

Artigo Original

## AVALIAÇÃO DA AMPLITUDE DE MOVIMENTO DA COLUNA CERVICAL UTILIZANDO SENSORES INERCIAIS: ESTUDO PILOTO

Emerson Bermudes Júnior<sup>1</sup>, Arlindo Elias<sup>1,3</sup>, Roberto Melim<sup>2</sup>, Daniel Souza Ribeiro<sup>1</sup>, Sérgio Silva Mucciaccia<sup>2</sup>, Anselmo Frizera<sup>2</sup>, Teodiano Freire Bastos Filho<sup>2,3</sup>

### RESUMO

**Introdução:** A amplitude de movimento cervical é um componente fundamental do processo de avaliação clínica, sendo necessário investigar novos métodos de análise que permitam obter alta precisão de medidas nos três planos de movimento.

**Objetivo:** Quantificar a amplitude de movimento da coluna cervical de pacientes com dor cervical crônica, nos três planos do espaço, através da interação de dois sensores inerciais. O objetivo secundário é descrever o padrão de movimentos acoplados que ocorrem em conjunto com cada movimento primário testado.

**Metodologia:** Vinte participantes com dor cervical crônica participaram da pesquisa. Os sensores inerciais foram fixados na região frontal anterior e em T4. Após o procedimento de calibração dos sensores, os participantes foram instruídos a realizar movimentos máximos de flexão, extensão, rotação direita e esquerda, mantendo velocidade constante. Cada movimento de teste foi repetido três vezes.

**Resultados:** A flexão (amplitude média de 50,68°) foi associada à rotação (7,64°) e inclinação esquerda (3,18°); a extensão (37,43°) associada à rotação direita (5,46°) e inclinação esquerda (2,14°); e ambos os movimentos de rotação (direita: 62,55°; esquerda: 58,51°) foram associados à flexão (1,52°; 1,75°) e inclinação para o lado oposto (4,43°; 1,57°).

**Conclusão:** as amplitudes máximas de movimento obtidas são compatíveis com pesquisas similares na literatura. Os padrões de movimentos acoplados foram inconsistentes com achados prévios, podendo estar relacionados às características intrínsecas da amostra, com o protocolo de medição utilizado e ainda com os diferentes tipos de dispositivos utilizados.

**Palavras chave:** Biomecânica, movimento vertebral, dor cervical.

### ABSTRACT

**Introduction:** The range of motion of the cervical spine is a key component of the clinical evaluation. There is a need to investigate novel assessment methods that achieve high precision measurements in the three planes of motion.

**Objective:** to quantify the tridimensional range of motion of the cervical spine of patients with chronic neck pain, by using two inertial sensors. The secondary objective is to detail the coupled movement patterns that occur in conjunction with each primary movement.

**Methods:** Twenty participants with chronic neck pain participated. The inertial sensors were attached to the anterior frontal region and T4. After the calibration procedure of the sensors, the participants were instructed to perform maximum movements of flexion, extension, right and left rotation, maintaining constant speed. Each movement test was repeated three times.

**Results:** Flexion (average amplitude 50.68°) was associated with left rotation (7.64°) and left side bending (3.18°); Extension (37.43°) was associated with right rotation (5.46°) and left side bending (2.14°). Both rotational movements (right: 62.55°, left: 58.51°) were associated with flexion (1.52°, 1.75°) and opposite side bending (4.43°, 1.57°).

**Conclusion:** the maximum ranges of motion obtained in this study are consistent with similar studies in the literature. The coupled movement patterns, however, were inconsistent with previous investigations and may be related to the intrinsic characteristics of the participants, the measurement protocol and with different types of devices used.

**Keywords:** Biomechanics, spinal motion, neck pain.

1. Departamento de Fisioterapia, Laboratório de Biomecânica, Faculdade Estácio de Sá de Vitória, Espírito Santo, Brasil.

2. Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil.

3. Programa de pós-graduação em Biotecnologia - RENORBIO, Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil.

#### Endereço para correspondência

Av. Fernando Ferrari, 512, Goiabeiras, Vitória, ES, Brasil.  
CEP 29075-910

#### E-mail

arlindo.elias@ufes.br

Submetido em 20/02/2012

Aceito em 01/03/2012



## INTRODUÇÃO

A dor na coluna cervical é um problema musculoesquelético comum na sociedade moderna, cuja taxa anual de incidência varia entre 30 a 50% na população geral. Certos subgrupos populacionais são especialmente acometidos por esta condição, dentre os quais se destaca os trabalhadores de escritório que fazem uso frequente de computadores [1,2].

A incapacidade funcional apresentada por tais pacientes pode variar desde dores esporádicas de baixa intensidade até sintomas intensos, com comprometimento importante da qualidade de vida e da produtividade no trabalho [3]. As principais anomalias musculoesqueléticas associadas à cervicalgia crônica são as mudanças nos padrões de ativação muscular, comprometimento proprioceptivo e distúrbios posturais. Essas alterações interagem entre si, criando um ciclo disfuncional que culmina em restrição importante do movimento global do pescoço e no comprometimento da cinestesia espacial da cabeça [4].

A avaliação da amplitude de movimento crânio-cervical, portanto, é um componente fundamental do processo de avaliação clínica, contribuindo para o planejamento das intervenções fisioterapêuticas desses pacientes [3,4]. Entretanto, embora diversos instrumentos de avaliação quantitativa tenham sido descritos na literatura, a medição precisa do movimento cervical nos três planos do espaço ainda é uma realidade restrita aos laboratórios de pesquisa devido ao alto custo dos equipamentos [5,6].

Dentre os principais dispositivos de uso laboratorial utilizados nesse contexto, destaca-se o Fastrak (Polhemus Inc., USA), que consiste em um dispositivo eletromagnético capaz de medir com precisão (seis graus de liberdade) o comportamento dos movimentos da coluna cervical [5]. Em contrapartida, dispositivos

analógicos tais como goniômetros e flexímetros têm sido preferidos para utilização em clínicas e consultórios, mas apresentam baixa precisão de medidas em comparação aos equipamentos eletrônicos. O dispositivo analógico mais utilizado em pesquisas científicas envolvendo o movimento cervical é o CROM (Performance Attainment Associates), que consiste em três medidores analógicos montados em um capacete modificado e alinhados com os planos de movimento do corpo ao nível da cabeça. Embora evidências apontem que as medidas obtidas pelo CROM são moderadamente confiáveis, são necessárias variações entre 5 a 10 graus para que se tenha certeza de que uma modificação do movimento do pescoço realmente tenha ocorrido após uma intervenção terapêutica [6,7].

As Unidades de Medida Inercial (UMIs) (ou simplesmente sensores inerciais) podem ser empregadas como um método inovador para a análise de movimento da cabeça e pescoço, associando alta precisão de medidas e facilidade de uso. Esses sensores já provaram ser viáveis e confiáveis para avaliar movimentos globais da coluna cervical de indivíduos assintomáticos [8,9]. Entretanto, o desempenho das UMIs na medição de movimentos da coluna cervical de pacientes sintomáticos ainda é pouco explorado na literatura.

O objetivo principal deste estudo é quantificar a amplitude de movimento da coluna cervical de pacientes com dor cervical crônica, nos três planos do espaço, por meio da interação de dois sensores inerciais. As informações obtidas serão úteis para melhorar a compreensão dos padrões de movimento tridimensional da coluna cervical, especialmente a interação entre os movimentos primários e os padrões secundários (movimentos acoplados) que ocorrem simultaneamente.

## MÉTODOS

### Participantes

Foram incluídos no estudo 20 indivíduos com dor cervical crônica por mais de três meses, sem uso de medicamentos analgésicos ou antiinflamatórios nos últimos sete dias e sem ter realizado tratamento de reabilitação no último mês. O tamanho da amostra foi calculado para obtenção de 80% de poder e 5% de significância estatística utilizando o software *GPower*.

Os critérios de exclusão foram: gravidez; disfunção do sistema nervoso periférico (dor irradiada ou parestesia em membros superiores); desordens associadas à lesão por chicote; distúrbios vestibulares; doenças neurológicas sistêmicas (esclerose múltipla, Parkinson); anormalidades congênitas; espondiloartrose severa.

As características demográficas dos participantes do estudo estão apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1.** Média  $\pm$  desvio padrão das características antropométricas dos participantes do estudo.

|                          | Homens<br>n = 7   | Mulheres<br>n = 13 |
|--------------------------|-------------------|--------------------|
| Idade (anos)             | 45,56 $\pm$ 17,86 | 47,45 $\pm$ 16,56  |
| Peso (Kg)                | 78,30 $\pm$ 11,40 | 64,22 $\pm$ 11,37  |
| Altura (m)               | 1,71 $\pm$ 0,05   | 1,60 $\pm$ 0,08    |
| IMC (Kg/m <sup>2</sup> ) | 26,22 $\pm$ 3,09  | 25,17 $\pm$ 4,66   |
| Dor (EVA)                | 4,04              | 6,01               |
| NDI                      | 9,71 $\pm$ 2,56   | 17,36 $\pm$ 8,73   |
| NDI (%)                  | 34,73 $\pm$ 17,46 | 19,43 $\pm$ 5,12   |

IMC, Índice de Massa Corporal; NDI, *Neck Disability Index*

Todos os participantes assinaram o termo de consentimento antes do início dos procedimentos experimentais e o Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da Faculdade Salesiana de Vitória da Saúde aprovou o protocolo do estudo.

### Instrumentação

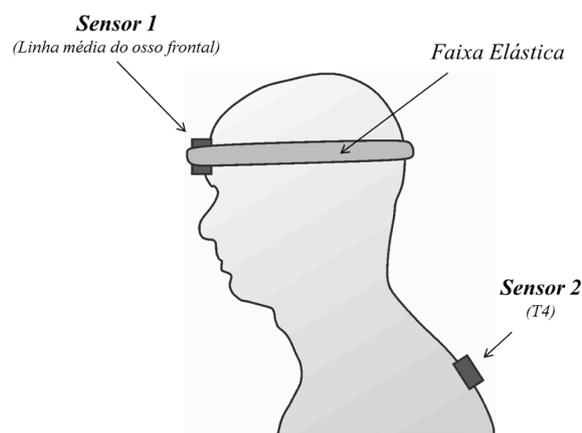
Dois sensores inerciais 3D (Technaid SL), integrando giroscópio tri-axial, acelerômetro e magnetômetro foram utilizados neste trabalho (Figura 1). Os sensores são capazes de detectar 2,0 Gauss

(para campo magnético), velocidade angular de 500° / s, precisão estática inferior a 1° e precisão dinâmica de 2° RMS [10].



**Figura 1.** Sensores inerciais (Technaid SL.) utilizados no procedimento experimental.

O sensor 1 foi posicionado no osso frontal (linha média) e o sensor de 2 foi acoplado ao processo espinhoso de T4 (4ª vértebra da coluna torácica) por meio de fita dupla-face [9]. Ambos os sensores foram calibrados antes de cada sessão de teste para garantir o máximo de precisão de medição (Figura 2).



**Figura 2.** Configuração de posicionamento dos sensores.

O procedimento de calibração consistiu em duas etapas. Inicialmente, o firmware incorporado no sensor pelo fabricante permitiu a calibração do magnetômetro, tomando em consideração o campo magnético local. No final deste procedimento, os parâmetros iniciais do filtro

de Kahlman implementados em cada um dos sensores foram computados.

A segunda fase do processo de calibração foi realizada por uma solução personalizada desenvolvida pelos autores. Esta solução considera que a orientação inicial de cada sensor, conforme a posição de referência para os experimentos. Todos os ângulos obtidos neste estudo são em relação a esta orientação inicial. Além disso, os ângulos relativos foram obtidos alterando a referência do sensor de cabeça para a referência do sensor colocado no T4.

Os sinais fornecidos pelos sensores foram adquiridos por um software personalizado, também desenvolvido pelos autores. O software também informou se a fase de calibração foi realizada corretamente, de forma a evitar viés de aferição.

A intensidade da dor foi medida por uma Escala Visual Analógica convencional (EVA), variando de 0 (nenhuma dor) a 10 (dor insuportável).

### **Protocolo Experimental**

Para o protocolo de aquisição de dados, o participante permaneceu confortavelmente sentado, com 90 ° de flexão do joelho e quadril e mantendo a coluna lombar apoiada no encosto da cadeira. O procedimento de colocação dos sensores foi realizado por um fisioterapeuta com mais de dez anos de experiência em terapia manual e anatomia palpatória, seguindo as recomendações descritas anteriormente.

O participante foi instruído a olhar para frente com os olhos abertos, mantendo a cabeça em posição neutra (olhar horizontal) o maior tempo possível para o procedimento de calibração de sensores. O cursor de um mouse de computador padrão foi posicionado na área do botão do software personalizado. O participante foi instruído a clicar o botão do mouse no momento em que atingisse as máximas amplitudes dos movimentos solicitados.

Para o protocolo experimental, os sujeitos foram instruídos a manter os olhos fechados e posicionar a cabeça em posição neutra novamente. Quando a posição desejada foi atingida, o sujeito clicou o botão do mouse para marcar a forma de onda do movimento. O segundo passo foi a realização dos movimentos cervicais, mantendo velocidade moderada até a amplitude máxima. A sequência de movimento foi padronizada para todos os participantes, consistindo de flexão, extensão, rotação direita e rotação esquerda. O sujeito foi instruído a clicar o botão sempre que atingisse a amplitude máxima de cada movimento de teste para marcar a posição no gráfico. Cada voluntário realizou três testes para cada movimento testado.

### **Processamento dos Dados**

Cada sensor fornece sua orientação em 50 Hz com base na fusão de acelerações lineares, velocidade angular e campo magnético da Terra. Esta informação permitiu estimar os ângulos absolutos em relação à posição de calibração.

Os conjuntos de dados de cada participante foram registrados e armazenados em arquivos individuais para processamento *offline*.

Um algoritmo de computador customizado escrito em Matlab (Mathworks, inc.) foi usado para representar graficamente os movimentos absolutos do sensor da cabeça, os movimentos do sensor T4 e os ângulos relativos de ambos os sensores.

### **Análise Estatística**

Os dados referentes aos ângulos das amplitudes máximas de cada movimento de teste, bem como das amplitudes máximas dos parâmetros acoplados foram analisados por meio de estatística descritiva, sendo apresentadas as médias de tais movimentos e os respectivos desvios-padrão.

## RESULTADOS

Os resultados do protocolo experimental estão apresentados na Tabela 2 na forma de média e desvio padrão das amplitudes máximas obtidas para os movimentos principais de flexão, extensão, rotação direita e rotação esquerda e os respectivos padrões de movimentos acoplados.

**Tabela 2.** Amplitudes máximas (em graus) de cada movimento de teste e dos respectivos movimentos acoplados.

| Movimento principal |           | Movimentos acoplados |              |
|---------------------|-----------|----------------------|--------------|
| Parâmetros          | Amplitude | Parâmetros           | Amplitude    |
| Flexão              | 50,68 ±   | Rotação              | -7,64 ± 8,46 |
|                     | 10,45     | Inclinação           | -3,18 ± 8,79 |
| Extensão            | -37,43 ±  | Rotação              | 5,46 ± 8,29  |
|                     | 12,63     | Inclinação           | -2,14 ± 7,43 |
| Rotação             | 62,55 ±   | Flexão               | 1,52 ± 7,01  |
| Direita             | 8,89      | Inclinação           | -4,43 ± 9,50 |
| Rotação             | -58,51 ±  | Flexão               | 1,75 ± 6,70  |
| Esquerda            | 16,57     | Inclinação           | 1,57 ± 5,81  |

O sinal negativo representa os movimentos de rotação esquerda, inclinação esquerda e extensão

No plano sagital, o movimento de flexão foi associado à rotação e inclinação para a esquerda, e o movimento de extensão apresentou rotação para a direita e inclinação esquerda. No plano transversal, ambos os movimentos de rotação foram associados a um pequeno grau de flexão e inclinação para o lado oposto.

A Figura 3 ilustra graficamente as médias das amplitudes máximas obtidas para cada movimento de teste (primário) e dos respectivos padrões de movimentos acoplados, permitindo melhor visualização dos padrões de movimento obtidos em cada etapa do protocolo experimental

## DISCUSSÃO

Este trabalho teve como objetivo principal quantificar as amplitudes máximas de movimento da coluna cervical de pacientes com cervicalgia crônica. A escolha dos sensores inerciais como instrumentos de

medida foi baseada nas características de precisão dos dispositivos, potencial para uso clínico e capacidade de medir o deslocamento angular nos três planos do espaço simultaneamente, permitindo o estudo dos padrões de movimentos acoplados.

A avaliação tridimensional dos movimentos da cabeça tem sido um dos principais desafios para o desenvolvimento de novos métodos de reabilitação, os quais tendem a ser fundamentados em uma análise quantitativa precisa dos padrões motores. Nesse contexto, esforços de pesquisa tem se concentrado em caracterizar as principais interações entre os movimentos cervicais em diferentes subgrupos populacionais [11,12].

O protocolo de fixação dos sensores foi baseado no trabalho de Theobald et al. [8], que compararam o desempenho de diferentes configurações de posicionamento de sensores para obtenção de medidas mais confiáveis do movimento do pescoço e verificaram que a combinação entre um sensor posicionado na linha média do osso frontal e outro ao nível de T4 resultou em medidas angulares com maior concordância inter-examinador. A precisão de medidas dos sensores inerciais foi investigada previamente por Saber-Sheikh et al [13], que comparou as amplitudes de movimento tridimensionais da articulação do quadril (durante a marcha) medidas através de sensores inerciais e do Fastrak, dispositivo eletromagnético de alta precisão. Os resultados mostraram que houve alta concordância entre as medidas de ambos os dispositivos, destacando o potencial dos sensores inerciais para uso na prática clínica e análise de movimento em ambientes externos [13].

A análise dos dados finais revelou um padrão complexo de interação entre os movimentos cervicais, refletidos no valor elevado do desvio-padrão (Tabela 2). Tal achado pode estar relacionado ao tamanho e

às características funcionais da amostra do estudo. A dor também pode ter sido um fator relevante para a ocorrência de padrões inconsistentes, devido às estratégias particulares empregadas por cada participante para reduzir sua intensidade durante a movimentação do pescoço.

Os resultados deste estudo corroboram parcialmente os achados prévios de Sforza et al [12], que também reportaram padrões de interação indefinidos dos movimentos cervicais de homens saudáveis em diferentes faixas etárias. Os dados referentes ao subgrupo composto por homens de meia idade (que é o subgrupo que mais se aproxima dos participantes deste estudo) mostraram amplitudes médias mais elevadas do que as obtidas por esta pesquisa [12]. Tal diferença pode ser atribuída aos diferentes dispositivos de medição utilizados e à ausência de dor do grupo estudado.

Jasiewicz et al [8] demonstrou que as medidas obtidas por dois sensores inerciais em indivíduos saudáveis (um posicionado na região anterior média do osso frontal e outro em C7) apresentaram medidas similares ao Fastrak, reforçando o potencial dos sensores para aplicações clínicas corriqueiras. Tais achados, entretanto, não podem ser comparados aos resultados desta pesquisa, uma vez que os sinais de ambos os sensores foram subtraídos para a definição das amplitudes finais dos movimentos cervicais.

Os dados relativos às amplitudes médias de flexão e extensão foram compatíveis com os achados de Petersen et al [14], que investigaram os movimentos cervicais de pacientes com dor cervical crônica utilizando um eletrogoniômetro (CA 6000 Spinal Motion Analyzer – OSI inc.). A fixação do dispositivo no participante foi bastante similar ao posicionamento dos sensores deste estudo, com um ponto fixo na cabeça e outro na coluna torácica, e as amplitudes finais reportadas também foram referentes aos ângulos relativos dos dois sensores. Entretanto, os autores não

reportaram dados acerca dos movimentos acoplados, não permitindo a avaliação dos padrões tridimensionais de movimento apresentados pelos participantes.

Neste estudo, os movimentos primários de rotação foram associados aos parâmetros acoplados de flexão e inclinação oposta. Tais achados corroboram parcialmente os resultados de Trott et al [15] que reportaram parâmetros de extensão e inclinação homolateral acoplados aos movimentos de rotação direita e parâmetros de extensão e inclinação oposta na rotação esquerda.

A inconsistência de padrões de referência do movimento cervical observada na literatura indica que estudos futuros devem apresentar um controle rigoroso do processo de amostragem, em especial o tamanho amostral, características funcionais dos participantes, gênero, faixa etária, local de sintomas e intensidade de dor. Embora os sensores inerciais apresentem potencial para utilização clínica diária, ainda não há estudos suficientes acerca da confiabilidade intra e inter-examinador de todos os dispositivos disponíveis no mercado, e estudos futuros devem esclarecer as características de precisão e confiabilidade de determinado dispositivo em particular, antes de sugerir recomendações para uso em casos clínicos

Este estudo investigou a amplitude de movimento da coluna cervical nos três planos do espaço através da interação entre dois sensores inerciais. Os resultados mostraram que as amplitudes máximas de movimento obtidas são compatíveis com pesquisas similares na literatura, mesmo quando comparados com dispositivos distintos.

Os resultados mostraram que a flexão foi associada à rotação/inclinação esquerda; a extensão associada à rotação direita/inclinação esquerda; e ambos os movimentos de rotação foram associados à flexão e inclinação para o lado oposto. Entretanto, os padrões de movimentos acoplados obtidos foram inconsistentes com pesquisas similares na literatura, podendo

estar relacionados com características intrínsecas da amostra, com o protocolo de medição utilizado e ainda com os diferentes tipos de dispositivos empregados. Tais achados sugerem que estudos futuros devem ser rigorosos na etapa de composição da amostra e ênfase também deve ser dada na investigação da confiabilidade do sensor

inercial a ser utilizado no protocolo experimental.

## REFERÊNCIAS

- [1] Carroll LJ, Hogg-Johnson S, Côté P, van der Velde G, Holm LW, Carragee EJ. Course and prognostic factors for neck pain in workers: results of the Bone and Joint Decade 2000-2010 Task Force on Neck Pain and Its Associated Disorders. *J Manip Physiol Ther.* 2009 Feb;32(2 Suppl):S108-16.
- [2] Carroll LJ, Hogg-Johnson S, van der Velde G, Haldeman S, Holm LW, Carragee EJ, et al. Course and prognostic factors for neck pain in the general population: results of the Bone and Joint Decade 2000-2010 Task Force on Neck Pain and Its Associated Disorders. *J Manip Physiol Ther.* 2009 Feb;32(2 Suppl):S87-96.
- [3] Jull G, Sterling M, Falla D, O'Leary S, Treleaven J. *Whiplash, Headache and Neck Pain.* Elsevier; 2008.
- [4] Falla D, Jull G, Rainoldi A, Merletti R. Neck flexor muscle fatigue is side specific in patients with unilateral neck pain. *Eur J Pain.* 2004 Feb;8(1):71-7.
- [5] Jordan K. Assessment of published reliability studies for cervical spine range-of-motion measurement tools. *J Manip Physiol Ther.* 2000;23(3):180-95.
- [6] Fletcher JP, Bandy WD. Intrarater reliability of CROM measurement of cervical spine active range of motion in persons with and without neck pain. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2008 ;38(10):640-5.
- [7] Williams MA, McCarthy CJ, Chorti A, Cooke MW, Gates S. A systematic review of reliability and validity studies of methods for measuring active and passive cervical range of motion. *J Manip Physiol Ther.* 2010;33(2):138-55.
- [8] Jasiewicz JM, Treleaven J, Condie P, Jull G. Wireless orientation sensors: their suitability to measure head movement for neck pain assessment. *Man Ther.* 2007;12(4):380-5.
- [9] Theobald PS, Jones MD, Williams JM. Do inertial sensors represent a viable method to reliably measure cervical spine range of motion? *Man Ther.* 2011:1-5.
- [10] Raya R, Roa JO, Rocon E, Ceres R, Pons JL. Wearable inertial mouse for children with physical and cognitive impairments. *Sensors and Actuators A: Physical.* 2010; 162(2):248-259.
- [11] Feipel V, Rondelet B, Le Pallec J-P, Rooze M. Normal global motion of the cervical spine: an electrogoniometric study. *Clin Biomech* 1999;14:462-70.
- [12] Sforza C, Grassi G, Fragnito N, Turci M, Ferrario V. Three-dimensional analysis of active head and cervical spine range of motion: effect of age in healthy male subjects. *Clin Biomech.* 2002;17(8):611-4.
- [13] Saber-Sheikh K, Bryant EC, Glazzard C, Hamel A, Lee RYW. Feasibility of using inertial sensors to assess human movement. *Man Ther.* 2010;15(1):122-5.
- [14] Petersen CM, Schuit D, Johnson RD, Knecht H, Levine P. Agreement of measures obtained radiographically and by the OSI CA-6000 Spine Motion Analyzer for cervical spinal motion. *Man Ther.* 2008;13(3):200-5.
- [15] Trott PH, Percy MJ, Ruston S a, Fulton I, Brien C. Three-dimensional analysis of active cervical motion: the effect of age and gender. *Clin Biomech.* 1996;11(4):201-206.