

# Comparison of the area of the pharynx during wakefulness and induced sleep in patients with Obstructive Sleep Apnea (OSA)

*Comparação da área da faringe na vigília e durante o sono induzido em pacientes com Síndrome da Apneia Obstrutiva do Sono (SAOS)*

Ana Célia Faria<sup>1</sup>, Luis Vicente Garcia<sup>2</sup>, Antonio Carlos dos Santos<sup>3</sup>, Paula Rejane Beserra Diniz<sup>4</sup>, Helcio Tadeu Ribeiro<sup>5</sup>, Francisco Veríssimo de Mello-Filho<sup>6</sup>

## Keywords:

magnetic resonance imaging, obstructive, pharynx, sleep apnea.

## Abstract

The study of obstructive sleep apnea (OSA) has received growing attention over the past years since various aspects have not been sufficiently established. **Aim:** To evaluate, with the use of magnetic resonance imaging (MRI), changes in the area of the pharynx during wakefulness and induced sleep in patients with OSA. **Materials and Methods:** A prospective study of thirty-two patients with a polysomnographic diagnosis of OSA. All patients were submitted to MR imaging in order to obtain high-definition anatomical sagittal sequences during wakefulness and during sleep induced with Propofol. An area was defined on the sagittal plane in the midline of the pharynx. This region was called pharyngeal midplane (PMP) area. **Results:** A significant difference in PMP area (mm<sup>2</sup>) was observed between wakefulness and induced sleep in each patient ( $p < 0.000001$ ). **Conclusion:** The patients with OSA suffer a significant reduction of 75,5 % in the area of the pharynx during induced sleep compared to wakefulness.

## Palavras-chave:

apnéia do sono tipo obstrutiva, faringe, imagem por ressonância magnética.

## Resumo

O estudo da Síndrome da Apneia Obstrutiva do Sono (SAOS) tem merecido atenção crescente nos últimos anos, uma vez que vários aspectos não foram ainda suficientemente esclarecidos. **Objetivo:** Avaliar, com o uso da Ressonância Magnética (RM), as modificações da área da faringe durante vigília e sono induzido em pacientes portadores de SAOS. **Material e Métodos:** Estudo prospectivo de 32 pacientes com diagnóstico polissonográfico de SAOS. Todos foram submetidos à aquisição das imagens por RM, com sequências sagitais de alta definição anatômica, realizadas inicialmente com o paciente em vigília e durante o sono induzido por Propofol. Uma área foi definida no plano sagital na linha média da faringe. Essa região passou a ser denominada como área do plano mediano da faringe (PMF). **Resultados:** As medidas (mm<sup>2</sup>) da área do PMF de cada paciente, na vigília e durante o sono induzido, apresentaram diferença estatisticamente significativa  $p < 0,000001$ . **Conclusões:** Os pacientes portadores de SAOS sofrem uma significativa redução de 75,5% da área da faringe durante o sono induzido quando comparado à vigília.

<sup>1</sup> Doutora em Ciências Médicas pela Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo (Cirurgiã Buco-Maxilo-Facial do Centro Integrado de Estudo das Deformidades da Face (CIEDEF) do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo).

<sup>2</sup> Professor doutor (Professor Doutor do Departamento de Biomecânica, Medicina e Reabilitação do Aparelho Locomotor da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo).

<sup>3</sup> Livre-docente (Professor Associado do Departamento de Clínica Médica do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo).

<sup>4</sup> Mestre em Neurociências (Bacharel em Informática Biomédica, doutoranda no Departamento de Neurociências da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo).

<sup>5</sup> Especialista em Ortodontia (Aluno de Doutorado do Departamento de Oftalmologia, Otorrinolaringologia e Cirurgia de Cabeça e Pescoço da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo).

<sup>6</sup> Livre docente (Professor Associado chefe do Centro Integrado de Estudos das Deformidades da Face do Dep. de Oftalmologia, Otorrino e Cirurgia de Cabeça e Pescoço da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da USP).

Trabalho realizado junto ao Centro Integrado de Estudos das Deformidades da Face (CIEDEF) do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto - Universidade de São Paulo (USP).

Endereço para correspondência: Ana Célia Faria - Departamento de Oftalmologia, Otorrinolaringologia e Cirurgia de Cabeça e Pescoço da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo. Av. Bandeirantes, 3900. Ribeirão Preto - SP, Brasil. CEP: 14049-900. Fone: 16 - 3602 2523

Este artigo foi submetido no SGP (Sistema de Gestão de Publicações) da BJORL em 28 de abril de 2011. cod. 7732

Artigo aceito em 02 de outubro de 2011.

---

## INTRODUÇÃO

---

O estudo da Síndrome da Apneia Obstrutiva do Sono (SAOS) tem merecido atenção crescente nos últimos anos, uma vez que vários aspectos de relevante importância sobre sua fisiopatologia e abordagem terapêutica não foram ainda suficientemente esclarecidos. Uma adequada compreensão das estruturas que compõem as vias aéreas superiores (VAS) e sua função nos pacientes com SAOS são necessárias para elucidar a patogênese dessa desordem, assim como permitir melhor seleção da terapêutica mais indicada para o tratamento do paciente.

Com essa finalidade, a localização da obstrução nas VAS tem sido estudada com o uso de métodos variados, incluindo exame físico, nasofaringolaringoscopia e exames de imagem, como cefalometria, tomografia computadorizada e ressonância magnética (RM)<sup>1</sup>. Uma limitação dos métodos de avaliação da SAOS é o fato de serem realizados com o paciente em vigília, muitos deles na posição sentada ou em pé, não reproduzindo fielmente os aspectos morfológicos apresentados pelas VAS durante o sono. Desta forma, nem sempre é possível identificar um simples estreitamento nas VAS, estando o paciente em vigília, como responsável pelo desencadeamento dos eventos envolvidos na oclusão das vias aéreas durante o sono.

A RM tem sido usada em pacientes com SAOS com o objetivo de localizar obstruções e anormalidades na orofaringe<sup>2</sup>, no estudo das VAS e seus tecidos moles adjacentes<sup>3-8</sup>, deposição de tecido adiposo nas VAS<sup>9,10</sup>, na identificação de fatores anatômicos das VAS de risco para desenvolvimento da SAOS<sup>11</sup> e na investigação de possíveis diferenças anatômicas das VAS entre homens e mulheres<sup>12</sup>. Para uma adequada identificação do local obstruído, torna-se necessária, também, uma avaliação funcional com o paciente deitado e dormindo, uma vez que a morfologia das VAS enquanto o paciente está acordado não é a mesma durante o sono<sup>13</sup>.

A despeito de a polissonografia ser realizada durante o sono e identificar de maneira adequada o grau de gravidade da doença, bem como diferenciar se central ou obstrutiva, ela não é capaz de identificar o local de obstrução das VAS. Desta forma, na tentativa de identificar a localização da obstrução, exames complementares de avaliação morfológica da VAS são feitos rotineiramente com o paciente acordado. Este descompasso entre as avaliações pode ser a causa da dificuldade de identificação anatômica da obstrução e, conseqüentemente, em se indicar qual tratamento cirúrgico mais adequado para SAOS.

Na literatura, encontramos poucos trabalhos que realizaram RM para avaliação de pacientes com SAOS durante o sono<sup>14-18</sup>. Nestes estudos, a ênfase maior foi dada na comparação da morfologia entre pacientes portadores ou não de SAOS, ou na tentativa de estabelecer uma relação entre gravidade da doença e locais de obstrução.

Não encontramos estudos sobre as diferenças da área (mm<sup>2</sup>) da faringe nos pacientes portadores de SAOS medidas enquanto acordado e durante o sono.

### Objetivo

O objetivo deste trabalho foi avaliar, com uso da RM, as modificações da área da faringe durante a vigília e sono induzido em pacientes portadores de SAOS.

---

## MATERIAIS E MÉTODOS

---

Foram estudados 32 pacientes na faixa etária de 18 a 62 anos, com diagnóstico de SAOS. O critério de inclusão foi comprovação polissonográfica de SAOS determinada pelo Índice de Apneia/Hipopneia (IAH) maior que cinco eventos por hora. Foi considerado como critério de exclusão o uso de medicamentos e pacientes portadores de doenças neuromusculares. Todos os pacientes foram também submetidos à anamnese e exame físico com a utilização de protocolo padronizado do Serviço. O protocolo da pesquisa foi aprovado pela Comissão de Ética em Pesquisa com seres humanos da Instituição, sob o número 6245/2006.

### Polissonografia

As polissonografias (PSG) foram realizadas no Laboratório de Sono da Seção de Neurofisiologia Clínica do Hospital, compreendendo um registro de noite inteira, com admissão do paciente no horário entre 19:00 e 20:00 horas, e alta às 7:00 horas do dia seguinte.

No laboratório de sono, os pacientes foram submetidos a questionário-padrão, antes e após o registro. As polissonografias foram registradas em Polissonógrafo Digital BioLogic - programa Poliwin 2000, com tempo mínimo de registro de 5 horas. As variáveis estudadas foram agrupadas em montagens-padrão internacionalmente propostas para polissonografia.

### Imagem de Ressonância Magnética

Todos os pacientes foram encaminhados para o Centro de Imagens do Hospital, onde foi realizada a aquisição das Imagens por Ressonância Magnética em um equipamento de 1,5 Tesla, supercondutor, modelo Magnetom Vision (Siemens, Erlangen, Alemanha), com campo de gradiente de 25 miliTesla, utilizando-se uma bobina emissora e receptora de radiofrequência (RF), para estudo da cabeça, tipo gaiola, de polarização circular.

O protocolo de aquisição das imagens incluiu seqüências sagitais de alta definição anatômica, ponderadas em T1, seguidas por estudo dinâmico, com seqüências rápidas gradiente-eco, ponderados em T1, realizados, inicialmente, com o paciente em vigília.

Após a realização do exame com o paciente em vigília, o sono foi induzido com a administração por via

endovenosa, realizada por um médico anestesista, de Propofol (3 a 5 mg por quilo), sendo que a aquisição das imagens ocorreu imediatamente após o paciente entrar em sono induzido.

As imagens foram adquiridas em padrão DICOM e transferidas para estação de trabalho auxiliar.

### Análise das imagens

As medidas foram realizadas utilizando o software Display, desenvolvido pela McGill University em Montreal-Canadá.

A área avaliada neste estudo restringe-se apenas ao espaço aéreo, ou seja, não foram incluídos tecidos duros ou moles. Esta área foi definida no plano sagital na linha média da faringe, tendo como limite superior uma linha que passa pelo palato duro até a parede posterior da faringe, como limite inferior o fundo da valécula; posteriormente, a parede posterior da faringe e anteriormente a base da língua e o palato mole (Figura 1). Essa região escolhida passou a ser denominada como área do plano mediano da faringe (PMF). A região PMF foi marcada ponto a ponto (*pixel a pixel*) em imagens no plano sagital, utilizando o software acima citado, que possibilitou a visão concomitante da imagem nos três planos ortogonais, permitindo a identificação precisa da anatomia. O programa gerou um arquivo binário da região delimitada, que permitiu cálculo de área.



**Figura 1.** Imagem do delineamento da área PMF tendo como limite superior uma linha que passa pelo palato duro até a parede posterior da faringe, como limite inferior o fundo da valécula, posteriormente a parede posterior da faringe e anteriormente a base da língua e o palato mole.

### Análise da área PMF do paciente acordado e durante o sono induzido

Inicialmente, foi feita a avaliação no plano sagital, com o objetivo de comparar as áreas de interesse no mesmo paciente acordado e durante o sono induzido. Para tanto, duas sequências foram utilizadas, com a mesma localização espacial, com um corte cada, uma com o paciente acordado e outra com o paciente durante o sono induzido. A PMF foi delimitada utilizando o recurso de limiarização (*threshold*), que teve seu tamanho máximo mensurado em mm<sup>2</sup>. Foi utilizada apenas a maior medida da PMF, pois a menor medida, na maioria dos casos quando o paciente estava em sono induzido, era o colapso da área. Este procedimento impediu que outras regiões que não eram de interesse fossem delimitadas e diminuiu ao máximo a interferência do volume parcial nos resultados. As áreas foram calculadas automaticamente pelo software utilizado e inseridas em planilhas para posterior comparação estatística.

## RESULTADOS

Do grupo de 32 pacientes portadores de SAOS estudados, 23 eram do sexo masculino e nove do sexo feminino, apresentando IAHL médio de 29,55 eventos por hora de sono e IMC médio de 26,97 (Tabela 1). A Tabela 2 mostra as medidas (mm<sup>2</sup>) da área do PMF de cada paciente, na vigília e durante o sono induzido, assim como as diferenças entre essas medidas e a porcentagem de redução da área da faringe durante o sono induzido. A comparação estatística entre os valores obtidos na vigília e durante o sono induzido apresentou diferença estatisticamente significativa ( $p < 0,000001$ ). Os valores das VAS na vigília e durante o sono induzido foram colocados graficamente de acordo com sua distribuição em mm<sup>2</sup> (Gráfico 1). A área da faringe apresentou redução média de 75,55% (DP 7,44) durante o sono induzido (Gráfico 2).

## DISCUSSÃO

Uma vez que as técnicas cirúrgicas para tratamento da SAOS resultam em mudanças anatômicas permanentes, sem a necessidade da aderência do paciente depois que o procedimento é realizado, investigações sobre a anatomia pré-operatória das VAS podem ser altamente esclarecedoras para seleção da terapêutica ideal<sup>19</sup>. Desta forma, este estudo apresenta uma forma padronizada e não subjetiva de avaliação pré-operatória, na qual é possível determinar numericamente a redução da VAS quando o paciente estiver dormindo.

**Tabela 1.** Dados dos 32 pacientes estudados referentes à faixa etária (anos), IAH (eventos/hora de sono) e IMC (Kg/cm<sup>2</sup>).

Pacientes	Idade	IAH	IMC
1	43	18,2	19,92
2	39	47,2	25,77
3	56	8,1	29,55
4	54	26,2	26,58
5	62	56,3	26,45
6	23	12	23,24
7	37	22	34,97
8	49	9,2	26,4
9	34	61,5	26
10	45	41	25,51
11	44	42	24,62
12	43	45	22,4
13	38	5,7	24,34
14	38	16	31,46
15	44	9	20,27
16	15	29,3	21,08
17	44	15,7	21,45
18	48	34	23,94
19	30,7	39	24,42
20	60	43,1	26,64
21	26	42	31,1
22	52	6	24,05
23	44	47	43,8
24	42	32,5	31,12
25	43	13,77	34,08
26	50	8	29,65
27	32	25,3	25
28	57	40,3	26,27
29	25	24,55	22,31
30	43	47	36,65
31	18	15,7	20,24
32	39	63,1	33,8
média	41,18	29,55	26,97

IAH = Índice de Apneia/Hipopneia  
IMC = Índice de Massa Corporal

Alguns estudos mostram que os pacientes portadores de SAOS apresentam as vias aéreas com diminuição de seu espaço, o que favorece a sua oclusão durante o sono<sup>15</sup>. Entretanto, não determinam de maneira objetiva de quanto é essa diminuição.

No presente estudo, verificamos que, a despeito de as VAS possuírem uma dimensão suficiente para a passagem do ar em vigília, ocorre uma brutal diminuição

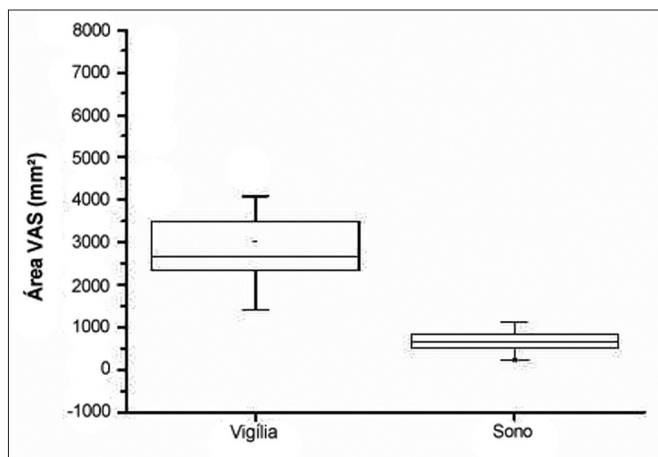
**Tabela 2.** Medidas relativas à área em mm<sup>2</sup> do PMF obtidas na Ressonância Magnética dos 32 pacientes na vigília, durante o sono induzido, diferenças entre as medidas e porcentagem de redução da área da faringe.

Pacientes	Vigília	Sono	Diferenças entre as medidas	Porcentagem de redução (%)
1	6044,7	1116,8	5927,9	81,5
2	3945,9	1008,9	2937	74,4
3	2389,8	433,9	1.955,9	81,8
4	5307,9	531,9	4.776,0	90,0
5	3022,3	862,5	2159,8	71,5
6	3909	702,6	3206,4	82,0
7	3166,1	793,3	2372,8	74,9
8	2237,5	536,4	1701,1	76,0
9	4086,1	985,6	3100,5	75,9
10	2077,2	578,6	1498,6	72,1
11	3787,8	486,1	3301,7	87,2
12	2443,7	566	1877,7	76,8
13	2972	1078,5	1893,5	63,7
14	3629,7	635,2	2994,5	82,5
15	1786,1	236,3	1549,8	86,8
16	2670,1	549,8	2120,3	79,4
17	2389,8	545,3	1844,5	77,2
18	3453,6	846,2	2607,4	75,5
19	2371,9	721,4	1650,5	69,6
20	2249,7	487,8	1761,8	78,3
21	3500,3	882,3	2618	74,8
22	2034,1	433,9	1600,2	78,7
23	1405,2	415	989,2	70,5
24	3202	664,8	2537,2	79,2
25	1728,6	729,5	999,1	57,8
26	2350,3	651,4	1698,9	72,3
27	3489,5	817,6	2671,9	76,6
28	2407,4	476,2	1931,2	80,2
29	2368,3	689	1678,3	70,9
30	2806,8	849,0	1957,8	69,7
31	2573,1	665,7	1907,4	74,1
32	3388	1502,2	1885,8	55,7

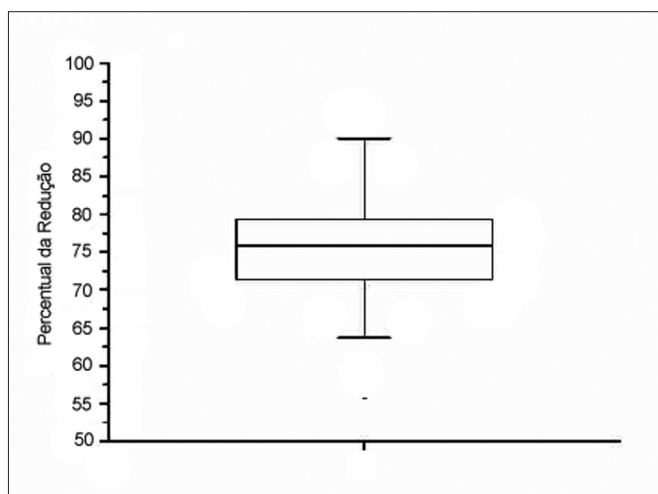
de aproximadamente 75% de sua área durante o sono, produzindo obstrução (Tabela 2 e Gráfico 2). Esse achado é importante, uma vez que não encontramos resultado semelhante na literatura consultada.

Em 1993, Suto et al.<sup>14</sup> publicaram um estudo realizado em 15 pacientes com SAOS, que tiveram suas VAS avaliadas subjetivamente com exame de RM na vigília e durante o sono induzido. Seus resultados apontaram para





**Gráfico 1.** Distribuição das medidas de área em mm<sup>2</sup> das VAS na vigília e durante o sono induzido.



**Gráfico 2.** Representação gráfica do percentual de redução da área das VAS durante o sono induzido.

importantes mudanças anatômicas nas VAS de 87% dos pacientes quando avaliados durante o sono. Nossos resultados, entretanto, mostram de maneira bastante simples e mensurável que em 100% dos pacientes avaliados ocorreu uma diminuição significativa na área PMF durante o sono.

Esta significativa modificação das VAS parece determinar a gravidade da SAOS, como relatado por Suto & Inoue<sup>15</sup>, que concluíram que locais múltiplos de obstrução na faringe estão associados à ocorrência de apneia de grau grave.

O tamanho da via aérea na faringe é determinado pela interação entre a regulação neural da atividade da musculatura dilatadora e suas propriedades estruturais. O colapso faríngeo durante o sono nos pacientes com SAOS poderia, então, ser causado por anormalidades destes fatores<sup>20</sup>.

É de conhecimento geral que fatores anatômicos, como anormalidades craniofaciais (retrognatia, microgna-

tia, atresia maxilar, overbite), alterações no palato mole, macroglossia, hipertrofia tonsilar e obstruções nasais podem contribuir para o surgimento das apneias<sup>21</sup>, porém, existem pacientes com SAOS que não apresentam alterações anatômicas óbvias. Nossos resultados mostram que, nestes casos, este método pode identificar e mensurar a área de diminuição da via aérea.

Em 1989, Abbey et al.<sup>22</sup> levantaram a hipótese que pacientes com SAOS nem sempre teriam a faringe estreitada durante a vigília, porém, apresentariam locais variáveis de estreitamento das VAS, que sofreriam colapso durante o sono. Desta forma, principalmente nos pacientes sem alterações anatômicas óbvias, o fator funcional (coordenação da musculatura dilatadora da faringe) ganha importância. Uma vez que a atividade da musculatura dilatadora da faringe é diferente na vigília e durante o sono, torna-se fundamental a avaliação morfológica das VAS durante ambos.

Nossos resultados mostram que uma significativa redução do espaço aéreo durante o sono induzido ocorreu em todos os pacientes estudados ( $p < 0,000001$ ), demonstrando sítios de colapso na área PMF. Essas modificações anatômicas não aparecem e não podem ser diagnosticadas em exames realizados durante a vigília. Desta forma, a RM feita em vigília e durante o sono mostrou ser capaz de identificar com precisão as mudanças ocorridas nas VAS, bem como mensurá-las.

## CONCLUSÃO

Os pacientes estudados, portadores de SAOS, sofreram uma significativa redução média de 75,55% da área da faringe durante o sono induzido quando comparado à vigília.

## REFERÊNCIAS

1. Stuck BA, Maurer JT. Airway evaluation in obstructive sleep apnea. *Sleep Med Rev.* 2008;12(6):411-36.
2. Suto Y, Matsuda E, Inoue Y, Suzuki T, Ohta Y. Sleep apnea syndrome: comparison of MR imaging of the oropharynx with physiologic indexes. *Radiology.* 1996;201(2):393-8.
3. Schwab RJ, Gupta KB, Gefter WB, Metzner LJ, Hoffman EA, Pack AI. Upper airway and soft tissue anatomy in normal subjects and patients with sleep-disordered breathing. Significance of the lateral pharyngeal walls. *Am J Respir Crit Care Med.* 1995;152(5 Pt 1):1673-89.
4. Schwab RJ. Properties of tissues surrounding the upper airway. *Sleep.* 1996;19(10 Suppl):S170-4.
5. Ciscar MA, Juan G, Martínez V, Ramón M, Lloret T, Mínguez J, et al. Magnetic resonance imaging of the pharynx in OSA patients and healthy subjects. *Eur Respir J.* 2001;17(1):79-86.
6. Mariën S, Schmelzer B. Velopharyngeal anatomy in snorers and patients with obstructive sleep apnea. *Acta Otorhinolaryngologica Belg.* 2002;56(2):93-9.
7. Stuck BA, Köpke J, Maurer JT, Verse T, Kuciak G, Düber C, et al. Evaluating the upper airway with standardized magnetic resonance imaging. *Laryngoscope.* 2002;112(3):552-8.
8. Welch KC, Foster GD, Ritter CT, Wadden TA, Arens R, Maislin G, et al. A novel volumetric magnetic resonance imaging paradigm to study upper airway anatomy. *Sleep.* 2002;25(5):532-42.

- 
9. Shelton KE, Woodson H, Gay SB, Suratt PM. Adipose tissue deposition in sleep apnea. *Sleep*. 1993;16(8 Suppl):S103-5.
  10. Schäfer H, Pauleit D, Sudhop T, Gouni-Berthold I, Ewig S, Berthold HK. Body fat distribution, serum leptin, and cardiovascular risk factors in men with obstructive sleep apnea. *Chest*. 2002;122(3):829-39.
  11. Schwab RJ, Pasirstein M, Pierson R, Mackley A, Hachadoorian R, Arens R, et al. Identification of upper airway anatomic risk factors for obstructive sleep apnea with volumetric magnetic resonance imaging. *Am J Respir Crit Care Med*. 2003;168(5):522-30.
  12. Daniel MM, Lorenzi MC, da Costa Leite C, Lorenzi-Filho G. Pharyngeal dimensions in healthy men and women. *Clinics*. 2007;62(1):5-10.
  13. Rama AN, Tekwani SH, Kushida CA. Sites of obstruction in obstructive sleep apnea. *Chest*. 2002;122(4):1139-47.
  14. Suto Y, Matsuo T, Kato T, Hori I, Inoue Y, Ogawa S, et al. Evaluation of the pharyngeal airway in patients with sleep apnea: value of ultrafast MR imaging. *AJR Am J Roentgenol*. 1993;160(2):311-4.
  15. Suto Y, Inoue Y. Sleep apnea syndrome. Examination of pharyngeal obstruction with high-speed MR and polysomnography. *Acta Radiol*. 1996;37(3 Pt 1):315-20.
  16. Yokoyama M, Yamanaka N, Ishii H, Tamaki K, Yoshikawa A, Morita R. Evaluation of the pharyngeal airway in obstructive sleep apnea: study by ultrafast MR imaging. *Acta Otolaryngol Suppl*. 1996;523:242-4.
  17. Donnelly LF, Surdulescu V, Chini BA, Casper KA, Poe SA, Amin RS. Upper airway motion depicted at cine MR imaging performed during sleep: comparison between young patients with and those without obstructive sleep apnea. *Radiology*. 2003;227(1):239-45.
  18. Chuang LP, Chen NH, Li HY, Lin SW, Chou YT, Wang CJ, et al. Dynamic upper airway changes during sleep in patients with obstructive sleep apnea syndrome. *Acta Otolaryngol*. 2009;129(12):1474-9.
  19. Huang Y, White DP, Malhotra A. Use of computational modeling to predict responses to upper airway surgery in obstructive sleep apnea. *Laryngoscope*. 2007;117(4):648-53.
  20. Okubo M, Suzuki M, Horiuchi A, Okabe S, Ikeda K, Higano S, et al. Morphologic analyses of mandible and upper airway soft tissue by MRI of patients with obstructive sleep apnea hypopnea syndrome. *Sleep*. 2006;29(7):909-15.
  21. Fleisher KE, Krieger AC. Current trends in treatment of obstructive sleep apnea. *J Oral Maxillofac Surg*. 2007;65(10):2056-68.
  22. Abbey NC, Block AJ, Green D, Mancuso A, Hellard DW. Measurement of pharyngeal volume by digitized magnetic resonance imaging. Effect of nasal continuous positive airway pressure. *Am Rev Respir Dis*. 1989;140(3):717-23.