

Um método integrado de análise de movimento laboral com base na técnica de cinemetria 3D e simulação do modelo antropométrico

Tamotsu Hirata, Departamento de Mecânica, Faculdade de Engenharia UNESP, Campus de Guaratinguetá
e-mail: tamotsu@feg.unesp.br

João Alberto de Oliveira, Departamento de Mecânica, Faculdade de Engenharia UNESP, Campus de Guaratinguetá, e-mail: jboli@feg.unesp.br

Danielle Rodrigues de Oliveira Reis, Departamento de Fisioterapia, Escola Superior de Educação Física de Cruzeiro, e-mail: danielle.ror@itelefonica.com.br

Introdução

Os fatores de risco biomecânico em indústrias são relacionados diretamente a atividades ergonômicas associadas, tais como: levantamento de pesos, carregamento de pesos, movimentos de puxar e empurrar, ligadas às posturas adotadas. O fator tempo de exposição dessas atividades torna-se importante quando as operações são repetitivas e podem causar fadigas musculares, mesmo não atingindo os limites de carregamento.

NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health) dos Estados Unidos, tem adotado os limites de cargas de compressão (SCTL: Spinal Compression Tolerance Limits) para operação contínua de 3.432 N e limite máximo permissível de 6.374 N, Waters et al. 1993. Hoje, os limites estabelecidos por NIOSH são amplamente utilizados pelos profissionais de ergonomia. Entretanto, as causas da dor da coluna lombar (LBP) são diversas e não somente as cargas de compressão estática, como foi estabelecido por NIOSH.

As medidas preventivas de LBP podem ser realizadas por meio de questionário ao trabalhador ou uma vistoria constante de engenheiros de segurança no chão da fábrica, porém, esse meio qualitativo muitas vezes não consegue detectar com precisão os graus de dificuldades que os trabalhadores enfrentam no dia a dia, para cumprir as tarefas.

Hoje, a técnica de cinemetria é bastante utilizada para a avaliação de tarefas dos trabalhadores de indústrias. Este trabalho apresenta um método integrado de análise de movimento laboral com base na técnica de cinemetria tridimensional (3D) e modelo de simulação para determinar as forças e momentos atuantes na coluna lombar humana. A grande vantagem deste método é a possibilidade de prevenir a ocorrência de LBP dos trabalhadores, tanto nas cargas excessivas quanto nas cargas acumulativas desde que a frequência de filmagem não comprometa a precisão dos resultados.

Materiais e métodos

Para simular um movimento de carregamento de peso, de um sujeito sobre duas plataformas de forças, realizou-se um movimento seqüencial desde a posição de repouso agachando-se para frente como se pegasse um peso localizado na altura dos pés, e retornando à posição inicial (posição de repouso), e logo em

seguida, agachando-se agora na posição lateral para provocar a rotação do tronco, descarregando o peso, e finalmente retornando à posição inicial.

A técnica de cinemetria 3D com base nos métodos de “reconstrução 3D”, associada com “transformação linear direta modificada”, foi desenvolvida no Laboratório de Biomecânica do Departamento de Mecânica da Faculdade de Engenharia da UNESP, Campus de Guaratinguetá. O método de transformação linear direta (DLT) com base nos 11 coeficientes de DLT foi adotado inicialmente para este trabalho. No entanto, devido ao uso de apenas duas filmadoras, o método DLT apresentou uma precisão bem menor do que a esperada no processo posterior de reconstrução de imagens. Por esta razão, um método DLT modificado (MDLT) foi adotado, posteriormente, o qual assume os primeiros 11 coeficientes determinados como dados de entrada para próximas iterações. A iteração encerra-se quando os novos valores de coeficientes obtiverem dentro das tolerâncias pré-estabelecidas. Para a determinação de coeficientes DLT foram usadas 162 pontos de controle, distribuídos num volume de calibração de 1,5 m x 1,5 m x 2,0 m. As duas filmadoras da marca Sony, com frequência de aquisição de 30 Hz, foram instaladas numa distância de aproximadamente 5,0 m com relação ao sujeito. O sincronismo entre as duas filmadoras foi obtido por meio de um sinal luminoso (LED), aceso com comando manual. Após o procedimento de calibração com determinação de coeficientes DLT, os 16 pontos antropométricos pré-estabelecidos do corpo foram identificados, quadro a quadro, utilizando as imagens seqüências obtidas de duas filmadoras, figura 1.



Figura 1: Imagens de duas câmeras simulando carregamento de cargas.

As coordenadas de pontos antropométricos foram determinadas usando a técnica de reconstrução 3D, com base no trabalho do Reinschmidt,R.,1996. Com a determinação de posições espaciais de cada ponto antropométrico, as coordenadas cartesianas do centro de massa do sujeito foram determinadas, baseadas na distribuição de massas em cada parte do corpo humano descrito por Winter, 1991. Finalmente as forças axiais e momentos em vértebras da coluna lombar foram determinadas baseadas no método proposto por Chaffin,D.B.,2000.

Os procedimentos para determinação de forças e momentos na coluna lombar acima referido foram descritos em ambiente de MATLAB 7.0 da Mathworks, exceto o desmembramento de imagens seqüências, que foi utilizado de um programa denominado “Quinticplayer”, de domínio público.

Resultados e discussões

O programa de análise de movimento desenvolvido no laboratório, denominado “am3Dsup”, determinou inicialmente as posições articulares a partir de duas imagens (câmera 1 e câmera 2), e a posição do centro de massa do corpo do sujeito foi obtida com base nos dados antropométricos de Winter. A figura 2 apresenta um gráfico 3D das posições articulares antes de iniciar o seu movimento de carregamento referido.

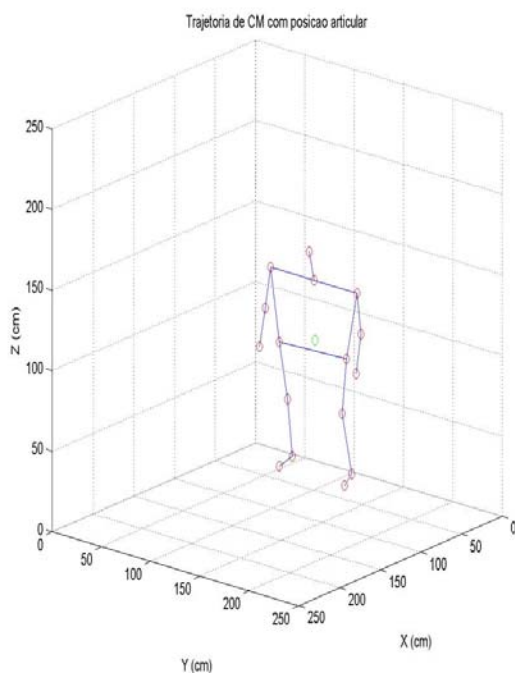


Figura 2: Posições articulares (X,Y,Z) de pontos antropométricos obtidas com técnica de reconstrução 3D.

Após a determinação de posição do centro de massa as forças de compressão, de cisalhamento e momentos no disco intervertebral, da quinta vértebra da coluna lombar L5, são obtidas pelo equilíbrio de momentos com relação ao centro geométrico do disco.

As variações de forças de compressão no disco durante o movimento de simulação de carregamento são apresentadas na figura 3. Nesta figura, os valores de forças de compressão para a sem carga foram obtidos

com base nas imagens reais filmadas. No entanto, a curva com a carga de 100 N foi obtida utilizando as mesmas imagens de sem carga, acrescentando apenas a carga de 100 N no centro geométrico entre as duas mãos. Portanto, com o procedimento adotado para a simulação de carregamento, é possível avaliar o limite de carga que pode ser usado para uma determinada operação, respeitando o limite de carga recomendado pela NIOSH. No caso da figura 3, que a força máxima de compressão atingiu o valor de 3.000 N, pode-se concluir que a carga de 100 N para a operação simulada está dentro do limite recomendado para a operação contínua. É importante revelar que os valores de forças de compressão obtidos nesta simulação são bem próximas dos de Waters, aproximadamente 10 %, no caso de 2D Static Strength Prediction Program (2DSSPP) para os valores de picos.

A vantagem da metodologia proposta é a possibilidade de avaliar diversos movimentos do operador, sem prejudicar as condições físicas, pois não necessita de operação real de carregamento.

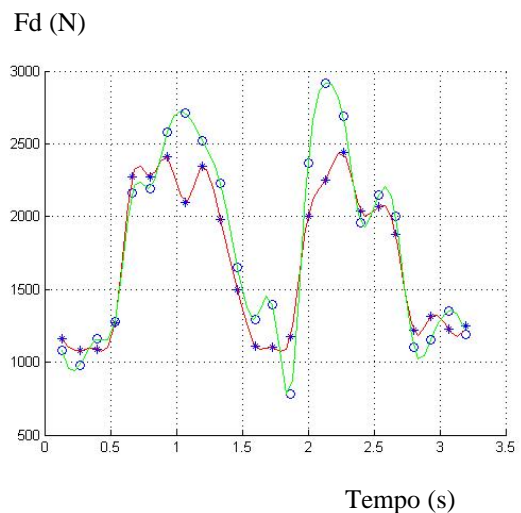


Figura 3: Histórico de força de compressão no disco intervertebral da coluna lombar L5, * - sem carga, o- com carga de 100 N.

Referências bibliográficas

1. Chaffin,D.B., Occupational Biomechanics, John Wiley&Sons, 2000.
2. Reinschmidt,R., HPL, Univ. Calgary, 1996. (<http://www.mathworks.com>)
3. Waters,B. et al., 1993, Revised NIOSH equation for the design and evaluation of manual lifting tasks, Ergonomics, vol.36, p.749-776.
4. Winter,D.A., Biomechanics and motor control of human movement, Ed. Waterloo Press, Waterloo, 1991.