

## A DINÂMICA DO CORAÇÃO E A LESÃO MEDULAR

Guênia Mara Vieira Ladeira, Universidade Federal de Uberlândia, [guenia@mecanica.ufu.br](mailto:guenia@mecanica.ufu.br)  
Cleudmar Amaral Araújo, Universidade Federal de Uberlândia, [cleudmar@mecanica.ufu.br](mailto:cleudmar@mecanica.ufu.br)  
Sônia A. Goulart Oliveira, Universidade Federal de Uberlândia, [sgoulart@mecanica.ufu.br](mailto:sgoulart@mecanica.ufu.br)

**Resumo.** Um trauma na coluna vertebral pode lesionar a medula espinhal e comprometer o funcionamento das ramificações nervosas do Sistema Nervoso Autônomo. O Sistema Cardiorespiratório direta ou indiretamente em diferentes graus também é afetado pela lesão medular. Os exercícios físicos com ou sem estimulação elétrica neuromuscular melhoram o desempenho do Sistema Cardiorespiratório, propiciando melhor qualidade de vida. O coração após a lesão medular apresenta funcionamento ainda mais complexo, a análise deste comportamento auxilia na prevenção de complicações da saúde do paciente lesionado e aumento da expectativa de vida.

**Palavras chave:** lesão medular, atividade física, sistema cardiorespiratório, pessoas com deficiência.

### 1. INTRODUÇÃO

A lesão medular interrompe parcial ou totalmente a comunicação do Sistema Nervoso Central com os sistemas periféricos ligados a medula abaixo do nível da lesão. Segundo Paolillo (2004), além da diminuição ou perda da sensibilidade e dos movimentos voluntários pode ocorrer também danos ao Sistema Nervoso Autônomo que atua sobre o Sistema Cardiorespiratório se a lesão estiver acima da vértebra T<sub>5</sub>. O Sistema Nervoso Simpático essencial durante os exercícios físicos, por influenciar a função cardiovascular. Os pacientes com paraplegia ou tetraplegia apresentam redução da capacidade respiratória e cardíaca, e o sedentarismo pode levar à patologias como o diabetes mellitus, obesidade, e doenças cardiovasculares e respiratórias. O ritmo cardíaco do lesionado apresenta características específicas, sendo importante o acompanhamento do funcionamento do coração e pulmões durante a recuperação e reabilitação do lesionado. Segundo Nascimento e Silva (2007), respeitando as características da lesão e as limitações física, pode se evitar complicações para o lesionado e aumentar sua longevidade com exercícios físicos e acompanhamento médico do Sistema Cardiorespiratório. O objetivo deste artigo é revisar os efeitos que a lesão medular causa ao coração e aos pulmões, destacando a importância da atividade física para o lesionado e a necessidade da análise dos sinais do coração durante a recuperação.

### 2. LESÃO MEDULAR

A lesão medular danifica a comunicação do Sistema Nervoso Central com o Periférico acarretando limitações motoras, perdas de sensibilidade, e disfunções no funcionamento dos órgãos.

O lesionado após o trauma passa por uma fase aguda. Caracterizando por encontrar-se flacidez dos membros paralisados, abolição dos reflexos tendinosos (teste do martelinho no joelho) e retenção urinária. Esta fase é chamada de choque medular e pode se estender por vários meses. Com o passar do tempo, pode haver recuperação dos movimentos e observa-se aumento dos reflexos tendinosos e do tônus muscular. Muitas vezes, observa-se também a presença de espasmos musculares. Além disso, a retenção urinária é substituída por urgência para urinar ou incontinência urinária. O nível sensitivo, ou seja, o local até onde se encontra a alteração da sensibilidade, também orienta o diagnóstico topográfico da lesão.

A disfunção autonômica que quase sempre se manifesta após a lesão medular, pode aparecer de forma aguda ou crônica, ser reversível ou não, e corresponder a disfunção de um ou dos dois ramos do Sistema Nervoso Autônomo. Quando presente, traz consigo manifestação clínicas, como: hipotensão ortostática, taquicardia de repouso, infarto do miocárdio sem dor, parada cardiorrespiratória, entre outras. Desta maneira a caracterização, a detecção precoce e a prevenção de episódios de disautonomias constituem fatores extremamente relevantes ao tratamento de portadores de lesão medular (Guyton & Hall, 2006, *apud* Caldeira, 2013).

As lesões cervicais altas determinam tetraplegia (paralisia dos quatro membros). Na tetraplegia, a insuficiência respiratória é frequente, devido ao comprometimento do nervo que comanda a contração do diafragma (nervo frênico).

No trabalho de Ditor *et al.* (2005), se observa que a aferição ou qualificação do estado autonômico cardiovascular individual tem direta importância clínica, podendo ser útil para a definição de diferentes condutas médicas, sendo que uma transecção medular cervical pode produzir alterações no circuito neural autonômico com consequências na função cardiovascular que estão associadas à inúmeras condições clínicas, tendo muitas delas implicações na qualidade de vida e caráter prognóstico.

A evolução dos efeitos da desconexão simpática em lesionados medulares ao longo do tempo, não é ainda bem conhecida. Além disso, é provável que a gravidade desses efeitos dependa da natureza, do nível da lesão, e de outros fatores associados às atividades diárias mantidas pelo portador da lesão. E também, os efeitos benéficos do tratamento fisioterapêutico sobre a evolução das disreflexias autonômicas decorrentes da lesão medular ainda permanecem em grande parte por esclarecer.

## 2.1. LESÃO MEDULAR E CORAÇÃO

A eficácia do bombeamento cardíaco é, também, controlada pelos Sistema Nervosos Simpáticos e Parassimpáticos que inervam de forma abundante, o coração, como ilustrado pela Fig. 1. Para determinados níveis de pressão a afluxo atrial, a quantidade de sangue bombeada a cada minuto, ou seja, o débito cardíaco, com frequência pode ser aumentado, por mais de 100%, pelo estímulo simpático. E, por outro lado, o débito pode ser diminuído até zero, ou quase zero, por estímulo vagal, ou seja, parassimpático, (Guyton e Hall, 2006).

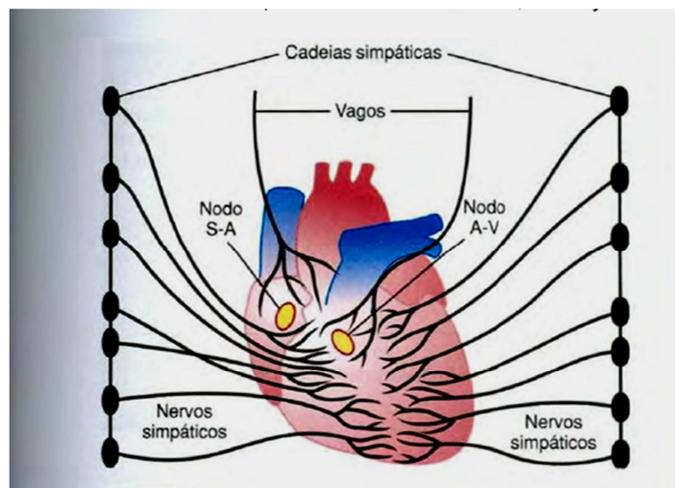


Figura 1. Inervação simpática e parassimpática do coração

Observa-se na Fig. 2 a especificação das nomenclaturas das vertebrae da coluna vertebral e a ligação das ramificações nervosas da medula aos respectivos órgãos. Se a lesão da medula é inferior a T<sub>5</sub>, a inervação autonômica do coração é preservada, ao passo que a inervação vascular dos membros inferiores pode ser comprometida, sendo que quanto maior o nível da lesão, mais grave é a insuficiência autonômica.

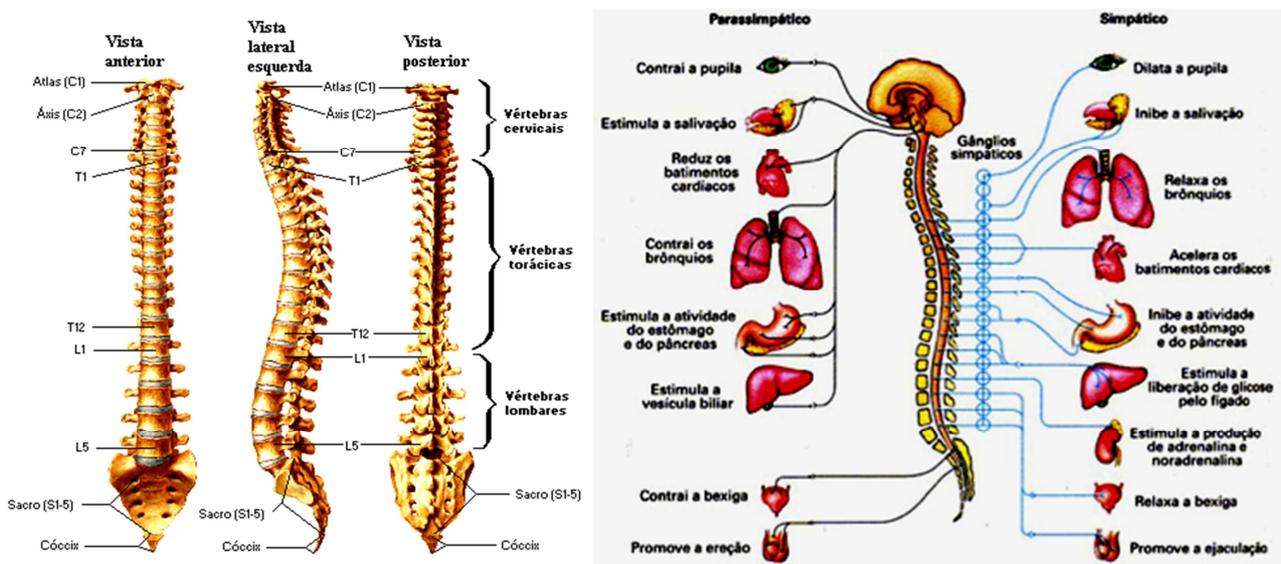


Figura 2. Órgãos diretamente afetados de acordo com a altura da lesão na coluna vertebral

## 2.2. ATIVIDADE FÍSICA E LESÃO MEDULAR

Os benefícios da atividade física regular já fazem parte do senso comum do ser humano. Em 1944 começou a ser introduzida a atividade esportiva, como parte essencial do tratamento médico de pessoas com traumas na coluna vertebral. Segundo Ragnarsson (1996), estas atividades tem imenso valor terapêutico na adaptação das pessoas às suas limitações, e auxilia na recuperação, sendo que das pessoas com lesão na medula espinhal 18,7% apresentam problemas no coração.

A atividade física controlada em conjunto com a análise dos sinais biológicos permite quantificar a funcionalidade dos sistemas cardiovascular e respiratório. Este tipo de avaliação é essencial para a identificação de patologias cardíacas e respiratórias, e também para o acompanhamento da evolução da recuperação dos portadores de lesão medular.

Quando o corpo não é movimentado regularmente o Sistema Circulatório fica debilitado, sendo uma das consequências a possibilidade de ocorrer o aparecimento de um coágulo de sangue chamado trombo. O trombo formado na perna pode se desprender e viajar para outras partes do corpo. Se isto ocorrer, ele passa a ser chamado de êmbolo, e um dos lugares mais comuns para um êmbolo se hospedar é o pulmão, criando a embolia pulmonar. Na presença destas alterações, avaliação médica e tratamento adequado se fazem necessários.

## 2.3. CONDICIONAMENTO FÍSICO COM ELETROESTIMULAÇÃO

O treinamento com Eletro Estimulação Neuro Muscular auxilia o condicionamento físico dos pacientes com paraplegia e tetraplegia, ajudando a reverter algumas sequelas da lesão medular. Foi constatado na pesquisa de Paolillo (2004), que a maioria dos pacientes apresenta limitações às respostas cardio-respiratórias durante a EENM. Entretanto os pacientes apresentam capacidade de realização dos exercícios induzidos nas partes paralisadas do corpo o que favorece o sistema circulatório, o tonus muscular, a função respiratória, melhorando a saúde e a qualidade de vida dos pacientes.

## 2.4. ESTUDO DO CORAÇÃO DO PACIENTE COM LESÃO MEDULAR

Em estudo de Hopman (1992) foi realizada a comparação entre dois grupos durante a execução de exercícios de braço, sendo um grupo de controle de indivíduos saudáveis, e um grupo de paraplégicos com lesão na medula entre T<sub>6</sub> e T<sub>11</sub>. O objetivo era examinar a resposta cardiovascular de cada um dos grupos. O débito cardíaco foi determinado pelo método de reciclagem do ar de CO<sub>2</sub>.

O grupo com lesão medular apresentou consumo máximo de oxigênio significativamente menor e a frequência cardíaca máxima foi significativamente maior em comparação com o grupo saudável. Com a mesma absorção de oxigênio não foram observadas diferenças significativas no débito cardíaco, no entanto o volume de ejeção foi significativamente menor e a frequência cardíaca significativamente maior. O menor volume de ejeção pode ser explicado por uma redistribuição prejudicada do sangue, devido a pressão de enchimento ventricular esquerda ser reduzida, devido ao acúmulo de sangue venoso causada por inatividade da bomba de músculos esqueléticos nas pernas e falta de vasoconstrição devido ao simpático abaixo da lesão. Em conclusão, a performance máxima do grupo com lesão de medula parece ter sido limitada pela menor massa muscular ativa e uma menor volume de ejeção apesar da frequência cardíaca superior.

Em outro trabalho de Tulppo *et al.* (2000), a interação entre o simpático e regulação vagal no coração é organizada de um modo recíproco, ou seja, um aumento da atividade em um sistema é acompanhado pela diminuição da atividade no outro. No início do exercício de baixa intensidade, a frequência cardíaca aumenta devido à inibição do tônus vagal. À medida que a carga de trabalho aumenta, a frequência cardíaca aumenta devido à prossecução da retirada vagal e ativação simpática concomitante. As lesões no sistema autônomo acentuam o comportamento não linear do coração. A complexidade da dinâmica do coração aumenta durante os exercícios físicos de baixa intensidade. Nos portadores de lesão medular ou patologias cardíacas o comportamento do coração precisa ser analisado para se evitar maiores danos a saúde ou até risco de morte. Segundo Wan e Chihiro (2009), o coração também apresenta maior complexidade devido às doenças coronárias.

Segundo trabalho realizado por Tulppo *et al.* (2000) com um grupo de pessoas, a alteração na regulação autonômica causada pelo exercício físico resulta em alterações nas propriedades de curto prazo da dinâmica fractal do coração. O parâmetro Dimensão Fractal - FD, que quantifica a propensão do preenchimento do espaço, estados de uma série temporal, demonstra sensibilidade às mudanças no tônus autonômico vascular devido a uma lesão da medula espinhal.

Dê acordo com o trabalho de Merati *et al.* (2003), os estimadores baseados na complexidade da variabilidade da frequência cardíaca podem detectar alterações no autonômico cardiovascular, durante ativações autonômicas progressistas, em comparação entre indivíduos saudáveis e pacientes paraplégicos com insuficiência autonômica baixa (apenas debilidade vascular) ou alta lesão da medula espinhal (cardíaca e vascular). Enquanto que as técnicas tradicionais apenas quantificados os efeitos da ativação autonômica, não a distinção entre os efeitos do nível da lesão,

alguns estimadores de complexidade recentemente proposto poderiam também revelar as alterações patológicas no controle autonômico da frequência cardíaca. Estes estimadores incluem a verificação da variação das tendências nos resultados das análises, de acordo com a altura da lesão na coluna vertebral, e de acordo com o nível de dano causado ao sistema autonômico devido à lesão. Alterações da entropia (sensíveis a lesões de baixo nível) e do maior expoente de Lyapunov (sensíveis a lesões de alto nível). Assim os métodos baseados em complexidade fornecem informações sobre a função autonômica da dinâmica da frequência cardíaca, que não podem ser obtidos por meio de técnicas tradicionais. Nas análises de Merati *et al.* (2006), a entropia foi significativamente menor em indivíduos com lesão na medula espinhal do que em indivíduos saudáveis. O maior expoente de Lyapunov não é significativamente sensível a indivíduos saudáveis e pacientes com lesão abaixo das ramificações ligadas diretamente. No entanto, quando considerado o grupo com o nível da lesão maior, observou-se um aumento significativo do maior expoente de Lyapunov, o que significa um maior nível de caos durante o exercício. Portanto parece que, o que mede a sensibilidade do sistema para pequenas perturbações, pode quantificar a perda do controle cardiocirculatório devido à lesão da medula espinhal.

Segundo trabalho de Liao *et al.* (2014), os expoentes de escala locais revelam características importantes da variabilidade do ritmo cardíaco em pessoas com lesão na medula espinhal, que não são refletidas por coeficientes da análise das flutuações não tendenciosas do sinal. Este método pode ser utilizado para investigar os efeitos que a lesão medular provoca no ritmo cardíaco, e as possíveis consequências fisiológicas desta alteração.

### 3. CONCLUSÕES

O funcionamento dos sistemas cardiovascular e respiratório é afetado de diferentes formas, dependendo da altura e da extensão da lesão medular. Os exercícios físicos são essenciais a adaptação do lesionado às novas limitações, assim como auxiliar no processo de reverter os danos da lesão e também como parte importante para manter o bom funcionamento de todos os órgãos, porque estará auxiliando na manutenção dos sistemas cardiovascular e respiratório. Os exercícios com eletro estimulação neuromuscular é essencial nas partes do corpo paralisadas, porque auxilia no tônus muscular, na proteção dos ossos e no funcionamento do sistema vascular. O desempenho do coração de pessoas com lesão abaixo de T<sub>3</sub> é diretamente afetado, devido a deficiência de movimento dos membros inferiores, que dificulta o retorno do sangue ao coração, e falta de vasoconstricção por danos ao sistema nervoso simpático abaixo da lesão. O coração de uma pessoa com lesão acima de T<sub>3</sub> é afetado por danos aos nervos dos simpático e parasimpático que o ligam diretamente ao sistema nervoso central, afetando o controle da frequência cardíaca que é também realizado pelos dois sistemas. O desempenho do coração de um paciente com lesão medular se torna ainda mais complexo, sendo necessário estudos mais aprofundados de seu funcionamento e do progresso do paciente após a lesão.

### 4. REFERÊNCIAS

- Caldeira, J.B., *et al*, 2013, “Avaliação da função autonômica cardiovascular em portadores de lesão medular submetidos à variabilidade da frequência cardíaca”, Motricidade © FTCD/FIP-MOC, 2013, vol. 9, n. 2, pp. 37-49 doi: 10.6063/motricidade.9(2).2666.
- Ditor, D.S., *et al*, 2005, “Reproducibility of heart rate variability and blood pressure variability in individuals with spinal cord injury”, Clin Auton Res (2005) 15 : 387–393, DOI 10.1007/s10286-005-0293-4.
- Guyton, A.C., Hall, J.E., 2006, “Tratado de Fisiologia Médica”, 11ª Ed., Elsevier Ltda.
- Hopman, M.T.E., *et al*, 1992, “Cardiovascular responses in paraplegic subjects during arm exercise”, Eur J Appl Physiol (1992) 65:73-78.
- Liao, F., *et al*, 2014, “Assessing Complexity of Heart Rate Variability in People with Spinal Cord Injury using Local Scale Exponents”, 978-1-4244-7929-0/14/\$26.00 ©2014 IEEE.
- Merati, G., *et al*, 2003, “Impaired Autonomic Vascular Control: A Non Linear Dynamic Analysis”, Computers in Cardiology, 2003, 30:713-716.
- Merati, G., *et al*, 2006, “Assessment of the Autonomic Control of Heart Rate Variability in Healthy and Spinal-Cord Injured Subjects: Contribution of Different Complexity-Based Estimators”, IEEE TRANSACTIONS ON BIOMEDICAL ENGINEERING, VOL. 53, NO. 1, JANUARY 2006.
- Nascimento, L.G., Silva, S.M.L., 2007, “Benefícios da Atividade Física sobre o Sistema Cardiorrespiratório, como também, na Qualidade de Vida de Portadores de Lesão Medular: uma Revisão”, Revista Brasileira de Prescrição e Fisiologia do Exercício, São Paulo, v.1, n.3, p.42-50, Mai./Jun. 2007. ISSN 1981-9900.
- Paolillo, F. R., 2004, “Efeitos da estimulação elétrica neuromuscular do quadríceps sobre as variáveis cardiorrespiratórias em portadores de lesão medular”, Dissertação para o título de Mestre em Bioengenharia, 2004.
- Ragnarsson, K.T., 1996, “Health Maintenance And Reduction Of Disability Through Physical Exercise”, A Guide for Individuals with Spinal Cord Injury.
- Tulppo, M.P., *et al*, 2001, “Effects of exercise and passive head-up tilt on fractal and complexity properties of heart rate dynamics”, American Journal of Physiology – Heart and Circulatory Physiology.

Wan, H.; Chihiro, O., 2009, “Nonlinear Dynamics Analysis in Patients with Coronary Heart Disease in Chinese Analysis in coronary heart disease”. Proceedings of 2009 4th International Conference on Computer Science & Education.

## **5. AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica/UFU e aos órgãos de fomento CAPES, FAPEMIG e ao CNPq.

## **6. ABSTRACT**

Trauma to the spine can injure the spinal cord and compromise the functioning of the nerve branches of the autonomic nervous system. The direct Cardiorespiratory System or indirectly in different degrees is also affected by spinal cord injury. Physical exercises with or without neuromuscular electrical stimulation improve the performance of Cardiorespiratory System, providing better quality of life. The heart after spinal cord injury presents even more complex operation, the analysis of this behavior helps prevent health complications of the injured patient and increased life expectancy.

## **7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES**

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.