesados nos membros de ratos exercitados em níveis leves, mas os mesmos autores observaram ossos menores e mais leves, diminuição do volume ósseo e decréscimo no volume de hidroxiprolina no osso de ratos submetidos a um treinamento intenso

Em relação aos efeitos de exercícios intermitentes e contínuos, observou-se que a aplicação de cargas intermitentes em coelhos, dentro os limites fisiológicos, associada a liberdade de movimento resultaram no aumento do crescimento ósseo nas áreas de grande estresse (GOULD, 1993).

Ruff e Hayes, 1982 (*apud* GOULD, 1993) sugerem que estresse e estiramento ósseo causados por exercício parecem importantes como estímulo para o crescimento ósseo aposicional do subperiósteo e modelagem do esqueleto em adultos, pois observaram que a aposição subperiosteal e por conseguinte o aumento do momento de inércia não ocorrem em indivíduos sedentários.

Desta forma, baseando-se nos efeitos benéficos da realização de exercícios moderados para o tecido ósseo íntegro, objetivou-se estudar estes efeitos no tecido ósseo lesado.

1.6 - OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do exercício em esteira, na consolidação da osteotomia na tíbia de coelhos, fixadas com fixador externo unilateral.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2 - MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 - Animais do experimento

Foram utilizados neste trabalho 20 coelhos machos adolescentes da raça Nova Zelândia com idade média de 3 meses, pesando entre 2500g a 2800g, provenientes do Biotério Central da Prefeitura do Campus da USP de Ribeirão Preto. Os animais foram divididos aleatoriamente em 2 grupos: sedentários (S) com $n = 10$ e exercitados (E) com $n = 10$, distribuídos em gaiolas e alimentados com água e ração *ad libitum*. Em cada gaiola foi colocado apenas um coelho, para possibilitar ao animal movimentar-se livremente dentro da mesma.

2.2 - Grupos experimentais

Devido a morte de quatro animais, dois durante o procedimento cirúrgico e dois durante o período de pós-operatório imediato, foram utilizados 16 animais para o experimento, sendo estes distribuídos aleatoriamente em 2 grupos experimentais: grupo exercitado e grupo sedentário.

Padronizou-se a colocação do fixador externo nas tíbias direitas de todos os animais, de ambos os grupos S e E; ficando suas tíbias contralaterais intactas (sem o fixador). Assim os animais, além de serem divididos em grupo exercitado e grupo sedentário, estes foram divididos em subgrupos segundo a condição de suas tíbias:

1. Tíbia exercitada com fixador (TECF)
2. Tíbia exercitada sem fixador (TESF)
3. Tíbia sedentária com fixador (TSCF)
4. Tíbia sedentária sem fixador (TSSF)

2.3 - O osso escolhido

O osso selecionado para o experimento foi a tíbia direita, por ser de acesso cirúrgico fácil, ficando subcutânea no terço médio, local da cirurgia e por apresentar melhor resposta a esta alternativa de tratamento, sendo seu índice de complicações estatisticamente inferior as do fêmur (PACCOLA et al., 1985; MOORE, 1994; CRENSHAW, 1996; ROTBANDE & RAMOS, 2000).

2.4 - O fixador externo

O fixador externo utilizado foi unilateral, composto por uma barra de conexão de 8 cm, quatro pinos de Schanz de 2mm de diâmetro, com passo de 1,0 x 100 mm e quatro plataformas pequenas (Figura 1). A escolha deste tipo de fixador externo foi por este ser o tipo de fixação externa mais utilizado pelo Departamento de Biomecânica, Medicina e Reabilitação do Aparelho locomotor da FMRP – USP. O fixador utilizado no experimento foi produzido e fornecido pela TRAUTEC® – Equipamentos Cirúrgicos de Ribeirão Preto LTDA.

Figura 1 - (A) Pino de Schanz (B) Plataforma (C) Barra de conexão

2.5 - Guia de perfuração

Foi confeccionado um guia de perfuração para o experimento e fornecido pela TRAUTEC®. Este guia foi baseado nas dimensões da tíbia de um coelho adolescente, com idade similar aos do experimento, possibilitando direcionar

de maneira equidistante a perfuração dos orifícios no eixo da tíbia, padronizando para todos os animais a implantação dos pinos de Schanz.

Figura 2 – Guia de perfuração

2.6 - Técnica cirúrgica

Os animais permaneceram em jejum por um período de 24 horas antes da cirurgia, foram pesados e 30 minutos antes da admissão no centro cirúrgico receberam aplicação do anestésico Tiopental sódico, sendo 1g dissolvida em 40 ml de soro fisiológico, na dose aproximada de 40mg/kg de peso corporal, injetado na veia marginal de uma das orelhas e foi realizado bloqueio do nervo isquiático com Lidocaína, 40 mg/Kg. Para este procedimento os animais foram mantidos em posição supina, estando as patas fixadas por fitas, de forma a mantê-los imobilizados. Realizou-se a tricotomia do membro a ser operado, sempre do lado direito, seguido de antissepsia com degermante à base de iodo povidona, sendo então o animal colocado na mesa de cirurgia. Doses adicionais do anestésico foram administrados durante o procedimento conforme necessário. Os passos operatórios a partir desse momento foram os seguintes:

Antissepsia com álcool-iodado a 2%, colocação de campos.

Incisão na pele e perfuração do orifício proximal com perfurador elétrico de velocidade variável e reversível, com broca de 1 mm de diâmetro transversalmente à metáfise proximal na sua face ântero-medial, auxiliado pelo guia de perfuração que permitia avaliar a posição dos orifícios em relação ao eixo da tíbia de tal forma que todos perfurem as duas corticais e o orifício distal ficasse na região supramaleolar metafisária distal.

Colocação do pino de Schanz com mandril com cabo em "T" no orifício proximal.

Perfuração do orifício mais distal.

Colocação do pino de Schanz mais distal.

Perfuração dos dois orifícios intermediários.

Colocação dos dois pinos de Schanz intermediários. É essencial para o funcionamento do mecanismo de excursão axial das hastes que os pinos de Schanz sejam aplicados no osso, de forma a ficarem alinhados, no mesmo plano.

Retirada do guia de perfuração e colocação das plataformas do fixador externo de maneira que a barra fique paralela entre si e fixada aos pinos de Schanz. Padronizou-se 1 cm de distância entre a barra e a pele do animal.

Incisão medial no terço médio da tíbia, longitudinal ao eixo da mesma com aproximadamente 1 cm de extensão.

Exposição do periósteo, secção do mesmo transversalmente, eqüidistante dos pinos de Schanz intermediários, proteção das partes moles adjacentes com afastadores, osteotomia ao redor da tíbia com utilização de uma serra oscilatória.

Fechamento da pele com fio de poligalactina (Vicryl®).

Curativo compressivo.

Encaminhamento dos animais para radiografias de controle pós-operatório.

O comprimento excedente dos pinos de Schanz foi removido com cortador de fios para fios de pequeno tamanho e foram administradas, via intramuscular, doses de analgésico Ketoprofeno, 2mg/Kg por 4 dias e Pentabiótico, 40.000 µ/Kg dose única. O pós-operatório transcorreu dentro de gaiolas e a partir desta data, os animais foram ambientalizados no Biotério do

Laboratório de Bioengenharia da FMRP com ração, água e carga nos membros *ad libitum*.

A disposição medial do fixador externo na tíbia direita do animal é ilustrada na Figura 3.

Figura 3 – Aspecto da face medial da pata traseira direita do animal com o fixador implantado e o excesso dos pinos cortados

2.7- Procedimento experimental

2.7.1 - Exercícios na esteira

Esta atividade foi realizada em esteira, ilustrada na Figura 4, no Laboratório de Bioengenharia da FMRP/USP. Foi utilizado um dispositivo contendo 2 raia, para exercitar 2 animais por vez, que pode ser observado na Figura 5. Cada raia apresentava 75 cm de comprimento e 52 cm de largura interna.

Figura 4 – Esteira adaptada

Figura 5 – Dispositivo de madeira

Os exercícios foram realizados diariamente durante a semana na esteira sem inclinação, obedecendo a uma velocidade de 14m/minuto. Os animais do grupo E iniciaram as atividades a partir da 2ª semana de PO; e permaneceram realizando exercício até completar a 8ª semana. Ao iniciar cada sessão de exercícios, os animais ficaram por 10 minutos no aparelho desligado, a fim de ambientá-los. Transcorridos este período, os animais foram exercitados por 10 minutos, com intervalo médio de repouso de 5 minutos. Este protocolo de exercícios foi realizado 1 vez ao dia, durante 5 dias consecutivos da semana e no mesmo horário. O protocolo utilizado foi modificado para o experimento, tendo como referência o protocolo desenvolvido por MATTIELO-ROSA (1999).

Na Figura 6 observa-se a esteira preparada com o dispositivo de madeira para aplicação do protocolo de exercício e na Figura 7 observa-se os animais realizando o exercício.

Figura 6 – Esteira com o dispositivo de madeira

Figura 7 – Coelhos realizando exercício na esteira

2.7.2 – Avaliação radiográfica

Os animais foram submetidos a um controle radiográfico, para avaliação da evolução do calo ósseo no pós-operatório imediato e a cada dez dias, até a 8ª semana de pós-operatório (Terjesen, 1984). Para tais procedimentos, os animais foram imobilizados em posição supina, utilizando-se um dispositivo de madeira com tiras de couro, sendo dispensado o uso de anestésico.

Foi utilizado um aparelho de Raios-X ORBIX (SIEMENS-HELENA), com ampola posicionada a um metro de distância.

A técnica empregada foi a de rotina, 50 kV, 8mAs e 15 milissegundos de exposição, sendo utilizado filme dentário KODAK, tipo *EKTASPEED Pluss*, EO - 41p, para se obter radiografias de alta definição.

A avaliação das radiografias foi realizada por 3 profissionais experientes na área, sendo um médico ortopedista e dois radiologistas, que observavam se as osteotomias estavam ou não consolidadas. Foi realizada uma “avaliação cega”, na qual os profissionais desconheciam o grupo e o tempo de experimento de cada animal radiografado, para tanto, foi utilizado um negatoscópio, uma lupa de aumento e um papel preto que deixava à mostra apenas o local da fratura. Esta avaliação foi realizada por cada um dos

avaliadores em dois momentos distintos: primeiramente após a 8ª semana de experimento e novamente após 30 dias.

2.8 - Eutanásia dos animais

A eutanásia dos animais foi programada para ocorrer ao final da 8ª semana de pós-operatório, por meio de dose intravenosa excessiva de Tiopental sódico.

2.9 - Preparo e conservação das peças

Após a eutanásia dos animais, os membros posteriores foram desarticulados, os tecidos moles foram dissecados ao nível das articulações do joelho e do tornozelo, permitindo o isolamento da tíbia.

As tíbias foram congeladas para preservação de suas propriedades biomecânicas, numa temperatura de 20 graus centígrados negativos.

2.10 - Ensaio mecânico

2.10.1 - Tipo de ensaio

O ensaio mecânico adotado foi o de torção. Foi realizado, utilizando-se a máquina universal de ensaios mecânicos EMIC® 100 KN (MUE), do Laboratório de Bioengenharia da FMRP da USP.

A máquina possui um sistema de aquisição de dados acoplado a um microcomputador. O Software utilizado foi o TESC®. O registro da força foi realizado através de uma célula de carga com capacidade de 50 Kgf e o da deformação, através de um sensor interno que registra o deslocamento do travessão da MUE.

Para realização do ensaio de torção foi necessário adaptar um acessório que possibilitasse ao osso girar em torno de seu eixo axial principal, uma vez que a máquina só permite realizar ensaios de tração e compressão (Figura 8).

Figura 8 – Máquina de ensaio mecânico EMIC® montada para realização do ensaio de torção (A) Acessório adaptado (B) Cabo de aço flexível (C) Travessão

2.10.2- Acessório

O acessório é composto por três partes, uma plataforma metálica, um bloco fixo e um bloco móvel (Figura 9):

Figura 9 – Representação esquemática do acessório. (A) Plataforma metálica. (B) Bloco fixo. (C) Bloco móvel.

A. Plataforma metálica: a plataforma é fixada à base fixa da MUE e tanto os blocos fixo e móvel são parafusados nela, permitindo ajustes no sentido longitudinal, para acomodar os diversos tamanhos de ossos;

B. Bloco fixo: este bloco serve para engastar uma das extremidades do osso; através de um parafuso que fixa o osso ao acessório;

C. Bloco móvel: este bloco permite ajuste no sentido longitudinal. Possui um rolamento que possibilita movimentos rotacionais. A outra extremidade do osso é fixa ao centro deste rolamento através de um parafuso. Um cabo de aço flexível, de 1,5 mm de espessura, é fixado ao eixo da parte móvel e sua outra extremidade na célula de carga.

O movimento rotacional é obtido enquanto o travessão da máquina se desloca superiormente, pois a força de tração faz com que o rolamento gire em torno de seu eixo provocando uma rotação externa da tíbia.

2.10.3- Preparo das tíbias para o ensaio

As peças foram descongeladas à temperatura ambiente e o fixador externo foi removido.

As extremidades ósseas foram incluídas em massa acrílica utilizando-se um molde com dois cilindros metálicos idênticos aos que fazem parte do acessório adaptado para a máquina, observando-se o alinhamento longitudinal do eixo da tíbia.

Foram preparadas para o ensaio tanto as tíbias operadas quanto as intactas, de ambos os grupos: S e E, sendo divididas para o ensaio da seguinte forma: TECF, TESF, TSCF e TSSF.

2.10.4- Parâmetros do ensaio

A velocidade da máquina foi ajustada de forma que ao ser acionada, promover uma velocidade angular de 10°/min. Este ajuste foi efetuado baseado no perímetro do eixo, que foi acoplado, sendo programada para levar as tíbias até a ruptura.

2.10.5-Registro dos dados

Os dados foram registrados no TESC®, permitindo uma análise no próprio sistema ou exportação dos mesmos.

2.10.6-Cálculo das propriedades mecânicas

Com os dados de força em Newton e deformação em mm exportados do sistema, foram calculadas no EXCEL® algumas propriedades mecânicas de cada tibia ensaiada:

- Torque máximo: maior valor obtido, para força, em cada ensaio, antes que ocorresse a ruptura do osso. Foi calculado multiplicando-se a força registrada pelo raio do eixo acoplado ao rolamento;
- Deformação angular máxima: maior valor obtido, para a deformação, em cada ensaio, antes que ocorresse a ruptura do osso.
- Energia Total: obtida pelo cálculo da área total abaixo da curva Força em (N) x Deformação em (mm), ilustrada na Figura 10.

Figura 10 – Gráfico força x deformação, a partir do qual foram obtidas as propriedades mecânicas do ensaio de torção

2.11- Análise estatística

Foi realizada uma análise descritiva e gráfica dos grupos: S e E quanto ao controle radiográfico e dos grupos TECF, TESH, TSCF e TSSF quanto as variáveis: torque máximo, deformação angular máxima e energia total.

Foi utilizado um modelo de ANOVA para análise e verificação da existência ou não de diferenças entre os grupos quanto as mesmas variáveis para verificar a hipótese de igualdade com nível de significância de 5%.

3. RESULTADOS

3 - RESULTADOS

3.1- Controle radiográfico

Foi realizada uma avaliação qualitativa da consolidação óssea na qual observou-se que as tíbias osteotomizadas tratadas com fixador externo neste estudo, tanto do grupo E quanto do grupo S se consolidaram de forma indireta, com presença mínima de calo ósseo, sendo este um pouco mais proliferativo no grupo exercitado.

A maioria das osteotomias se consolidaram sem angulação ou com um mínimo de angulação, mantendo-se um posicionamento satisfatório dos fragmentos em ambos os grupos (Figura 11).

Figura 11 – Radiografias ântero-posterior do grupo S em diferentes períodos (A) PO imediato (B) 4 semanas de PO (C) 8 semanas de PO

A consolidação óssea foi visível na avaliação radiográfica a partir do 20º dia ou aproximadamente 3ª semana de PO em ambos os grupos, mas o período de consolidação óssea não foi semelhante, apresentando variabilidade em cada um dos grupos E e S, se estendendo até a 7ª semana (TABELA 1 e TABELA 2).

TABELA 1 - Controle radiográfico da consolidação óssea realizada a cada 10 dias de pós-operatório para cada animal do grupo exercitado

Animal	10º PO	20º PO	30º PO	40º PO	50º PO
1				consolidada	
2					
3		consolidada			
4				consolidada	
5			consolidada		
6			consolidada		
7				consolidada	
8			consolidada		

TABELA 2 - Controle radiográfico da consolidação óssea realizada a cada 10 dias de pós-operatório para cada animal do grupo sedentário

Animal	10º PO	20º PO	30º PO	40º PO	50º PO
1		consolidada			
2			consolidada		
3				consolidada	
4		consolidada			
5					consolidada
6				consolidada	
7					consolidada
8				consolidada	

Para análise do controle radiográfico foi calculada uma proporção subdividindo-a por um determinado tempo de PO, na qual observou-se que 50% dos animais do grupo exercitado apresentaram suas tíbias consolidadas num período inferior à 40 dias de PO, enquanto no grupo sedentário 62,5% apresentaram suas tíbias consolidadas num período superior à 40 dias (TABELA 3).

TABELA 3 - Proporção de coelhos com a tíbia consolidada antes e após 40 dias de pós-operatório

	Controle Radiográfico					
	< 40 dias (PO)		> 40 dias (PO)		Total	
	nº	%	nº	%	n	%
Gr. Exercitado	4	50	3	37,5	7*	87.5
Gr. Sedentário	3	37,5	5	62,5	8	100.0

* Neste grupo um animal foi perdido devido a pseudoartrose

3.2 – Propriedades mecânicas

Foram ensaiados 31 ossos, sendo uma tíbia operada do grupo E descartada da análise estatística, devido a pseudoartrose, inviabilizando o ensaio mecânico. Ilustração, na Figura 12, dos gráficos referentes aos ensaios de todos os animais do experimento.

Figura 12 – Curvas força x deformação dos 31 ossos analisados de ambos os grupos

O local de ruptura das tíbias durante o ensaio de torção ocorreu em locais diferentes, sendo na sua maioria no terço distal da tíbia, de forma oblíqua e não no local da fratura experimental.

3.2.1-Torque máximo

De acordo com a TABELA 4, não há evidência suficiente para rejeitar a hipótese de igualdade entre as médias para as quatro variáveis que estão sendo verificadas TECF, TESF, TSCF e TSSF pois o p-valor é alto, $p = 0,08$.

TABELA 4 - Análise descritiva da variável Torque em Newton metros $\times 10^{-3}$ ($\text{Nm} \times 10^{-3}$)

	n	Mínimo	Máximo	Média	DP
TECF	7	1525	2009	1836	188
TESF	8	1570	2614	2146	290
TSCF	8	752	2242	1669	547
TSSF	8	1240	2143	1740	387

Observa-se que a média para as tíbias com fixador é ligeiramente menor do que para as tíbias sem fixador. A média para o grupo exercitado é ligeiramente maior do que a média para o grupo sedentário, embora as variâncias de TSCF e TSSF sejam grandes.

A Figura 13 ilustra como os dados foram distribuídos.

Figura 13 – Distribuição dos dados em quartis com relação a variável Torque em $\text{Nm} \times 10^{-3}$

3.2.2– Deformação angular máxima

De acordo com a TABELA 5, não se tem evidência suficiente para rejeitar a hipótese de igualdade entre as médias para as quatro variáveis que estão sendo verificadas TECF, TESF, TSCF e TSSF pois o p-valor é alto, $p = 0,877$.

TABELA 5 - Análise descritiva da variável Deformação angular em graus (°)

	n	Mínimo	Máximo	Média	DP
TECF	7	25	40	30	6
TESF	8	24	34	31	3
TSCF	8	11	62	31	16
TSSF	8	19	37	28	6

No caso do grupo exercitado, as tíbias sem fixador parecem apresentar maiores valores de deformação (próximos de 30°) que as tíbias com fixador. Observou-se que as médias para todos os grupos estão bem próximas, embora as variâncias sejam diferentes e em alguns casos bem grandes. A Figura 14 mostra como os valores da deformação estão distribuídos para cada uma das variáveis TECF, TESF, TSCF e TSSF.

Figura 14– Distribuição dos dados em quartis com relação a variável Deformação angular em graus

3.2.3 – Energia total

De acordo com a TABELA 6, não foi observada evidência suficiente para rejeitar a hipótese de igualdade entre as médias para as variáveis que estão sendo verificadas TECF, TESH, TSCF e TSSF pois o p-valor, $p = 0,417$ é alto.

TABELA 6 - Análise descritiva da variável Energia em Joules (J)

	N	Mínimo	Máximo	Média	DP
TECF	7	275	637	419	153
TESF	8	277	600	466	97
TSCF	8	74	812	378	228
TSSF	8	201	457	338	114

Observa-se que as médias para todos os grupos estão bem próximas, embora as variâncias sejam diferentes e em alguns casos bem discrepantes. As tíbias exercitadas sem fixador tiveram média maior que as tíbias exercitadas com fixador, enquanto que para o grupo sedentário, as tíbias com fixador tiveram média maior que as tíbias sem fixador, mas sem significância estatística.

A Figura 15 ilustra como os dados foram distribuídos.

Figura 15 - Distribuição dos dados em quartis com relação a variável Energia total em Joules

4. DISCUSSÃO

4 - DISCUSSÃO

Vários estudos relatam a influência do ambiente mecânico na consolidação de uma fratura, acelerando ou melhorando o padrão deste processo de reparo ósseo de maneira significativa, tanto em pesquisas com animais quanto com humanos (DUDA et al., 1998; KENWRIGHT & GARDNER, 1998; PARK et al., 1998; O'SULLIVAN, 1994) apesar da maioria das fraturas, em condições normais, se consolidarem naturalmente.

Embora estas prévias investigações afirmem esta influência, estes estímulos mecânicos ainda não estão precisamente definidos, tanto na clínica quanto nos procedimentos experimentais. White et al., em 1977 (*apud* GOODSHIP & KENWRIGHT, 1985), utilizaram um regime de carga intermitente durante a consolidação de fraturas experimentais, mas não observaram significativa influência tanto no padrão quanto na velocidade da consolidação destas fraturas.

O padrão de consolidação óssea varia conforme o tipo de fixação utilizada; fixações mais rígidas apresentam uma consolidação direta, com supressão do calo ósseo; já fixações menos rígidas apresentam maior proliferação de calo ósseo (SARMIENTO, 1974; BREBURDA et al., 2001). KENWRIGHT et al. (1980), utilizaram uma fixação externa rígida no tratamento de fraturas diafisárias experimentais da tíbia e observaram um retardo na consolidação das mesmas. Atualmente muitos pesquisadores (GOODSHIP & KENWRIGHT, 1985) acreditam que a influência de um estímulo mecânico sobre uma fratura, estabilizada nestas condições, prejudica a osteogênese.

As tíbias osteotomizadas tratadas com fixador externo neste estudo, tanto do grupo exercitado quanto do grupo sedentário consolidaram de forma

indireta, com presença mínima de calo ósseo, sendo este um pouco mais proliferativo no grupo exercitado. Com este padrão radiológico de consolidação não semelhante para ambos os grupos, observou-se certo grau de rigidez da osteossíntese utilizada, o que pôde ter resultado na pseudoartrose em um animal do grupo exercitado, impossibilitando a análise de suas propriedades mecânicas.

Acredita-se que as dimensões do fixador externo utilizado, mesmo após este ter sido confeccionado para a tíbia do animal experimental, eram grandes, sendo este um fator colaborativo para a rigidez da fixação. No entanto, para direcionar a confecção do fixador utilizado no experimento, foi realizado um projeto piloto, no qual observou-se que pinos de Schanz com menores dimensões entortavam, quando utilizados nos animais do grupo exercitado.

Outro fator colaborativo para a rigidez da fixação foi a distância entre o fixador e a pele do animal, que era de um centímetro entre a pele e a barra de conexão, padronizada para todos os animais do experimento. Pois segundo TARGA et al. (2003), uma maneira de dinamizar o foco fraturário é desestabilizar gradualmente a montagem, afastando progressivamente o fixador, aumentando a distância entre ele e a pele.

A consolidação óssea foi observada a partir da 3ª semana para ambos os grupos, mas 50% das tíbias osteotomizadas do grupo exercitado e 37,5% do grupo sedentário apresentaram-se consolidadas em 4 semanas, o que também foi observado por TERJESEN (1984), num estudo comparativo entre fixador externo unilateral e placa no tratamento de tíbias osteotomizadas de coelhos, que 50% dos animais de ambos os grupos experimentais apresentaram suas osteotomias consolidadas em 4 semanas, tendo esta evolução radiográfica da consolidação se estendido até 12 semanas, enquanto que neste estudo, este processo de consolidação se estendeu até 7 semanas.

A grande variabilidade do tempo de consolidação óssea entre os animais do mesmo grupo, exercitado ou sedentário não era esperada, em função dos cuidados tomados em relação a idade da amostra e a padronização da técnica cirúrgica e apesar desta fixação apresentar alto risco de infecção no trajeto dos pinos (PACCOLA et al., 1985; BEHRENS, 1989a.), esta complicação não foi observada nos animais do experimento.

Na análise das propriedades mecânicas dos ossos ensaiados, observou-se os valores médios de torque máximo, da deformação angular máxima e da energia total para cada subgrupo, não sendo observada diferença estatística significativa tanto para as tíbias osteotomizadas exercitadas em relação as tíbias osteotomizadas sedentárias; quanto para as tíbias íntegras exercitadas em relação as tíbias íntegras sedentárias.

LARSSON et al. (2001), num estudo experimental com cachorros, observou a influência da dinamização axial precoce, em tíbias osteotomizadas e estabilizadas com fixador externo, em diferentes períodos de eutanásia: após 1, 3, 5, 8, e 11 semanas de experimento e observaram uma tendência para maiores valores de torque máximo para o grupo estimulado e eutanasiado na 5ª semana em relação ao seu controle, mas não observaram diferenças estatisticamente significativas entre as tíbias estimuladas e seus controles, para esta variável, nos outros períodos.

Neste estudo não foi observada diferença estatisticamente significativa para os valores médios de torque entre os grupos sedentário e exercitado ao final da 8ª semana, apesar de ser observada uma tendência para maiores valores de torque no grupo exercitado. Resultados similares foram observados no estudo citado acima, para este mesmo período de eutanásia, sugerindo que se a eutanásia dos animais deste experimento fosse programada para diferentes períodos, talvez outros resultados seriam encontrados.

Os valores médios da deformação angular e energia absorvida até a ruptura, neste estudo, não foram estatisticamente significativos entre os grupos sedentário e exercitado, PARK & SILVA (2003), estudaram a influência da compressão pneumática intermitente de tecidos moles em tíbias osteotomizadas e estabilizadas com fixador externo de barra dupla em 30 coelhos e observaram durante o teste de torção valores médios significativamente maiores para as variáveis: torque máximo 61,5% ($p = 0,0001$), deformação angular máxima 35,4% ($p = 0,0003$) e energia absorvida até a ruptura 110,8 % ($p = 0,0001$) no grupo estimulado em relação ao grupo controle, após 8 semanas de experimento. Acredita-se que o tipo de fixação externa utilizada neste experimento foi um dos fatores primordiais para estes resultados, sendo estes bem distintos dos resultados obtidos neste estudo.

O local de ruptura das tíbias durante o ensaio ocorreu na sua maioria no terço distal da tíbia e não no local da fratura, isto é, no terço médio que segundo EVANS (1973), é geralmente mais forte e resistente. FRANKEL & NORDIN (1980) relatam que na presença de cargas torsionais na tíbia, a parte distal do osso frequentemente sofre a primeira fratura em virtude do osso distal ser mais próximo ao eixo neutro. Existe uma diminuição no momento de inércia polar e uma menor capacidade do osso para resistir ao estresse de torção na tíbia distal.

Em relação ao tipo de estímulo dado neste estudo, uma esteira adaptada para coelho, na vigência de um fixador externo, não foram encontrados estudos similares. No entanto esperava-se encontrar resultados semelhantes aos relatados na maioria dos estudos que visam através de diferentes dinamizações no foco da fratura estimular o processo de reparação óssea. Acredita-se que tais resultados podem ter ocorrido em função do tamanho da amostra, que foi prejudicada pela perda de animais durante o procedimento cirúrgico ou influência de algum outro fator, como uma alta variabilidade no comportamento da amostra ou a quantidade de exercício proposta, o tempo de atividade na esteira ou até mesmo a intensidade utilizada não foram suficientes para que se pudesse observar diferença entre as médias das propriedades mecânicas do grupo exercitado em relação ao grupo sedentário.

Questiona-se principalmente o período de exercício realizado ao se observar a igualdade dos valores médios das variáveis mecânicas até mesmo para o subgrupo das tíbias íntegras exercitadas em relação ao das íntegras sedentárias, Woo et al., 1982 (*apud* GOULD, 1993) ao exercitar porcos com corridas moderadas observaram um aumento da energia absorvida para a ruptura dos ossos íntegros treinados. Acredita-se que um período maior de exercício tenha uma maior influência nas propriedades mecânicas destes ossos. Em relação a intensidade moderada de exercícios do protocolo, esta está de acordo com os níveis ideais para aumentar a espessura cortical do osso, a massa óssea, o teor de cálcio, a energia absorvida para a ruptura, o tamanho e o peso, relatados por vários autores (ANDERSON et al., 1971;

KIISKINEM & HEIKKINEM, 1972; DALEN & OLSSON, 1974; KIISKINEM, 1979; JUDEX et al., 1997; ROBLING et al, 2001).

Em relação a análise estatística notou-se que na maioria das vezes, o grupo sedentário apresentava maior variabilidade dos dados, enquanto que o grupo exercitado apresentou maior concentração dos dados, apesar da presença de um maior número de pontos discrepantes, observando-se praticamente em todas as variáveis de ambos os grupos um alto desvio padrão. GOODSHIP & KENWRIGHT (1985), também relataram uma maior concentração dos dados, (70% a 94%) para o grupo estimulado em relação aos valores de rigidez, quando comparado com o grupo não estimulado (30% a 80%) após o teste de torção.

5. CONCLUSÃO

5 - CONCLUSÃO

Diante da análise qualitativa da evolução radiográfica da consolidação óssea, observou-se que um maior número de animais do grupo exercitado apresentaram suas tíbias consolidadas num mesmo intervalo de tempo em relação aos animais do grupo sedentário.

Observou-se que o exercício em esteira não influenciou na consolidação óssea das tíbias osteotomizadas fixadas com fixador externo unilateral ao final da 8ª semana, em relação as variáveis: torque máximo, deformação angular e energia absorvida até a ruptura óssea, que foram analisadas neste estudo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

6- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, J. J. B.; MILIN, L.; CRACKEL, W. C. (1971) Effect of exercise on mineral and organic bone turnover in swine. **J Appl Physiol** 30: 810.

BEHRENS, F. (1989a). General theory and principles of external fixation. **Clin Orthop** 241: 15-23.

BEHRENS, F. (1989b). A primer of fixator devices and configurations. **Clin Orthop** 241: 5-14.

BEHRENS, F.; JOHNSON, W. (1989). Unilateral external fixator. **Clin Orthop** 241: 48-56.

BEHRENS, F.; SEARLS, K. A. (1982). Classification of external fixator. In: UHTHOFF, H. K. (Ed.). **Current concepts of external fixator of fractures**. Berlin: Springer.

BEHRENS, F.; SEARLS, K. A. (1986). External fixation of the tibia. Basic concepts and prospective evaluation. **J. Bone and joint Surg** 68 (B): 246-54.

BREBURDA, E.; WIRTH, T.; LEISER, R.; GRISS, P. (2001). The influence of intermittent external dynamic pressure and tension forces on the healing of an epiphyseal fracture. **Arch Orthop Trauma Surg** 121(8): 443-9.

BUCKWALTER, J. A. (1995). Activity vs. rest in the treatment of bone, soft tissue and joint injuries. **Iowa Orthop J** 15: 29-42.

BUCKWALTER, J. A.; GRODZINSKY, A. J. (1999). Loading of healing bone, fibrous tissue, and muscle: implications for orthopaedic practice. **J Am Acad Orthop Surg** 7(5): 291-9.

BURNY, F. (1972). Traitement par ostéotaxis des fractures diaphysai du tibia. Étude de 115 cas. **Acta Orthop Belg** 38: 280-301.

CEBALLOS, A. (1983) **Fijación externa de los huesos**. La Haban: Científica Médica. p. 3-13.

CRENSHAW, A. H. (1996). **Cirurgia Ortopédica de Campbell**. São Paulo: Manole.

DALEN, N.; OLSSON, K. E. Bone mineral content and physical activity. (1974). **Acta Orthop Scand** 45: 170.

De BASTIANI, G.; ALDEGHERI, R.; BRIVIO, L. R. (1984). The treatment of fractures with a dynamic axial fixator. **J Bone Joint Surg** 66B: 538-45.

DOLDER, E. (1991). Externe fixation des Unterschenkels mit primärer Vollbelastung. **Helv Chi Acta** 58: 959-62.

DUDA, G. N.; ECKERT-HUBNER, K.; SOKIRANSKI, R.; KREUTNER, A.; MILLER, R.; CLAES, L. (1998). Analysis of inter-fragmentary movement as a function of musculoskeletal loading conditions in sheep. **J Biomech** 31(3): 201-10.

FRANCO, J. S.; LOURENÇO, P. R. B. (2003) Fraturas expostas. In: Hebert, S. e colaboradores. **Ortopedia e traumatologia pricipios e prática** Porto Alegre: Artmed. Cap 73. p. 1441-57.

GOODSHIP, A. E.; KENWRIGHT, J. (1985). The influence of induced micromovement upon the healing of experimental tibial fractures. **J Bone Joint Surg** 67B: 650-55.

GOULD, J. A. (1993). **Fisioterapia na ortopedia e na medicina do esporte**. São Paulo: Manole. p. 3-47.

HAX, P. M.; HIERHOLZER, G.; THERMANN, R. (1988). Vorteile des unilateralen Rohrfixateur Externe bei der Stabilisierung offener Unterschenkelfrakturen. **Hefte zur Unfallheilkunde** 200: 293-4.

JUDEX, S.; GROSS, T. S.; ZERNICKE, R. F. (1997). Strain gradients with sites of exercise-induced bone-forming surfaces in the adult skeleton. **J Bone Miner Res** 12(10): 1737-45.

KENWRIGHT, J.; GARDNER, T. (1998) Mechanical influences on tibial fracture healing. **Clin Orthop Suppl** 355: 179-90.

KENWRIGHT, J.; GOODSHIP, A. E. (1989) Controlled mechanical stimulation in the treatment of tibial fractures. **Clin Orthop** 241: 36-47.

KENWRIGHT, J.; HARRIS, J. D.; EVANS, M. (1980) External skeletal fixation for tibial shaft fractures. **J Bone Joint Surg** 62B: 525.

KIISKENEN, A. (1979) Physical training and connective tissue in young mice: physical properties of Achilles tendons and long bones. **Growth** 41: 123.

KIISKENEN, A.; HEIKKINEN, E. (1972) Effects of physical training on the development and strength of tendons and bones in growing mice. **Scand J Clin Lab Invest Suppl** 29(123): 20.

LARSSON, S.; KIM, W.; CAJA V. L.; EGGER, E. L.; INOUE, N.; CHAO, E. Y. (2001). Effect of early axial dynamization on tibial bone healing: a study in dogs. **Clin Orthop** 388: 240-51.

MATIELLO-ROSA, S. M. G. (1999). **Influência do exercício em esteira na citologia do líquido sinovial e histologia da cartilagem articular em joelhos de coelhos**. p. 80. Dissertação de Doutorado. Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto. 1999.

MOORE, K. L. (1994). **Anatomia orientada para a clínica**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan.

MORO, C. A. (1992). **Fixação externa com grau de flexibilidade variável. Desenvolvimento do aparelho e da metodologia de utilização**. 78 p. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto. 1992.

MÜLLER, M. F.; ALLGÖWER, M.; SCHNEIDER, R. (1993). **Manual de osteossíntese**. São Paulo: Manole. p. 283-299.

OLIVEIRA FILHO, O. B. A. (2000). **Influência da dinamização axial na consolidação da osteotomia na tíbia de carneiros tratadas com fixador externo unilateral uniplanar**. 78 p. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto. 2000.

O'SULLIVAN, M. E.; BRONK, J. T.; CHAO, E. Y.; KELLY, P. J. (1994). Experimental study of the effect of weight bearing on fracture healing in the canine tibia. **Clin Orthop** 302: 273-83.

O'SULLIVAN, M. E.; CHAO, E. Y. S.; KELLY, P. J. (1989). Current concepts review: the effects of fixation on fracture healing. **J Bone Joint Surg** 71A: 306-10.

PACCOLA, C. A. J. (2001) Fraturas expostas. **Rev Bras Ortop** 36(8): 41-7.

PACCOLA, C. A. J.; BELLEGARD, L. M.; ALMEIDA, I. L. (1985). O uso do fixador externo em clínica ortopédica: experiência de três anos no Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto - USP. **Rev Bras Ortop** 20(2): 41-7.

PANJABI, M. M.; WHITE, A. A.; WOLF, J. W. (1979). A biomechanical comparison of the effects of constant and cyclic compression on fracture healing in rabbit long bones. **Acta Chir Scand** 50: 653-61.

PARK, S. H.; O'CONNOR, K.; MCKELLOP, H.; SARMIENTO, A. (1998). The influence of active shear or compressive motion on fracture-healing. **J Bone Joint Surg** 80-A(6): 868-78.

PARK, S. H.; SILVA, M. (2003). Effect of intermittent pneumatic soft-tissue compression on fracture-healing in an animal model. **J Bone Joint Surg** 85-A(8): 1446-53.

RALSTON, S. H. (1997). What determines peak bone mass and bone loss? **Baillieres Clin Rheumatol** 11(3): 479-94.

RAMOS, M. R. F.; ROTBANDE, I. S.; SHEHATA, I. (2000). Fixador externo efeito mola. **Rev Bras Ortop** 35: 23-8.

ROBLING, A. G.; HINANT, F. M.; BURR, D. B.; TURNER, C. H. (2001) Shorter, more frequent mechanical loading sessions enhance bone mass. **Medicine & Science in Sports & Exercise**® p. 196-202.

ROLLAND, E.; SABOURIN, F. (1998). Consolidación ósea y rehabilitación. **Encycl Méd Quir** 26-208-A-10, 10 p.

ROTBANDE, I. S.; RAMOS, M. R. F. (2000) Atualização em fixação externa: conceitos e revisão. **Rev Bras Ortop** 35(4): 103- 7.

RUFF, C. B.; HAYES, W. C. (1982) Subperiosteal expansion and cortical remodeling of human femur and tibia with aging. **Science** 217:945.

SARMIENTO, A. (1974) Funcional bracing of tibial fracture. **Clin Orthop** 105: 202-19.

SELIGSON, D.; POPE, M. (1982). **Concepts in external fixation**. New York: Grune & Stratton. p. 3-39.

TARGA, W. H. C.; CATENA, R. S.; BAPTISTÃO, J. A. B. Fixadores externos em traumatologia. In: Hebert, S. e colaboradores. **Ortopedia e traumatologia princípios e prática** Porto Alegre: Artmed. Cap 74. p. 1458-68.

TERJESEN, T. (1984). Bone healing after metal plate fixation and external fixation of the osteotomized rabbit tibia. **Acta Orthop Scand** 55: 69-77.

VIDAL, J. (1983). External fixation: yesterday, today and tomorrow. **Clin Orthop** 180: 7-14.