

Arq. Bras. Med. Vet. Zootec., v.59, n.4, p.862-868, 2007

Análise cinemática tridimensional do movimento de eqüinos em esteira rolante

[*Three-dimensional cinematic analysis of the horse movement in treadmill*]

F.G. Christovão¹, R.M.L. Barros², E.V.V. Freitas¹, J.C. Lacerda-Neto¹, A. Queiroz-Neto^{1*}

¹Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - UNESP
Via de Acesso Prof. Paulo D. Castellane, s/n
14884-900 – Jaboticabal, SP

²Faculdade de Educação Física - UNICAMP – Campinas, SP

RESUMO

Adaptou-se uma metodologia utilizada no estudo do movimento humano para analisar o movimento de eqüinos em esteira rolante de alto desempenho, construindo-se um sistema de calibração utilizando-se um teodolito eletrônico de alta precisão e calibradores que demarcavam o espaço ocupado pelo animal. Dessa forma, foram obtidas as coordenadas espaciais dos marcadores presentes nos calibradores, compondo o arquivo de calibração. Duas câmeras de vídeo (60Hz) foram posicionadas em vista lateral esquerda, distantes 5m da manta de rolagem da esteira a 1,8m de altura. As imagens foram enquadradas utilizando-se um monitor de vídeo. Para a validação do método, um membro da equipe movimentou, no espaço calibrado, uma haste rígida com marcadores fixados nas suas extremidades, distantes um do outro 43,8cm. Para a análise das imagens, utilizou-se o programa Dvideow, desenvolvido pelo Laboratório de Instrumentação para Biomecânica - UNICAMP. Após a reconstrução tridimensional das imagens utilizou-se um programa matemático para o cálculo do valor médio da distância entre os marcadores. Obteve-se, após a mensuração em 100 quadros, o valor médio de 43,7cm com coeficiente de variação de 0,8%. Estes resultados mostram que a metodologia desenvolvida é precisa e adequada para o estudo da locomoção de eqüinos.

Palavras-chave: eqüino, cinematografia, análise tridimensional, movimento, esteira rolante

ABSTRACT

A methodology used for the study of human movement was adapted to analyze the movement of equines in a high performance treadmill. An electronic high precision theodolite was used to construct a calibration system to demarcate the volume occupied by the animal. It was taken the three dimensions coordinates of each marker present in the calibrator, composing the calibration archive. Two video cameras (60 Hz) were located approximately 5m from the left lateral side of the treadmill at 1.8m height. The images had been fit using a video monitor. For the validation of the method, a member of the team moved into the calibrated space, a 43.8cm long rigid stick with markers settled in its extremities. For the analysis of the images, the Dvideow program developed by the Laboratório de Instrumentação para Biomecânica - UNICAMP was used. After the three-dimensional reconstruction of the images, the calculation of the distance between the markers of the stick was done in 100 frames. The mean was 43.7 cm with a variation coefficient of 0.8%. These results confirm that this methodology is precise and adequate for the study of the locomotion in horses.

Keywords: cinematography, three-dimensional analysis, movement, equine, treadmill

Recebido em 28 de julho de 2005

Aceito em 11 de junho de 2007

Autor para correspondência (*corresponding author*)

E-mail: aqueiroz@fcav.unesp.br

INTRODUÇÃO

A utilização das diversas raças de eqüinos em competições esportivas como enduros, hipismo rural, vaquejadas, rodeios, pólo e salto vêm crescendo nas diversas regiões do País, principalmente próximo a grandes centros urbanos. Enquanto as atividades eqüestres crescem, as pesquisas sobre locomoção de eqüinos, desenvolvidas pelas universidades e centros de pesquisa do Brasil, ocorrem de forma lenta e descontínua gerando poucas informações científicas. A maior parte das avaliações sobre o movimento desses animais baseia-se em análises subjetivas.

O estudo da locomoção dos eqüinos tem grande importância econômica, visto que os maiores problemas de baixo desempenho em cavalos, principalmente os de esporte, estão relacionados com o aparelho locomotor (Back e Clayton, 2001). Nos últimos anos, a análise do movimento em eqüinos tem sido facilitada devido aos avanços tecnológicos nos equipamentos de vídeo e computadores, porém ainda está aquém da evolução das pesquisas feitas em análise do movimento em humanos (Barrey, 1999).

Estudos sobre o movimento de atletas humanos estão bem fundamentados e muitos se baseiam em técnicas de videogrametria nas quais, por meio de filmagens e colocação de marcadores fixados sobre a pele, torna-se possível a reprodução das imagens do objeto a serem analisadas no computador e a posterior aferição de parâmetros quantitativos e qualitativos do movimento (Barros et al., 1999). Dessa forma, o andamento humano tem sido estudado detalhadamente produzindo grandes avanços no conhecimento dos mecanismos de desordens específicas da marcha e suas compensações. Essas análises têm sido de grande utilidade para o diagnóstico de disfunções músculo-esqueléticas, na prescrição de terapias e na avaliação da evolução do tratamento, principalmente na fase de reabilitação.

Em eqüinos, busca-se o desenvolvimento de sistemas de análises do movimento com a utilização de câmeras e filmes de alta resolução, aliado a métodos ópticos e computacionais que oferecem diagramas e gráficos cujos resultados podem ser empregados para avaliar o aperfeiçoamento do treinamento físico do

animal, auxiliar na obtenção de melhores resultados em competições desportivas, contribuir para favorecer diagnósticos de desordens locomotoras, além de oferecer dados preliminares que possam ser utilizados nas avaliações da recuperação do animal (Back et al., 1993; Fredricson et al., 1980). A maior parte dos trabalhos realizados com análise do movimento em eqüinos utiliza esteira rolante de alto desempenho por garantir uniformidade no tipo de superfície que entra em contato com o casco do animal e nos ciclos dos andamentos e controle da velocidade e das condições ambientais.

No Brasil, estudos cinematográficos com análises tridimensionais do movimento de eqüinos não são comuns, embora constituam ferramenta de indiscutível importância por oferecer dados qualitativos e quantitativos do padrão de movimentação desta espécie.

Devido à escassez de informações científicas produzidas no Brasil utilizando técnicas cinematográficas em três dimensões, e principalmente com a utilização de esteiras rolantes, o objetivo deste estudo foi adaptar uma metodologia utilizada no estudo do movimento humano para analisar o movimento de eqüinos em esteira rolante de alto desempenho.

MATERIAL E MÉTODOS

O aparelhamento metodológico para análise do movimento de eqüinos em esteira rolante¹ foi desenvolvido no laboratório de fisiologia do exercício eqüino, do Departamento de Morfologia e Fisiologia Animal da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - UNESP – Jaboticabal, São Paulo.

Na preparação do ambiente, as paredes laterais do laboratório foram revestidas até a altura de 3,5 metros com tecido de cor preto-fosca para acentuar o contraste entre os marcadores.

Para a realização das filmagens utilizaram-se duas filmadoras digitais² com os respectivos tripés e iluminadores³. As câmeras foram

¹Esteira Galloper® Sahinco LTDA, 5500 - Palmital, SP - Brasil.

²Camera de Vídeo Digital JVC. Modelo Gr-D70U. Victor Company of Japan, Ltda.

³Mirage - VLE 300 Focal.

posicionadas em vista lateral esquerda, obliquamente ao animal, uma com vista posterior e a outra com vista anterior (Fig. 1), ambas a 1,8m do chão e a uma distância de aproximadamente 5m da manta de rolagem da esteira. Os iluminadores foram colocados em posição superior às câmeras, com o foco de luz paralelo à objetiva das câmeras.

Demarcou-se sobre a banda de rolagem da esteira rolante um ambiente de filmagem com dimensões suficientes para conter equinos adultos de diferentes portes, parados ou em movimento. Quatro fios de prumo (calibradores), fixados no teto do laboratório, formando um paralelepípedo imaginário delimitaram tridimensionalmente o espaço destinado à execução dos movimentos. As medidas deste hexaedro compreendem 5,5m de comprimento, 1,0m de largura e 2,2m de altura (Fig. 2).

Ao longo de cada calibrador foram distribuídos seis marcadores esféricos reflexivos com 15mm de diâmetro distando 40cm entre si. Na extremidade inferior de cada calibrador foi colocado um prumo de chumbo cônico de 300g. Cada calibrador foi numerado, bem como os seis marcadores esféricos presentes em cada um. A determinação das coordenadas dos marcadores foi realizada utilizando-se um teodolito eletrônico com precisão de 1' e com o auxílio de uma régua graduada de 2 em 2mm. Foram determinadas as coordenadas cartesianas para cada um dos 24 marcadores, sendo definido o eixo Y como o comprimento (projeção ântero-posterior do animal), o X como sendo a largura (projeção látero-lateral do animal) e o eixo Z como a altura (projeção dorso-ventral do animal) (Fig. 2). Os dados obtidos geraram uma matriz com as coordenadas tridimensionais dos marcadores compondo o arquivo de calibração.

As imagens foram enquadradas com o auxílio de um monitor de vídeo e sincronizadas utilizando-se uma claquete. Uma das faces da claquete foi pintada de branco e a outra de amarelo para favorecer a visualização do momento do encontro entre as duas faces. As câmeras de vídeo foram programadas quanto ao ajuste do branco, foco e velocidade de abertura do obturador. Todo o procedimento de gravação foi realizado utilizando o controle remoto das câmeras de forma a evitar que as mesmas sofressem qualquer tipo de movimentação.

A primeira etapa do procedimento de filmagem foi denominada de gravação estática, necessária para compor o processo de calibração. O processo de calibração das câmeras baseou-se no método Direct Linear Transformation (DLT) elaborado por Abdel-Aziz e Karara (1971). Com os calibradores fixados no teto do laboratório, realizou-se uma gravação por alguns segundos. As imagens foram capturadas⁴ para um microcomputador para identificação dos marcadores pelo programa de videogrametria Dvideow, desenvolvido no Laboratório de Instrumentação para Biomecânica da Faculdade de Educação Física da Universidade de Campinas (Barros et al., 1999; Figueroa et al., 2003). Após esse procedimento, foram inseridas as coordenadas cartesianas de cada marcador, obtidas com o teodolito. Dessa forma, o programa de análise de imagens consegue determinar a posição e o deslocamento de qualquer ponto presente no volume calibrado.

Na segunda etapa da filmagem foi realizada uma gravação dinâmica para validar a metodologia. Para tal, durante dois minutos um membro da equipe movimentou no volume calibrado, uma haste rígida (bastão) com marcadores fixados nas suas extremidades (Fig. 3). O comprimento do bastão, de centro a centro dos marcadores, foi de 43,8cm. Além dos procedimentos realizados na gravação estática, as imagens foram sincronizadas, segmentadas e os marcadores do bastão foram rastreados, automaticamente, quadro a quadro, procedendo-se à reconstrução tridimensional dos pontos digitalizados.

De posse do arquivo das coordenadas tridimensionais dos marcadores do bastão em cada quadro, utilizou-se um programa matemático⁵ para cálculo e obtenção da distância entre os marcadores.

Confeccionaram-se marcadores utilizando esferas de borracha com 30 milímetros de diâmetro, revestidas com fita reflexiva. Os marcadores foram parafusados a uma base de borracha preta e fixados à pele do equino. Com o auxílio de fita dupla face e cola de secagem instantânea, garantiu-se a permanência do

⁴Programa AMCap (capture application sample), versão 8000. Microsoft Corporation

⁵Matlab® R12, v.6.0, 2000.

Análise cinemática tridimensional...

marcador durante a movimentação do animal, inclusive no galope.

Os locais anatômicos utilizados para a colocação dos marcadores foram: processo zigomático do temporal, extremidade do processo espinhoso da sexta vértebra torácica, ponto mais alto da tuberosidade sacral sobre o músculo glúteo médio, tubérculo maior do úmero, olécrano, carpo-ulnar, quarto-carpiano, coroas dos cascos dos membros anterior e posterior esquerdos,

tuberosidade coxal, tuberosidade isquiática, epicôndilo lateral, quarto-tarsiano e epífise distal do terceiro metacarpiano (Fig. 4).

Um equino foi filmado com a finalidade de verificar seu posicionamento no volume calibrado, a permanência dos marcadores ao seu corpo e o reconhecimento e o processamento das imagens desses marcadores pelo programa utilizado.

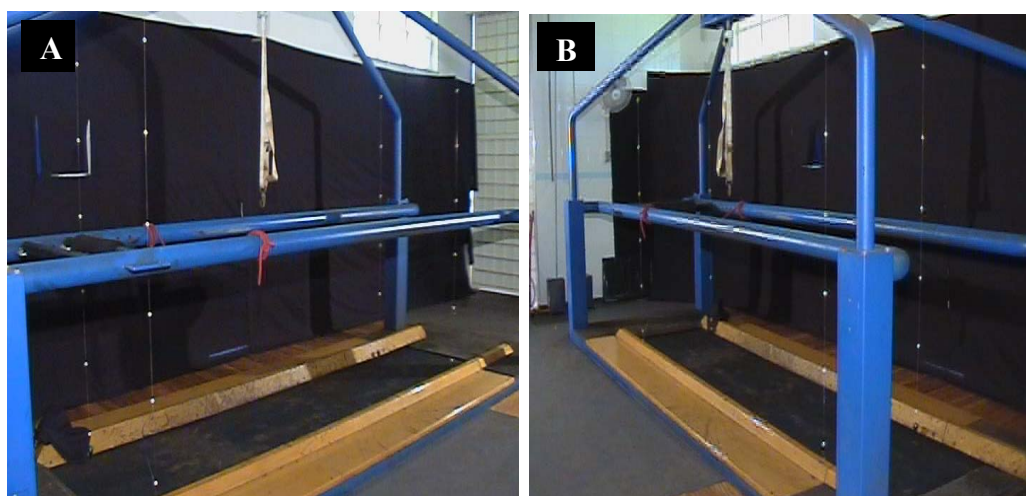


Figura 1. Posicionamento das câmeras e imagem simultânea de uma tomada estática para calibração (vista anterior: A; vista posterior: B).



Figura 2. Demarcação tridimensional do ambiente de filmagem do qual se visualizam os quatro calibradores (1, 2, 3 e 4) e seus marcadores dispostos verticalmente sobre a esteira rolante. Um sistema de coordenadas está representado sobre um dos marcadores.

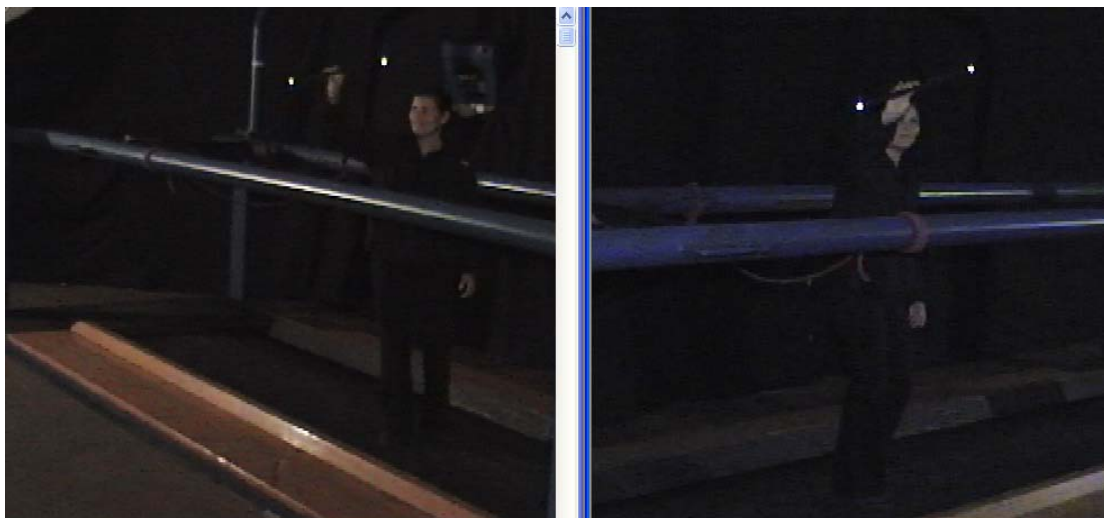


Figura 3. Validação do método e acurácia das medidas cinematográficas com medição da distância entre os pontos 1 e 2 do bastão.



Figura 4. Equino na esteira de alto desempenho com os marcadores fixados em pontos anatômicos de interesse para análise de variáveis do movimento. Identificação e rastreamento de alguns pontos pelo sistema de análise do movimento (pontos coloridos).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A validação do método, utilizando-se um bastão de comprimento conhecido (43,8cm), movimentado no interior do volume calibrado da esteira, foi comprovada pela obtenção do valor médio calculado 43,77cm, com coeficiente de variação de 0,8%.

A precisão das medidas obtidas pela videogrametria no estudo da locomoção dos equinos é marcadamente reduzida quando não se

tem um do volume calibrado. Segundo Andrade (2002), para a descrição precisa do movimento é necessário conhecer, ao longo do tempo, a posição de um ponto no espaço em relação a um referencial, tornando-se necessário a construção de um sistema de referência que informe ao programa de análise de imagens a localização espacial de cada ponto.

Estudos cinematográficos com equinos necessitam de grande volume de calibração, principalmente se as análises forem realizadas

em campo. Por sua vez, utilizando a esteira em ambiente laboratorial este volume é menor, aumentando a precisão dos dados. Faber et al. (2002), analisando a cinemática tridimensional da coluna de cavalos, em esteira rolante no andamento ao passo e trote, utilizaram volume de 4m de comprimento, 2m de largura e 2,5m de altura. Estes autores obtiveram dados cinemáticos com uma precisão de 1,5mm. Lanovaz et al. (2002) obtiveram erro da ordem de 0,88mm nas medições cinematográficas da coluna de animais submetidos a exercício na esteira rolante.

Faber et al. (1999) investigaram a influência de possíveis erros gerados em procedimentos de análises tridimensionais computadorizados. Fatores como técnicas de medição das coordenadas, tamanho e fixação dos marcadores, e a qualidade das câmeras de vídeo interferem nas medidas cinematográficas. No presente estudo, houve uma preocupação em descrever as etapas criteriosamente, adotando o máximo de condições controladas, com a finalidade de minimizar os erros durante o processo de digitalização e análises. Nesse sentido, a utilização de fios de aço para a confecção dos calibradores e a colocação de um prumo de chumbo na sua extremidade garantiu a inelasticidade e imobilidade dos calibradores no momento da coleta, além de garantir identificação da vertical física dos marcadores.

Com relação à determinação da localização espacial dos marcadores dos calibradores, observou-se que a utilização do teodolito eletrônico mediu com precisão as coordenadas tridimensionais. A escolha dessa metodologia para a determinação dos pontos deveu-se ao fato de o espaço de calibração para a análise do movimento de equinos na esteira ser relativamente grande, dificultando o emprego de réguas de precisão, que são normalmente utilizadas para a determinação das coordenadas em espaços menores.

A utilização do tecido preto-fosco no preparo do ambiente mostrou-se essencial na prevenção de reflexos que, certamente, dificultariam o rastreamento automático dos marcadores pelo programa. Do mesmo modo, o enquadramento das imagens realizado com o auxílio de um monitor de vídeo, facilitou a visualização e

garantiu que todo o espaço calibrado fosse enquadrado de forma adequada.

A colocação dos iluminadores, em posição superior às câmeras, minimizou o aquecimento das mesmas pelo calor gerado. Além disso, a emissão do foco de luz, paralelamente à objetiva das câmeras, favoreceu o registro, pelas câmeras de vídeo, do reflexo emitido pelos marcadores, tornando-os mais visíveis. O uso da claquete no início das gravações mostrou-se adequado para garantir a sincronização das câmeras e evitando que a diferença de alguns quadros entre as duas câmeras gerasse erros e influenciasse os resultados.

Estudos cinematográficos utilizam marcadores planos retro-reflexivos aderidos ao pêlo do animal (Lundberg, 1996). A finalidade da utilização de marcadores esféricos reflexivos foi a de reduzir erros em relação à identificação do centro do marcador e o posterior rastreamento automático pelo programa em uma seqüência de imagens. Para o protocolo desenvolvido, mostrou-se mais adequado marcador de 30mm de diâmetro.

A colocação dos marcadores pode tornar-se imprecisa quando são selecionados locais de difícil palpação ou onde a individualização das estruturas anatômicas apresenta-se duvidosa, como os processos espinhosos das vértebras sacrais (Licka et al., 2001). Muitas vezes, com a finalidade de obter maior precisão, a marcação não é feita sobre uma proeminência óssea específica, mas sobre o centro de rotação articular (Eliashar et al., 2002). Diferentes protocolos de marcação definem tamanhos diferentes de marcadores, a variação do diâmetro dos marcadores enquadra-se entre 40mm (Eliashar et al., 2002), 22mm (Keegan et al., 2004), 19mm (Wennerstrand et al., 2004) e até 9mm (Faber et al., 2002), em protocolos de análise cinemática da coluna.

Pode-se concluir que a construção do sistema metodológico para análise tridimensional do movimento de equinos em esteira rolante oferece contribuição para a investigação quantitativa e qualitativa do movimento de equinos, pois permitiu dados precisos de medidas cinematográficas. A confecção dos marcadores e sua fixação no equino permitiram o reconhecimento, pelo programa de análise de

imagens, possibilitando estudos sobre locomoção equina.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDEL-AZIZ, Y.I.; KARARA, H.M. Direct linear transformation from comparator coordinates into object-space coordinates in close-range photogrammetry. In: SYMPOSIUM ON CLOSE-RANGE PHOTOGRAMMETRY. 1971, Falls Church. *Proceedings ...* Falls Church: American Society of Photogrammetry, 1971. p. 1-18.
- ANDRADE, L.A. *Análise de marcha: protocolo experimental a partir de variáveis cinemáticas e antropométricas*. 2002. 103f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Educação Física, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- BACK, W.; BARNEVELD, A.; VAN WEEREN, P.R. et al. Kinematic gait analysis in equine carpal lameness. *Acta Anat.*, v.146, p.86-89, 1993.
- BACK, W.; CLAYTON, H. (Eds). *Equine locomotion*. London: W .B. Saunders, 2001. p.57.
- BARREY, E. Methods, applications and limitations of gait analysis in horse. *Vet. J.*, v.1, p.1-22, 1999.
- BARROS, R.M.L.; BREZIKOFER, R.; LEITE, N.J. et al. Desenvolvimento e avaliação de um sistema para análise tridimensional de movimentos humanos. *Rev. Bras. Eng. Biomed.*, v.15, p.79-86, 1999.
- ELIASHAR, E.; McGUIGAN, M.P.; ROGERS, K. A. et al. A comparison of three horseshoeing styles on the kinetics of breakover in sound horses. *Equine Vet. J.*, v.34, p.184-190, 2002.
- FABER, M.J.; SHAMHARDT, H.C.; VAN WEEREN, P.R. Determination of 3D spinal kinematics without defining a local vertebral coordinate system. *J. Biomech.*, v.32, p.1355-1358, 1999.
- FABER, M.C.; VAN WEEREN, P.R.; BARNEVELD, A. Repeatability of back kinematics in horses during treadmill locomotion. *Equine Vet. J.*, v.34, p.235-241, 2002.
- FIGUEROA, P.J.; NEUCIMAR, J.L.; BARROS R.M.L. A flexible software for tracking of markers used in human motion analysis. *Comp. Meth. Progr. Biomed.*, v.72, p.155-165, 2003.
- FREDRICSON, I.; DREVEMO, S.; DALIN, G. et al. The application of high-speed cinematography for the quantitative analysis of equine locomotion. *Equine Vet. J.*, v.12, p.54-59, 1980.
- KEEGAN, K.G.; ARAFAT, S.; SKUBIC, M. et al. Detection of spinal ataxia in horses using fuzzy clustering of body position uncertainty. *Equine Vet. J.*, v.36, p.712-717, 2004.
- LANOVAZ, J.L.; KHUMSAP, S.; CLAYTON, H.M. et al. Three-dimensional kinematics of tarsal joint at the trot. *Equine Vet. J.*, v.34, suppl., p.308-313, 2002.
- LICKA, T.F.; PEHAM, C.; ZOHMANN, E. Treadmill study of the range of back movement at the walk in horses without back pain. *Am. J. Vet. Res.*, v.62, p.1173-1179, 2001.
- LUNDBERG, A. On the use of bone and skin markers in kinematics research. *Hum. Mov. Sci.*, v.15, p.411-422, 1996.
- WENNERSTRAND, J.; JOHNSTON, C.; ROETHLISBERGER-HOLM, K. et al. Kinematic evaluation of the back in the sport horse with back pain. *Equine Vet. J.*, v.36, p.707-711, 2004.