



INSTITUTO POLITÉCNICO DE LISBOA

ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA DA SAÚDE DE LISBOA

**REVISÃO SISTEMÁTICA DA RESPOSTA DA MUSCULATURA
ESQUELÉTICA AOS PROGRAMAS DE TREINO EM MICROGRAVIDADE**

AUTOR: DIOGO FILIPE GONÇALVES DOS SANTOS QUIRINO

ORIENTADO POR:

PROFESSORA DOUTORA LUÍSA PEDRO,
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA DA SAÚDE DE LISBOA

Mestrado em Fisioterapia

Lisboa, 2012

INSTITUTO POLITÉCNICO DE LISBOA
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA DA SAÚDE DE LISBOA

**REVISÃO SISTEMÁTICA DA RESPOSTA DA MUSCULATURA
ESQUELÉTICA AOS PROGRAMAS DE TREINO EM MICROGRAVIDADE**

AUTOR: DIOGO FILIPE GONÇALVES DOS SANTOS QUIRINO

ORIENTADO POR:

PROFESSORA DOUTORA LUÍSA PEDRO,
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA DA SAÚDE DE LISBOA

JÚRI:

PROFESSORA DOUTORA MARGARIDA SANTOS,
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA DA SAÚDE DE LISBOA

PROFESSOR DOUTOR JOÃO PÁSCOA PINHEIRO,
CENTRO HOSPITALAR UNIVERSITÁRIO DE COIMBRA

Mestrado em Fisioterapia

(esta versão incluiu as críticas e sugestões feitas pelo júri)

Lisboa, 2012

Direitos de cópia

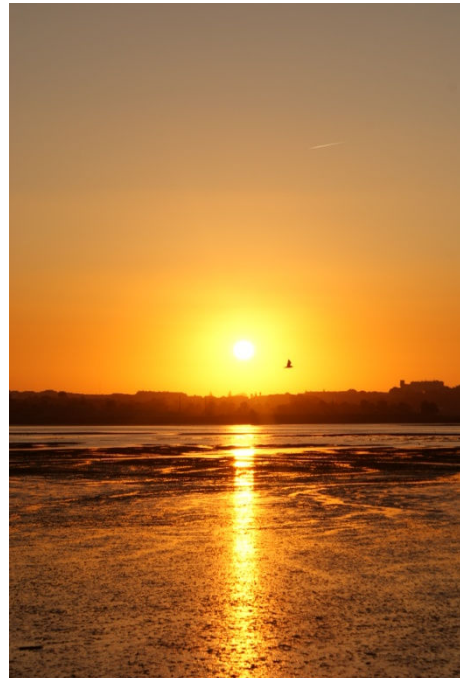
O projecto de Mestrado em Fisioterapia intitulado: «Revisão Sistemática da Resposta da Musculatura Esquelética aos Programas de Treino em Microgravidade», do autor Diogo Filipe Gonçalves dos Santos Quirino, Escola Superior de Tecnologia da Saúde de Lisboa – Instituto Politécnico de Lisboa, encontra-se sob direitos de cópia/*copyright*.

No âmbito dos direitos de cópia, o autor declara que a Escola Superior de Tecnologia da Saúde de Lisboa e o Instituto Politécnico de Lisboa possuem o direito de arquivar, publicar ou divulgar esta obra por qualquer meio, actual ou futuro, sem prejuízo de limites geográficos, para fins estritamente educacionais ou de investigação, desde que o crédito seja dado ao autor. A utilização do conteúdo integral ou parcial desta obra para outros fins que não os supracitados, nomeadamente comerciais, encontra-se estritamente proibida pelo autor, bem como qualquer modificação dos seus conteúdos. A obra publicada é a obra reproduzida com o consentimento do seu autor: a mesma não foi escrita ao abrigo do novo Acordo Ortográfico e o autor proíbe que seja modificada nesse sentido. A protecção da obra é extensível ao seu título.

No exercício dos direitos de carácter patrimonial o autor tem o direito exclusivo de dispor da sua obra e de fruí-la e utilizá-la, ou autorizar/desautorizar a sua fruição ou utilização por terceiros, total ou parcialmente. Independentemente dos direitos patrimoniais, e mesmo depois da sua transmissão ou extinção destes, o autor goza de direitos morais sobre a sua obra, designadamente o direito de reivindicar a respectiva autoria e assegurar a sua genuidade e integridade.

O autor,

Diogo Filipe Gonçalves dos Santos Quirino



«We wish to pursue the truth no matter where it leads. But to find the truth, we need imagination and skepticism both. [...] The cosmos is full beyond measure of elegant truths; of exquisite interrelationships; of the awesome machinery of nature.»

- *Carl Sagan*

Agradecimentos

A elaboração deste Projecto de Mestrado não seria possível sem a colaboração de várias pessoas, as quais fizeram e têm feito parte da minha vida académica de um modo especial. É essa presença que eu gostaria de agradecer publicamente.

À Professora Doutora Luísa Pedro, minha orientadora, pela sua disponibilidade, referência, amizade e competência científica; pelas críticas e sugestões construtivas que contribuíram com dedicação para este trabalho. Sem os nossos professores nunca chegaremos a ser a realização do que verdadeiramente somos.

À Cristina Brandão, Maria José Ferreira, Catarina Palmeira, Mara Marcelino e Dulce da Silva pela amizade, disponibilidade e apoio incondicional.

À Carla pela amizade, paciência, partilha de conhecimentos nas horas de estudo no Espaço Juventude.

À Inês, à Rita, ao Zé Diogo, à Célia pela amizade. Sem os amigos nunca seremos verdadeiramente livres.

Agradeço ao pessoal da Biblioteca em Ciências da Saúde da Base do Lumiar da Força Aérea Portuguesa pela facilitação do acesso a documentos de indiscutível valor.

Um agradecimento especial à Dr.^a Maria da Luz Antunes e a todo o pessoal do centro de documentação e investigação da ESTeSL pela colaboração, contactos estabelecidos e rigor profissional durante o acesso a referências bibliográficas de grande relevância, sem as quais este trabalho não seria possível. Sem o profissionalismo nunca poderemos atingir a excelência.

Um obrigado aos meus pais, Lúcia e António, à minha irmã Sandra e restante família, por acreditarem sempre mim. Por investirem na formação que faz de mim uma pessoa mais preparada para os desafios. Um obrigado por saber que estarão sempre ao meu lado e por fazerem de mim o que sou hoje. Sem os nossos somos o vazio.

À Teresa e ao João. O que fazemos hoje, é vosso quando crescerem.

Resumo

Introdução: O aumento do tempo de exposição à Microgravidade conduz ao desenvolvimento de alterações na musculatura esquelética que comprometem a saúde e a performance individuais. É necessário otimizar os programas de treino para garantir a protecção muscular.

Objectivo: Elaborar um projecto de revisão sistemática sobre a resposta da musculatura esquelética aos programas de treino e de reabilitação utilizados para manter a função e as propriedades musculares em indivíduos saudáveis de ambos os géneros expostos à Microgravidade.

Métodos: A *Medline* foi consultada no período de 1 de Janeiro de 2006 a 31 de Dezembro de 2011 com as seguintes palavras-chave: «spaceflight muscle exercise», «microgravity muscle exercise» e «bed rest muscle exercise». Os estudos sobre a eficácia dos equipamentos, suplementos nutricionais, aplicação de fármacos, não conduzidos em humanos, associados a patologia, associados a outra condição gravitacional que não a Microgravidade, sem protocolo de treino e escritos noutra língua que não a inglesa ou portuguesa, foram excluídos. Os estudos seleccionados (n=35) foram analisados quanto à sua qualidade metodológica.

Resultados: As propriedades e a função muscular deterioram-se em Microgravidade, os programas de treino oferecem uma protecção total ou parcial contra essas perdas.

Discussão: O treino de *resistance* de intensidade elevada e baixo volume associado a treino aeróbio pode ser mais eficiente em manter a generalidade das propriedades e função muscular em Microgravidade.

Conclusão: A realização de exercícios específicos e o início imediato do treino em Microgravidade são essenciais para a protecção muscular.

Palavras-Chave: Microgravidade, Exercício Físico, Reabilitação, Programas de Treino.

Abstract

Introduction: The increasing exposure time in Microgravity leads to the development of muscular adaptations which compromise the individual health and performance. The training programs must be improved towards muscle protection.

Objective: To elaborate a systematic review project about muscle adaptation to the training and rehabilitation programs in Microgravity, in order to preserve muscle function and properties in healthy individuals from both genders.

Methods: A search was conducted in Medline for publications indexed between January 1st, 2006 and December 31st, 2011 with the following research words: «spaceflight muscle exercise», «microgravity muscle exercise» and «bed rest muscle exercise». The publications which were based on the study of equipments' efficacy, nutritional supplements, pharmaceutical drugs, non human samples, pathologies, gravitational environments other than microgravity, without training protocol and written in a language other than English or Portuguese, were excluded from this review. The methodological quality of the selected studies (n = 35) was assessed.

Results: The muscle function and properties deteriorate in Microgravity. The actual training programs are, at least, partially protective against further muscle losses.

Discussion: High intensity and low volume resistance training combined with aerobic training might be more efficient in conserving most of muscle function and properties in Microgravity.

Conclusion: Specific exercises and the rapid onset of the training program in Microgravity are essential for muscular properties and function protection.

Key Words: Microgravity, Exercise, Rehabilitation, Training Programs.

Índice Geral

Índice de Quadros.....	x
Índice de Figuras	x
Lista de Abreviaturas	xi
1. Introdução.....	1
2. Enquadramento Teórico.....	2
2.1. Perspectiva Histórica da Medicina Espacial.....	2
2.2. Modelos de estudo em Microgravidade	3
2.3. Alterações musculares decorrentes da Microgravidade.....	4
2.3.1. Grupos musculares mais afectados	5
2.3.2. Desenvolvimento das alterações musculares no tempo.....	6
2.3.3. Contribuição de factores neuromusculares na resposta muscular.....	7
2.3.4. Alterações ao nível celular e subcelular muscular.....	8
2.3.5. Alterações na capacidade de trabalho muscular	9
2.4. Resposta muscular ao Exercício Físico em Microgravidade	9
2.5. Objectivo do Projecto de Mestrado.....	12
3. Métodos	13
3.1. Estratégia de Pesquisa.....	13
3.1.1. Definição dos Descritores de Pesquisa	13
3.1.2. Selecção das palavras-chave e da base de dados.....	14
3.2. Critérios de Elegibilidade ou de Pesquisa.....	14
3.3. Selecção dos estudos.....	14
3.4. Análise da qualidade metodológica dos estudos	16
3.5. Extração de dados.....	18
4. Resultados.....	19
4.1. Avaliação da Qualidade Metodológica dos estudos.....	19
4.2. Resultados da resposta muscular ao treino	23

4.2.1. Programas de treino nos estudos de acamamento	23
4.2.2. Programas de treino nos estudos de voo espacial	27
4.2.3. Programa de Reabilitação pós-exposição	28
4.2.4. Principais resultados das revisões de literatura e comentário de autor	33
5. Discussão	35
5.1. Resposta muscular com o treino de <i>resistance</i>	35
5.2. Treino combinado aeróbio e de <i>resistance</i>	37
5.3. Benefícios da utilização de exercícios específicos.....	37
5.4. Influência de factores neuromusculares na resposta muscular ao treino em Microgravidade.....	39
5.5. Influência das alterações celulares e subcelulares na resposta muscular ao treino em Microgravidade	40
5.6. Resposta muscular ao treino em Microgravidade e fadiga muscular	42
5.7. A problemática da resposta muscular reduzida dos flexores plantares ao treino em Microgravidade.....	42
5.8. Influência do género na resposta muscular aos programas de treino em Microgravidade.....	44
5.9. Resposta muscular ao treino em voo espacial.....	45
5.10. Período de recuperação pós-exposição a Microgravidade.....	47
5.11. Limitações encontradas nos estudos seleccionados.....	49
5.12. Estudos futuros.....	51
6. Conclusão	53
7. Referências.....	54
Apêndices	74
Apêndice 1. Quadro Descritivo da Resposta Muscular aos Programas de Treino nos estudos de acamamento e de voo espacial	75

Índice de Quadros

Quadro 4.1. Resultados da aplicação da escala PEDro	19
Quadro 4.2. Resultados da aplicação da escala <i>McMaster</i>	21
Quadro 4.3. Resultados da aplicação da escala CASP	22
Quadro 4.4. Características dos Programas de Treino nos estudos de Acamamento	25
Quadro 4.5. Resultados da resposta muscular em Microgravidade	30
Quadro 4.6. Principais resultados do treino nas revisões de literatura e comentário de autor	34

Índice de Figuras

Figura 3.1. Fluxograma de selecção dos estudos	15
--	----

Lista de Abreviaturas

1-RM – 1-repetição máxima	MEDES - <i>Institute de Médecine et de Physiologie Spatiales</i>
A – treino aeróbio	MFCV – velocidade de condução das fibras musculares
AS – área seccional	min – minutos
BA – <i>Before-after design</i>	MSIL – músculo sacro-ílio-lombar
BBR – <i>Berlin Bed Rest Study</i>	n/a – não aplicável
BBR-2 – <i>2nd Berlin Bed Rest Study</i>	P ₀ – força isométrica de pico
BE – <i>back extension</i>	PEDro – <i>Physiotherapy Evidence Database</i>
CASP – <i>Critical Appraisal Skills Program</i>	P _{pico} – potência de pico
CMV – contração máxima voluntária	PPBC – pequena porção do bicipete crural
CC – <i>Case control design</i>	Q – quadricipete crural
CP – <i>calf press</i>	R – treino de <i>resistance</i>
CS – <i>Case study design</i>	rpm – rotações por minuto
d – dia	RMS – <i>root median square</i>
DF – dorsiflexores	RV – treino de <i>resistance</i> associado à vibração
EMG - electromiograma	s – segundos
ES – <i>explosive squat</i>	sem – semana
FP – flexores plantares	Sol – solhar
Gém - gêmeos	SQ – <i>squat</i>
H – Homem	TR – <i>toe raise</i>
HR, «heel raise»	UCSD – <i>University of California at San Diego</i>
H _{salto vertical} – altura do salto vertical	v ₀ – velocidade de encurtamento máxima
Hz – Hertz	VE – vasto externo
iRED – <i>interim Resistive Exercise Device</i>	VM – volume muscular
Isq-tb – isquio-tibiais	VO _{2 pico} – consumo de oxigénio de pico
LBNP – <i>Lower Back Negative Pressure</i>	
LPBC – longa porção do bicipete crural	
LTBR – <i>Long Term Bed Rest Study</i>	
M - Mulher	
MCE – músculo complicado da espinha	

1. Introdução

A Microgravidade constitui um ambiente gravitacional distinto daquele que se encontra na superfície da Terra¹. Trata-se de um estado em que a aceleração por acção da força gravítica não pode ser detectada por um observador dentro de um sistema, i.e. um corpo neste meio não pode detectar a acção da força gravítica a actuar sobre ele². O astronauta em órbita não experiencia o efeito (directo) da gravidade terrestre a actuar sobre ele próprio³. Segundo as agências espaciais¹, o desenvolvimento de tecnologias e pesquisa no espaço irá beneficiar as populações na Terra através do estudo da resposta muscular ao treino em Microgravidade¹. O estudo de consequências da exposição a ambiente para a saúde e fisiologia humanas é uma das prioridades das agências espaciais^{4,5}.

A ausência de gravidade a actuar sobre o corpo, conduz a uma série de alterações em vários sistemas e a adaptação a este ambiente ocorre de modo diferente em cada sistema^{5,6}. Entre os principais sistemas afectados pela ausência de gravidade⁷ encontram-se o cardiovascular, pulmonar, ósseo, muscular e neurovestibular^{4,6,8-10}. Ao longo deste trabalho, o enfoque será dado na resposta da musculatura esquelética¹¹ aos programas de treino, contemplando o desenvolvimento dos mesmos para manter as características musculares neste ambiente. O trabalho irá introduzir primeiramente uma perspectiva histórica da Medicina Espacial, seguida pelos principais modelos de estudo que permitem reproduzir, com um grande grau de segurança, as condições descritas em Microgravidade mas em ambiente terrestre¹⁰ e as alterações musculares que decorrem, sem intervenção e com a intervenção do exercício físico, baseando-se numa actualizada revisão da literatura para o efeito.

Este Projecto de revisão sistemática irá analisar os resultados dos estudos disponíveis na área que estudem a resposta muscular aos programas de treino em Microgravidade, apresentando os métodos que permitiram uma pesquisa baseada em descritores e que contém os habituais pontos presentes numa revisão sistemática. Serão apresentados os resultados do treino no período de exposição e dos programas utilizados durante o período de pós-exposição à Microgravidade, nos modelos de estudo disponíveis na área. Seguidamente, criar-se-á um espaço de discussão dos resultados, procurando definir os programas de treino mais adequados para a obtenção de uma resposta muscular em Microgravidade que garanta a saúde e a boa performance dos indivíduos.

2. Enquadramento Teórico

2.1. Perspectiva Histórica da Medicina Espacial

A inauguração da exploração espacial ocorreu aquando do primeiro voo humano a 12 de Abril de 1961, por um cosmonauta da União Soviética¹². *Yuri Gagarin* completou 108 minutos de voo quebrando a barreira da então chamada «última fronteira», iniciando uma nova era de exploração e um novo capítulo na História da Humanidade^{12,13}. Apesar deste voo ter sido precedido de voos com animais para recolha de dados fisiológicos⁶, tratou-se de um voo em que se desconheciam os potenciais efeitos da exposição do Homem no espaço¹³. Contudo, o astronauta sobreviveu ao voo¹² e a corrida espacial prosseguiu com o *Project Mercury* e *Alan Shephard, Jr.*, o primeiro astronauta norte-americano no espaço¹².

À medida que a corrida espacial se desenvolveu, os cientistas de ambos os lados foram tomando conhecimento das primeiras alterações fisiológicas neste ambiente¹². Estas incluíam, nas primeiras horas, a perda de massa corporal pela desidratação e a intolerância ortostática pós-voo. Com o aumento da duração das missões (14 dias) as alterações fisiológicas foram-se intensificando. Durante o programa *Gemini* foram registadas reduções na massa óssea, no azoto muscular e no número de eritrócitos¹². A actividade extraveicular^{6,9}, que teve início nestas missões, revelou-se uma actividade de grande consumo energético⁹. A perda de eritrócitos poderia, então, comprometer a capacidade de trabalho do astronauta, criando um constrangimento importante para missão¹².

Posteriormente, as missões *Salyut* da União Soviética introduziram a primeira estação espacial e programas de treino no espaço¹² através do exercício regular com passadeira e cicloergómetro. Com o aumento da duração das missões *Salyut* cresceu o interesse no impacto no corpo humano da exposição durante longos períodos de exposição à Microgravidade¹². A primeira medição da redução do volume muscular no espaço ocorreu durante o programa *Skylab* dos Estados Unidos^{14,15}. A *Skylab* constituiu-se como a primeira estação espacial americana. A combinação de um longo período de exposição à Microgravidade, a quantidade considerável de espaço disponível na estação espacial, a sofisticação do equipamento e a liberdade de constrangimentos associados a missões permitiu a oportunidade de efectuar medições fisiológicas em Microgravidade¹². Ao obterem-se os primeiros dados de missões de

longa duração, verificou-se que o programa de treino utilizado não era suficiente para manter a massa e a performance musculares durante o voo espacial de longa duração¹⁵⁻¹⁹. Com o término dos programas *Skylab* e *Salyut*, verificou-se que os seres humanos eram capazes de viver e trabalhar com segurança durante períodos de Microgravidade superiores a 3 meses e que a possível extensão do período de exposição, com manutenção da segurança dos astronautas, ficaria apenas a depender do grau de adaptação e eficácia dos programas de exercício físico¹².

Com o programa *Mir* da União Soviética, os estudos fisiológicos registaram um desenvolvimento importante devido à permanência de indivíduos durante longos períodos no espaço (6 meses) e, também, à colaboração internacional. O Programa *Spacelab* dos Estados Unidos demonstrou um compromisso da função cardiopulmonar e da estrutura e função muscular¹².

O programa de vaivéns da NASA (particularmente a missão 78 do vaivém *Columbia*¹⁴) permitiu desenvolver os conhecimentos sobre os voos espaciais de curta duração (períodos de voo igual ou inferior a 30 dias)¹⁰ aumentando também a capacidade e o número de indivíduos para a órbita terrestre baixa⁶.

Desde 2000⁶ até à actualidade, a estação espacial internacional, desenvolvida por um conjunto de nações¹, tem sido o local ideal para testar os efeitos da ausência de gravidade durante períodos cada vez mais longos de permanência no espaço¹⁰. Eventualmente, com os planos de várias agências espaciais para a exploração de Marte os períodos de permanência no espaço serão muito superiores aos actuais^{1,3,9,10,12,20,21}. O tempo de trânsito até este planeta será na ordem dos 200 dias²² e para a Lua o tempo de trânsito é de 4 a 5 dias. Adicionalmente, a transição entre a ausência de gravidade e a gravidade parcial destes astros pode induzir riscos para a saúde das tripulações⁹. A necessidade de ter astronautas preparados e condicionados é fundamental para o desempenho, com sucesso, das tarefas da missão e para minimizar o potencial de lesão, o qual pode colocar em risco a vida do tripulante⁹.

2.2. Modelos de estudo em Microgravidade

Os dados recolhidos durante o voo espacial são insuficientes devido a constrangimentos da missão espacial e ao número reduzido de indivíduos, associado a uma política de protecção de dados das agências espaciais¹⁰. Para contornar este problema, os investigadores recorreram ao regime de acamamento, um método fiável para simular os efeitos da Microgravidade em humanos^{8,23-27}, de modo cientificamente

controlado e eticamente aceitável²⁷, recorrendo a amostras mais significativas do que as do voo espacial²⁶. Este regime tem vindo a ser utilizado de forma frequente^{21,25,28-30} para compreender os mecanismos das alterações estruturais e funcionais, a eficácia dos programas de treino em Microgravidade³⁰ e/ou em períodos prolongados de actividade física reduzida^{8,24,25,28,29,31-33}. O acamamento constitui um vínculo directo com a área da Reabilitação^{3,10}. O protocolo rigoroso deste modelo origina, em indivíduos saudáveis, alterações fisiológicas que se correlacionam fortemente com as observadas em indivíduos com lesão vértebro-medular^{3,34}, pacientes severamente descondicionados³⁵ ou com a população geriátrica^{36,37}. Estas alterações derivam de um nível de actividade física bastante reduzido¹⁰. Por outro lado, as alterações fisiológicas provocadas pelo acamamento, também se correlacionam com as verificadas em astronautas¹⁰. Neste caso, a analogia^{23,38} é conseguida adicionando ao decúbito dorsal, um declive cefálico de -6° para reproduzir a deslocação de fluídos que se verifica no espaço^{10,23,26,33,38}. O acamamento fornece um modelo de estudo da disfunção muscular³³ em ausência de carga sem a necessidade de recorrer a indivíduos com patologia²⁹.

Outro regime de simulação de Microgravidade é a suspensão unilateral do membro inferior, que consiste na utilização de canadianas enquanto um dos membros inferiores realiza apoio podal com um sapato de sola alta e o outro fica suspenso impedindo a carga³⁹. Neste modelo os participantes não precisam de se encontrar em meio laboratorial, podendo desempenhar as suas tarefas no quotidiano³⁹.

2.3. Alterações musculares decorrentes da Microgravidade

Desde o início da exploração espacial^{9,14,15} que se conhece que a exposição à Microgravidade conduz a um estado de disfunção muscular⁸. Este dado estimulou a condução de estudos sobre a resposta muscular em Microgravidade^{15,23,26,40}. As alterações musculares que decorrem da exposição a este ambiente são: a atrofia muscular (redução de volume ou área seccional)^{7,8,18,30,32,41-44}, redução da: força^{8,15,23,24,26,30,32,42,45-49} e potência musculares^{14,31,33,50,51} e das propriedades de condução neuromusculares⁵²⁻⁵⁴.

Ao nível celular, verificam-se alterações como a atrofia, redução da força e distribuição dos tipos de fibras musculares^{14,15,24,30,38,40,48} que passa por uma redução das fibras de contracção lenta e pelo aumento da expressão das fibras de contracção rápida e de tipos híbridos³. A redução da potência muscular ao nível das fibras é

gerada por uma redução da velocidade de encurtamento da fibra e alterações na densidade dos filamentos finos¹⁴. Estas alterações conduzem a um músculo mais dependente do metabolismo glicolítico e, portanto, com menor endurance muscular^{14,15,24,30,38,40,48}. As alterações nos tecidos conectivos, como a rigidez tendinosa, acompanham as alterações musculares^{17,55,56}.

2.3.1. Grupos musculares mais afectados

Os músculos dos membros inferiores são principalmente afectados pela ausência de carga em Microgravidade^{26,30,40}. O padrão de atrofia é descrito como sendo diferencial²⁹ havendo músculos mais afectados que outros: (1) a cadeia extensora do membro inferior é mais afectada do que a flexora^{21,29,50,57,58} ou do que músculos sem função postural^{43,57}; (2) dentro do mesmo grupo sinergista^{29,50} os músculos extensores^{25,29,57,59} registam mais alterações do que músculos com outra função para além da extensora⁶⁰; (3) os músculos monoarticulares são mais afectados do que os biarticulares^{21,25,29,50,57}; (4) os músculos estabilizadores articulares, mais profundos, registam mais alterações do que os responsáveis pela alavanca de movimento (mais superficiais)^{8,61}; (5) os músculos com maior volume muscular antes da exposição à Microgravidade detêm maiores perdas de massa e força musculares do que aqueles com menor volume^{15,62}; (6) os músculos com maior composição em fibras oxidativas possuem maior redução das suas características^{8,29,57,63}; (7) os músculos que são mais intensa e frequentemente estimulados no quotidiano registam maior alteração do que outros que não possuem esse tipo de estimulação^{8,21,57,62,64,65}, i.e. a resposta à ausência de carga depende fortemente do padrão típico de carga no quotidiano⁵⁸ e (8) os músculos que possuem uma taxa de síntese proteica mais reduzida^{66,67} apresentam uma maior atrofia do que músculo com uma taxa mais elevada.

Esta resposta diferencial pode originar desequilíbrios entre grupos musculares (e dentro dos mesmos) que podem dar origem a um risco maior de lesão na área afectada^{8,25,68-70}.

De entre os músculos estudados, os flexores plantares são os mais afectados^{30,50,65}, apresentando uma resposta atrofica de instalação mais rápida do que a do tibial anterior^{30,40} ou do que do vasto externo²⁹. Os próprios vastos parecem ser mais propensos à atrofia do que o recto anterior^{64,71}. Mesmo dentro do tricípete sural, o solhar atrofia a uma taxa superior do que os gémeos^{15,21,29}. Estudos de acamamento de duração entre 3 a 4 meses encontraram uma atrofia dos músculos da perna de

~30%, ~10-15% superior aos músculos da coxa^{50,72,73}. O solhar mantém a sua resposta diferencial ao treino, demonstrando uma menor disposição para reduzir a atrofia do que o quadricípete crural⁵⁰, o que também pode ser explicado por uma menor resposta de síntese proteica ao treino⁶⁶. Torna-se importante avaliar a eficácia dos programas de treino na manutenção das propriedades musculares do tricípete sural²¹, pois a sua performance ineficiente pode comprometer a função postural e a locomoção²¹ podendo conduzir ao desenvolvimento de desequilíbrios musculares, que resultam da acção desproporcionada de forças musculares a actuarem sobre uma região e que podem aumentar o risco de lesão articular⁶⁸⁻⁷⁰.

Também são registadas reduções significativas da massa e força musculares dos extensores e flexores do joelho³⁰, adutores da anca⁵⁹, musculatura postero-lateral da anca²⁵ e dos músculos paravertebrais^{20,28,30}. Estes dados sugerem que toda a cadeia extensora é afectada^{20,29}.

Num ambiente onde estas funções não são estimuladas, particularmente durante voos espaciais de longa duração, o desenvolvimento de programas de treino eficientes é crítico^{14,15}. A compreensão do padrão de atrofia e da sua recuperação em Microgravidade^{29,30} é fundamental para guiar e adequar os programas de treino aos músculos mais afectados por este ambiente.

2.3.2. Desenvolvimento das alterações musculares no tempo

O período temporal em que decorrem estas alterações ainda não se encontra inteiramente documentado⁷, embora o processo de atrofia muscular se inicie ao fim de 6 horas com a redução da taxa de síntese proteica³. A redução da massa muscular aumenta exponencialmente com o tempo de exposição à Microgravidade, mas um planalto pode ser atingindo ao final de 180 dias⁴⁰, eventualmente porque a massa muscular estará adequada às necessidades do meio⁴⁰. A redução do volume muscular no espaço, mesmo com a realização de exercício, parece ser mais intensa na primeira semana^{30,43}, o mesmo sucedendo em acamamento⁷⁴. Assim, a redução é mais intensa na primeira semana (5%), diminuindo em missões de duas semanas e meia (perda de 1,6% por semana). Em períodos maiores, e.g. 24 semanas, a perda é da ordem dos 0,5% por semana^{18,98}. A redução é mais acentuada nas primeiras duas a quatro semanas, sendo seguida por um período de redução menos acentuada nas semanas seguintes^{23,50,65,72,75}.

A redução da força muscular em ausência de carga é mais intensa na primeira semana e está relacionada primariamente com factores de origem neural³. O declínio da força máxima em relação à massa muscular sugere que a atrofia não explica completamente a redução da força muscular, mas que outros factores neuronais e da composição muscular em fibras e da sua distribuição no músculo, podem estar envolvidos³⁰. Tendo em consideração a relação entre a área seccional muscular e a capacidade geradora de força do músculo, seria de esperar que qualquer alteração no tamanho muscular pudesse ser reflectido em igual proporção na capacidade de produção de força⁷. Contudo, a redução do *output* muscular e.g. força ou potência, excede frequentemente a redução da massa ou área seccional após exposição a Microgravidade^{7,50,54,63,76}, indicando que outros factores podem contribuir para o decréscimo. Um factor pode ser a adaptação do sistema nervoso central que irá resultar num nível reduzido de activação durante uma acção máxima voluntária após ausência de carga^{7,50,54,75}.

Compreender o processo de recuperação da musculatura esquelética após exposição a Microgravidade também é essencial para guiar os protocolos de treino²⁵, mas relativamente a este dado têm sido desenvolvidos poucos estudos⁴⁶. Suzuki et al.⁷⁷ refere que existe uma recuperação completa em 8 semanas da massa e área seccional muscular após 20 dias de acamamento⁷⁷, mas outros estudos parecem sugerir que a recuperação da massa muscular é incompleta após exposição a Microgravidade^{51,78}.

2.3.3. Contribuição de factores neuromusculares na resposta muscular

As alterações na actividade física durante o voo espacial ou durante o acamamento prolongado conduzem a uma inactividade motora e têm um efeito directo no sistema neuromuscular⁶¹ que vai desde o comprometimento da activação muscular à resposta insuficiente da maquinaria contráctil muscular. A redução da actividade neuromuscular⁷⁹ em ausência de carga pode conduzir a uma lentificação no padrão de recrutamento das unidades motoras, o que pode conduzir a uma redução da taxa de desenvolvimento de força e, em menor grau, ao condicionamento da força máxima^{3,58}. Este evento pode comprometer a função locomotora através de alterações no equilíbrio e nos limites de estabilidade⁵⁸ e diminuir o limiar de fadiga muscular²⁷. A

degradação do controlo motor compromete a performance muscular^{27,54,80,81} e realização de tarefas motoras⁸⁰.

O declínio da potência muscular em Microgravidade pode estar associado a outros factores para além da perda de massa e força^{40,49}. O aumento da velocidade de encurtamento das fibras pode proteger parcialmente contra o declínio da potência muscular¹⁴. Assim, as alterações na activação muscular são as principais causadoras do declínio da força e potência musculares⁴⁸. A contribuição neuromuscular é importante na taxa de desenvolvimento de força⁵⁸, embora não se possa minorar a contribuição de alterações na arquitectura muscular⁵⁷ e de rigidez tendinosa^{56,76}. A contribuição do sistema motor, através do recrutamento e sincronização das unidades motoras e de outros mecanismos neurais é um evento importante durante as fases iniciais do treino para o desenvolvimento da força muscular³, uma vez que a hipertrofia muscular apenas contribui para o aumento de força numa fase posterior³.

2.3.4. Alterações ao nível celular e subcelular muscular

A principal contribuinte para a redução da massa muscular em Microgravidade é a ausência de carga que conduz à redução da síntese proteica⁵³. As alterações subsequentes no comprimento das fibras musculares^{7,82} irão alterar o ângulo óptimo⁵⁷ para a produção de força muscular^{17,54}, favorecendo a instalação de quadros de fadiga^{54,83}. Neste sentido, as relações entre a alavanca voluntária-ângulo de contracção, antes e após exposição à Microgravidade devem ser consideradas⁷. Uma redução da performance muscular acompanhada de alterações fenotípicas das fibras poderá conduzir ao desenvolvimento de défices sensório-motores e da função muscular, relacionados com a incapacidade para utilizar nutrientes, redução da capacidade aeróbia, redução do limiar de fadiga ou aumento da resistência à insulina¹⁵.

As alterações na composição proteica muscular que ocorrem nas fases iniciais do acamamento⁸⁴⁻⁸⁷, especialmente de proteínas miofibrilhares, produtoras de força (e.g. miosina e actina) e de proteínas conectivas (e.g. colagénio), podem dificultar a transferência de força^{44,88-90} e contribuir para o declínio da função^{44,87} e potência musculares⁸⁹. Os estudos demonstram alterações desproporcionais na composição proteica dos músculos com maior proporção de fibras de contracção lenta (e.g. solhar) e em músculos mistos (e.g. gêmeos)^{38,44,85}, sendo as suas propriedades parcialmente protegidas com o treino^{50,65,66}. A distribuição dos tipos de fibras também é fundamental para a função muscular, sendo que a sua alteração pode alterar o fenótipo muscular⁸⁷.

Se considerarmos que, independentemente do seu tamanho, as fibras IIa (contração rápida) produzem 6 vezes mais potência do que as tipo I (contração lenta) e as IIx, 20 vezes mais do que as tipo I e a própria existência de fibras musculares com único um tipo de cadeia pesada de miosina e de tipos híbridos com um ou mais tipos de cadeias pesadas de miosina⁶³, verifica-se que as alterações na distribuição e na expressão dos tipos de fibras podem ter um impacto no fenótipo e na função musculares, comprometendo a saúde muscular³.

2.3.5. Alterações na capacidade de trabalho muscular

O trabalho a realizar durante as missões no espaço é desenhado para exigir dos astronautas um esforço submáximo, mas as endurance muscular e cardiovascular deverão encontrar-se optimizadas para actividades longas e repetitivas²². É fácil de prever que o descondicionamento pode comprometer a realização de actividades²² e que a tolerância ao exercício pode ser afectada pela activação muscular alterada após exposição a Microgravidade^{54,81,83}. Também é conhecido que as adaptações cardiovasculares a este ambiente⁹¹ produzem alterações no aporte de oxigénio e podem comprometer a endurance muscular^{3,83}. Durante os primeiros dias em Microgravidade a capacidade aeróbia regista um rápido declínio^{91,92}, em parte relacionado com a redução da força muscular, adaptações cardiovasculares⁹³ (redução do número de capilares musculares³), redução da actividade enzimática oxidativa^{22,94}, alterações no número e tamanho das mitocôndrias³ e alterações na mioglobina, a proteína de armazenamento de oxigénio no músculo³. Contudo, a capacidade aeróbia parece atingir um planalto com o aumento do tempo de exposição, provavelmente correspondente ao nível de trabalho exigido pela função de actividade física reduzida^{22,92}. Compreende-se que o rendimento/trabalho muscular pode ser afectado se os factores que garantem o correcto transporte de oxigénio, a remoção de metabolitos e um bom metabolismo aeróbio se encontrem alterados³.

2.4. Resposta muscular ao Exercício Físico em Microgravidade

O descondicionamento durante o voo espacial está dependente de três factores principais segundo Payne et al.¹⁰: (1) o tempo de exposição à Microgravidade; (2) o grau de adaptação individual à Microgravidade e (3) a eficácia das contramedidas utilizadas, nas quais se inclui o exercício físico¹⁰.

Verificámos que a necessidade de missões de maior duração e de maiores condições de segurança é fundamental²¹ para as agências espaciais^{18,25,33}. Por sua vez, o grau de adaptação individual à Microgravidade ainda é desconhecido, não se podendo pré-seleccionar os indivíduos que melhor se adaptem a este ambiente¹⁰. Assim, o desenvolvimento de programas de exercício para combater os efeitos da Microgravidade no músculo-esquelético é essencial^{9,18,78,95}, evitando riscos desnecessários que podem comprometer tanto os astronautas como as missões⁹.

Actualmente, verifica-se que o músculo-esquelético é plástico, adaptando-se com facilidade a diferentes estímulos, nomeadamente à ausência de carga²⁶. As alterações musculares^{25,33} devem ser controladas através de um estímulo fisiológico proporcionado pelo exercício físico. Contudo, ainda se registam alterações nas funções e propriedades musculares com a condução de programas de exercício em Microgravidade^{15-18,50,96,97}.

A optimização dos programas de treino é essencial para garantir a manutenção destas características em períodos de exposição cada vez mais longos à Microgravidade^{15,20,28,32,33,48,97,98}. A contribuição das ciências da saúde^{10,15,20,26} é fundamental através da condução de estudos que assegurem que o voo espacial de longa duração^{9,14,15,33} e a exploração planetária^{9,28} sejam exequíveis com segurança. Para que este propósito seja cumprido, a resposta muscular aos programas de treino tem de ser favorável a uma preservação muscular, em termos de função e propriedades musculares, ao nível muscular global, celular e subcelular^{32,46,97}.

De facto, os avanços dos últimos anos reforçam que o exercício físico é a contramedida de eleição para manter a função e propriedades musculares em Microgravidade, sendo necessário definir o regime de treino mais adequado^{38,50,66,97} para as missões de longa duração³³.

Vários estudos admitem que o treino de *resistance* de intensidade elevada, baixo volume, com contracções máximas combinadas concêntrica-excêntrica sem intervalo entre ambas⁵⁰ é parcial ou totalmente eficaz em combater a atrofia, redução da força muscular^{21,24,31,44,50,64,65,71,72,75,99} e descondicionamento neuromuscular^{7,24,54,58,65,72,100}. A evidência sugere que a fase de contracção excêntrica é altamente benéfica para o desenvolvimento de força e massa musculares³ e, quando conduzida a uma velocidade elevada, pode resultar em maior hipertrofia e ganhos de força por reorganização dos elementos subcelulares¹⁰¹. Se o treino for conduzido com uma intensidade moderada ou baixa é inapropriado para os objectivos estabelecidos^{3,21,102}.

O efeito do treino em cada grupo muscular depende dos exercícios escolhidos para proteger esses músculos, sendo este factor um dado importante^{31,50,65,72}.

As propriedades globais musculares (volume e força) parecem ser mais fáceis de proteger^{32,50} do que as alterações ao nível celular^{30,89} (tamanho e função)⁶⁶. O treino de *resistance*, apesar de poder produzir hipertrofia³, é insuficiente para manter as propriedades das fibras de contracção lenta (estrutura e função) durante um período longo de Microgravidade. De facto, verificou-se⁵⁰ que o programa de treino era capaz de manter a força e massa musculares, mas a protecção dos elementos celulares é incompleta⁵⁰. Este evento ocorre particularmente ao nível das fibras de contracção lenta, sendo co-existente com um aumento das fibras de tipos híbridos⁶³, havendo um «slow to fast shift», i.e. uma transição de fibras de contracção lenta para rápida⁶⁶. É consensual que o treino de *resistance* promove uma transição de fibras tipo IIx para IIa³. Como tal, é necessário o desenvolvimento de programas de exercício que protejam o perfil fenotípico muscular, através das protecção das fibras musculares de contracção lenta e contracção rápida¹⁰³.

A associação de vibração ao treino de *resistance* tem sido defendida por alguns autores como um estímulo adicional^{21,104} para aumentar a força, potência e flexibilidade musculares^{8,24,96,104-106} através da aplicação de forças de vibração de baixa frequência (inferiores a 30 Hertz, Hz). Estas estimulam a actividade neuromuscular reflexa^{107,108} e a activação voluntária⁵⁸ através do maior recrutamento de unidades motoras^{25,58,106,109}. Os *inputs* vibratórios aplicados sobre o músculo e o tendão poderiam facilitar a actividade muscular adicional durante a contracção através da estimulação dos fusos musculares^{8,20}. Segundo alguns autores, o estímulo vibratório aplicado ao nível dos pés, propagar-se-á a todo o corpo – permitindo trabalhar a cadeia extensora até à coluna lombar onde também se verificam alterações específicas das propriedades musculares com a ausência de carga^{21,25,110,111}.

O treino aeróbio conduz a respostas adaptativas nas fibras musculares de contracção lenta devido ao seu envolvimento típico/mantido neste tipo de actividades⁷³. Contudo, o treino aeróbio parece não ter um efeito na redução da atrofia muscular^{14,74}, o que é particularmente óbvio no caso do solhar¹⁴ uma vez que a intensidade do treino aeróbio é demasiado baixa³². O treino aeróbio recruta de forma mais ampla as fibras de contracção lenta do que as rápidas, levando a um aumento da sua área seccional e à sua expressão muscular. Este treino facilita o desenvolvimento dos capilares musculares, aumentando igualmente o número e o tamanho das suas mitocôndrias, o potencial de reserva de oxigénio muscular pelo aumento da mioglobina e a actividade

enzimática oxidativa³. Estes factores combinados com as alterações cardiovasculares promovem o transporte de oxigénio, conduzem ao desenvolvimento da capacidade oxidativa muscular e a uma maior dependência do metabolismo aeróbio e, conseqüentemente, a um aumento da performance³.

O treino de *resistance* e o treino aeróbio têm sido utilizados no espaço^{9,14,15,98}. O treino aeróbio tem sido conduzido com recurso à passadeira ou ao cicloergómetro, com vista a reduzir os efeitos adversos da Microgravidade no sistema cardiovascular e pulmonar³ e manter a endurance muscular⁹ e aeróbia³. O cicloergómetro presente na estação espacial internacional tem uma carga máxima de 350 Watts e uma velocidade máxima de 120 rotações por minuto (rpm). A passadeira pode ser utilizada em modo motorizado (velocidade máxima de ~16km/h) ou passivo em que o astronauta treina em modo contra resistência⁹. O treino de *resistance* no espaço é aplicado desde 2009 através de um equipamento que permite uma carga máxima de ~272kg⁹.

Recentemente, alguns estudos com programas de treino combinado de *resistance* e aeróbio, em regime de acamamento^{26,27,73,89,97,103}, parecem demonstrar uma preservação dos dois tipos principais de fibras musculares, sendo as características das fibras musculares de contracção rápida protegidas pela componente de *resistance* e as de contracção lenta pela componente aeróbia, por recrutamento durante a actividade submáxima²⁶.

É essencial a elaboração de um estudo de revisão sistemática que pretenda compreender o grau de optimização dos programas de treino na protecção muscular em exposição de longo prazo à Microgravidade, dado os recentes estudos publicados e a ausência de uma revisão sistemática na área. Este projecto de revisão sistemática deverá contribuir para apresentar e discutir a evidência disponível, de um ponto de vista neutral, facilitando o acesso dos investigadores a essa mesma evidência.

2.5. Objectivo do Projecto de Mestrado

O objectivo do Projecto de Mestrado é o seguinte:

- Elaborar um projecto de revisão sistemática sobre a resposta da musculatura esquelética aos programas de treino e de reabilitação utilizados em Microgravidade e no pós-exposição para manter ou recuperar a função e as propriedades musculares em populações saudáveis de indivíduos de ambos os géneros.

3. Métodos

Na revisão sistemática, os métodos serão constituídos pelos seguintes pontos:

3.1. Estratégia de Pesquisa

3.1.1. Definição dos Descritores de Pesquisa

Antes de proceder à pesquisa, é necessário identificar os descritores ou palavras-chave da mesma, com base na sua terminologia:

- **«Microgravity»:** ou Microgravidade, descritor identificado pela *Medline*, partilhando a mesma designação de *weightlessness* ou imponderabilidade. Na sua designação mais funcional é definida como a ausência de carga a actuar sobre as estruturas fisiológicas².
- **«Spaceflight»:** ou voo espacial, é um descritor identificado pela *Medline* que designa o acto de viajar para além da atmosfera terrestre¹¹². Trata-se de um descritor que identifica meio onde se desenvolve o tema.
- **«Bed rest»:** ou estudo de acamamento, é um descritor definido pela *Medline* tomando como definição o acamamento estrito de um indivíduo por motivos terapêuticos ou experimentais¹¹³. Como anteriormente descrito, o estudo de acamamento é considerado um estudo viável para simular em ambiente terrestre as alterações registadas no voo espacial^{8,23-27}.
- **«Muscle»:** ou músculo, é o órgão contráctil¹¹⁴ responsável pelo movimento e cujas características se pretende preservar através da procura de respostas adequadas e positivas face ao treino^{25,33}.
- **«Exercise»:** ou exercício, é uma subcategoria da actividade física. O exercício é planeado, estruturado, repetitivo e realizado com o objectivo de melhorar ou manter uma das componentes da fitness, e.g. propriedades musculares^{3,115}.

A opção por estes descritores permite estudar os benefícios do exercício físico na manutenção das características da musculatura esquelética em Microgravidade.

3.1.2. Selecção das palavras-chave e da base de dados

A opção por palavras-chave adequadas ao tema e ao objectivo, bem como a escolha de uma base de dados acessível e específica é importante. A *Pubmed*, base de dados da *Medline*, foi seleccionada tendo em consideração estas características e os artigos disponibilizados. A experiência anterior indicou que, entre as bases de dados disponíveis, a *Pubmed* era a única específica atendendo este tema. A *Pubmed* foi consultada no período compreendido entre 1 de Janeiro de 2006 e 31 de Dezembro de 2011, usando as seguintes palavras-chave: «spaceflight muscle exercise», «microgravity muscle exercise» e «bed rest muscle exercise». Não foram aplicados limites para além desta janela temporal para que a selecção se fizesse com base nos critérios de pesquisa.

3.2. Critérios de Elegibilidade ou de Pesquisa

O critério de inclusão tem em consideração os estudos publicados no período de 1 de Janeiro de 2006 a 31 de Dezembro de 2011, que estudem a resposta da musculatura esquelética aos programas de treino em Microgravidade, ou a sua simulação em superfície terrestre com um protocolo de acamamento estrito durante o período de estudo^{10,23,26,33,38}, ou no período de pós-exposição à Microgravidade, em populações saudáveis de indivíduos de ambos os géneros.

Os critérios de exclusão excluíram estudos sobre: (1) a validação da eficácia de equipamentos; (2) suplementos nutricionais; (3) aplicação de fármacos; (4) amostra não-humana; (5) associados a patologia; (6) recurso a centrifugação, gravidade artificial ou qualquer outra situação de gravidade que não a Microgravidade no seu termo definível²; (7) sem protocolo de treino ou intervenção terapêutica e (8) língua não inteligível para os autores (outra que não inglês ou português).

3.3. Selecção dos estudos

A selecção dos estudos consistiu em quatro etapas desde a identificação dos estudos, passando pela remoção dos duplicados entre cada pesquisa e a aplicação dos critérios de pesquisa em cada fase: leitura do título, do resumo ou do artigo integral. O procedimento pode ser observado na Figura 3.1.

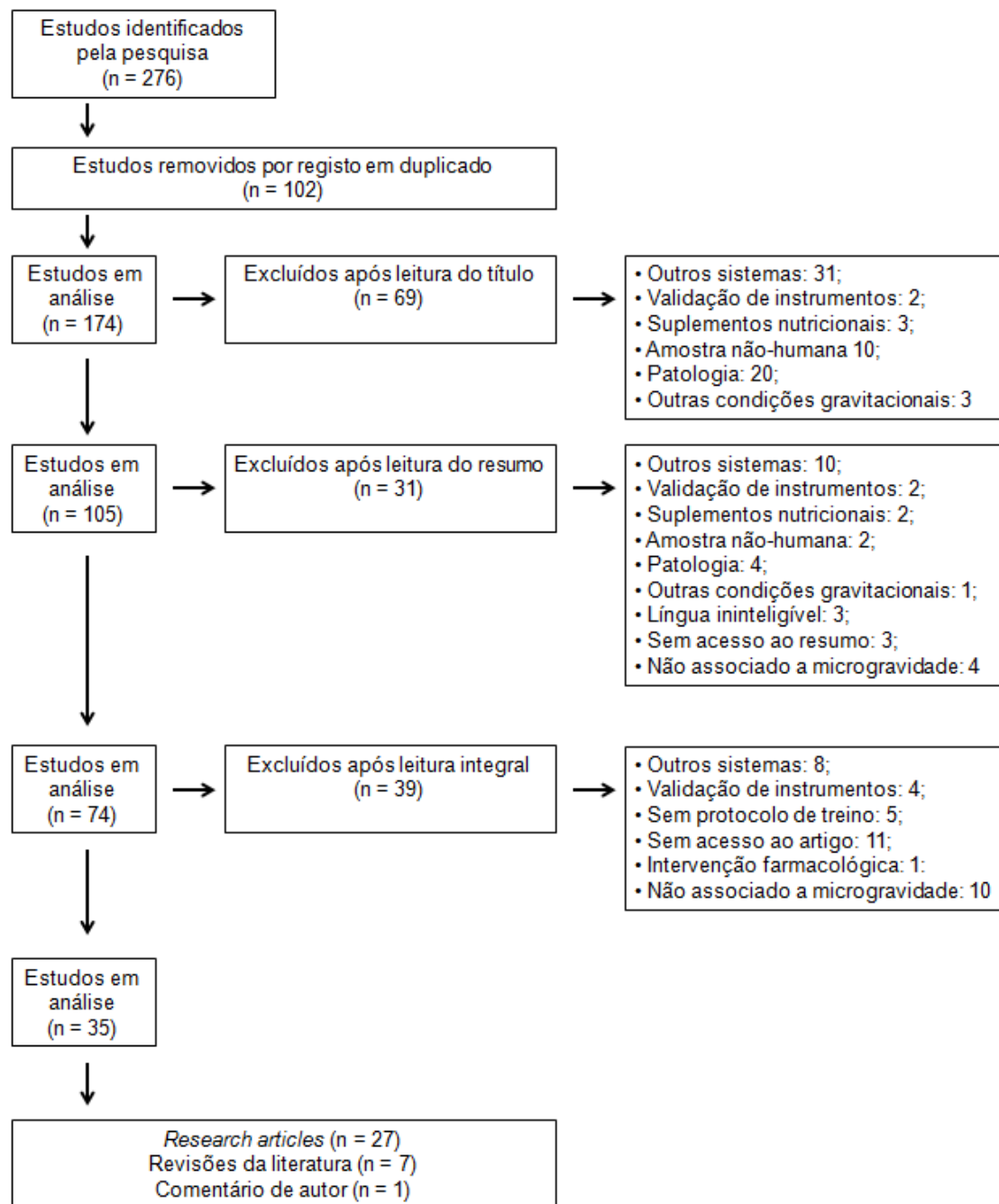


Figura 3.1. Fluxograma de selecção dos estudos.

3.4. Análise da qualidade metodológica dos estudos

A escolha dos instrumentos de avaliação da qualidade metodológica foi conduzida com base no tipo de desenho dos estudos seleccionados. O acesso aos instrumentos foi realizado através da página de *internet* da *University of South Australia* por intermédio do *International Centre for Allied Health Evidence*¹¹⁶, onde foram consultadas as escalas: *Physiotherapy Evidence Database* (PEDro) para estudos experimentais aleatorizados, *McMaster Critical Review Form* para estudos quantitativos e a *Critical Appraisal Skills Program* (CASP) para revisões sistemáticas. A análise dos estudos foi conduzida sempre na presença das linhas orientadoras das escalas. Cada artigo foi analisado individualmente e a ordem de análise foi aleatória e previamente estabelecida.

A escala PEDro (pode ser consultada no Anexo 1) baseada na lista de *Delphi*¹¹⁷, foi utilizada para a avaliação e interpretação dos estudos quantitativos experimentais e aleatorizados. Os critérios identificados na escala dizem respeito, por ordem: (1) se os critérios de elegibilidade estavam presentes; (2) se se procedeu a alocação aleatória; (3) se se procedeu a alocação oculta («concealed allocation»); (4) se existia semelhança intergrupar no início do estudo quanto aos principais indicadores de prognóstico; (5) se os participantes eram cegos quanto à intervenção; (6) se os profissionais que administraram a intervenção eram cegos, i.e. se eram incapazes de distinguir entre os tratamentos aplicados aos grupos; (7) se os profissionais que avaliaram pelo menos uma variável em estudo eram cegos, i.e. se eram incapazes de distinguir os tratamentos aplicados aos grupos; (8) se os resultados de uma variável foram obtidos em mais de 85% dos participantes; (9) se todos os participantes receberam uma condição experimental (i.e. intervenção terapêutica) ou de controlo; (10) se os resultados das comparações estatísticas intergrupais são descritas para, pelo menos, uma variável em estudo e (11) se o estudo apresenta medidas de variabilidade e avalia o grau do efeito da intervenção. A escala PEDro permite obter uma identificação de factores que reportam à força da validade interna (critérios 2-9) e se a informação estatística é satisfatória para que os resultados sejam considerados interpretáveis (critérios 10 e 11), como tal, o seu papel na construção desta revisão sistemática é relevante. Cada critério tem como opção de resposta «sim» («yes», i.e. o critério é cumprido) ou «não» («no», i.e. o critério não é cumprido). A atribuição de pontuação só sucede nos casos indicados pelas linhas orientadoras da escala, i.e. se o critério em causa estava inequivocamente identificado no estudo. Em caso de dúvida,

não era atribuída cotação pelo critério. O primeiro critério da escala não é considerado para o somatório da pontuação final. A atribuição de pontuação final a um estudo, como referem os autores, não permite inferir se as conclusões e tratamentos estudados são clinicamente úteis¹¹⁷.

A escala *McMaster (McMaster Critical Review Form – Quantitative Studies)*¹¹⁶ foi utilizada para avaliação da qualidade metodológica dos estudos quantitativos, não aleatorizados ou sem grupo de controlo (pode ser consultada no Anexo 2). Esta escala assenta em 8 critérios principais: (1) o propósito do estudo; (2) revisão de base da literatura; (3) desenho de estudo; (4) amostra; (5) «outcomes»; (6) intervenção; (7) resultados e (8) conclusões e implicações clínicas. As respostas disponíveis para cada critério são: «sim» (i.e. o critério encontra-se satisfeito), «não» (i.e. o critério não é cumprido), «não aplicável» (i.e. não existe informação suficiente para responder ao critério). Existem critérios com mais do que uma opção de resposta (critérios 4-7). Para o seu preenchimento foram consultadas as linhas orientadoras da escala, que identificavam os procedimentos a tomar para cada opção de resposta.

A qualidade metodológica das revisões de literatura foi avaliada com base na escala *CASP*¹¹⁶ para revisões sistemáticas (pode ser consultada no Anexo 3). A escala é constituída por dez questões: (1) a revisão coloca uma questão bem definida?; (2) o tipo de estudos incluídos pela revisão é o correcto?; (3) os revisores tentaram identificar todos os estudos relevantes?; (4) os revisores avaliaram a qualidade dos estudos incluídos?; (5) se os resultados dos estudos foram combinados, é adequado fazê-lo?; (6) como é que os resultados foram apresentados e qual é o resultado principal?; (7) quão precisos foram esses resultados?; (8) os resultados podem ser aplicados à população local?; (9) todos os resultados importantes foram considerados? e (10) os benefícios do estudo superam os seus custos, i.e. a prática deve-se alterar como resultado da evidência reunida nesta revisão?. As duas primeiras questões informam se a continuidade da avaliação é adequada ou não. As questões 6, 7 e 10 são de resposta aberta. As questões podem ser respondidas com um «sim» (i.e. o critério é satisfeito), «não» (i.e. o critério não é satisfeito) ou «não aplicável» («can't tell», i.e. não existe informação suficiente para classificação). Por uma questão de simplificação, estes códigos de resposta também foram utilizados para as questões de resposta aberta, sendo qualquer comentário adicional sobre estes critérios oportunamente remetido para a descrição narrativa dos resultados. Para o preenchimento da escala foram utilizadas as normas orientadoras disponíveis no próprio instrumento. A utilização desta escala deve ter em consideração que a mesma

é direccionada para revisões sistemáticas, enquanto as revisões encontradas são revisões de literatura. Contudo, não foram encontradas escalas que permitissem avaliar a qualidade metodológica das revisões de literatura, pelo que foi decidido conduzir a sua avaliação através da escala CASP.

Não se procedeu à atribuição de pontuação aos artigos avaliados pela escalas *McMaster* e CASP devido à inexistência de um sistema de atribuição das mesmas¹¹⁶.

Uma publicação de comentário de autor («author manuscript»)⁸⁷ também foi incluída nesta revisão sistemática sendo a sua qualidade metodológica avaliada de modo descritivo, em termos do seu conteúdo: se os dados em que o autor se baseia são relevantes e adequam-se ao que tem sido realizado na área, se o estudo pauta pelo rigor científico e se confere importância para o desenvolvimento de estudos futuros.

3.5. Extracção de dados

Os dados de cada estudo foram introduzidos numa tabela *Microsoft Word*, criada para organizar os artigos por temas e orientar a extracção de dados. A informação foi organizada quanto ao nome do primeiro autor, data de publicação, tamanho da amostra e género dos participantes, se o estudo era de voo espacial ou de acamamento e em relação ao tipo de treino e suas características (frequência, intensidade, tempo de duração, tempo dedicado a pausas). Outros dados como os exercícios específicos, resposta muscular diferencial resultante do programa de treino, sintomatologia associada ao treino ou a contribuição de outros factores para a resposta muscular (como alterações ao nível das fibras, proteínas contrácteis ou factores neuromusculares) também foram registados.

4. Resultados

4.1. Avaliação da Qualidade Metodológica dos estudos

Os quadros seguintes apresentam a avaliação da qualidade metodológica dos estudos, conforme descrita pela secção anterior.

Quadro 4.1. Resultados da aplicação da escala PEDro

Publicação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	T
Belavý et al. (2010)	s	s	n	s	n	n	s	s	s	s	s	7/10
Belavý et al. (2009) b	s	s	n	s	n	n	n	s	s	s	s	6/10
Belavý et al. (2008)	s	s	n	s	n	n	n	s	s	s	s	6/10
Blottner et al. (2006)	s	s	n	n	n	n	n	s	s	s	s	5/10
Buehring et al. (2011)	s	s	n	s	n	n	n	s	s	s	s	6/10
Hides et al. (2011)	s	s	n	s	n	n	s	s	s	s	s	7/10
Lemoine et al. (2009)	s	s	n	n	n	n	n	s	s	s	s	5/10
Macias et al. (2007)	s	s	n	n	n	n	n	s	s	s	s	5/10
Mendis et al. (2009)	s	s	n	s	n	n	n	n	s	n	s	4/10
Miokovic et al. (2011)	s	s	n	s	n	n	s	n	s	s	s	6/10
Moriggi et al. (2010)	s	s	n	n	n	n	n	s	s	s	s	5/10
Mounier et al. (2008)	s	s	n	s	n	n	n	s	s	s	s	6/10
Mulder et al. (2009) a	s	s	n	s	n	n	n	s	s	s	s	6/10
Mulder et al. (2009) b	s	s	n	s	n	n	s	s	s	s	s	7/10
Mulder et al. (2007)	s	s	n	s	n	n	n	s	s	s	s	6/10
Mulder et al. (2006)	s	s	n	n	n	n	n	s	s	s	s	5/10
Rittweger et al. (2009)	s	s	n	s	n	n	n	s	s	s	s	6/10
Rittweger et al. (2007)	s	s	n	s	n	n	n	s	s	s	s	6/10
Salanova et al. (2008)	s	s	n	n	n	n	n	s	s	s	s	5/10
Trappe et al. (2008)	s	s	n	s	n	n	n	s	s	s	s	6/10
Trappe et al. (2007) a	s	s	n	s	n	n	n	n	s	s	s	5/10
Trappe et al. (2007) b	s	s	n	s	n	n	n	s	s	s	s	6/10

Legenda: n, «não»; s, «sim»; (1) presença de critérios de elegibilidade; (2) alocação aleatória; (3) alocação oculta («concealed allocation»); (4) semelhança intergrupar no início do estudo quanto aos principais indicadores de prognóstico; (5) participantes cegos quanto à intervenção; (6) os profissionais que administraram a intervenção eram cegos, i.e. não conseguiam distinguir entre os tratamentos aplicados aos grupos; (7) os profissionais que avaliaram pelo

menos uma variável em estudo eram cegos, i.e. não conseguiam distinguir entre os tratamentos aplicados aos grupos; (8) obtenção de resultados em pelo menos uma variável em mais de 85% dos participantes; (9) todos os participantes avaliados receberam a intervenção ou condição de controlo; (10) os resultados das comparações estatísticas intergrupais são descritas para, pelo menos, uma variável em estudo e (11) o estudo apresenta medidas de variabilidade e avalia o grau do efeito da intervenção.

Da aplicação da escala PEDro verifica-se que a maioria dos estudos obtém uma pontuação final de 5 a 7. Os critérios de elegibilidade (critério 1) estão presentes em todos os estudos. O mesmo sucede com a alocação aleatorizada (critério 2) mas não com alocação «oculta», «concealed allocation» (critério 3), uma vez que os estudos não referem se os investigadores que determinaram se um participante podia ou não ser incluído no estudo, tinham conhecimento ou estavam, ou não, presentes no momento em que esses participantes foram alocados. Nem todos os estudos apresentam dados suficientes sobre as variáveis no momento inicial do estudo (critério 4). Nenhum dos estudos teve participantes e profissionais cegos quanto ao facto de não conseguirem distinguir as intervenções entre si (critério 5 e 6, respectivamente) e apenas quatro^{25,28,58,61} referem que os profissionais auxiliares não conseguiam distinguir os indivíduos quanto à sua colocação nos grupos (critério 7). A maioria dos estudos, à excepção de três^{8,25,97}, obtém resultados de uma variável em estudo em pelo menos 85% dos participantes (critério 8). Em todos os estudos avaliados, os participantes foram alocados em grupos experimentais ou de controlo (critério 9). Estes critérios (2-9) permitem-nos ter uma noção da força da validade interna dos estudos segundo a escala PEDro¹¹⁷ – verifica-se que os critérios 3,5 e 6 nunca são cumpridos pelos estudos. Todos os estudos apresentam os resultados das comparações intergrupais (critério 10), à excepção de um⁸, em que não se produziu o efeito de grupo. A totalidade dos estudos apresenta medidas de variabilidade e procede à avaliação do grau do efeito da intervenção (critério 11). Com base nos critérios 10 e 11 da escala PEDro¹¹⁷ afirma-se que os estudos possuem informação estatística suficiente na generalidade para permitir a interpretação dos seus dados.

Quadro 4.2. Resultados da aplicação da escala *McMaster*

Publicação	1	2	3	4	5	6	7	8
Belavý et al. (2009) a	s	s	CS	s;n	s;s	n/a;n/a;n/a	s;s;s;s	s
Fitts et al. (2010)	s	s	BA	s;n	s;s	s;n/a;n/a	s;s;n/a;s	s
Gopalakrishnan et al. (2010)	s	s	BA	s;n	s;s	s;n/a;n/a	n;s;s;s	s
Haus et al. (2007)	s	s	CC	s;s	s;s	s;s;n/a	s;s;s;s	s
Trappe et al. (2009) a	s	s	BA	s;s	s;s	s;n/a;n/a	s;s;s;s	s

Legenda: n, «não»; n/a, «não aplicável»; s, «sim». (1) propósito do estudo; (2) revisão de literatura; (3) desenho de estudo; (4) amostra; (5) *outcomes*; (6) intervenção; (7) resultados; (8) conclusões e implicações clínicas. BA – *before-after design*; CC – *case control design*; CS – *case study design*.

Na generalidade, os estudos analisados cumprem os critérios da escala *McMaster*. Todos os estudos identificam o propósito de estudo (critério 1) e realizam uma revisão relevante da literatura (critério 2). Os estudos são identificados pela escala de acordo com o seu desenho (critério 3): os estudos realizados em voo espacial^{14,15,98} são identificados como *before-after design*, uma vez que envolvem um grupo de indivíduos expostos a um ambiente e sujeitos a um programa de treino onde os «outcomes» são avaliados antes e após a exposição (não existindo grupo de controlo). Um estudo²⁹ foi designado como *case study design*, uma vez que segue os participantes em Microgravidade e analisa as alterações de variáveis musculares, sugerindo possíveis relações com a preservação das características musculares e a realização de exercícios específicos. Outro estudo⁴⁴ foi designado como *case control design* por comparação de grupos. Os estudos descrevem a amostra com detalhe (a excepção é a ausência de justificação para o tamanho da amostra^{14,29,98}) (critério 4), os «outcomes» e a sua medição são considerados adequados e credíveis em cada um destes estudos (critério 5). A intervenção (quando presente) é descrita em detalhe (embora alguns estudos não sejam suficientemente claros quanto à existência de vieses no processo de intervenção^{29,44,98}) (critério 6). Os resultados são descritos em termos da sua significância estatística, o que reforça a interpretação dos dados (à excepção de um⁹⁸). Os métodos de análise descritos pelos autores são adequados aos estudos conduzidos, com uma escolha correcta dos instrumentos de medição de «outcomes» e de um «timing» de registo de dados adequado às necessidades e que tem em consideração potenciais vieses (critério 8)⁹⁸, sendo o registo de «drop-outs»

também claro (critério 7). As implicações clínicas são descritas com rigor pelos autores (critério 8).

Quadro 4.3. Resultados da aplicação da escala CASP

Publicação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Bajotto et al. (2006)	s	n/a	n/a	n	n/a	n/a	n/a	s	n	c
Glover et al. (2010)	s	n/a	n/a	n	n/a	n/a	n/a	s	s	s
Hackney et al. (2011)	s	n/a	n/a	n	s	n/a	n/a	s	s	s
Layne et al. (2008)	s	n/a	n/a	n	n/a	n/a	n/a	s	s	s
Lee et al. (2010)	s	n/a	n/a	n	n/a	n/a	n/a	s	s	s
Narici et al. (2010)	s	n/a	n/a	n	s	n/a	n/a	s	s	s
Pavy-Le Traon et al. (2007)	s	n/a	n/a	n	n/a	n/a	n/a	s	s	s

Legenda: n, «não»; n/a, «não aplicável»; s, «sim». (1) questão de partida definida; (2) adequação do tipo de estudos incluídos à revisão; (3) todos os estudos relevantes foram identificados; (4) a análise da qualidade dos estudos foi realizada; (5) é adequado combinar os resultados; (6) apresentação dos resultados; (7) precisão dos resultados; (8) aplicação dos resultados à população local; (9) consideração de todos os resultados importantes; (10) contribuição do estudo para a prática.

Todos os estudos colocam uma questão de partida explícita (em termos de população em estudo, intervenção/exposição e de «outcomes») (questão 1). As revisões encontradas não demonstram indicações suficientes de como os autores recolheram os dados (e.g. bases de dados consultadas), o que impede de afirmar se os revisores tentaram identificar todos os estudos publicados na área (questão 3). Não podendo identificar se os autores destas revisões incluíram todos os estudos relevantes, não é possível avaliar se estas revisões incluíram estudos adequados à pergunta colocada pela revisão (questão 2). Nenhuma das revisões consultadas apresenta uma análise da qualidade metodológica (questão 4). A maioria dos estudos não apresenta os resultados encontrados de modo claro^{22,30,118-120} (questão 5). As questões 6 e 7 reportam para critérios estatísticos de apresentação e tratamento de dados. As revisões consultadas^{22,30,32,39,118-120} não apresentam tratamento estatístico dos dados pelo que estas questões não podem ser respondidas. A generalização dos resultados às populações é possível (questão 8) e a maioria dos estudos^{22,30,32,39,119,120}

abordou todos os «outcomes» importantes (questão 9). A evidência contida nestes estudos tem um impacto importante na área (questão 10), à excepção de um¹¹⁸.

A publicação de comentário de autor («author manuscript»)⁸⁷ encontra-se baseada numa rigorosa e actualizada revisão da literatura e o estudo encontra-se devidamente estruturado e fundamentado. A reflexão é clara e as informações são apresentadas com rigor científico. O estudo aponta evidência consistente com base em estudos anteriores.

4.2. Resultados da resposta muscular ao treino

Seguidamente, iremos apresentar os resultados encontrados da resposta muscular aos programas de treino em acamamento e voo espacial.

4.2.1. Programas de treino nos estudos de acamamento

Os estudos de acamamento têm por base programas de recolha de dados. Alguns estudos partilham entre si o mesmo programa. Estes são: (1) o *Berlin Bed Rest study* (BBR)^{7,8,20,21,24,46,79,83,121}; (2) o segundo *Berlin Bed Rest study* (BBR-2)^{25,28,58,61}; (3) o estudo do *Institute de Médecine et de Physiologie Spatiales* (MEDES)^{26,27,73,89,97,103} e (4) o *Long-term male bed rest* (LTBR)^{33,44,122}. Outro estudo foi realizado na *University of California em San Diego*¹²³. Um estudo comparou os resultados obtidos entre o estudo LTBR com os de outro estudo de suspensão unilateral do membro inferior, que apresenta um programa de treino com as mesmas características do LTBR⁴⁴.

A resposta ao treino em ambos os géneros é estudada de forma separada, existindo apenas um estudo que inclui indivíduos de ambos os géneros¹²³. Os participantes são indivíduos saudáveis (sem hábitos tabágicos) com um nível de actividade física ao nível do indivíduo comum, não se tratando de indivíduos condicionados^{7,8,20,21,24-28,33,44,46,61,73,79,89,97,103,121-123}. Em alguns estudos a actividade física quotidiana foi avaliada^{58,103} e esse dado foi considerado na alocação dos participantes, procurando uma distribuição proporcional dos indivíduos com o mesmo nível de actividade física⁸³ pelo grupo experimental e de controlo.

Os equipamentos utilizados para o treino nestes estudos, permitem a manutenção do protocolo rigoroso de acamamento^{21,24,25,46,58,65,83,124} e são: (1) o «flywheel», um ergómetro que produz inércia, fornecendo resistência durante as contracções

excêntrica e concêntrica, permitindo o desenvolvimento de uma força de pico durante a contração excêntrica, o que contribui para a hipertrofia muscular através da remodelação muscular¹²⁵; (2) o «Galileo Space» (Novotec Medical, Pforzheim, Alemanha) é um equipamento que pode ser utilizado para treino de *resistance* associado à vibração (RV)^{8,24,28,46,58,79,83}. Consiste numa plataforma de vibração, na posição vertical, acoplada a um «trolley» que permite que o indivíduo assuma a posição de decúbito dorsal^{21,24,25,46,58,83}. A distância do participante à plataforma de vibração e a altura da mesma são ajustadas individualmente⁵⁸. A carga é aplicada quando o participante move o «trolley» da plataforma contra uma resistência aplicada por um compressor⁵⁸. Uma força elástica até ~2 vezes o peso corporal é fornecida através de cintas elásticas aplicadas ao nível da cintura escapular, cintura pélvica e ao nível das mãos, a força resistida aplicada pelos elásticos tem como objectivo corresponder a 75-85% de uma repetição máxima (1-RM) individual^{7,8,24,79,83}. A plataforma vibratória gera esta força através da rotação excêntrica de duas massas posicionadas debaixo de cada pé por modo a que o membro inferior esquerdo seja acelerado na direcção cefálica enquanto o membro inferior direito se encontra em extensão (por exemplo)²⁴. Como a frequência de vibração é pré-determinada, a aceleração e a força de resistência aumentam com a mesma. A amplitude desta vibração resulta da aceleração da plataforma e da força de resistência da extensão do membro inferior²⁴; (3) a passadeira «low body negative pressure» (LBNP) consiste numa câmara de pressão negativa aplicada aos membros inferiores, que contém uma passadeira orientada na posição vertical. O participante coloca os membros inferiores dentro da câmara, sendo esta selada, mantendo o decúbito dorsal e a inclinação cervical durante o treino¹²³. A passadeira LBNP produz uma força de reacção ao solo igual à massa corporal do participante¹²⁶ sendo este fixado ao equipamento através de cintas elásticas colocadas ao nível da cintura escapular¹²⁶. A passadeira LBNP permite obter respostas cardiovasculares e musculares semelhantes ao exercício em posição ortostática no espaço¹²⁶⁻¹²⁹.

A descrição dos programas de treino em acamamento quanto às suas características (tipo de treino, equipamento utilizado, número total de sessões, frequência de treino, exercícios específicos e intensidade do treino), durante o período de exposição à Microgravidade, pode ser encontrada no quadro 4.4.

Quadro 4.4. Características dos Programas de Treino nos estudos de Acamamento

Programa	A	D	TT	E	S	F	EE	IT
BBR	20(H)	56	RV	<i>Galileo Space</i>	89	Bidiária	SQ, HR, TR, ES	~75-85% de 1 RM
BBR-2	24(H)	60	R, RV	<i>Galileo Space</i>	25	3d/sem	SQ, HR uni e bilateral, BE	~75-80% de 1 RM
MEDES	24(M)	60	R+A	<i>Flywheel + Passadeira</i>	R: 19 A: 29	R:2-3d/sem A: 2-4d/sem	SQ, CP	R: 70-100% de 1 RM A:40-80% VO _{2 pico}
LTBR	25(H)	90	R	<i>Flywheel</i>	29	2-3d/sem	SQ,CP	70-100% de 1 RM
UCSD	30 (16H, 14M)	28	A	Passadeira	30	6d/sem	n/a	40-80% VO _{2 pico}

Legenda: (A) Amostra (Género); (D) Duração (dias); (TT) Tipo de treino; (E) Equipamento utilizado; (S) Número total de sessões; (F) Frequência de treino; (EE) Exercícios específicos; (IT) Intensidade de treino. A, treino aeróbio; BBR, *Berlin bed rest study*; BBR-2, *2nd Berlin bed rest study*; BE, «back extension»; CP, «calf press»; d, dia; ES, «explosive squat»; H, Homem; HR, «heel raise»; M, Mulher; MEDES, ensaio do *Institute de Médecine et de Physiologie Spatiales*; n/a, não aplicável; LTBR, *Long-term male bed rest*; UCSD, ensaio da *University of California at San Diego*; R, treino de *resistance*; RM, repetição máxima; RV, treino de *resistance* associado a vibração; sem, semana; SQ, «squat»; TR, «toe raise»; VO_{2 pico}, consumo de oxigénio de pico.

No estudo do BBR, o protocolo de treino era realizado de modo bidário (à exceção dos domingos e tardes de quarta-feira) sendo aplicada uma força equivalente a duas vezes o peso corporal e na parte da tarde, 60-80% da força aplicada nas sessões da manhã, em cada exercício. Os exercícios utilizados pelos autores são descritos como: «squats», «heel raise», «toe raises» e «explosive kicks» (estes últimos realizados apenas nas sessões da manhã). Cada exercício tem uma duração de pelo menos 60 segundos sem pausa^{7,8,20,21,24,79,83,96,121}. O «squat» é um exercício de extensão activa do joelho em que a posição de partida é a flexão do joelho a 90° e a final, a extensão quase completa do joelho num ciclo de 6 segundos (s) de treino contínuo, durante 60 s no mínimo e uma frequência de vibração entre 18-24 Hz. Este exercício foi adaptado de modo a que se atingisse sempre a exaustão entre os 60 e os 100 s (correspondente a 10 a 17 repetições). O «heel raise», ou exercício de flexão plantar, inicia-se com os joelhos em extensão quase completa e progride para flexão plantar durante o tempo máximo que os indivíduos possam suportar, i.e. até fadiga (limitado a um máximo de 40 s), a frequência de vibração utilizada é de 26 Hz. O «toe raise», ou exercício de flexão dorsal, inicia-se com os joelhos em extensão completa e o pé progride para dorsiflexão (até um máximo de 40 s), com uma frequência de vibração de 26 Hz. Os «explosive kicks», exercícios de flexão plantar com extensão do tronco, partiram de uma posição de flexão em cadeia do membro inferior para extensão, com dez repetições. A progressão era feita com o aumento da vibração, caso os participantes conseguissem realizar mais do que 100 s de exercício. A duração de cada sessão foi de 30 minutos (min), com 4-6 min de exercício puro. Os períodos de descanso entre exercícios foram inferiores a 5 s.

No estudo do BBR-2, existiam dois grupos experimentais (treino de *resistance* e treino de *resistance* associado a vibração, RV). O equipamento que permitia a vibração foi desligado no grupo de treino de *resistance*, sendo esta a única diferença entre os dois grupos^{25,28,58,105}. O treino consistiu em «squat», com flexão de joelho entre 90.º e 10.º, a 75-80% de 1-RM, determinada antes do acamamento. O nível de força aumentado em 5% a partir da terceira sessão até o participante não conseguir realizar mais do que 8 repetições, com uma frequência de vibração de 20-24 Hz. Se o participante conseguisse realizar mais de 10 repetições em duas sessões consecutivas, a força era aumentada 5%. Se o participante não conseguisse realizar, com sucesso, 6 repetições em duas sessões consecutivas, o nível de força era reduzido em 5%. Após este exercício foi realizada uma pausa de 5 min, seguida por 3 *sets* de «heel raise» unilateral (força a 1,3 vezes o peso corporal) e bilateral (1,8 vezes

o peso corporal), ambos com frequência de vibração de 26 Hz. Os exercícios eram realizados o mais rapidamente possível e até à exaustão (conseguida em 30-50 s). Se o indivíduo conseguisse realizar o exercício em mais de 50s (55 s no exercício bilateral) a carga era aumentada 5%, se não conseguisse realizar o exercício durante 30 s (40 s no exercício bilateral), a carga era diminuída 5%. A pausa entre cada *set* de exercícios unilaterais foi de 90 s; entre o exercício uni e bilateral, 4 min; e após o exercício bilateral, 2 min. No final, foi conduzido um exercício isométrico para extensão do membro inferior durante 60 s, com apoio de calcanhar. A carga aplicada neste exercício foi de 1,5 vezes o peso corporal e a frequência de vibração, 16 Hz, sem progressão. Este exercício tinha como objectivo trabalhar os extensores da coluna e da anca e os dorsiflexores⁵⁸.

No estudo do instituto MEDES, a componente de *resistance* do treino consistiu em exercícios de «squat» (4 *sets* de 7 repetições) e «calf press», i.e. flexão plantar (4 *sets* de 14 repetições), com contracções máximas concêntrica-excêntrica (sem intervalo entre ambas). A pausa entre *sets* foi de 2 min e entre exercícios de 5 min. A componente de treino aeróbio consistiu em 40 min de exercício, seguidos de 10 min de descanso. O exercício aeróbio foi conduzido de acordo com um protocolo de intervalo³, com intensidade de treino a 40-80% do VO_2 pico prescrita de acordo com uma relação linear entre a velocidade da passadeira e o consumo de oxigénio (previamente determinado)^{26,27,73,89,97,103}.

No estudo do LTBR, o protocolo de *resistance* é idêntico ao já descrito para o ensaio MEDES^{33,44,122}. No estudo UCSD utilizou-se um protocolo de treino aeróbio semelhante ao descrito no ensaio realizado pelo MEDES¹²³.

Todos os programas de treino incluem uma fase de aquecimento, de duração entre 5-10 min, e foram supervisionados por pessoal especializado^{44,96,97,105,122,123}.

4.2.2. Programas de treino nos estudos de voo espacial

Os estudos de voo espacial têm uma duração de ~180 dias^{14,15,98}, tendo dois dos estudos analisado 10 participantes^{14,15} e outro 4⁹⁸, a informação quanto ao género não foi disponibilizada em nenhum dos estudos. Existem programas de treino, de duração de vários meses¹⁰, que antecedem o voo espacial^{15,98}, pelo que os astronautas possuem um nível de condicionamento superior ao indivíduo comum¹⁰. Contudo, não foi possível aceder aos programas de preparação para o voo espacial.

Nos programas de treino conduzidos durante o voo espacial, os tripulantes têm acesso a passadeira (*Treadmill vibration isolation system*) e dois cicloergómetros (*Cycle ergometer with vibration isolation system* e o *Velo*)^{14,15,98} e um equipamento para treino de *resistance*, o iRED (*interim Resistive Exercise Device*)^{14,98}. O tempo programado de treino era de 2,5 horas por dia, 6-7 dias por semana. Foi permitida a preferência individual na escolha do equipamento de treino aeróbio^{14,15}. Durante a realização de exercícios no iRED («squats» uni e bilaterais, «heel raises» uni e bilaterais, e exercícios de levantamento de cargas, «dead lifts») estava previsto que cada exercício fosse conduzido com 3-6 sets de 12-20 repetições^{14,15}.

Apesar destas linhas orientadoras, a utilização dos equipamentos variou fortemente entre tripulantes e durante o decurso da missão^{14,15,98}: o número de sessões no cicloergómetro variou entre 53-165 e na passadeira, 39-98. A média do tempo de treino no cicloergómetro foi de 138 min por semana e de 146 min por semana na passadeira. A passadeira foi utilizada tanto no modo activo como passivo, i.e. desligada, dependendo do critério de cada indivíduo¹⁴. O iRED foi utilizado 3-6 dias por semana, dentro dos números sets e repetições previstos, mas houve excepções, como demonstrado pela variação no número de sessões (92-163)^{15,98}.

Registou-se uma média de 20 840 contracções musculares (amplitude: ~10 000-31 948) durante ~180 dias de missão^{14,15}. O treino aeróbio com cicloergómetro (90 rpm) permitiu 159 238 contracções concêntricas por membro inferior (amplitude: 66 825-346 320) e a passadeira (150 passos/min), 281 483 contracções por membro inferior (amplitude: 55 200-608 400)^{14,15}. A média de contracções musculares realizadas por cada membro inferior durante o voo espacial foi de 436 894±82 894. O exercício foi realizado em mais de 85% dos dias de missão espacial e o tempo total dedicado ao treino de *resistance* foi de ~23h e para o treino aeróbio foi de ~120h em ~180 dias de missão. O tempo total dedicado ao exercício abordo da estação espacial internacional corresponde a ~3,4% do tempo total de voo espacial^{14,15}.

4.2.3. Programa de Reabilitação pós-exposição

Dos estudos seleccionados, apenas um⁶¹ incidiu sobre o período de pós-exposição à Microgravidade através da aplicação de dois programas de reabilitação. Os participantes são os mesmos do estudo BBR-2, havendo uma distribuição proporcional dos elementos dos grupos experimental e de controlo do BBR-2 em cada programa de reabilitação⁶¹. Os programas utilizados foram: (1) treino de controlo motor

específico («specific motor control training program») e (2) treino de flexão do tronco e de fortalecimento global («trunk flexor and general strength»). O primeiro programa consistiu no retreino funcional, em posição ortostática, para desenvolvimento de endurance dos abdominais profundos e músculos da coluna. A progressão envolveu trabalho com inclinação frontal, treino de «sit-to-stand» e exercícios de flexão dos joelhos em cadeia fechada. A progressão é realizada através de «theraband» e recurso a uma «flexi-bar» para treino de endurance muscular progressiva⁶¹.

O programa de treino de flexão do tronco e de fortalecimento global envolve exercícios de fortalecimento do tronco na posição de decúbito dorsal: «sit-ups», «sit-ups» em diagonal, extensão do membro inferior («leg lifts») uni e bilaterais com recurso a «theraband». O objectivo era trabalhar os flexores do tronco e da anca e extensores lombares em co-contracção. Referem que outros músculos (quadrado lombar, abdutores e adutores da anca, músculos da cintura escapular, bíceps e tríceps braquiais) também foram fortalecidos⁶¹, não referindo quais os exercícios utilizados. Os alongamentos musculares foram direccionados para os ísquio-tibiais, tríceps sural, peitoral maior e menor, bíceps e tríceps braquiais. A progressão do treino foi realizada pelo aumento do número de exercícios por set e pelo aumento do tempo de sustentação das cargas para trabalho de endurance.

Vários estudos também analisaram a resposta muscular após exposição a Microgravidade, verificando a recuperação muscular após acamamento em indivíduos que retomaram a marcha de modo independente^{8,20,25,33,46,122}. A maioria dos estudos deu seguimento ao período de acamamento acompanhando os indivíduos em «follow-up»^{8,20,25,33,46}, havendo outro estudo que incidiu sobre o período de recuperação, mas tendo por base indivíduos do ensaio LTBR¹²².

Os resultados da resposta muscular relativa aos estudos consultados de voo espacial e de acamamento estão apresentados no quadro 4.5. (consultar Apêndice 1, para um quadro mais descritivo). Por uma questão de apresentação, o estudo⁶¹ sobre a eficácia dos programas de reabilitação pós-exposição a Microgravidade foi incluído juntamente com os estudos do BBR-2. De modo semelhante, o estudo sobre a recuperação muscular que teve por base os indivíduos do ensaio LTBR foi inserido com os estudos dessa categoria¹²².

Quadro 4.5. Resultados da resposta muscular em Microgravidade

Publicação	Principais Resultados
Voo Espacial	
Fitts et al. (2010)	↓ \emptyset , AS, P ₀ , v ₀ das fibras tipo I e II do Sol e Gém (excepção ↑ v ₀ das fibras tipo II do Sol)
Gopalakrishnan et al. (2010)	↓VM Sol, gêmeo interno, DF, Q, Isq-tb, adutores da anca; ↓CMV isométrica dos FP, DF, Q, Isq-tb, extensores da anca, flexores anca; ↓Trabalho total; ↑Fadiga Q
Trappe et al. (2009) a	↓VM, CMV isocinética dos FP; ↓expressão das fibras tipo I do Sol. e Gém; ↑expressão das fibras tipo I/IIa dos Gém. e tipos híbridos do Sol
Acamamento – BBR	
Belavý et al. (2009) b	Controlo: ↓VM Q, Isq-tb, FP, adutores da anca Treino: ↓VM Isq-tb, = VM Q, FP, adutores da anca
Belavý et al. (2008)	Controlo: ↓AS MCE, ↑AS Psoas Treino: Redução da atrofia do MCE, ↑AS Psoas
Blottner et al. (2006)	Controlo: ↓CMV isométrica dos FP; ↑expressão das fibras tipo II do Sol, = tipo I do Sol e tipo I e II do VE Treino: = CMV isométrica dos FP; = expressão das fibras tipo I e II do Sol e VE
Buehring et al. (2010)	Controlo: ↓CMV isométrica dos FP; ↓P _{pico} ; ↓H _{salto vertical} Treino: = CMV isométrica dos FP; redução da diminuição da P _{pico} e H _{salto vertical}
Mendis et al. (2009)	Data Pooled: = AS Ilíaco, ↓AS Psoas, Tensor Fáschia Lata, ↑AS Recto Anterior
Moriggi et al. (2010)	Controlo: ↓AS VE, Sol; ↑ expressão das fibras tipo I do VE, ↓IIa do VE e do Sol, ↑IIx do VE, I Sol, = tipo IIx do Sol Treino: = AS VE, Sol; ↓ expressão das fibras tipo I do VE e do Sol, ↑IIa do VE e do Sol = IIx do VE e do Sol
Mulder et al. (2009) a	Controlo: ↓CMV isométrica Q ; = RMS; ↓EMG med freq, ↓MFCV Treino: redução da diminuição da CMV isométrica Q ; ↑RMS; = EMG med freq; = MFCV
Mulder et al. (2007)	Controlo: ↓CMV isométrica Q; ↑sEMG ampl Q; ↑ Fadiga Q Treino: redução da diminuição da CMV isométrica Q; ↑sEMG ampl Q; = Fadiga Q

Mulder et al. (2006) **Controlo:** ↓ AS, CMV isom Q ; = activação voluntária neural Q
Treino: = AS, CMV isométrica, activação voluntária neural Q;

Acamamento – BBR-2

Belavý et al. (2010) **Controlo:** ↓AS MCE, MSIL, quadrado lombar, ↑AS Psoas
Treino: redução da diminuição da AS MCE, MSIL, quadrado lombar, ↑AS Psoas

Hides et al. (2011) **Treino 1:** = AS MCE e Psoas
Treino 2: = AS MCE e Psoas, excepção: nível vertebral L1 com ↑AS Psoas

Miokovic et al. (2011) **Controlo:** ↓VM LPBC, PPBC, Semi-membranoso, Semi-tendinoso, Médio glúteo
Treino: redução da diminuição do VM, LPBF, PPBF, Semi-membranoso, semi-tendinoso, médio glúteo

Mulder et al. (2009) b **Controlo:** ↓AS e CMV isométrica do Q e dos FP; = activação neural Q e FP
Treino: = AS, CMV isométrica, activação neural Q; ↓AS e CMV isométrica dos FP, = activação neural FP

Acamamento – MEDES

Lemoine et al. (2009) **Controlo:** = Concentrações proteicas musculares
Treino: = Concentrações proteicas musculares

Mounier et al. (2008) **Controlo:** ↓ \emptyset , P_0 das fibras tipo I e II do VE e Sol
Treino: diminuição das reduções do \emptyset , P_0 das fibras do tipo I e II do VE e Sol, (excepções: ↑ \emptyset das fibras do tipo II do VE, ↑ P_0 das fibras dos tipos I e II Sol e II do VE)

Salanova et al. (2008) **Controlo:** ↓AS das fibras do tipo I e II do VE e Sol
Treino: ↑AS das fibras tipo I e II do VE, = AS das fibras tipo I e II do Sol

Trappe et al. (2008) **Controlo:** ↓ \emptyset , P_0 , P_{pico} das fibras tipo I e IIa do Sol, ↑ $v_{m\acute{a}x}$ das fibras tipo I e IIa do Sol
Treino: redução das diminuições: \emptyset , P_0 , P_{pico} nas fibras tipo I do Sol, ↑ \emptyset , P_0 , P_{pico} das IIa e ↑ $v_{m\acute{a}x}$ das I e II do Sol

Trappe et al. (2007) a **Controlo:** ↓VM, CMV isométrica Q e FP
Treino: = VM Q, ↓VM FP; = CMV isom Q, FP

Trappe et al. (2007) b	Controlo: ↓ Ø, P ₀ das fibras tipo I, IIa, IIa/IIx do VE Treino: = Ø, P ₀ das fibras tipo I, IIa, IIa/IIx do VE (excepção: ↓P ₀ das fibras tipo I do VE)
Acamamento – LTBR	
Haus et al. (2007)	Controlo: ↓VM VE e Sol, = Concentrações proteicas do VE e Sol Treino: ↑ VM VE, = Concentração proteica do VE
Rittweger et al. (2009)	Recuperação do VM FP
Rittweger et al. (2007)	Controlo: ↓P _{pico} ; ↓H _{salto vertical} Treino: diminuição da redução da P _{pico} e H _{salto vertical}
Acamamento – UCSD	
Macias et al. (2007)	Controlo: ↓CMV isométrica flexão do tronco Treino: redução da diminuição da CMV isométrica de flexão do tronco

Legenda: ↓, redução; ↑ incremento; =, sem alterações estatisticamente significativas; Ø, diâmetro; A, treino aeróbio; AS, área seccional; BBR: *Berlin Bed Rest study*; BBR-2: segundo *Berlin Bed Rest study*; CMV, contracção máxima voluntária; DF, dorsiflexores; EMG, electromiograma; FP, flexores plantares; Gém, gêmeos; H_{salto vertical}, altura do salto vertical; Isq-tb, isquio-tibiais; LPBC, longa porção do bicípete crural; LTBR: *Long-term male bed rest*; MCE, músculo complicado da espinha; MEDES: *Institute de Médecine et de Physiologie Spatiales*; MFCV, velocidade de condução das fibras musculares; MSIL, músculo sacro-ílio-lombar; P₀, força isométrica de pico; P_{pico}, potência de pico; PPBC, pequena porção do bicípete crural; Q, quadricípete crural; R, treino de *resistance*; RMS, *root median square* RV, treino *resistance* + vibração; Sol, solhar; Treino 1: treino de controlo motor específico; Treino 2: treino de flexão do tronco e de fortalecimento global; UCSD, *University of California at San Diego*; v₀, velocidade de encurtamento máxima; VE, vasto externo; VM, volume muscular.

A recolha de dados para medição destas variáveis é determinada através dos seguintes equipamentos: ressonância magnética para determinação do volume muscular^{7,8,15,20,21,25,28,58,61,97,98,122,123}, dinamómetro para determinação da força muscular isocinética ou isométrica^{7,15,24,46,58,79,83,97,98}, plataforma de medição da força de reacção ao solo para medição da potência de pico e altura do salto vertical^{33,46} e, portanto, para aquisição de dados sobre a potência muscular⁵¹. A taxa de desenvolvimento de força também foi medida através de um protocolo específico⁵⁸. A recolha da actividade electromiográfica foi conduzida durante a realização de contracções musculares^{7,46,58,79,83}. Nos casos em que foi utilizado um teste de fadiga optou-se por um teste isométrico submáximo de 5 minutos⁸³. A biópsia muscular serviu para recolha de dados quanto ao tipo e distribuição das fibras musculares e obedece a procedimentos específicos, descritos nos estudos^{14,15,24,26,27,44,73,89,103,121}.

Todos os estudos analisados obtiveram consentimento informado da parte dos seus participantes e foram aprovados pelos comités de ética responsáveis^{96,97,105,122,123}.

4.2.4. Principais resultados das revisões de literatura e comentário de autor

As revisões de literatura consultadas revêem aspectos relacionados com a problemática da resposta muscular aos programas de treino em Microgravidade. Os principais resultados das revisões e do comentário de autor podem ser consultados no quadro 4.6.

Quadro 4.6. Principais resultados do treino nas revisões de literatura e comentário de autor

Publicação	Principais Evidências
Comentário de autor	
Trappe et al. (2009) b	<ul style="list-style-type: none"> • O treino de <i>resistance</i> de intensidade elevada, com poucos minutos de actividade por grupo muscular, pode ser efectivo na preservação da massa muscular em Microgravidade.
Revisões de literatura	
Narici et al. (2011)	<ul style="list-style-type: none"> • A prevenção completa das perdas de massa e força muscular ainda não foi conseguida com o treino. • A resposta do solhar ao treino é mais limitada do que a do quadríceps crural⁵⁰, o que pode dever-se ao incremento reduzido da síntese proteica muscular do solhar em ausência de carga. • O treino de <i>resistance</i> é o método de eleição para prevenir os efeitos negativos da Microgravidade no músculo.
Lee et al. (2010)	<ul style="list-style-type: none"> • A passadeira pode ter benefícios sobre o cicloergómetro, ao simular aspectos da marcha e da corrida. • Os estudos revistos não apresentam evidência sobre o treino dos membros superiores em Microgravidade. • O exercício aeróbio intenso, em intensidade quase máxima em treino de intervalo, durante pelo menos 3 dias por semana, é eficiente para a protecção da capacidade aeróbia. O <i>stress</i> ortostático pode ser uma medida de protecção adicional.
Layne et al. (2008)	<ul style="list-style-type: none"> • A estimulação eléctrica da superfície plantar do pé poderá ser útil para a preservação da musculatura do membro inferior.
Pavy-Le Traon et al. (2007)	<ul style="list-style-type: none"> • O treino de <i>resistance</i> de intensidade elevada parece ser promissor para a prevenção da atrofia e da redução da força muscular.
Bajotto et al. (2006)	<ul style="list-style-type: none"> • O treino de <i>resistance</i> composto por contracções concêntricas e excêntricas a cada três dias pode ter benefícios para a protecção da massa e da força musculares em Microgravidade.
Hackney et al. (2011)	<ul style="list-style-type: none"> • O treino de <i>resistance</i> de intensidade elevada pode ser eficiente para a manutenção das características musculares em Microgravidade. • É preciso optimizar a prescrição de exercício com base nas características individuais.
Glover et al. (2010)	<ul style="list-style-type: none"> • Provavelmente, um volume de exercício reduzido é suficiente para manter as características musculares em Microgravidade . • A inclusão da componente de treino aeróbio no treino de <i>resistance</i> não interfere com o efeito protector do treino de <i>resistance</i>.

5. Discussão

5.1. Resposta muscular com o treino de *resistance*

O treino de *resistance* de intensidade elevada (75-85% de 1 RM)^{21,30-32,39,50,65,72,118}, dose baixa, com contracções máximas concêntricas e excêntricas¹¹⁸ e exercícios específicos é eficaz a prevenir a redução da massa muscular em ausência de carga, bastando apenas alguns minutos de actividade (5-6 minutos)²⁸, sem pausas, por cada grupo muscular para manter as suas propriedades com uma frequência de treino de 3 dias por semana^{21,87,119}.

O músculo em ausência de carga responde fortemente ao estímulo de *resistance*, sendo a frequência de treino de três dias por semana suficiente para manter a massa e a força muscular dos músculos da coxa⁵⁸. O programa permite a redução da diminuição da área seccional do músculo complicado da espinha, músculo sacro-ílio-lombar e quadrado lombar. Neste último caso, os dados da resposta muscular variam em função dos níveis vertebrais e podem ser enviesados por alterações na morfologia da coluna vertebral^{20,28}. A opção por uma frequência de treino mais intensa (i.e. diária) não traz benefícios adicionais^{28,50}: o treino com uma frequência de 3 dias por semana parece produzir um estímulo suficientemente forte para manter o tamanho e a força muscular, consumindo menos tempo^{39,58}, sendo capaz de proteger totalmente os músculos da coxa, mas não o tricépete sural^{28,130}.

A associação de vibração ao treino de *resistance* (RV) promove a manutenção da força muscular, da activação neural e reduz a atrofia do quadrícepete crural após 56 dias de acamamento⁷, o que está de acordo com o verificado por estudos anteriores^{50,54,65}. Este treino conduzido de modo bidiário reduz a atrofia do quadrícepete crural e dos flexores plantares, mas não a dos ísquio-tibiais ou dos adutores da anca²¹. O facto de nem todos os músculos responderem ao treino com manutenção das suas características poderá contribuir para o desenvolvimento de desequilíbrios musculares, acentuados pela manutenção ou ganho de volume de determinados músculos com o treino, e.g. recto anterior, o que, neste caso, poderá vir a conduzir ao desenvolvimento de gonalgia²¹. Outros estudos demonstraram que o treino RV, por oposição ao treino de *resistance*, regista maior incidência de lombalgia²⁸, pelo que a associação entre o treino RV e o desenvolvimento de sintomatologia álgica deve ser explorado. Ao nível da região da anca, Mendis et al.⁸ demonstrou que a musculatura profunda do psoas-íliaco pode atrofiar diferencialmente como resposta à ausência de carga¹³¹, devido ao seu papel na marcha e durante a realização de tarefas motoras^{131,132}, mas também se

registra atrofia do tensor da fáscia lata, o qual possui uma função de estabilização articular, além de produzir alavanca de movimento⁸. Este quadro de atrofia diferencial na região da anca pode conduzir a lesão ao nível da anca^{69,70} e mesmo ao nível da cadeia cinética do membro inferior, contribuindo para a lesão dos ísquio-tibiais⁶⁸, pelo que a sua prevenção é importante. Contudo, o impacto do treino nestes músculos não ficou claro com este estudo, devido à ausência de um efeito de grupo capaz de permitir conclusões⁸.

Mais recentemente, Miokovic et al.²⁵ verificou que o treino RV e de *resistance* com intensidade elevada, baixo volume e exercícios específicos, realizado a 3 dias por semana, durante 60 dias de acamamento, protege o volume muscular dos glúteos e, em menor extensão, o volume dos ísquio-tibiais (semi-membranoso) e da longa porção do bicípete crural conduzindo a uma recuperação mais rápida do volume muscular pós-acamamento, por comparação com o grupo de controlo²⁵. O semi-membranoso e a longa porção do bicípete crural contribuem para a extensão da anca, como demonstrado durante a marcha e corrida^{60,133,134}, ao invés da pequena porção do bicípete crural, que está envolvida na flexão do joelho⁶⁰, o que pode explicar uma maior atrofia dos primeiros. Miokovic et al.²⁵ também verificou que a porção superior do grande glúteo regista maior atrofia do que a sua porção inferior, mas isto pode dever-se a limitações do modelo de acamamento²⁵.

Apesar dos resultados obtidos com o treino RV e com o treino de *resistance*, existe evidência limitada sobre o efeito adicional da associação de vibração na protecção das propriedades musculares da região da coluna lombar²⁸, região posterolateral da anca²⁵, da coxa e ao nível dos flexores plantares^{25,58}. Os autores sugerem, ainda, que o treino RV seja menos eficiente para recrutar os músculos multiarticulares do membro inferior (tanto extensores como flexores do joelho)²⁴. Sobre a eficácia do treino RV, Miokovic et al.²⁵ argumenta que as pequenas dimensões da amostra podem constituir-se insuficientes para detectar diferenças entre os dois tipos de treino. Adianta, ainda, que o volume muscular, ao contrário da força, potência e flexibilidade, é um parâmetro morfológico, o qual poderá não reflectir com precisão a presença de efeitos da associação da vibração ao treino de *resistance*²⁵. Além disso, o estudo da propagação da vibração em acamamento não se encontra definido^{28,96}, pelo que o pressuposto da propagação da vibração, verificado em posição ortostática pode não verificar-se em acamamento^{110,111}.

5.2. Treino combinado aeróbio e de *resistance*

De acordo com Trappe et al. a⁹⁷, o treino combinado aeróbio e *resistance* é eficiente em manter o volume e a força muscular da coxa e a força do tríceps sural. A manutenção do volume deste músculo é parcial (75% do seu volume) mas o treino combinado produz mais 25% de protecção do que um programa semelhante de treino de *resistance*⁵⁰. A componente de corrida fornecida pelo LBNP contribui significativamente para um incremento da força muscular, o que *per se* pode alterar o equilíbrio entre a correlação massa e força muscular^{50,97} e explicar, em parte, porque é que a força muscular do tríceps sural se manteve e o seu volume não⁹⁷. A componente aeróbia do treino, apesar de poder impedir o ganho óptimo de massa e força muscular, não interfere com a obtenção de resultados do treino de *resistance* na protecção das propriedades musculares^{97,119}. Este dado contradiz os resultados obtidos em estudos anteriores, que afirmavam que a aplicação de treino aeróbio iria inibir a hipertrofia e a produção de força, desencadeadas pela componente de *resistance* em comparação com o treino de *resistance*¹³⁶⁻¹³⁹. Além disso, a associação de treino aeróbio ao de *resistance* não aumenta grandemente o tempo dispendido com o exercício: corresponde a ~1,75% do tempo total de acamamento (o exercício foi realizado em ~75% dos dias de acamamento), com um tempo de actividade contráctil nos 60 dias de duração do estudo correspondente a menos de uma hora para o treino de *resistance* (sem contar com as pausas) e pouco mais de 24h para o treino aeróbio⁹⁷.

Estes dados vêm defender a ideia^{38,50,75} de que um plano de treino estruturado pode ser eficiente a eliminar os efeitos da Microgravidade nas estruturas musculares durante longos períodos sem carga, sendo tempo-eficiente, embora se registem lesões de sobreuso sem, contudo, terem impacto nos resultados finais⁹⁷.

Dos estudos analisados, apenas o conduzido por Macias et al.¹²³ refere a utilização de um protocolo isolado de treino aeróbio, o qual não oferece uma protecção total da força isométrica de extensão lombar em 28 dias de acamamento¹²³.

5.3. Benefícios da utilização de exercícios específicos

A especificidade do treino é uma consideração importante na avaliação da eficácia de um programa de treino^{39,140}. Nos estudos que tiveram como base o BBR e o BBR-2, os exercícios de extensão activa do joelho («squat») são destinados a proteger a musculatura do quadríceps crural^{7,21} e os de flexão plantar («heel raise») a

musculatura dos flexores plantares²¹. A diferença entre BBR e BBR-2, encontra-se na exclusão dos exercícios de dorsiflexão («toe raise») do BBR-2 (a estimulação dos flexores dorsais parece não ser prioritária²⁹) e a inclusão no BBR-2 de exercícios uni e bilaterais de flexão plantar para oferecer um estímulo superior para os flexores plantares. Os exercícios explosivos (extensão do tronco com flexão plantar) permitem aumentar a taxa de produção de força e o nível de activação neural^{21,58} e manter a velocidade contráctil da coxa durante o acamamento⁹⁶.

A não condução de exercícios específicos para outros grupos musculares pode ter ditado a sua atrofia³¹ como é o caso dos ísquio-tibiais²¹ e dos músculos da região da anca⁸. Os autores apresentam uma solução para esta situação: realizar extensão da anca Joelho tomando como posição de partida uma posição de grande flexão da anca, que poderia conduzir a uma maior activação dos ísquio-tibiais¹⁴¹, mas referem, igualmente, que a eficácia deste exercício não está estudada e as diferentes taxas de atrofia existentes dentro dos próprios ísquio-tibiais devem ser consideradas, pois a prioridade deve ser dada no sentido de restabelecer o equilíbrio entre todas as partes musculares²¹. Ao nível da anca, a extensão activa do Joelho¹⁴² pode activar e proteger a massa muscular dos glúteos e, em menor grau, a dos ísquio-tibiais¹⁴²⁻¹⁴⁴. Isto pode dever-se, em parte, ao facto de o glúteo ser um músculo monoarticular e os ísquio-tibiais, biarticulares²⁵. Miokovic et al.²⁵ sugere que os exercícios de flexão do Joelho, realizados de modo isolado, podem activar duplamente os ísquio-tibiais em relação ao exercício de extensão activa¹⁴² e facilitar o recrutamento do semi-membranoso e do bicípete crural¹⁴⁵. Estudos futuros devem considerar o estudo da eficácia deste exercício como forma de prevenir desequilíbrios musculares²⁵.

No caso dos estudos que recorreram ao ensaio do MEDES e LTBR, os exercícios de flexão plantar («calf raise»)^{50,65} permitiram um volume de treino superior para os flexores plantares com o aumento do número de repetições dentro de cada *set*.

Numa perspectiva global, o desenho de estudo deve trabalhar a cadeia extensora dos membros inferiores e, em particular, os flexores plantares. Os exercícios não devem ser realizados de modo isolado pois podem induzir padrões de activação muscular e/ou carga inadequados sobre determinados músculos que não são tão afectados pela Microgravidade (e.g. recto anterior)²¹, o que poderá contribuir para o desenvolvimento de desequilíbrios musculares como já verificado²⁹. A opção por movimentos combinados, para fortalecimento dos músculos envolvidos na extensão da anca e do Joelho e da flexão plantar, deve ser conduzida em cadeia fechada para promoção de carga sobre os vastos e grande adutor e na cadeia extensora em geral²⁹.

5.4. Influência de factores neuromusculares na resposta muscular ao treino em Microgravidade

A potência muscular é um parâmetro importante a estudar pela sua maior correlação com a qualidade de vida, morbidade e mortalidade do que a correlação entre estes factores e a força muscular^{46,146-148}. Como refere Buehring et al.⁴⁶, os estudos realizados em ambos os géneros demonstram que a redução da potência muscular é maior do que a redução da força muscular em acamamento e este dado tem especial interesse no desenvolvimento e na selecção de programas de treino⁴⁶. Os autores defendem a avaliação da potência muscular durante a realização de tarefas do quotidiano e o desenvolvimento de programas de treino para prevenir a sua redução em Microgravidade⁴⁶.

Mulder et al.⁷⁹ verifica que, após 56 dias de acamamento, o protocolo de treino RV resulta num aumento significativo da activação muscular durante a extensão máxima e submáxima do joelho, reduzindo parcialmente a atrofia e conservando a taxa de desenvolvimento de força do quadríceps crural. Este autor sugere que o treino RV pode induzir alterações de controlo motor que são indesejáveis para o desenvolvimento de tarefas não-específicas⁷⁹. O treino RV parece não ser capaz de manter a potência de pico, a altura do salto e a área seccional do tríceps sural (embora minorando as suas perdas), apesar de garantir a preservação da activação e a força muscular deste grupo muscular^{46,79}.

Rittweger et al.³³ demonstrou que o treino de *resistance* pode ser benéfico para a potência muscular, garantindo uma menor redução das suas propriedades e uma recuperação mais rápida do que no grupo de controlo, sem desenvolvimento de sintomatologia algica, indicando que a performance pode ser mantida durante missões de longa duração³³. O treino de *resistance* parece preservar a taxa de desenvolvimento de força do quadríceps crural, mas por uma estratégia de activação neural causada pela repetição do exercício⁵⁸. No tríceps sural, o aumento da velocidade de contracção parece não ser de origem neural, mas provavelmente devido a alterações no tipo de fibras^{24,58}. Em qualquer caso, o descondicionamento neural manteve-se inalterado apesar da discrepância encontrada entre massa e força musculares⁵⁸.

A atrofia muscular influencia negativamente a potência muscular, mas isso não exclui a contribuição de factores neuromusculares^{14,24,58}. Além disso, a capacidade de armazenamento de energia elástica, essencial para o salto vertical, pode se encontrar

comprometida após o acamamento⁴⁶. Isto é verificável pelo comprometimento das contracções musculares explosivas nos astronautas após regresso a gravidade terrestre^{46,159}. Assim, a potência de pico e a altura do salto vertical são igualmente afectados pelo acamamento prolongado, apesar de medirem qualidades distintas da função neuromuscular⁴⁶. Os programas de treino parecem contribuir para uma preservação pelo menos parcial das propriedades neuromusculares^{33,46}. A preservação da taxa de desenvolvimento de força com o treino de *resistance*⁵⁸ e com o treino RV pode ser suficiente para manter a activação neural⁷⁹.

5.5. Influência das alterações celulares e subcelulares na resposta muscular ao treino em Microgravidade

O facto dos programas de treino conseguirem reduzir a atrofia ou produzir hipertrofia muscular, poderia levar a admitir que o músculo é capaz de regular os seus componentes celulares e subcelulares, mas tal não sucede. Uma causa primária da redução da força de pico e da massa muscular é a atrofia das fibras, a qual está documentada ao nível celular e subcelular (redução no diâmetro da fibra e diâmetro e força dos elementos miofibrilares)¹⁴. A atrofia das fibras em Microgravidade está relacionada com uma redução da síntese proteica¹⁵⁰ e, também, a quantidade^{44,89} e a distribuição^{15,73,103} das isoformas de miosina se altera em Microgravidade. Os programas de exercício até então utilizados são parcialmente eficazes e não impedem o aumento da expressão de fibras tipo Ila e Iix e de novas populações de híbridos, acompanhados de uma redução da expressão de fibras tipo I^{15,73,103}. Esta alteração na distribuição de tipos de contracção lenta para rápidos (i.e. «slow to fast shift») altera o perfil muscular originando uma velocidade de contracção mais rápida e instantaneamente mais potente, mas menos resistente à fadiga, i.e. mais dependente do metabolismo glicolítico^{15,73,103}.

Blottner et al.²⁴ verifica uma preservação do fenótipo muscular com manutenção do *ratio* de fibras de contracção lenta/rápida no solhar, em que a massa e força muscular dos flexores plantares pode ser mantida durante 56 dias de acamamento com recurso ao treino RV de frequência bidiária (este efeito não é extensível para o vasto lateral)²⁴. Blottner et al.²⁴ refere que o recrutamento das fibras musculares pelos estímulos vibratórios pode ser um evento crítico para o desenvolvimento do equilíbrio ortostático no controlo postural durante a marcha²⁴ e ter um papel importante para a recuperação dos indivíduos²⁴.

Já Moriggi et al.¹²¹ descreve que o treino RV de intensidade elevada impede o aumento da expressão de fibras de tipos híbridos no solhar e no vasto lateral, preservando as fibras de contracção rápida, mas não as fibras de contracção lenta em ambos os músculos, o que poderia proteger contra a redução do limiar anaeróbio¹²¹.

Por oposição ao treino de *resistance*, que não protege as fibras de contracção lenta^{50,97,65,66,103}, o treino combinado (*resistance* 2-3 dias/semana + aeróbio 3-4 dias/semana) deve ser considerado como uma medida viável para a protecção das características musculares (massa, força e potência) e da fibra muscular durante o acamamento. Assim, o treino combinado mantém, na generalidade, as propriedades das fibras musculares de contracção lenta¹⁰³ e rápida^{136,151}: força absoluta máxima e distribuição dos tipos de fibras (solhar e vasto externo) sem aumentar o número de fibras de tipo híbrido numa amostra de indivíduos saudáveis do género feminino após 60 dias de acamamento^{26,27}. Isto sugere que o treino combinado consegue promover um equilíbrio entre processos anabólicos e catabólicos ao nível das fibras musculares¹⁰³, além de se verificar uma tendência para a hipertrofia do vasto externo não extensível ao solhar¹⁰³, sendo que este último iria necessitar de mais tempo (> 10 semanas) para desenvolver hipertrofia²⁷. A combinação dos dois tipos de exercício num protocolo de treino parece fornecer um estímulo mais adequado do que o treino de *resistance*^{66,103} para manter a estrutura e função das fibras de contracção lenta e rápida. Contudo, o protocolo de treino combinado não conseguiu proteger, na totalidade, o diâmetro das fibras de contracção lenta do solhar^{26,73}, confirmando que as fibras de contracção rápida são mais plásticas e adaptáveis ao treino²⁷. Adicionalmente, o treino manteve as propriedades de activação do ião cálcio, o que indica uma preservação da afinidade das proteínas contrácteis²⁶. As concentrações das proteínas contrácteis parecem ser protegidas tanto no vasto externo como no solhar com o treino de *resistance*⁴⁴.

A principal diferença do treino combinado para o treino de *resistance* é o aumento do número de fibras do tipo híbrido neste último, cuja principal consequência é um metabolismo muscular mais glicolítico e condições mais propícias para o desenvolvimento de fadiga. Contudo, os estudos de *resistance* que são utilizados como termo de comparação possuem uma duração superior de 30 dias face aos de treino combinado. Verifica-se que o incremento dos tipos híbridos parece ser muito significativo neste período^{50,103}, o que não nos permite estabelecer o treino combinado como treino «óptimo» sem a condução de estudos de maior duração.

5.6. Resposta muscular ao treino em Microgravidade e fadiga muscular

Sobre as condições de desenvolvimento de fadiga sabemos que esta aumenta ~50% ao fim de 56 dias de acamamento. Tal evento pode dever-se a alterações nas propriedades das fibras musculares (e.g. redução da velocidade de condução, alteração do perfil fenotípico muscular) ou a alterações locais na circulação sanguínea (acumulação de metabolitos e redução de ~50% no aporte sanguíneo muscular durante o exercício)⁸³. Apesar do organismo compensar a limitação no aporte de oxigénio com uma maior taxa de difusão capilar desta molécula¹⁵², o recurso à via anaeróbia aumenta, conduzindo a uma instalação mais precoce da fadiga. Um estudo⁸³ referiu que o treino RV reduz a fadiga muscular através da redução da diminuição do fluxo sanguíneo, impedindo a limitação ao metabolismo aeróbio e a diminuição da tolerância ao exercício. Em relação à contribuição do exercício aeróbio, os estudos sugerem que o treino de intensidade elevada será mais eficaz do que um treino com maior volume e menor intensidade, na preservação do metabolismo aeróbio do astronauta, mas mais estudos são necessários na área²².

5.7. A problemática da resposta muscular reduzida dos flexores plantares ao treino em Microgravidade

Os flexores plantares respondem em menor grau ao treino do que os músculos da coxa, eventualmente por diferenças de carga no quotidiano^{15,97}. Mas a resposta diferencial ao treino também é visível entre os ventres que compõem o tricípete sural: o solhar responde menos ao treino que os gémeos^{15,32}. Esta resposta diferencial continua a ser verificada tanto em voo espacial de longa¹⁴ como de curta duração⁴⁹. A discrepância nos valores de volume muscular e de força do tricípete sural, pode reforçar a presença de adaptação neural ao treino ou de alterações nas fibras musculares com o programa de treino^{66,97,153}.

A progressão da atrofia neste grupo muscular sugere que o período crítico para preservar o volume do tricípete sural corresponda ao primeiro mês em ausência de carga, quando a taxa de atrofia é superior. No segundo mês não se regista um novo decréscimo do volume, pelo que a influência do treino combinado é positiva nestes músculos⁹⁷.

A aplicação de um estímulo mais intenso através do aumento do número de *sets* e repetições, ou eventualmente sessões mais frequentes, como treino diário ou bidiário pode ser necessário para obter uma resposta muscular mais sólida^{24,154}. No espaço, em particular, é sugerido que a prescrição deverá incluir contracções com maior intensidade durante uma maior amplitude de movimento, em semelhança ao que estes músculos experimentam em gravidade terrestre¹⁴. Contudo, isto pode ser limitado pela fadiga que surge ao fim de 30-50 s por cada *set*⁵⁸.

Durante o treino aeróbio, continua-se a registar uma menor resposta do solhar ao treino com cicloergómetro¹³⁰, ao contrário do que sucede noutros grupos musculares^{155,156}. Alguns autores¹⁵⁷ sugerem que isto pode indicar que só uma pequena porção deste músculo é activada durante o ciclo de pedalar. Mas como anteriormente descrito, o treino combinado pode apresentar benefícios adicionais sobre o treino de *resistance* para manutenção do volume dos flexores plantares¹⁰³. Ainda não está definido se os resultados da associação de treino aeróbio ao treino de *resistance*, no que diz respeito aos flexores plantares, se deve a um aumento do volume de exercício¹¹⁹. É necessário desenvolver mais estudos para determinar o programa de treino ideal para garantir a protecção muscular do tricípete sural.

Contudo, sabe-se que a resposta diferencial do solhar ao exercício pode dever-se a uma disfunção local da síntese proteica¹⁵⁸ ou a uma maior dependência da glicose por comparação com o vasto externo^{67,73,159,160}. Sugere-se que os níveis de glicogénio muscular do solhar possam ser preferencialmente reduzidos por um consumo específico durante o treino aeróbio¹⁶¹ e comprometer a sua resposta de regeneração muscular⁷³. Porém, este nível mais reduzido de glicogénio pode ter conduzido a um estado de maior endurance muscular¹⁶². Não é de excluir um enviesamento do estudo, apesar do solhar se encontrar aerobiamente mais condicionado do que o vasto externo devido ao controlo postural durante as actividades da vida diária^{73,103}. Este condicionamento prévio pode estar relacionado com níveis mais reduzidos de síntese proteica local, que poderiam ter contribuído para uma regulação muscular pós exercício diminuída^{163,164} e explicar, em parte, estes resultados.

Apesar do tamanho e função (diâmetro e potência) das fibras de contracção lenta do solhar não terem sido mantidas com o treino combinado, a potência muscular foi preservada, o que poderá estar relacionado com a plasticidade do sistema nervoso⁷³ ou com o aumento das fibras de tipos híbridos, que podem contribuir para a realização de tarefas de curta duração com grande potência. O que, a confirmar, não é benéfico para tarefas de longa duração que requerem uma grande endurance. Do ponto de

vista da exploração espacial, tal evento pode trazer prejuízo para os astronautas que explorem uma superfície planetária. Alterações deste tipo no solhar devem ser geridas, pois podem ser potencialmente exacerbadas durante o período de trânsito interplanetário e aumentar o risco de lesão a milhares de quilómetros da Terra⁷³.

Esta protecção incompleta das propriedades das fibras de contracção lenta do solhar requer regimes de exercício mais específicos. Trappe et al.⁷³ sugere que a diferença entre a resposta ao treino destes dois músculos advenha do tipo de contracção realizada por cada músculo e não dependa do volume de exercício. De facto, o estudo provou que um mesmo volume de exercício não traz especificidade ao treino para permitir responder diferenciadamente às necessidades musculares. Recomendam que as contracções isométricas do solhar, com maior duração do que aquelas realizadas no estudo, possam assemelhar-se ao tipo de actividade contráctil experimentada por este músculo durante períodos de carga e suporte postural na Terra⁷³. A opção por exercícios que envolvam contracções isotónicas isoladas poderá não ser a mais correcta para estimular o solhar, como aliás demonstrado pela não protecção das fibras de contracção lenta. Assim, sugere-se um regime de treino que envolva contracções isométricas e isotónicas para a protecção da massa, força e potência do solhar⁷³.

5.8. Influência do género na resposta muscular aos programas de treino em Microgravidade

O género feminino constitui uma população importante a estudar devido à sua presença na composição das tripulações (20% do corpo de astronautas da NASA)¹⁶⁵ e devido ao facto de os dados fisiológicos sobre a sua resposta à Microgravidade antes de 2006, serem manifestamente insuficientes. Paralelamente, a participação do género feminino no voo espacial de longa duração é indiscutível, pelo que é relevante compreender como este género responde ao treino em Microgravidade^{97,103}. Lemoine et al.⁸⁹ demonstrou que as concentrações proteicas (proteínas contrácteis e de tecido conectivo) do solhar e vasto externo mantêm-se no género feminino em 60 dias de acamamento, independentemente da realização de treino^{71,89,97}. Este dado contrasta com os resultados obtidos com o treino de *resistance* no género masculino^{44,84,85}, onde se registam perdas nas proteínas mistas e miofibrilares em 35 e 90 dias em Microgravidade. Por uma razão desconhecida, mas que não envolve a contribuição do ciclo menstrual¹⁶⁶, parece que as mulheres são mais susceptíveis à perda de massa

muscular^{50,65,72,97}, mas conseguem compensar do ponto de vista proteico, ao contrário do género masculino. A manutenção das concentrações destas proteínas apesar da redução da força e da potência muscular é importante, uma vez que alterações anteriormente verificadas na sua concentração parecem não ter alterado a função muscular⁸⁹. A perda de massa muscular na região da coxa é mais acentuada nas mulheres do que nos homens⁹⁷, ambos os géneros apresentam uma atrofia de grau semelhante nas fibras de contracção lenta, mas a redução da massa muscular nas mulheres pode dever-se a uma atrofia das fibras de contracção rápida^{97,103}, uma vez que existe igual grau de atrofia nos dois tipos de fibras no género feminino, ao contrário do masculino, onde a atrofia é maior nas fibras de contracção lenta⁹⁷.

Mais diferenças com base no género são encontradas nas fibras do solhar. No género feminino, o solhar parece conter menos proteínas miofibrilares do que no vasto externo (o que não se verifica no género masculino) devido à menor quantidade de miosina e maiores quantidades de colagénio intramuscular – o que indica que o solhar deve possuir uma maior concentração de fibras de contracção lenta⁸⁹. Esta diferença particular pode explicar a resposta diferencial durante o treino entre estes dois músculos. Todo este quadro permite admitir que existe uma resposta específica dependente do género e que esta deve ser fortemente considerada durante a concepção de programas de treino, pelas implicações anteriormente descritas.

5.9. Resposta muscular ao treino em voo espacial

O treino de *resistance* utilizado na estação espacial internacional recorre a equipamentos que permitem uma dose e aplicação de carga que conduzem a um treino de baixa intensidade⁹⁸, insuficiente para manter as propriedades musculares^{14,15,98}. Para que se atinja um programa de intensidade elevada, que se aproxime dos resultados obtidos em acamamento, são necessárias alterações aos programas de treino no voo espacial¹⁵, bem como aos equipamentos no sentido de uma intensidade de treino mais elevada, ou mesmo a monitorização da tripulação para benefício da missão e do custo de tempo associado ao exercício^{14,15}.

De facto, devido a limitações nos equipamentos, o programa de treino utilizado na estação espacial internacional não protege a área seccional nem o perfil de fibras musculares dos flexores plantares¹⁵. As alterações nas fibras, particularmente a velocidade de encurtamento, também podem ser responsáveis por uma perda da potência muscular¹⁴. Regista-se, uma diminuição diferencial da força isocinética, cerca

de 2,3 vezes superior nos ísquio-tibiais do que no quadríceps crural⁹⁸, o que pode conduzir ao desenvolvimento de desequilíbrios musculares. Uma eventual solução pode ser a distribuição da dose de exercício por *sets* durante o treino de *resistance*, a qual poderá ter mais benefícios ao nível da força comparando com a utilização de um único *set*¹⁶⁷, mas esta hipótese ainda não foi estudada. Todo este quadro de resposta muscular inadequada é complementado por uma grande variabilidade da resposta muscular individual^{14,15,98}. Entre os factores que podem estar na base desta variabilidade encontram-se o tamanho muscular inicial, o tipo e as características do programa de treino e a nutrição⁴⁹. Contudo, a importância relativa de cada um destes factores ainda não é conhecida¹⁴. Fitts et al.¹⁴ sugere que os factores de maior influência sejam as dimensões musculares pré-voo e o tipo de exercício utilizado.

O treino de *resistance* de intensidade elevada é tempo-eficiente em regime de acamamento¹⁴ pelo que deve ser adaptado à realidade do voo espacial, por forma: a garantir a preservação muscular que deverá evitar o aparecimento de lesões durante contracções excêntricas, a boa performance durante a realização de tarefas específicas ou a saúde muscular para permitir o regresso à Terra¹⁴. Também a qualidade do treino é importante, sendo mais eficaz do que a quantidade de treino para a protecção muscular¹⁴. A condução de um programa de treino de *resistance* de intensidade elevada (2-3 dias por semana) e exercício aeróbio (4 dias por semana)^{73,97,103}, com menor consumo de tempo (1,75% do tempo total de acamamento vs. 3,4% na estação espacial internacional) e menos contracções por semana (~13250 vs. ~17300)¹⁵ parece ser mais eficaz do que o programa utilizado na estação espacial internacional.

O treino aeróbio tem um papel complementar ao treino de *resistance*^{73,97,103} ao estimular as fibras de contracção lenta do quadríceps crural e do solhar⁸⁷. De acordo com Fitts et al.¹⁴, a realização de treino com uma frequência superior a 200 min por semana obtém menor atrofia das fibras, menor redução de força e um aumento na densidade dos filamentos finos (eventualmente causada por um efeito de estiramento muscular) do que o registado junto dos astronautas que realizaram menos de 100 min por semana. Não obstante, estes dados devem ser analisados com cuidado: o grupo que realizou treino aeróbio durante mais de 200 min por semana apresenta um menor diâmetro das fibras de contracção lenta do solhar antes do voo espacial. Sabemos que quanto menor o diâmetro pré-exposição, maior é a protecção muscular^{15,62}. Por esta razão, não se pode afirmar que o treino aeróbio realizado acima de 200 minutos por semana possa compensar a falta de um equipamento que proporcione um treino de

intensidade elevada. Um treino de maior duração pode contribuir para uma protecção relativa¹⁴ e, apesar da grande variação no tempo de treino dos tripulantes, os dados indicam que quanto maior é o tempo de treino, maior é a preservação das características musculares⁹⁸. Estudos futuros devem identificar o programa de treino mais correcto para obter maior protecção muscular com menor custo de tempo.

Em relação à escolha dos equipamentos, Fitts et al.¹⁴ sugere que o uso de cicloergómetro não oferece um estímulo adicional em relação à passadeira. Outros autores referem que o uso da passadeira pode ser benéfico sobre o cicloergómetro, no que diz respeito à simulação da marcha, o que pode ser útil no regresso de emergência à Terra ou durante a exploração planetária^{15,22}. Os equipamentos devem ser elaborados com vista a maximizar o conforto dos utilizadores¹⁶⁸. Gopalakrishnan et al.⁹⁸ sugeriu a utilização de apoios que criem algum factor de instabilidade ao nível do pé durante o treino aeróbio. Estes apoios podem ser benéficos para estimular o recrutamento dos flexores dorsais e músculos da cadeia extensora para garantir a manutenção do equilíbrio como resposta à inércia produzida pelo equipamento⁹⁸. Consideramos que a utilização destes equipamentos pode ser benéfica durante o voo espacial, mas mais estudos terão que ser realizados.

Alguns estudos^{14,15,98} afirmam que a protecção das propriedades estruturais e funcionais musculares é mais satisfatória com o programa de treino actual do que em estudos anteriores de voo espacial^{15,18,98}. A redução da massa muscular é cerca de metade da verificada em acamamento de longa duração sem treino¹⁵, portanto o treino na estação espacial internacional oferece algum grau de protecção muscular. Esta protecção pode dever-se a programas de treino mais bem desenhados (em número de repetições e características dos aparelhos) e adaptados às necessidades específicas das tripulações. Apesar deste facto e das sessões regulares, a dose de exercício foi insuficiente para preservar as propriedades musculares⁹⁸ desde os movimentos lentos aos mais explosivos.

5.10. Período de recuperação pós-exposição a Microgravidade

No único estudo encontrado sobre a aplicação de protocolos de reabilitação pós-exposição à Microgravidade (acamamento), conduzido por Hides et al.⁶¹, verificou-se que ambos os programas de reabilitação estudados foram eficazes em recuperar a musculatura de região lombar após 60 dias de acamamento.

Ambos os programas recuperam a área seccional do músculo complicado da espinha ao final de catorze dias de treino (treino diário de pelo menos trinta minutos). Mas apesar desta eficácia, o programa de controlo motor produziu um aumento da incidência de lombalgia. Por outro lado, o programa de fortalecimento global na posição de decúbito dorsal pode ser menos aconselhável do que o treino de controlo motor, mais funcional e na posição ortostática. O programa de fortalecimento global irá sobrestimular o músculo psoas-ilíaco, o que pode conduzir a desequilíbrios musculares com outros músculos na região e ser potenciador de lesão, através do aumento de forças compressivas sobre a coluna lombar⁶¹. Parece claro com este estudo, que combinar flexão de tronco com flexão de anca em decúbito dorsal pode potenciar o desenvolvimento de lesões musculares. A opção pelo programa de controlo motor parece mais adequada, em termos de recuperação da massa muscular, sem gerar forças compressivas sobre a coluna lombar. Apesar da coerência metodológica e da força interna deste estudo, um só estudo não é suficiente para demonstrar evidência sobre a eficácia da reabilitação nesta área, pelo que é importante continuar a desenvolver estudos que contribuam nesse sentido.

Outros estudos acompanham a recuperação das características musculares após exposição a Microgravidade^{8,20,25,33,46,122}, com regresso à actividade através da marcha^{24,25,122}, após um período de adaptação progressiva do sistema cardiovascular à posição ortostática¹⁰⁵. As propriedades musculares irão recuperar após exposição a Microgravidade, mas a duração do período de recuperação é variável³.

Após um período de acamamento de 90 dias estudou-se a recuperação da musculatura esquelética¹²² após um treino de *resistance* (ensaio LTBR) e verificou-se que a área seccional dos flexores plantares recuperava rapidamente nos primeiros 14 dias após o reinício da marcha (uma recuperação de ~80% da massa muscular perdida em acamamento), embora não se possa excluir o enviesamento destes dados devido à presença de exsudados inflamatórios por microlesões musculares no regresso à carga⁹⁶. Após 90 dias de reambulação verifica-se que a área seccional deste grupo muscular atingiu os valores registados antes do início do período de acamamento¹²². Verifica-se que o treino de *resistance* pode ter efeitos duradouros¹²², isto no que diz respeito à performance de salto vertical após 180 dias de reambulação³³. Os parâmetros neuromusculares têm sido pouco discutidos, mas Buehring et al.⁴⁶ sugere que estes podem demorar semanas a meses a regressar a níveis de pré-exposição, mas o retorno a estes valores depende do tempo de

exposição^{33,149}. Paralelamente, o treino RV reduz o tempo de recuperação da massa muscular do músculo complicado da espinha após 56 dias de acamamento²⁰ e da musculatura da região postero-lateral da anca após 60 dias de acamamento²⁵. A recuperação muscular ocorre após um período de recuperação equivalente ao período em Microgravidade, para os grupos musculares estudados^{20,25,33,46,122}. A realização de programas de reabilitação nesta fase poderá reduzir o período de recuperação⁶¹.

A análise da resposta muscular no período de pós-exposição à Microgravidade deve ter em consideração o desenvolvimento de exsudados inflamatórios resultantes do processo local de lesão das fibras musculares, que é suportado pelo aumento da concentração de creatinina cinase¹⁶⁹, que ocorre no regresso à carga e que pode introduzir um factor de viés na análise dessa mesma resposta²⁵. Dentro deste mesmo quadro, as alterações álgicas decorrentes das lesões musculares podem prolongar o período de recuperação¹⁵. Este facto é registado por Buehring et al.⁴⁶ com a redução da força muscular isométrica de flexão plantar após o primeiro dia de reambulação⁴⁶. Estudos futuros devem avaliar de forma contínua e frequente a evolução das características musculares²⁵ no pós-exposição a Microgravidade.

5.11. Limitações encontradas nos estudos seleccionados

Durante a análise dos estudos foram encontradas limitações de ordem metodológica que merecem ser consideradas e debatidas no contexto desta revisão.

A avaliação de resultados destes estudos deve ser conduzida o mais precocemente possível para que as medições não sejam adulteradas pela exposição à gravidade terrestre^{46,98}. A avaliação de resultados deverá ter em consideração os processos de lesão: os exsudados inflamatórios podem adulterar os resultados da recuperação muscular¹⁷⁰. A alteração de estruturas não musculares com a Microgravidade (e.g. alterações na lordose lombar) podem mascarar processos de atrofia muscular mais severos^{20,28}. Também durante a recolha de resultados, a medição da força máxima voluntária num determinado ângulo terá sempre condicionantes: (1) motivação; (2) presença de lesões; (3) tarefa; (4) realização de exercício previamente à medição – que deverão ser controladas para reduzir a variabilidade de resultados. De qualquer modo, a escolha de tarefas específicas para avaliar a função muscular e comparar diferentes protocolos de treino é sempre um processo complexo. A avaliação frequente da força muscular por repetição dos testes durante o acamamento pode conduzir ao aumento da amplitude electromiográfica que

pode resultar da aprendizagem de uma tarefa específica ou habituação^{58,171}. Se por um lado, tal possa ser entendido como um efeito protector, por outro não se pode afirmar que, ao nível do voo espacial, as contramedidas serão suficientes para garantir este mesmo efeito. Mas esta não é a única situação em que o comportamento das características musculares em acamamento pode ser divergente do que ocorre ao nível do voo espacial. Alguns exercícios em acamamento podem ser realizados em contra-gravidade apesar da simulação de Microgravidade, algo que obviamente não acontece no voo espacial. Um desses exemplos é o caso da extensão lombar²⁸. Macias et al.¹²³ admite que alguns movimentos no leito, como o acto de rodar o corpo, possam imprimir curtos, mas eficazes, períodos em que os músculos tenham que trabalhar em contra-gravidade¹²³. O acamamento pode não significar uma total inactividade de todos os grupos musculares^{25,28}, pelo que a interpretação dos dados merece especial cuidado. Um exemplo é o aumento da área seccional do psoas em acamamento²⁸. Embora seja expectável uma resposta atrofica deste músculo, devido à sua função de estabilização e de protecção da anca, tal não sucedeu¹³¹. A explicação pode resultar do facto do treino conduzir a uma postura mais hiperlordótica quando os indivíduos se encontravam mais fatigados¹⁷², o que pode facilitar a activação muscular do psoas, ou então, devido à elevação do tronco durante o exercício de extensão lombar. Esta situação não é verificada no voo espacial¹⁸.

Os estudos de acamamento (pelo menos os relativos aos estudos do BBR e BBR-2) basearam-se num método de campanhas, em que os indivíduos foram expostos à Microgravidade em alturas distintas no tempo^{96,105}. Tal poderá conduzir a um viés de selecção, de cariz sazonal¹¹⁶, mas a contribuição deste viés para alterar os resultados não é conhecida, pois a informação disponibilizada pelos estudos quanto à altura do ano em que cada campanha foi realizada não se encontra disponível.

No voo espacial, pode-se considerar a existência de um viés de co-intervenção na medida em que os participantes estiveram sujeitos a programas nutricionais, além do treino^{14,15,98,116}. Além de que os equipamentos utilizados durante o voo espacial possuem algumas limitações, uma vez que a carga proporcionada não corresponde àquela oferecida pelos mesmos equipamentos quando testados na Terra^{14,98,173}. Estes equipamentos contribuíram para um treino de elevado volume e baixa intensidade durante o voo espacial, insuficiente para manter as propriedades musculares¹⁵. Como refere Narici et al.³², a análise da resposta muscular ao treino em voo espacial é difícil e são diversas as razões que podem contribuir para esse facto: (1) o tamanho reduzido das amostras (que embora não sendo exclusivo do voo espacial, é mais

visível neste meio)^{8,14,25,28,46,58,98}; (2) a inexistência de grupos de controlo; (3) diferenças na duração das missões (o que introduzirá muita variabilidade); (4) diferenças de género; (5) questões motivacionais e de adesão ao treino, as quais dependem de factores como a própria disponibilidade do aparelho, constrangimentos de horários associados a exigências particulares da missão, ou mesmo preferências individuais⁹⁸; (6) dietas inconsistentes²²; (7) participação em várias experiências durante o período de voo espacial que afectam o tempo disponível para a prática de exercício físico³² e (8) dificuldade de acesso aos dados dos programas de treino provenientes das agências espaciais¹⁵.

A apresentação e a consideração das limitações não deve minorar a importância da contribuição dos estudos de voo espacial e de acamamento para o desenvolvimento da área, nem negligenciar as exigências metodológicas inerentes a cada um¹⁰⁵. Estas limitações devem ser consideradas e ultrapassadas durante a realização de estudos futuros.

5.12. Estudos futuros

O desenvolvimento de estudos futuros pressupõe o conhecimento dos resultados dos estudos desenvolvidos e das suas limitações. Do levantamento da literatura podemos identificar algumas necessidades: (1) a aplicação mais correcta de carga e de programas de treino adequados ao voo espacial^{9,98}; (2) equipamentos que respeitem o conforto dos participantes/tripulantes^{28,98}, com a carga a ser aplicada de modo mais fisiológico²⁸; (3) o estudo da resposta e relação da dose de exercício e a redução do limiar anaeróbio em meio espacial^{22,174}; (4) o estudo da hipótese de alternar o exercício de baixa intensidade com *sets* de intensidade elevada em meio espacial e da distribuição da dose de exercício por *sets* durante o treino de *resistance*, a qual poderá ter mais benefícios ao nível da força comparando com a utilização de um único *set*¹⁶⁷; (5) a necessidade de quantificar os custos energéticos em termos de tarefas no espaço e o seu impacto na performance⁹; (6) o estudo da resposta dos músculos do membro superior e do seu grau de fadiga, uma vez que estes músculos são recrutados para a realização de tarefas repetitivas e específicas⁹⁸; (7) devem ser conduzidos estudos de acamamento com participantes com um nível de actividade e de condicionamento semelhante ao dos astronautas antes do voo espacial²⁸, pois estes últimos constituem uma população de indivíduos condicionados, familiarizados com o treino, e preparados para a exposição à Microgravidade²⁸; (8) estudo da eficácia

do treino de baixo impacto para a aprendizagem correcta/familiarização do exercício/padrões de carga e de trabalho antes da progressão para intensidade e carga mais elevadas durante o acamamento²⁸, com vista à prevenção de lesões²¹; (9) a condução de estudos de acamamento de maior duração e maior amostra, com o objectivo de determinar se a protecção muscular dada pelo treino se mantém durante períodos mais longos de exposição à Microgravidade^{50,103}; (10) a necessidade de comparar o treino explosivo e o treino de *resistance* de intensidade elevada em termos de eficácia na manutenção da força isométrica⁴⁶; (11) avaliação da eficácia dos programas de treino para manter a capacidade muscular de armazenamento de energia elástica⁴⁶; (12) desenvolvimento de estudos sobre a eficácia da estimulação eléctrica nas propriedades musculares neste ambiente¹²⁰; (13) estudos de exercícios específicos para manter as propriedades dos ísquio-tibiais e de outros músculos à semelhança do disposto para os flexores plantares²⁵; (14) o desenvolvimento de protocolos de treino combinado para determinação da sua eficácia na preservação da distribuição do tipo de fibras musculares^{50,103}; (15) estudos sobre a relação entre o aumento do volume de treino e uma possível protecção das propriedades dos flexores plantares¹¹⁹; (16) o estudo da eficácia de um regime de treino que envolva contracções isométricas e isotónicas para a protecção das propriedades do solhar⁷³; (17) maior documentação das alterações musculares durante o período de recuperação⁴⁶ e a eficácia de programas de reabilitação que possam reduzir o tempo de recuperação⁶¹ e (18) a condução de avaliações mais frequentes no período de pós-exposição à Microgravidade, por forma a acompanhar as alterações musculares²⁵.

De referir que a transposição dos programas de *resistance* de intensidade elevada para indivíduos descondicionados, em estado de recuperação pós-lesão ou populações envelhecidas deve ser realizada com um cuidado adicional^{28,39}.

Sobre o desenvolvimento dos programas de treino no futuro, a NASA afirma que devem responder aos desafios da exploração espacial tendo como base os dados reunidos anteriormente, tanto em termos de equipamentos como de protocolos de treino. O estudo da eficácia dos equipamentos continuará a ser testado em primeira mão com modelos terrestres de simulação de Microgravidade já conhecidos, caso não se consigam oportunidades de voo espacial para testar estes equipamentos. Sabemos que a contínua recolha de informação de dados no espaço aquando das missões na estação espacial internacional irá fortalecer os bancos de dados para o desenvolvimento de treinos mais eficazes capazes de suportar o voo espacial de longa duração até à Lua e Marte⁹.

6. Conclusão

O treino de *resistance* de intensidade elevada (75-85% de 1RM), com baixo volume e frequência semanal de três dias, com exercícios específicos, é eficaz em manter a massa e força musculares em acamamento, bem como a performance neuromuscular, reduzindo a fadiga muscular e o comprometimento do metabolismo oxidativo. Regista-se uma menor resposta dos flexores plantares com este treino, que é maximizada com o treino combinado, sem consumo adicional de tempo. Contudo, mesmo o treino combinado parece não conseguir preservar o diâmetro das fibras de contracção lenta do solhar. São sugeridos regimes de treino que envolvam trabalho isométrico e isotónico para proteger este músculo. O treino RV parece não trazer nenhum benefício adicional (parecendo estar associado com o desenvolvimento de sintomatologia) sobre o treino de *resistance*, mas isto pode dever-se a limitações dos estudos. A condução de exercícios específicos é fundamental para a protecção da massa e força muscular e estes devem ser adaptados para responder às necessidades dos diferentes músculos, evitando o desenvolvimento de desequilíbrios musculares. Os programas de treino devem ser implementados o mais precocemente possível para evitar perdas de massa muscular e as diferenças entre géneros devem assumir um papel importante aquando da concepção do desenho de estudo.

Os estudos de voo espacial realizados recentemente produzem mais protecção muscular do que os anteriores, pelo que se verifica uma certa evolução. Estes estudos continuam limitados pela eficácia dos equipamentos e por questões de adesão e/ou motivação ao treino.

Em relação ao período de recuperação pós-exposição à Microgravidade verifica-se que o treino RV e os programas de reabilitação poderão contribuir para um período de recuperação mais curto, mas mais estudos são necessários para garantir uma recuperação da performance sem desenvolvimento de queixas algicas.

Verifica-se que, apesar da maior eficácia dos programas de treino, são necessários mais estudos sobre as características dos mesmos (frequência, duração, número de *sets*, duração dos períodos de descanso e especificidade do treino).

As limitações não devem minorar o contributo dos estudos de voo espacial e de acamamento pois com base nos seus resultados devem ser estabelecidos estudos que apresentem soluções para resolver as limitações encontradas, reforçando a condução de intervenções baseadas na evidência que garantam uma resposta muscular adequada a períodos de exposição à Microgravidade cada vez mais longos.

7. Referências

1. ESA - Human Spaceflight and Exploration - About human spaceflight [Internet]. 2012 [cited 2012 Apr 7]. Available from:
http://www.esa.int/esaHS/ESAM1B0VMOC_index_0.html
2. Weightlessness - MeSH - NCBI [Internet]. 2012 [cited 2012 Apr 3]. Available from:
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/mesh/68014893>
3. Wilmore DJH, Costill DD, Kenney WL. Physiology of Sport and Exercise, Fourth Edition. 4th ed. Human Kinetics Publishers; 2007.
4. ESA - Human Spaceflight and Exploration - About research in space [Internet]. 2004 [cited 2012 Apr 7]. Available from:
http://www.esa.int/esaHS/ESA6CT0VMOC_index_0.html
5. NASA - Areas of Study: Physiology [Internet]. 2012 [cited 2012 Apr 7]. Available from:
http://www.nasa.gov/exploration/humanresearch/areas_study/physiology/index.html
6. Barratt M, Pool SL. Principles of Clinical Medicine for Space Flight. Springer; 2008.
7. Mulder ER, Stegeman DF, Gerrits KHL, Paalman MI, Rittweger J, Felsenberg D, et al. Strength, size and activation of knee extensors followed during 8 weeks of horizontal bed rest and the influence of a countermeasure. *Eur J Appl Physiol*. 2006 Aug;97(6):706–15.
8. Mendis MD, Hides JA, Wilson SJ, Grimaldi A, Belavý DL, Stanton W, et al. Effect of prolonged bed rest on the anterior hip muscles. *Gait Posture*. 2009 Nov;30(4):533–7.
9. NASA - HACD - Projects - Exercise Countermeasures Project [Internet]. 2012 [cited 2012 Apr 7]. Available from:
<http://www.nasa.gov/centers/johnson/slsd/about/divisions/hacd/project/exercise-countermeasures.html>
10. Payne MWC, Williams DR, Trudel G. Space flight rehabilitation. *Am J Phys Med Rehabil*. 2007 Jul;86(7):583–91.
11. NASA - Areas of Study: Muscle Function [Internet]. 2012 [cited 2012 Apr 7]. Available from:
http://www.nasa.gov/exploration/humanresearch/areas_study/physiology/physiology_muscle.html

12. West JB. Historical Perspectives: Physiology in Microgravity. *J Appl Physiol*. 2000 Jul 1;89(1):379–84.
13. Physios in space | The Chartered Society of Physiotherapy [Internet]. 2012 [cited 2012 Apr 2]. Available from: <http://www.csp.org.uk/frontline/article/physios-space>
14. Fitts RH, Trappe SW, Costill DL, Gallagher PM, Creer AC, Colloton PA, et al. Prolonged space flight-induced alterations in the structure and function of human skeletal muscle fibres. *J Physiol (Lond.)*. 2010 Sep 15;588(Pt 18):3567–92.
15. Trappe S a, Costill D, Gallagher P, Creer A, Peters JR, Evans H, et al. Exercise in space: human skeletal muscle after 6 months aboard the International Space Station. *J Appl Physiol*. 2009 Apr;106(4):1159–68.
16. Kozlovskaya IB, Grigoriev AI. Russian system of countermeasures on board of the International Space Station (ISS): the first results. *Acta Astronaut*. 2004 Nov;55(3-9):233–7.
17. Lambertz D, Pérot C, Kaspranski R, Goubel F. Effects of long-term spaceflight on mechanical properties of muscles in humans. *J Appl Physiol*. 2001 Jan;90(1):179–88.
18. LeBlanc A, Lin C, Shackelford L, Sinitsyn V, Evans H, Belichenko O, et al. Muscle volume, MRI relaxation times (T2), and body composition after spaceflight. *J Appl Physiol*. 2000 Dec;89(6):2158–64.
19. Zange J, Müller K, Schuber M, Wackerhage H, Hoffmann U, Günther RW, et al. Changes in calf muscle performance, energy metabolism, and muscle volume caused by long-term stay on space station MIR. *Int J Sports Med*. 1997 Oct;18 Suppl 4:S308–309.
20. Belavý DL, Hides JA, Wilson SJ, Stanton W, Dimeo FC, Rittweger J, et al. Resistive simulated weightbearing exercise with whole body vibration reduces lumbar spine deconditioning in bed-rest. *Spine*. 2008 Mar 1;33(5):E121–131.
21. Belavý DL b, Miokovic T, Armbrrecht G, Rittweger J, Felsenberg D. Resistive vibration exercise reduces lower limb muscle atrophy during 56-day bed-rest. *J Musculoskelet Neuronal Interact*. 2009 Dec;9(4):225–35.
22. Lee SMC, Moore AD, Everett ME, Stenger MB, Platts SH. Aerobic exercise deconditioning and countermeasures during bed rest. *Aviat Space Environ Med*. 2010 Jan;81(1):52–63.

23. Adams GR, Caiozzo VJ, Baldwin KM. Skeletal muscle unweighting: spaceflight and ground-based models. *J Appl Physiol*. 2003 Dec;95(6):2185–201.
24. Blottner D, Salanova M, Püttmann B, Schiffli G, Felsenberg D, Buehring B, et al. Human skeletal muscle structure and function preserved by vibration muscle exercise following 55 days of bed rest. *Eur J Appl Physiol*. 2006 Jun;97(3):261–71.
25. Miokovic T, Armbrrecht G, Felsenberg D, Belavy DL. Differential atrophy of the postero-lateral hip musculature during prolonged bedrest and the influence of exercise countermeasures. *J Appl Physiol*. 2011 Apr;110(4):926–34.
26. Mounier Y, Tiffreau V, Montel V, Bastide B, Stevens L. Phenotypical transitions and Ca²⁺ activation properties in human muscle fibers: effects of a 60-day bed rest and countermeasures. *J Appl Physiol*. 2009 Apr;106(4):1086–99.
27. Salanova M, Schiffli G, Püttmann B, Schoser BG, Blottner D. Molecular biomarkers monitoring human skeletal muscle fibres and microvasculature following long-term bed rest with and without countermeasures. *J Anat*. 2008 Mar;212(3):306–18.
28. Belavý DL, Armbrrecht G, Gast U, Richardson CA, Hides JA, Felsenberg D. Countermeasures against lumbar spine deconditioning in prolonged bed rest: resistive exercise with and without whole body vibration. *J Appl Physiol*. 2010 Dec;109(6):1801–11.
29. Belavý DL a, Miokovic T, Armbrrecht G, Richardson CA, Rittweger J, Felsenberg D. Differential atrophy of the lower-limb musculature during prolonged bed-rest. *Eur J Appl Physiol*. 2009 Nov;107(4):489–99.
30. Pavy-Le Traon A, Heer M, Narici MV, Rittweger J, Vernikos J. From space to Earth: advances in human physiology from 20 years of bed rest studies (1986-2006). *Eur J Appl Physiol*. 2007 Sep;101(2):143–94.
31. Akima H, Kubo K, Kanehisa H, Suzuki Y, Gunji A, Fukunaga T. Leg-press resistance training during 20 days of 6 degrees head-down-tilt bed rest prevents muscle deconditioning. *Eur J Appl Physiol*. 2000 May;82(1-2):30–8.
32. Narici MV, de Boer MD. Disuse of the musculo-skeletal system in space and on earth. *Eur J Appl Physiol*. 2011 Mar;111(3):403–20.
33. Rittweger J, Felsenberg D, Maganaris C, Ferretti JL. Vertical jump performance after 90 days bed rest with and without flywheel resistive exercise, including a 180 days follow-up. *Eur J Appl Physiol*. 2007 Jul;100(4):427–36.

34. Edgerton VR, Roy RR, Hodgson JA, Day MK, Weiss J, Harkema SJ, et al. How the science and engineering of spaceflight contribute to understanding the plasticity of spinal cord injury. *Acta Astronaut.* 2000 Jul 1;47(1):51–62.
35. Mailliet A, Beaufriere B, Di Nardo P, Elia M, Pichard C. Weightlessness as an accelerated model of nutritional disturbances. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care.* 2001 Jul;4(4):301–6.
36. Biolo G, Heer M, Narici M, Strollo F. Microgravity as a model of ageing. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care.* 2003 Jan;6(1):31–40.
37. Wang E. Age-dependent atrophy and microgravity travel: what do they have in common? *FASEB J.* 1999;13 Suppl:S167–174.
38. Trappe SW, Trappe TA, Lee GA, Widrick JJ, Costill DL, Fitts RH. Comparison of a space shuttle flight (STS-78) and bed rest on human muscle function. *J Appl Physiol.* 2001 Jul;91(1):57–64.
39. Hackney KJ, Ploutz-Snyder LL. Unilateral lower limb suspension: integrative physiological knowledge from the past 20 years (1991-2011). *Eur J Appl Physiol.* 2012 Jan;112(1):9–22.
40. Fitts RH, Riley DR, Widrick JJ. Physiology of a microgravity environment invited review: microgravity and skeletal muscle. *J Appl Physiol.* 2000 Aug;89(2):823–39.
41. Deschenes MR, Giles JA, McCoy RW, Volek JS, Gomez AL, Kraemer WJ. Neural factors account for strength decrements observed after short-term muscle unloading. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.* 2002 Feb;282(2):R578–583.
42. Edgerton VR, Zhou MY, Ohira Y, Klitgaard H, Jiang B, Bell G, et al. Human fiber size and enzymatic properties after 5 and 11 days of spaceflight. *J Appl Physiol.* 1995 May;78(5):1733–9.
43. LeBlanc A, Rowe R, Schneider V, Evans H, Hedrick T. Regional muscle loss after short duration spaceflight. *Aviat Space Environ Med.* 1995 Dec;66(12):1151–4.
44. Haus JM, Carrithers JA, Carroll CC, Tesch PA, Trappe TA. Contractile and connective tissue protein content of human skeletal muscle: effects of 35 and 90 days of simulated microgravity and exercise countermeasures. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.* 2007 Oct;293(4):R1722–1727.

45. Baldwin KM, White TP, Arnaud SB, Edgerton VR, Kraemer WJ, Kram R, et al. Musculoskeletal adaptations to weightlessness and development of effective countermeasures. *Med Sci Sports Exerc.* 1996 Oct;28(10):1247–53.
46. Buehring B, Belavy DL, Michaelis I, Gast U, Felsenberg D, Rittweger J. Changes in lower extremity muscle function after 56 days of bed rest. *J Appl Physiol.* 2011 Jul;111(1):87–94.
47. Convertino VA, Bloomfield SA, Greenleaf JE. An overview of the issues: physiological effects of bed rest and restricted physical activity. *Med Sci Sports Exerc.* 1997 Feb;29(2):187–90.
48. di Prampero PE, Narici MV. Muscles in microgravity: from fibres to human motion. *J Biomech.* 2003 Mar;36(3):403–12.
49. Widrick JJ, Knuth ST, Norenberg KM, Romatowski JG, Bain JL, Riley DA, et al. Effect of a 17 day spaceflight on contractile properties of human soleus muscle fibres. *J Physiol. (Lond.).* 1999 May 1;516 (Pt 3):915–30.
50. Alkner BA, Tesch PA. Knee extensor and plantar flexor muscle size and function following 90 days of bed rest with or without resistance exercise. *Eur J Appl Physiol.* 2004 Dec;93(3):294–305.
51. Ferretti G, Berg HE, Minetti AE, Moia C, Rampichini S, Narici MV. Maximal instantaneous muscular power after prolonged bed rest in humans. *J Appl Physiol.* 2001 Feb;90(2):431–5.
52. Duchateau J. Bed rest induces neural and contractile adaptations in triceps surae. *Med Sci Sports Exerc.* 1995 Dec;27(12):1581–9.
53. Edgerton VR, McCall GE, Hodgson JA, Gotto J, Goulet C, Fleischmann K, et al. Sensorimotor adaptations to microgravity in humans. *J Exp Biol.* 2001 Sep;204(Pt 18):3217–24.
54. Kawakami Y, Akima H, Kubo K, Muraoka Y, Hasegawa H, Kouzaki M, et al. Changes in muscle size, architecture, and neural activation after 20 days of bed rest with and without resistance exercise. *Eur J Appl Physiol.* 2001 Feb;84(1-2):7–12.
55. Kubo K, Akima H, Ushiyama J, Tabata I, Fukuoka H, Kanehisa H, et al. Effects of resistance training during bed rest on the viscoelastic properties of tendon structures in the lower limb. *Scand J Med Sci Sports.* 2004 Oct;14(5):296–302.

56. Reeves ND, Maganaris CN, Ferretti G, Narici MV. Influence of 90-day simulated microgravity on human tendon mechanical properties and the effect of resistive countermeasures. *J Appl Physiol.* 2005 Jun;98(6):2278–86.
57. de Boer MD, Seynnes OR, di Prampero PE, Pisot R, Mekjavic IB, Biolo G, et al. Effect of 5 weeks horizontal bed rest on human muscle thickness and architecture of weight bearing and non-weight bearing muscles. *Eur J Appl Physiol.* 2008 Sep;104(2):401–7.
58. Mulder ER b, Horstman AM, Stegeman DF, de Haan A, Belavý DL, Miokovic T, et al. Influence of vibration resistance training on knee extensor and plantar flexor size, strength, and contractile speed characteristics after 60 days of bed rest. *J Appl Physiol.* 2009 Dec;107(6):1789–98.
59. Kawashima S, Akima H, Kuno S-Y, Gunji A, Fukunaga T. Human adductor muscles atrophy after short duration of unweighting. *Eur J Appl Physiol.* 2004 Aug;92(4-5):602–5.
60. Montgomery WH 3rd, Pink M, Perry J. Electromyographic analysis of hip and knee musculature during running. *Am J Sports Med.* 1994 Apr;22(2):272–8.
61. Hides JA, Lambrecht G, Richardson CA, Stanton WR, Ambrecht G, Pruett C, et al. The effects of rehabilitation on the muscles of the trunk following prolonged bed rest. *Eur Spine J.* 2011 May;20(5):808–18.
62. Akima H, Kawakami Y, Kubo K, Sekiguchi C, Ohshima H, Miyamoto A, et al. Effect of short-duration spaceflight on thigh and leg muscle volume. *Med Sci Sports Exerc.* 2000 Oct;32(10):1743–7.
63. Gallagher P, Trappe S, Harber M, Creer A, Mazzetti S, Trappe T, et al. Effects of 84-days of bedrest and resistance training on single muscle fibre myosin heavy chain distribution in human vastus lateralis and soleus muscles. *Acta Physiol Scand.* 2005 Sep;185(1):61–9.
64. Akima H, Kubo K, Imai M, Kanehisa H, Suzuki Y, Gunji A, et al. Inactivity and muscle: effect of resistance training during bed rest on muscle size in the lower limb. *Acta Physiol Scand.* 2001 Aug;172(4):269–78.
65. Alkner BA, Tesch PA. Efficacy of a gravity-independent resistance exercise device as a countermeasure to muscle atrophy during 29-day bed rest. *Acta Physiol Scand.* 2004 Jul;181(3):345–57.

66. Trappe S, Trappe T, Gallagher P, Harber M, Alkner B, Tesch P. Human single muscle fibre function with 84 day bed-rest and resistance exercise. *J Physiol (Lond.)*. 2004 Jun 1;557(Pt 2):501–13.
67. Trappe TA, Raue U, Tesch PA. Human soleus muscle protein synthesis following resistance exercise. *Acta Physiol Scand*. 2004 Oct;182(2):189–96.
68. Croisier J-L, Ganteaume S, Binet J, Genty M, Ferret J-M. Strength imbalances and prevention of hamstring injury in professional soccer players: a prospective study. *Am J Sports Med*. 2008 Aug;36(8):1469–75.
69. Niemuth PE, Johnson RJ, Myers MJ, Thieman TJ. Hip muscle weakness and overuse injuries in recreational runners. *Clin J Sport Med*. 2005 Jan;15(1):14–21.
70. Renkawitz T, Boluki D, Grifka J. The association of low back pain, neuromuscular imbalance, and trunk extension strength in athletes. *Spine J*. 2006 Dec;6(6):673–83.
71. Tesch PA, Trieschmann JT, Ekberg A. Hypertrophy of chronically unloaded muscle subjected to resistance exercise. *J Appl Physiol*. 2004 Apr;96(4):1451–8.
72. Shackelford LC, LeBlanc AD, Driscoll TB, Evans HJ, Rianon NJ, Smith SM, et al. Resistance exercise as a countermeasure to disuse-induced bone loss. *J Appl Physiol*. 2004 Jul;97(1):119–29.
73. Trappe S, Creer A, Minchev K, Slivka D, Louis E, Luden N, et al. Human soleus single muscle fiber function with exercise or nutrition countermeasures during 60 days of bed rest. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*. 2008 Mar;294(3):R939–947.
74. LeBlanc AD, Schneider VS, Evans HJ, Pientok C, Rowe R, Spector E. Regional changes in muscle mass following 17 weeks of bed rest. *J Appl Physiol*. 1992 Nov;73(5):2172–8.
75. Schulze K, Gallagher P, Trappe S. Resistance training preserves skeletal muscle function during unloading in humans. *Med Sci Sports Exerc*. 2002 Feb;34(2):303–13.
76. Kubo K, Akima H, Kouzaki M, Ito M, Kawakami Y, Kanehisa H, et al. Changes in the elastic properties of tendon structures following 20 days bed-rest in humans. *Eur J Appl Physiol*. 2000 Dec;83(6):463–8.
77. Suzuki Y, Murakami T, Haruna Y, Kawakubo K, Goto S, Makita Y, et al. Effects of 10 and 20 days bed rest on leg muscle mass and strength in young subjects. *Acta Physiol Scand Suppl*. 1994;616:5–18.

78. LeBlanc A, Schneider V, Shackelford L, West S, Oganov V, Bakulin A, et al. Bone mineral and lean tissue loss after long duration space flight. *J Musculoskelet Neuronal Interact.* 2000 Dec;1(2):157–60.
79. Mulder ER a, Gerrits KHL, Kleine BU, Rittweger J, Felsenberg D, de Haan A, et al. High-density surface EMG study on the time course of central nervous and peripheral neuromuscular changes during 8 weeks of bed rest with or without resistive vibration exercise. *J Electromyogr Kinesiol.* 2009 Apr;19(2):208–18.
80. Fitts RH, Riley DR, Widrick JJ. Functional and structural adaptations of skeletal muscle to microgravity. *J Exp Biol.* 2001 Sep;204(Pt 18):3201–8.
81. Gondin J, Guette M, Maffiuletti NA, Martin A. Neural activation of the triceps surae is impaired following 2 weeks of immobilization. *Eur J Appl Physiol.* 2004 Dec;93(3):359–65.
82. Reeves NJ, Maganaris CN, Ferretti G, Narici MV. Influence of simulated microgravity on human skeletal muscle architecture and function. *J Gravit Physiol.* 2002 Jul;9(1):P153–154.
83. Mulder ER, Kuebler WM, Gerrits KHL, Rittweger J, Felsenberg D, Stegeman DF, et al. Knee extensor fatigability after bedrest for 8 weeks with and without countermeasure. *Muscle Nerve.* 2007 Dec;36(6):798–806.
84. Riley DA, Bain JL, Thompson JL, Fitts RH, Widrick JJ, Trappe SW, et al. Decreased thin filament density and length in human atrophic soleus muscle fibers after spaceflight. *J Appl Physiol.* 2000 Feb;88(2):567–72.
85. Riley DA, Bain JL, Thompson JL, Fitts RH, Widrick JJ, Trappe SW, et al. Disproportionate loss of thin filaments in human soleus muscle after 17-day bed rest. *Muscle Nerve.* 1998 Oct;21(10):1280–9.
86. Riley DA, Bain JLW, Thompson JL, Fitts RH, Widrick JJ, Trappe SW, et al. Thin filament diversity and physiological properties of fast and slow fiber types in astronaut leg muscles. *J Appl Physiol.* 2002 Feb;92(2):817–25.
87. Trappe T b. Influence of aging and long-term unloading on the structure and function of human skeletal muscle. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2009 Jun;34(3):459–64.
88. Kjaer M. Role of extracellular matrix in adaptation of tendon and skeletal muscle to mechanical loading. *Physiol Rev.* 2004 Apr;84(2):649–98.

89. Lemoine JK, Haus JM, Trappe SW, Trappe TA. Muscle proteins during 60-day bedrest in women: impact of exercise or nutrition. *Muscle Nerve*. 2009 Apr;39(4):463–71.
90. Patel TJ, Lieber RL. Force transmission in skeletal muscle: from actomyosin to external tendons. *Exerc Sport Sci Rev*. 1997;25:321–63.
91. Convertino VA. Cardiovascular consequences of bed rest: effect on maximal oxygen uptake. *Med Sci Sports Exerc*. 1997 Feb;29(2):191–6.
92. Capelli C, Antonutto G, Kenfack MA, Causero M, Lador F, Moia C, et al. Factors determining the time course of VO₂(max) decay during bedrest: implications for VO₂(max) limitation. *Eur J Appl Physiol*. 2006 Sep;98(2):152–60.
93. Dorfman TA, Levine BD, Tillery T, Peshock RM, Hastings JL, Schneider SM, et al. Cardiac atrophy in women following bed rest. *J Appl Physiol*. 2007 Jul;103(1):8–16.
94. Berg HE, Dudley GA, Hather B, Tesch PA. Work capacity and metabolic and morphologic characteristics of the human quadriceps muscle in response to unloading. *Clin Physiol*. 1993 Jul;13(4):337–47.
95. NASA - Human Adaptation and Countermeasures Division - Program Support - HHC [Internet]. 2012 [cited 2012 Apr 7]. Available from: <http://www.nasa.gov/centers/johnson/slsd/about/divisions/hacd/hrp/hhc.html>
96. Rittweger J, Belavy D, Hunek P, Gast U, Boerst H, Feilcke B, et al. Highly demanding resistive vibration exercise program is tolerated during 56 days of strict bed-rest. *Int J Sports Med*. 2006 Jul;27(7):553–9.
97. Trappe TA a, Burd NA, Louis ES, Lee GA, Trappe SW. Influence of concurrent exercise or nutrition countermeasures on thigh and calf muscle size and function during 60 days of bed rest in women. *Acta Physiol (Oxf)*. 2007 Oct;191(2):147–59.
98. Gopalakrishnan R, Genc KO, Rice AJ, Lee SMC, Evans HJ, Maender CC, et al. Muscle volume, strength, endurance, and exercise loads during 6-month missions in space. *Aviat Space Environ Med*. 2010 Feb;81(2):91–102.
99. Rittweger J, Frost HM, Schiessl H, Ohshima H, Alkner B, Tesch P, et al. Muscle atrophy and bone loss after 90 days' bed rest and the effects of flywheel resistive exercise and pamidronate: results from the LTBR study. *Bone*. 2005 Jun;36(6):1019–29.

100. Ferrando AA, Tipton KD, Bamman MM, Wolfe RR. Resistance exercise maintains skeletal muscle protein synthesis during bed rest. *J Appl Physiol.* 1997 Mar;82(3):807–10.
101. Shepstone TN, Tang JE, Dallaire S, Schuenke MD, Staron RS, Phillips SM. Short-term high- vs. low-velocity isokinetic lengthening training results in greater hypertrophy of the elbow flexors in young men. *J Appl Physiol.* 2005 May;98(5):1768–76.
102. Zange J, Mester J, Heer M, Kluge G, Liphardt A-M. 20-Hz whole body vibration training fails to counteract the decrease in leg muscle volume caused by 14 days of 6 degrees head down tilt bed rest. *Eur J Appl Physiol.* 2009 Jan;105(2):271–7.
103. Trappe S a, Creer A, Slivka D, Minchev K, Trappe T. Single muscle fiber function with concurrent exercise or nutrition countermeasures during 60 days of bed rest in women. *J Appl Physiol.* 2007 Oct;103(4):1242–50.
104. Cardinale M, Bosco C. The use of vibration as an exercise intervention. *Exerc Sport Sci Rev.* 2003 Jan;31(1):3–7.
105. Belavý DL, Bock O, Börst H, Armbrecht G, Gast U, Degner C, et al. The 2nd Berlin BedRest Study: protocol and implementation. *J Musculoskelet Neuronal Interact.* 2010 Sep;10(3):207–19.
106. Rittweger J. Vibration as an exercise modality: how it may work, and what its potential might be. *Eur J Appl Physiol.* 2010 Mar;108(5):877–904.
107. Rittweger J, Beller G, Felsenberg D. Acute physiological effects of exhaustive whole-body vibration exercise in man. *Clin Physiol.* 2000 Mar;20(2):134–42.
108. Rittweger J, Mutschelknauss M, Felsenberg D. Acute changes in neuromuscular excitability after exhaustive whole body vibration exercise as compared to exhaustion by squatting exercise. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2003 Mar;23(2):81–6.
109. Griffin L, Garland SJ, Ivanova T, Gossen ER. Muscle vibration sustains motor unit firing rate during submaximal isometric fatigue in humans. *J Physiol (Lond).* 2001 Sep 15;535(Pt 3):929–36.
110. Kiiski J, Heinonen A, Järvinen TL, Kannus P, Sievänen H. Transmission of vertical whole body vibration to the human body. *J. Bone Miner. Res.* 2008 Aug;23(8):1318–25.

111. Rubin C, Pope M, Fritton JC, Magnusson M, Hansson T, McLeod K. Transmissibility of 15-hertz to 35-hertz vibrations to the human hip and lumbar spine: determining the physiologic feasibility of delivering low-level anabolic mechanical stimuli to skeletal regions at greatest risk of fracture because of osteoporosis. *Spine*. 2003 Dec 1;28(23):2621–7.
112. Space Flight - MeSH - NCBI [Internet]. 2012 [cited 2012 Apr 8]. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/mesh?term=spaceflight>
113. Bed Rest - MeSH - NCBI [Internet]. 2012 [cited 2012 Apr 8]. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/mesh?term=bed%20rest>
114. Muscles - MeSH - NCBI [Internet]. 2012 [cited 2012 Apr 8]. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/mesh/68009132>
115. WHO | Physical Activity [Internet]. WHO. 2012 [cited 2012 Apr 8]. Available from: <http://www.who.int/dietphysicalactivity/pa/en>
116. Critical Appraisal Tools [Internet]. 2012 [cited 2012 Apr 8]. Available from: <http://www.unisa.edu.au/cahe/resources/cat/default.asp>
117. PEDro scale « PEDro [Internet]. 2012 [cited 2012 Apr 8]. Available from: <http://www.pedro.org.au/english/downloads/pedro-scale/>
118. Bajotto G, Shimomura Y. Determinants of disuse-induced skeletal muscle atrophy: exercise and nutrition countermeasures to prevent protein loss. *J Nutr Sci Vitaminol*. 2006 Aug;52(4):233–47.
119. Glover EI, Phillips SM. Resistance exercise and appropriate nutrition to counteract muscle wasting and promote muscle hypertrophy. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*. 2010 Nov;13(6):630–4.
120. Layne CS, Forth KE. Plantar stimulation as a possible countermeasure to microgravity-induced neuromotor degradation. *Aviat Space Environ Med*. 2008 Aug;79(8):787–94.
121. Moriggi M, Vasso M, Fania C, Capitanio D, Bonifacio G, Salanova M, et al. Long term bed rest with and without vibration exercise countermeasures: effects on human muscle protein dysregulation. *Proteomics*. 2010 Nov;10(21):3756–74.
122. Rittweger J, Felsenberg D. Recovery of muscle atrophy and bone loss from 90 days bed rest: results from a one-year follow-up. *Bone*. 2009 Feb;44(2):214–24.

123. Macias BR, Cao P, Watenpaugh DE, Hargens AR. LBNP treadmill exercise maintains spine function and muscle strength in identical twins during 28-day simulated microgravity. *J Appl Physiol*. 2007 Jun;102(6):2274–8.
124. Berg HE, Tesch PA. Force and power characteristics of a resistive exercise device for use in space. *Acta Astronaut*. 1998 Apr;42(1-8):219–30.
125. Norrbrand L, Pozzo M, Tesch PA. Flywheel resistance training calls for greater eccentric muscle activation than weight training. *Eur J Appl Physiol*. 2010 Nov;110(5):997–1005.
126. Cao P, Kimura S, Macias BR, Ueno T, Watenpaugh DE, Hargens AR. Exercise within lower body negative pressure partially counteracts lumbar spine deconditioning associated with 28-day bed rest. *J Appl Physiol*. 2005 Jul;99(1):39–44.
127. Boda WL, Watenpaugh DE, Ballard RE, Hargens AR. Supine lower body negative pressure exercise simulates metabolic and kinetic features of upright exercise. *J Appl Physiol*. 2000 Aug;89(2):649–54.
128. Hargens AR, Whalen RT, Watenpaugh DE, Schwandt DF, Krock LP. Lower body negative pressure to provide load bearing in space. *Aviat Space Environ Med*. 1991 Oct;62(10):934–7.
129. Murthy G, Watenpaugh DE, Ballard RE, Hargens AR. Exercise against lower body negative pressure as a countermeasure for cardiovascular and musculoskeletal deconditioning. *Acta Astronaut*. 1994 Jul;33:89–96.
130. Hotta N, Ishida K, Sato K, Koike T, Katayama K, Akima H. The effect of intense interval cycle-training on unloading-induced dysfunction and atrophy in the human calf muscle. *J Physiol Anthropol*. 2011;30(1):29–35.
131. Andersson E, Oddsson L, Grundström H, Thorstensson A. The role of the psoas and iliacus muscles for stability and movement of the lumbar spine, pelvis and hip. *Scand J Med Sci Sports*. 1995 Feb;5(1):10–6.
132. Andersson EA, Nilsson J, Thorstensson A. Intramuscular EMG from the hip flexor muscles during human locomotion. *Acta Physiol Scand*. 1997 Nov;161(3):361–70.
133. Lyons K, Perry J, Gronley JK, Barnes L, Antonelli D. Timing and relative intensity of hip extensor and abductor muscle action during level and stair ambulation. An EMG study. *Phys Ther*. 1983 Oct;63(10):1597–605.

134. Prilutsky BI, Gregor RJ. Swing- and support-related muscle actions differentially trigger human walk-run and run-walk transitions. *J Exp Biol.* 2001 Jul;204(Pt 13):2277–87.
135. Jaegers S, Dantuma R, de Jongh HJ. Three-dimensional reconstruction of the hip muscles on the basis of magnetic resonance images. *Surg Radiol Anat.* 1992;14(3):241–9.
136. Bell GJ, Syrotuik D, Martin TP, Burnham R, Quinney HA. Effect of concurrent strength and endurance training on skeletal muscle properties and hormone concentrations in humans. *Eur J Appl Physiol.* 2000 Mar;81(5):418–27.
137. Dudley GA, Djamil R. Incompatibility of endurance- and strength-training modes of exercise. *J Appl Physiol.* 1985 Nov;59(5):1446–51.
138. Hickson RC. Interference of strength development by simultaneously training for strength and endurance. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1980;45(2-3):255–63.
139. Kraemer WJ, Patton JF, Gordon SE, Harman EA, Deschenes MR, Reynolds K, et al. Compatibility of high-intensity strength and endurance training on hormonal and skeletal muscle adaptations. *J Appl Physiol.* 1995 Mar;78(3):976–89.
140. Bamman MM, Caruso JF. Resistance exercise countermeasures for space flight: implications of training specificity. *J Strength Cond Res.* 2000 Feb;14(1):45–9.
141. Richardson RS, Frank LR, Haseler LJ. Dynamic knee-extensor and cycle exercise: functional MRI of muscular activity. *Int J Sports Med.* 1998 Apr;19(3):182–7.
142. Andersen LL, Magnusson SP, Nielsen M, Haleem J, Poulsen K, Aagaard P. Neuromuscular activation in conventional therapeutic exercises and heavy resistance exercises: implications for rehabilitation. *Phys Ther.* 2006 May;86(5):683–97.
143. Gryzlo SM, Patek RM, Pink M, Perry J. Electromyographic analysis of knee rehabilitation exercises. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1994 Jul;20(1):36–43.
144. Stuart MJ, Meglan DA, Lutz GE, Growney ES, An KN. Comparison of intersegmental tibiofemoral joint forces and muscle activity during various closed kinetic chain exercises. *Am J Sports Med.* 1996 Dec;24(6):792–9.
145. Shields RK, Madhavan S, Gregg E, Leitch J, Petersen B, Salata S, et al. Neuromuscular control of the knee during a resisted single-limb squat exercise. *Am J Sports Med.* 2005 Oct;33(10):1520–6.

146. Cuoco A, Callahan DM, Sayers S, Frontera WR, Bean J, Fielding RA. Impact of muscle power and force on gait speed in disabled older men and women. *J Gerontol. A Biol Sci Med Sci.* 2004 Nov;59(11):1200–6.
147. Katula JA, Rejeski WJ, Marsh AP. Enhancing quality of life in older adults: a comparison of muscular strength and power training. *Health Qual Life Outcomes.* 2008;6:45.
148. Runge M, Rittweger J, Russo CR, Schiessl H, Felsenberg D. Is muscle power output a key factor in the age-related decline in physical performance? A comparison of muscle cross section, chair-rising test and jumping power. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2004 Nov;24(6):335–40.
149. Antonutto G, Capelli C, Girardis M, Zamparo P, di Prampero PE. Effects of microgravity on maximal power of lower limbs during very short efforts in humans. *J Appl Physiol.* 1999 Jan;86(1):85–92.
150. Stein TP, Leskiw MJ, Schluter MD, Donaldson MR, Larina I. Protein kinetics during and after long-duration spaceflight on MIR. *Am J Physiol.* 1999 Jun;276(6 Pt 1):E1014–1021.
151. Häkkinen K, Alen M, Kraemer WJ, Gorostiaga E, Izquierdo M, Rusko H, et al. Neuromuscular adaptations during concurrent strength and endurance training versus strength training. *Eur J Appl Physiol.* 2003 Mar;89(1):42–52.
152. Ferretti G, Girardis M, Moia C, Antonutto G. Effects of prolonged bed rest on cardiovascular oxygen transport during submaximal exercise in humans. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1998 Oct;78(5):398–402.
153. Trappe S, Harber M, Creer A, Gallagher P, Slivka D, Minchev K, et al. Single muscle fiber adaptations with marathon training. *J Appl Physiol.* 2006 Sep;101(3):721–7.
154. Akima H, Ushiyama J, Kubo J, Tonosaki S, Itoh M, Kawakami Y, et al. Resistance training during unweighting maintains muscle size and function in human calf. *Med Sci Sports Exerc.* 2003 Apr;35(4):655–62.
155. Akima H, Hotta N, Sato K, Ishida K, Koike T, Katayama K. Cycle ergometer exercise to counteract muscle atrophy during unilateral lower limb suspension. *Aviat Space Environ Med.* 2009 Jul;80(7):652–6.

156. Sato K, Katayama K, Hotta N, Ishida K, Akima H. Aerobic exercise capacity and muscle volume after lower limb suspension with exercise countermeasure. *Aviat Space Environ Med.* 2010 Dec;81(12):1085–91.
157. Gregor RJ, Broker JP, Ryan MM. The biomechanics of cycling. *Exerc Sport Sci Rev.* 1991;19:127–69.
158. Rudnick J, Püttmann B, Tesch PA, Alkner B, Schoser BGH, Salanova M, et al. Differential expression of nitric oxide synthases (NOS 1-3) in human skeletal muscle following exercise countermeasure during 12 weeks of bed rest. *FASEB J.* 2004 Aug;18(11):1228–30.
159. Blanc S, Normand S, Pachiardi C, Fortrat JO, Laville M, Gharib C. Fuel homeostasis during physical inactivity induced by bed rest. *J Clin Endocrinol Metab.* 2000 Jun;85(6):2223–33.
160. Stein TP, Wade CE. Metabolic consequences of muscle disuse atrophy. *J. Nutr.* 2005 Jul;135(7):1824S–1828S.
161. Costill DL, Sparks K, Gregor R, Turner C. Muscle glycogen utilization during exhaustive running. *J Appl Physiol.* 1971 Sep;31(3):353–6.
162. Pilegaard H, Keller C, Steensberg A, Helge JW, Pedersen BK, Saltin B, et al. Influence of pre-exercise muscle glycogen content on exercise-induced transcriptional regulation of metabolic genes. *J Physiol (Lond).* 2002 May 15;541(Pt 1):261–71.
163. Kim PL, Staron RS, Phillips SM. Fasted-state skeletal muscle protein synthesis after resistance exercise is altered with training. *J Physiol (Lond).* 2005 Oct 1;568(Pt 1):283–90.
164. Phillips SM, Tipton KD, Ferrando AA, Wolfe RR. Resistance training reduces the acute exercise-induced increase in muscle protein turnover. *Am J Physiol.* 1999 Jan;276(1 Pt 1):E118–124.
165. Harm DL, Jennings RT, Meck JV, Powell MR, Putcha L, Sams CP, et al. Invited review: gender issues related to spaceflight: a NASA perspective. *J Appl Physiol.* 2001 Nov;91(5):2374–83.
166. Miller BF, Hansen M, Olesen JL, Flyvbjerg A, Schwarz P, Babraj JA, et al. No effect of menstrual cycle on myofibrillar and connective tissue protein synthesis in contracting skeletal muscle. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 2006 Jan;290(1):E163–E168.

167. Rønnestad BR, Egeland W, Kvamme NH, Refsnes PE, Kadi F, Raastad T. Dissimilar effects of one- and three-set strength training on strength and muscle mass gains in upper and lower body in untrained subjects. *J Strength Cond Res.* 2007 Feb;21(1):157–63.
168. Wing PC, Tsang IK, Susak L, Gagnon F, Gagnon R, Potts JE. Back pain and spinal changes in microgravity. *Orthop Clin North Am.* 1991 Apr;22(2):255–62.
169. Belavý DL, Seibel MJ, Roth HJ, Armbrecht G, Rittweger J, Felsenberg D. The effects of bed-rest and countermeasure exercise on the endocrine system in male adults: Evidence for immobilization-induced reduction in sex hormone-binding globulin levels. *J Endocrinol Invest.* 2012 Jan;35(1):54–62.
170. Ploutz-Snyder LL, Tesch PA, Hather BM, Dudley GA. Vulnerability to dysfunction and muscle injury after unloading. *Arch Phys Med Rehabil.* 1996 Aug;77(8):773–7.
171. Milesi S, Capelli C, Denoth J, Hutchinson T, Stüssi E. Effects of 17 days bedrest on the maximal voluntary isometric torque and neuromuscular activation of the plantar and dorsal flexors of the ankle. *Eur J Appl Physiol.* 2000 Jun;82(3):197–205.
172. Claus AP, Hides JA, Moseley GL, Hodges PW. Different ways to balance the spine: subtle changes in sagittal spinal curves affect regional muscle activity. *Spine.* 2009 Mar 15;34(6):E208–214.
173. Schneider SM, Amonette WE, Blazine K, Bentley J, Lee SMC, Loehr JA, et al. Training with the International Space Station interim resistive exercise device. *Med Sci Sports Exerc.* 2003 Nov;35(11):1935–45.
174. Convertino VA, Karst GM, Kirby CR, Goldwater DJ. Effect of simulated weightlessness on exercise-induced anaerobic threshold. *Aviat Space Environ Med.* 1986 Apr;57(4):325–31.

Anexos

Anexo 1. Escala PEDro e respectivas linhas orientadoras

Anexo 2. Escala *McMaster* e respectivas linhas orientadoras

Anexo 3. Escala CASP e respectivas linhas orientadoras

Apêndices

Apêndice 1.

Quadro Descritivo da Resposta Muscular aos Programas de Treino nos estudos de acamamento e de voo espacial

Publicação	Principais Resultados
Voo Espacial	
Fitts et al. (2010)	↓ Ø Sol fibras tipo I (-19,4%), Gém I (-13,4%), Sol II (-15,8%), Gém II (-1,3%); ↓ AS Sol I (-40%), Gém I (-28%), Sol II (-28,7%), Gém II (-5,4%); ↓ P₀ Sol I (-34,9%), Gém I (-24,6%), Sol II (-26,8%), Gém II (-6,8%); ↓ v₀ Sol I (-20%), Gém I (-16,3%), Gém II (-17,6%), ↑ v₀ Sol II (10,5%).
Gopalakrishnan et al. (2010)	↓ VM SOL (-19%), Gêmeo interno (-10%), DF (-10%), Q (-6%), Isq-tb (-7%), adutores da anca (-4%). ↓ CMV isométrica FP (-20%), DF (-4%), Q (-15%), Isq-tb (-20%), extensores da anca (-15%), flexores da anca (-28%). ↓ Trabalho total (-14%); ↑ Fadiga Q .
Trappe et al. (2009) A	↓ VM FP (-13%); ↓ CMV isocinética FP [-7; -22]%; Perfil fibras : ↓ Gém I (-12%), Sol I (-17%), ↑ Gém I/IIa (+4%), Gém IIa (+9%), Sol Híbridos (+12%)
Acamamento – BBR	
Belavý et al. (2009) B	Controlo : ↓ VM Q (-12%), Isq-tb (-7,6%), FP (-14,4%), adutores da anca (-4,5%) Treino : ↓ VM Q (-1,7%), Isq-tb (10,9%), FP (-1,9%), adutores da anca (-5,4%)
Belavý et al. (2008)	Controlo : ↓ AS MCE (-21%), ↑ AS Psoas (+7%). Treino : ↓ AS MCE (-7%), ↑ AS Psoas (+9%).
Blottner et al. (2006)	Controlo : ↓ CMV isométrica FP (-18,9%); ↑ tipo II Sol (140%); = tipo I Sol, tipo I e II VE Treino : = CMV isométrica FP; = tipo I e II Sol, tipo I e II VE
Buehring et al. (2010)	Controlo : ↓ CMV isométrica FP (-17,1%); ↓ P_{pico} (- 24,1%); ↓ H_{salto vertical} (- 28,5%) Treino : = CMV isométrica FP; ↓ P_{pico} (- 12,2%); ↓ H_{salto vertical} (-14,2%)
Mendis et al. (2009)	Data Pooled : = AS Ilíaco ; ↓ AS Psoas (-2,1%), Tensor Fáschia Lata (-7,3%); ↑ AS Recto Anterior (0,5%).
Moriggi et al. (2010)	Controlo : ↓ AS VE (-15%), Sol (-15%); ↑ tipo I VE (5%), ↓ IIa VE (-12%); ↑ IIx VE (7%), ↑ I Sol (12%), ↓ IIa Sol (-12%), = IIx Sol Treino : = AS VE e Sol ; ↓ tipo I VE (-9%), ↑ IIa VE (8%), = IIx VE ; ↓ I Sol (-11%), ↑ IIa Sol (11%), = IIx Sol

Mulder et al. (2009) A	Controlo: ↓ CMV isométrica Q (-17,9%); = RMS ; ↓ EMG med freq (-7,5%); ↓ MFCV (-8,2%) Treino: ↓ CMV isom Q (-9,9%); ↑ RMS (130%); = EMG med freq ; = MFCV
Mulder et al. (2007)	Controlo: ↓ CMV isom Q (-16%); ↑ sEMG ampl Q (12%); ↑ Fadiga Q Treino: ↓ CMV isom Q (-11%); ↑ sEMG ampl Q (16%); = Fadiga Q .
Mulder et al. (2006)	Controlo: ↓ AS Q (-14,1%); ↓ CMV isométrica Q (-16,8%); = ativação voluntária neural Q Treino: ↓ AS Q (-3,5%); = CMV isométrica Q ; = ativação voluntária neural Q
Acamamento – BBR-2	
Belavý et al. (2010)	Controlo: ↓ AS MCE (-10,1%), MSIL (-10,4%), Quadrado Lombar (-9,2%), ↑ AS Psoas (+3,2%) Treino: R: ↓ AS MCE (-5,6%), MSIL (-4%), Quadrado Lombar (-0,8%), ↑ AS Psoas (+11%), RV: ↓ AS MCE (-4%), MSIL (-7%), Quadrado Lombar (-3,2%), ↑ AS Psoas (+10,2%)
Hides et al. (2011)	Treino 1: = AS MCE e Psoas Treino 2: = AS MCE e Psoas , exceção: nível vertebral L1 ↑ AS Ps (+11,4%)
Miokovic et al. (2011)	Controlo: ↓ VM LPBC (-17,7%), PPBC (-6,5%), Semi-membranoso (-18,1%), Semi-tendinoso (-5,2%), Médio Glúteo (-3,7%) Treino: R: ↓ VM LPBC (-13,1%), PPBC (-2,7%), Semi-membranoso (-12,8%), Semi-tendinoso (-5,3%), = VM Médio Glúteo ; RV: ↓ VM LPBC (-13,6%), PPBC (-2,7%), S-m (-14,1%), S-t (-2,4%), GluM (-3,6%)
Mulder et al. (2009) B	Controlo: ↓ AS Q (-13,5%) e FP (-23,8%); ↓ CMV isométrica Q (-21,3%), FP (-24,9%); ↔ ativação neural Q e FP Treino: R,RV: = AS Q ; = CMV isométrica Q ; = ativação neural Q e FP R: ↓ AS FP (-10,7%); ↓ CMV isométrica FP (-14,8%) RV: ↓ AS FP (-11%); ↓ CMV isométrica FP (-12,8%)
Acamamento – MEDES	
Lemoine et al. (2009)	Treino: = VM Q e FP , = concentrações de proteínas (conteúdo geral e específico). Excepções: ↑12% concentração de Miosina no VE face ao Sol; ↑234% concentração de Colagénio no Sol face ao VE.
Mounier et al. (2008)	Controlo: ↓ Ø I Sol (-20,2%), II (-13,4%); ↓ Ø I VE (-26,9%), II (-23,9%); ↓ P₀ I Sol (-33,9%), II (-5,4%); ↓ P₀ I VE (-53%), II VE (-25,8%). Treino: ↓ Ø I Sol (-7,1%), II (-5,2%); ↓ Ø I VE (-5,4%), ↑ Ø II VE (1,2%);↑ P₀ I Sol (2,6%), II (11,8%);↓ P₀ I VE (-9%),↑ P₀II VE (8,8%).

Salanova et al. (2008)	Controlo: ↓ AS VE I (-20%), VE II (-30%), Sol I (-35%), Sol II (-5%); distribuição I vs. II (5-10%) VE , <i>shift</i> I – II Sol Treino: ↑ AS VE I (20%), VE II (30%), = AS Sol I e II; > % II vs. I, sem <i>shift</i> no Sol
Trappe et al. (2008)	Controlo: ↓ Ø I Sol (-14%), Ila (-11%); ↓ P ₀ I (-38,5%), Ila (-21,5%); ↑ v _{máx} I (4,3%), II (1,8%); ↓ P _{pico} I (-39%), Ila (-8%) Treino: ↓ Ø I Sol (-12,5%), ↑ Ø Ila (1,1%); ↓ P ₀ I (-23,2%), ↑ P ₀ Ila (8%); ↑ v _{máx} I (26%), II (18,9%); ↓ P _{pico} I (-8%), ↑ P _{pico} Ila (13,5%)
Trappe et al. (2007) A	Controlo: ↓ VM Q (-21%), FP (-29%); ↓ CMV isométrica Q (-37%), FP (-42%) Treino: ↓ VM Q (-3%), FP (-7%); ↓ CMV isométrica Q (-6%), ↑ CMV isométrica FP (2%)
Trappe et al. (2007) B	Controlo: ↓ Ø Fibras tipo I VE (-13,5%), Ila (-14,6%), Ila/IIx (-9,1%); ↓ P ₀ tipo I (-35,7%), Ila (-30,6%), Ila/IIx (-25,5%) Treino: ↓ Ø Fibras tipo I VE (-1,2%), ↑ Ø Ila (1,3%), Ila/IIx (4,6%); ↓ P ₀ tipo I (-9,8%), ↑ P ₀ Ila (4,3%), Ila/IIx (1,7%)
Acamamento – LTBR	
Haus et al. (2007)	Controlo: A e B: = Concentrações de proteínas específicas e gerais do VE e específicas do Sol, excepção: B: ↑ colagénico Sol. A e B: ↓ concentrações de proteínas gerais SOL; A: ↓ VM VE (-9%) Sol (-11%); B: ↓ VM VE (-18%) Sol (-29%) Treino: A e B: = Concentrações de proteínas específicas e gerais do VE; A: ↑ VM VE (8%); B: = VM VE.
Rittweger et al. (2009)	Recuperação do VM FP
Rittweger et al. (2007)	Controlo: ↓ P _{pico} (-27,2%); ↓ H _{salto vertical} (-32,1%) Treino: ↓ P _{pico} (-8,7%); ↓ H _{salto vertical} (-10,8%)
Acamamento – UCSD	
Macias et al. (2007)	Controlo: ↓ CMV isométrica flexão do tronco (-18,3%) Treino: ↓ CMV isométrica flexão tronco (-5,1%)

Legenda: ↓, redução; ↑ incremento; =, sem alterações estatisticamente significativas; Ø, diâmetro; A, treino aeróbio; AS, área seccional; BBR: Berlin Bed Rest study; BBR-2: segundo Berlin Bed Rest study; CMV, contracção máxima voluntária; DF, dorsiflexores; EMG, electromiograma; FP, flexores plantares; Gém, gémeos; Hsalto vertical, altura do salto vertical; Isq-tb, isquio-tibiais; LPBC, longa porção do bicípete crural; LTBR: Long-term male bed rest; MCE, músculo complicado da espinha; MEDES: Institute de Médecine et de Physiologie Spatiales; MFCV, velocidade de condução das fibras

musculares; MSIL, músculo sacro-ílio-lombar; P0, força isométrica de pico; Ppico potência de pico; PPBC, pequena porção do bicípete crural; Q, quadricípete crural; R, treino de resistance; RMS, root median square RV, treino resistance + vibração; Sol, solhar; Treino 1: treino de controlo motor específico; Treino 2: treino de flexão do tronco e de fortalecimento global; UCSD, University of California at San Diego; v0, velocidade de encurtamento máxima; VE, vasto externo; VM, volume muscular.

