

AÇÃO DA MICROGRAVIDADE SOBRE O SISTEMA ÓSSEO E CARDIOVASCULAR

Oslei de Matos¹
Daniel Vila Hreczuck²
Hellen Yuya Frantz²
Marina Aparecida Milhante²
Wagner Luis Ripka²

Resumo: Esta pesquisa foi elaborada com o objetivo de abordar a análise anatomofisiológica de sistemas como o ósseo e o cardiovascular e a ação da microgravidade sobre os mesmos. A revisão bibliográfica foi realizada sobre as mais recentes pesquisas e referências especializadas no assunto, e procurou focar as mais importantes alterações orgânicas sofridas pela ausência de gravidade.

Conclui-se através das mais importantes citações encontradas sobre o assunto, que apesar da grande influência da microgravidade sobre os sistemas estudados, atualmente os mesmos já são previstos e minimizados com ações preventivas, sendo o estudo da falta de carga gravitacional importante para a continuidade do desenvolvimento de pesquisas sobre microgravidade e sua influência direta sobre os vários sistemas corporais.

Palavras-chave: Microgravidade, cardiovascular, tecido ósseo, perda óssea.

Abstract: The aim of this research was to approach the anatomophysiologic analysis of systems as the bone and the cardiovascular as well as the action of microgravity upon them. The bibliographical revision was carried out through the most recent researches and specialized references in the subject, and sought to focus on the most important organic changes suffered by gravity absence.

It is concluded through most important references found on the subject, that although the great influence of the microgravity on the studies systems, nowadays these are already foreseen and minimized with injunctions, being the study of the important gravitational lackof load the continuity of the development of researchs on microgravity and its direct influence on the

¹ *Professor de Educação Física e Fisioterapeuta, especialista em Ginástica Médica, mestre e PhD em Educação, PhD em Ciências do Desporto, Professor de Anatomia, Neuroanatomia e Cinesiologia do curso de Educação Física da UTFPR. Email: osleimt@hotmail.com.*

² *Alunos do Curso de Educação Física da UTFPR.*

some corporal systems.

Keywords: Microgravity, cardiovascular, bone tissue, bone loss.

1. INTRODUÇÃO

O tecido ósseo é uma das estruturas mais rígidas do corpo devido a sua combinação de elementos inorgânicos e orgânicos. Dentre suas principais funções destacam-se a montagem do esqueleto o qual serve de suporte para o sistema muscular locomotor, proteção mecânica e, também, para o guarnecimento da região medular, vital para a formação de células sanguíneas (MCCARTHY et al., 2000).

Os minerais, cálcio e fosfato, junto com o colágeno, constituem o elemento orgânico do osso sendo responsáveis por aproximadamente 60 a 70% do tecido ósseo. A água constitui aproximadamente 25 a 30% deste tecido. Suas propriedades de maleabilidade são proporcionadas pelo material colágeno, conteúdo esse que dá ao osso a habilidade para suportar cargas tensivas. O grau de fragilidade do osso depende dos constituintes minerais que dão a ele a habilidade para suportar cargas compressivas (WILMORE, 2001).

O efeito da microgravidade não atinge apenas a estrutura óssea, mas também vários outros sistemas corporais. Uma das alterações cardiovasculares mais importantes, senão a principal gerada pelo ambiente microgravitacional, é a intolerância ortostática apresentada pelos astronautas no retorno à Terra, e se assemelha ao observado em pacientes acamados por vários dias, por hipotensão, taquicardia e tendência a síncope, quando o indivíduo assume a posição ereta (BLOMQUIST E STONE, 1983).

Esta pesquisa procurou abordar os principais aspectos anatomofisiológicos que atingem os principais sistemas corporais e a forma como estes são influenciados pela microgravidade. Esta análise foi elaborada por meio de revisão bibliográfica das principais publicações especializadas e pretende atualizar o enfoque na ação e alterações ocorridas pela microgravidade.

2. ESTRUTURA ÓSSEA

A base arquitetônica do corpo humano é representada por 206 ossos, a qual é constituída para resistir e se adaptar às constantes adaptações corporais e às novas vivências humanas. Esta arquitetura possui funções complexas e muitas vezes antagônicas. Como por exemplo, permitir a mobilidade corporal através das articulações, que são representadas pelo contacto de dois ou mais ossos, ao mesmo tempo em que permite esta movimentação, sendo as articulações de maior mobilidade as mais propensas às lesões. Segundo a *U.S. Department of Health and*

Human Services (USDHHS, 2004), outras funções importantes dos ossos e do esqueleto como um todo são a função hematopoiética e sustentação de partes moles, como as pélvicas e o encéfalo, protegidos por um arcabouço ósseo representados pela pelve e crânio, respectivamente.

Para Junqueira e Carneiro (1987), as células ósseas são representadas pelos: osteoclastos, que são células grandes de revestimento, multinucleadas de origem hematopoiética, derivadas dos macrófagos; os osteoblastos são células de revestimento, responsáveis pelos constituintes da matriz orgânica, derivados do mesênquima e localizados na medula óssea e revestindo uma camada de matriz ainda não calcificada.

Por sua vez, Modlesky e Lewis (2002) descreveram o osso como um tecido dinâmico em constante construção durante os anos de crescimento até se alcançar a meia idade, onde ocorre inevitavelmente sua deterioração ao longo dos demais estágios da vida.

A remodelação óssea é chamada de unidade de remodelamento ósseo (URO), as quais determinam uma padronização das diferentes fases que tornam o nosso esqueleto sempre renovado. A estas fases foram dadas, segundo Petranick e Berg (1997), Queiroz (1998b), Khan et al. (2001) e Rauch e Glorieux (2004), o nome de URO de Frost, sendo as mesmas descritas como:

- 1ª ativação das unidades funcionais básicas;
- 2ª atividade reabsortiva por parte dos osteoclastos;
- 3ª substituição dos osteoclastos pelos osteoblastos;
- 4ª atividade de formação óssea dos osteoblastos;
- 5ª mineralização da matriz protéica.

Estas fases compreendem a ação absorptiva dos osteoclastos, que realizam verdadeiras cavidades alargadas entre as lamelas ósseas, conhecidas como lacunas de Howship. Nestes locais, os osteoblastos refazem a arquitetura destruída que posteriormente se mineraliza para dar novamente à estrutura óssea a característica sólida e resistente (SEELEY, STEPHENS E TATE, 2005).

Segundo Khan et al. (2001), o remodelamento ósseo melhora o fortalecimento do mesmo não apenas por adicionar massa óssea, mas também por expansão dos diâmetros periostal e endocortical. Todavia, outros processos de formação também ocorrem através da medula óssea (na passagem de células indiferenciadas para a forma de blastemas, que depois viram osteoblastos), e o crescimento que ocorre na chamada Lei de Wolff- ambos muito visíveis na regeneração de fraturas (BECKER, 1985). Já, Smith (1996) acrescenta que a ação osteogênica ou reabsortiva são específicas e proporcionais à tensão sobre as células mecanosensoras da superfície da membrana óssea.

3. MICROGRAVIDADE: INFLUÊNCIA NOS OSSOS

Na condição de microgravidade, os ossos não precisam suportar o peso do corpo. Todos os ossos, especialmente os dos quadris, das coxas e da coluna lombar são muito menos utilizados do que na Terra. A densidade óssea mineral nos ossos de suporte do corpo usualmente diminui aproximadamente 1% por mês, na exposição à microgravidade, porém em alguns casos essa perda pode chegar até 2%.

Nessa progressão a perda poderia chegar a 50% em uma missão para Marte, tornando incompatível à volta a salvo para a gravidade da Terra. A diminuição da perda mineral óssea ocorre devido à diminuição da resistência mecânica e é comum como a osteoporose vista na Terra (PAYNE *et al.*, 2007, P.584).

Um aumento da reabsorção óssea, incluindo cálcio na urina foi detectado em cosmonautas após seis meses de exposição à microgravidade (SAXENA *et al.*, 2007). Estruturas orgânicas e inorgânicas oriundas da desmineralização vão para o sangue e são excretadas pelas vias renais, o que pode ocasionar o acúmulo de oxalato de cálcio, mais conhecido como cálculo renal. (CONVERTINO, 1996). Essa progressiva degradação do esqueleto pode ser um fator de limitação de viagens espaciais de longa duração, por causarem problemas como osteoporose, que levam à fraturas de ossos dos membros ou coluna vertebral, mesmo sem nunca ter sido relatado na literatura, esses fatos causam preocupação e devem ser alvo de monitoramento em viagens longas (PAYNE *et al.*, 2007).

Uma evidente relação entre o fluxo de sangue no osso e a formação óssea, além de uma importância da pressão interna do osso para a normal fisiologia do mesmo, e mudanças no fluxo e na pressão que ocorrem durante a microgravidade podem contribuir para a mudança na densidade óssea (McCarthy *et al.*, 2000, p.1052).

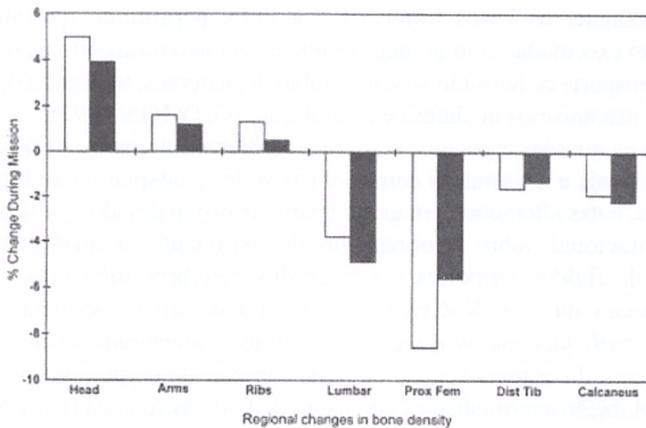
Estudos feitos nas viagens da Apollo 14 e da Apollo 16 mostraram índice de perdas minerais em cerca de 5 a 6% no osso calcâneo, sendo que o normal é de 0,5% ao ano (Wilmore, 2001). Como o osso do calcâneo é considerado o parâmetro de força, concluiu-se que os ossos de sustentação do corpo tendem a sofrer mais os impactos da microgravidade que os demais ossos do corpo (MCCARTHY *et al.* 2000, PAYNE *et al.*, 2007).

Em uma das pesquisas encontradas, foi realizado exame de densitometria óssea por DEXA (*Dual energy X-ray absorptiometry*) em 16 cosmonautas, sendo que após 16 a 28 semanas, os resultados revelaram uma redução densitométrica de aproximadamente 3,5%. Contudo foi observado que 97% do total da perda óssea foram na região da pelve e pernas (LE BLANC, *et al.* 2001).

Na missão EuroMIR95, dois sujeitos foram acompanhados através do

DEXA para conferir as mudanças regionais como mostra o quadro 1.

Quadro 1- Locais analisados e perdas densitométricas



Fica claro que a exposição prolongada à microgravidade tem efeitos diferentes em cada parte do corpo, tendo realmente as regiões de fêmur proximal e lombar os maiores efeitos de reabsorção (MCCARTHY et al. 2000).

A diminuição da densidade mineral óssea durante o vôo e a recuperação após seu retorno também mostram não serem simétricos. Já após seis meses do retorno a Terra o cosmonauta não recuperou o que perdeu em seis meses de exposição à microgravidade (MCCARTHY et al., 2000).

Forças extenuantes de curta duração, forças de alta velocidade e movimentos versáteis (inconstantes), têm sido sugeridas como sendo mais eficientes no acréscimo ósseo. A chamada reabilitação óssea tem por objetivo prevenir a perda óssea e promover a osteogênese através de resistências mecânicas, evitando assim fraturas ocorridas devida à osteoporose. Os maiores efeitos osteogênicos são encontrados em exercícios realizados com maior frequência semanal, de curta duração e alta intensidade, com enfoque direto sobre a ação óssea.

Nos vôos espaciais, as medidas preventivas incluem exercícios de bicicleta ergométrica, esteiras e exercícios de resistência, sendo que os cosmonautas russos ainda usam um traje durante a esteira que reproduz 70% do peso corporal (PAYNE et al, 2007).

4. AÇÃO DA MICROGRAVIDADE NO SISTEMA CARDIOVASCULAR

O sistema cardiovascular ou circulatório é uma vasta rede de tubos de vários

tipos e calibres, que põe em comunicação todas as partes do corpo. Dentro desses tubos circula o sangue, impulsionado pelas contrações rítmicas do coração (GRAY, 1988).

Os principais componentes do sistema circulatório são: o coração, os vasos sanguíneos, o sangue, os vasos linfáticos e a linfa, permitindo que algumas atividades sejam executadas com grande eficiência, como o transporte de resíduos metabólicos, transporte de hormônios, intercâmbio de materiais, transporte de calor, distribuição de mecanismos de defesa e coagulação. (GUYTON, 1992).

Durante as missões espaciais, o sistema cardiovascular sofre uma série de alterações funcionais e anatômicas com o objetivo de se adaptar ao ambiente de microgravidade. Estas alterações, em grande parte, ocorrem devido à falta da ação da força gravitacional sobre o organismo do astronauta, a qual gera uma redistribuição de fluidos corporais e sangue dos membros inferiores para os superiores, cabeça e tórax (KIRSCHKE et al., 1993). Estas alterações denominam-se síndrome de *puffy face* and *bird legs*, uma vez que, caracteristicamente, existe um ingurgitamento do sistema venoso da parte superior do corpo humano, o que confere uma coloração avermelhada e edema no rosto do astronauta (*puffy face*), e uma diminuição do volume das pernas (*bird legs*) (LEACH E JOHNSON, 1984). Estas alterações se iniciam logo no início da inserção do astronauta na microgravidade e atingem um pico máximo em 24 horas. Entre 3-5 dias na microgravidade, o sistema cardiovascular do astronauta adapta-se, não apresentando sintomas ou sinais importantes (JONES E CHARLES, 1993). A figura 1 ilustra as afirmações:

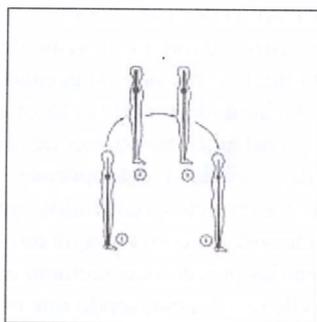


Figura 1. Visão esquemática da distribuição de fluidos corporais na Terra (1), na inserção na microgravidade (2), na adaptação ao espaço – perda de fluido corporal (3) e no retorno à gravidade terrestre.

O deslocamento do sangue da parte inferior para a superior do corpo é uma das possíveis causas da cinetose espacial, sensação de enjôo e/ou desconforto provocado pelo movimento, podendo ocorrer em automóveis, aviões, naves espaciais e barcos.

Para Santos e Bonamino (2003), a exposição à microgravidade durante as missões espaciais ocasiona cinetose imediata, também conhecida como Doença da Locomoção, que pode durar horas ou dias.

Dados relativos a microcirculação craniana também sugerem aumento da pressão das artérias cranianas. Kirsche et al. (1993) demonstraram um aumento da espessura cutânea na testa de um cosmonauta russo durante vôo orbital de nove dias, o que veio confirmar relatos freqüentes e evidências fotográficas de edema facial nos primeiros dias no espaço. Este edema poderia ser explicado por uma elevação da pressão capilar que ocorreria em função dos aumentos previstos das pressões arterial e venosa (JONES E CHARLES, 1993).

A maioria das informações provém da análise das respostas de freqüência cardíaca, pressão arterial e níveis hormonais obtidas durante a atividade normal dos astronautas ou em testes específicos, tais como o exercício físico e o teste da pressão negativa aplicada à região inferior do corpo (*lower body negative pressure*).

Com relação à freqüência cardíaca, os resultados são bastante contraditórios. De acordo com os levantamentos de Blomqvist e Stone (1983), sobre os projetos Mercury, Gemini, Skylab e Salyut, com medidas preventivas realizadas nas primeiras semanas no espaço, mostraram aumento, redução ou ainda ausência de alterações da freqüência cardíaca em relação aos valores de controles na Terra.

Segundo Jones e Charles (1993), a despeito da implementação sistemática de medidas preventivas há mais de 15 anos, a intolerância ortostática ainda constitui um problema para uma parcela significativa de astronautas, sendo que em missões de curta duração, parece que a intensidade da intolerância se correlaciona positivamente com o tempo de permanência no espaço.

Embora os mecanismos responsáveis pela intolerância ortostática não sejam plenamente reconhecidos, têm sido apontada como um dos principais determinantes dessa síndrome a redução do volume plasmático (LEACH, 1984 E CONVERTINO, 1996), o qual sofre uma diminuição de 10 a 25% nas primeiras 24 a 48 horas no espaço, com ligeira recuperação ao longo da primeira semana, permanecendo estabilizado em pouco menos de 10% abaixo dos níveis normais (HARGENS E WATENPAUGH, 1996).

5. CONCLUSÃO

Existe um grande interesse por parte dos laboratórios de pesquisa no mundo inteiro sobre a ação da microgravidade sobre os sistemas orgânicos. Muitas dessas pesquisas são utilizadas também para procurar sanar problemas de saúde gerais, e em consequência disso, são tão valorizadas.

Através do levantamento dos dados realizado pelo grupo de pesquisa, conclui-se que a microgravidade provoca rápida perda densitométrica principalmente em regiões de suporte como fêmur e coluna lombar, de forma similar ao que acontece com a senilidade na terra, mas estes efeitos já estão sendo

minimizados com medidas preventivas como trajes espaciais com suporte de peso e exercícios específicos. Quanto aos efeitos orgânicos, o maior desafio continua sendo a intolerância ortostática, a qual ainda permanece sem uma abordagem preventiva definida, necessitando de maiores pesquisas nas questões circulatórias.

REFERÊNCIAS

- BECKER R. *The body electric*. Nova York: Quill, 1985.
- BLOMQUIST RJ, STONE HL. Cardiovascular adjustments to gravitational stress. In: Sheperd JT, Abboud FM (eds.). *Handbook of physiology. the cardiovascular system*. American Physiological Society. Baltimore: Waverly 1983; 3 (28): 1025-63.
- CONVERTINO VA. Clinical aspects of the control of plasma volume at microgravity and during return to one gravity. *Med Sci Sports Exerc* 1996; 28: 45-52
- GRAY DJ. *Anatomia: estudo regional do corpo humano*. 4ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1988.
- GUYTON AC. *Tratado de fisiologia médica*. 8ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1992.
- HARGENS AR, WATENPAUGH DE. Cardiovascular adaptation to spaceflight. *Med Sci Sports Exerc* 1996; 28: 977-82.
- JONES MM, CHARLES JB. Human Blood Pressure and heart rate changes during space shuttle landing and crew egress. *Faseb Jornal* 1993; 7: 665
- JUNQUEIRA LCU, CARNEIRO J. *Histologia básica*. 6ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1987.
- KHAN K, MCKAY H, KANNUS P, BAILEY D, WARK J, BENNELL K. *Physical activity and bone health*. USA: Human Kinetics, 2001.
- KIRSCH KA, BAARTZ FJ, GUNGA HC, ROCKER L, WICKE HJ, BUNSCH B. Fluid shifts into and out of superficial tissues under microgravity and terrestrial conditions: *Clin Inv* 1993; 71: 687-9.
- LEACH CS, JONHSON PC. Influence of space flight on erythrokinetics in man. *Science* 1984; 225: 216-8.
- LE BLANC A, ET AL. Bone mineral and lean tissue loss after long duration space flight. *J Musculoskelet Neuronal Interact* 2000; 1:157-160.
- MCCARTHY A, GOODSHIP R, HERZOG V, OGANOV E, STUSSI M, VAHLENSIECK M. Investigation of bone changes in microgravity during long and short duration space flight: comparison of techniques, *European Journal of Clinical Investigation* 2000; 30: 1044-1054.
- MODLESKY CM, LEWIS RD. Does exercise during growth have a long-term effect on bone health. *Exerc Sport Sci Rev* 2002; 30 (4): 171-176.
- PAYNE MWC, WILLIAMS DR, TRUDEL G. *Physical medicine and rehabilitation*. 2007; 86(7): 583-591.
- PETRANICK K, BERG K. (1997). The effects of weight training on bone density of premenopausal, postmenopausal, and elderly women: *A Review. J Strength Cond Res* 1997; 11 (3): 200-208.
- QUEIROZ MV. *Osteoporose*. Lisboa: Lidel, 1998.
- RAUCH F, GLORIEUX FH. *Osteogenesis imperfecta*. *Lancet* 2004; 363 (9418): 1377-85.
- SANTOS PEB, BONAMINO MH. Efeitos cardiovasculares agudos da exposição ao ambiente microgravitacional *Arq Bras Cardiol* 2003; 80 (1): 105-115.
- SAXENA R, PAN G, MCDONALD JM. Osteoblast and osteoclast differentiation in modeled microgravity; *Ann N Y Acad Sci* 2007; 1116: 494-8.
- SEELEY RR, STEPHENS TD, TATE P. *Essentials of anatomy and physiology*. 5ª ed. New York: Mc Graw Hill, 2005
- SMITH EL. Exercise and bone metabolism: An Overview. In MAUGHAN, R.; SHIRREFFS, S.M. *Biochemistry of exercise*. USA: Human Kinetics, 1996.
- USDHHS. *Bone health and osteoporosis: a report of the surgeon general*. Washington, D.C. National Library of Medicine Cataloging in Publication 2004.
- WILMORE JH, COSTILL DL. *Fisiologia do esporte e do exercício*. 2ª ed. São Paulo: Manole, 2001.