

## Skeletal Surgery in Obstructive Sleep Apnea

Sung Wan Kim

Department of Otorhinolaryngology-Head and Neck Surgery, Kyung Hee University School of Medicine, Seoul, Korea

Skeletal surgery for obstructive sleep apnea (OSA) aims to provide more space for the soft tissue in the oropharynx to prevent airway collapse during sleep. Conventional surgical techniques include genioglossus advancement (GA), hyoid myotomy/suspension (HMS), and maxillomandibular advancement (MMA). GA and HMS are usually performed with soft tissue surgery and/or other skeletal surgery in a combined manner. These combined procedures seem to have a higher success rate. MMA employs a different conceptual approach, so called whole upper airway reconstruction, because MMA can widen the entire upper airway with one procedure. Various modifications of skeletal surgery have been reported. Surgical techniques, efficacy and complications of skeletal surgery with my opinions and comments are introduced in this review. Furthermore, limitations and considerations in skeletal surgery that sleep surgeons have to realize and overcome will be discussed in this review.

**Key Words:** Sleep Apnea; Obstructive; Mandibular Advancement; Surgery

Correspondence to: Sung Wan Kim  
우130-872, 서울시 동대문구 경희대로 23,  
경희대학교병원 이비인후과  
Department of ORL-HNS, Kyung Hee  
University Medical Center, 23 Kyunghee-  
dae-ro, Dongdaemun-gu, Seoul 130-872,  
Korea  
Tel: +82-2-958-8474  
Fax: +82-2-958-8470  
E-mail: drkimsw@hanmail.net

Received 25 August 2013  
Revised 18 October 2013  
Accepted 26 October 2013

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

### 서 론

수면무호흡증의 수술적 치료법의 기본적인 원칙은 비강, 인후부의 진찰 소견에서 발견된 기도폐쇄 부위를 모두 넓혀주는 것과 늘어져 있는 조직을 탄탄하게 해주어 수면무호흡증을 줄여주는 것이다. 심지어 넓혀줄 기도폐쇄 부위가 발견되지 않거나 탄탄하게 만들어줄 구조가 보이지 않는다면 수술적 치료를 권하는 것이 의미가 없을 수도 있다. 폐쇄 부위를 넓혀 주는 것에는 크게 골격구조를 변화시켜 기도를 넓히는 골격수술(skeletal surgery)과 기도 안의 내용물을 줄이거나 탄탄하게 만드는 연조직수술(soft tissue surgery)로 나눌 수 있다. 다시 말해 상기도를 "box and contents"의 개념으로 생각해 보면 "box"가 작아서 문제가 되면 "box"를 넓혀주는 골격수술을, "contents"가 너무 커서 문제가 되면 그것을 줄여주는 연조직수술을 하는 것이 단순한 수술의 원칙이다. 연조직수술의

경우 비교적 충분한 경험들이 축적되어 있고 변형된 수술들도 많이 보고되어 있으나 골격수술에 대해서는 경험의 축적도 부족하고 결과에 대한 보고도 상대적으로 적으며 결과도 논란이 많은 것이 사실이다[1]. 저자는 수면무호흡증의 치료를 위해 사용된 골격수술의 종류, 합병증과 제한점 등에 대해서 알아보고자 한다.

### 본 론

#### 1. 골격수술의 종류

수면무호흡증의 골격수술에는 다양한 변형의 이설근전진술(genioglossus advancement, GA), 설골근절개거상술(hyoid myotomy/suspension, HMS)이 1차 수술로 주로 사용되고, 2차 수술로 양악전진술(maxillomandibular advancement, MMA)이 주로 사용된다[2]. 이 밖에 최근 당김뼈형성술(distraction osteogenesis)도 수

면무호흡증의 수술로 도입되어 안면의 선천성 기형이 있는 소아나 심각한 상하악의 변형이 있는 성인의 경우에 치료법으로 사용되고 있으나 보편적이지는 않다[3].

이설근전진술과 설골근절개거상술은 부분적으로 근육의 긴장도를 높여 수면 중에 발생하는 기도의 협착을 방지하는 술식이며, 구인두 수술 방법과 같이 각각 단독으로 또는 함께 사용된다. 이 술식은 얼굴 외형의 변화가 거의 없고 비교적 경한 합병증을 보이는 반면 기술적으로 상당히 어려운 면이 있어 술자에 따라 또는 사용하는 수술방법에 따라 다양한 결과를 보일 수 있다. 반면에 양악전진술은 상인두에 있는 모든 근육의 긴장도를 한꺼번에 높일 수 있어 기도협착에 대한 효과는 훨씬 좋으며, 기술적으로는 비교적 정형적인 수술이라서 일정한 결과를 내고 있다. 다만 합병증이 생기면 심각한 합병증이 있을 수 있고 회복기간이 길며 수술비가 비싸다는 단점이 있어 1차 수술로 적용하기에는 무리가 있다[4].

## 2. 이설근전진술(genioglossus advancement)

하악골의 일부를 전방으로 위치시켜 폐쇄성 수면무호흡증을 개선하고자 하는 술식이다. 설근육의 긴장도를 향상시키고 수면 시 혀가 후방으로 처지는 것을 방지하는 것이 이 수술의 목적이다[2]. 이 술식은 단독으로 행해지기 보다는 구개수구개인두성형술(uvulopalatopharyngoplasty, UPPP) 등의 구개부 수술과 같이 시행되거나 양악전진술의 부가적인 수술로 행해지는 경우가 일반적이다[5,6]. 이설근전진술과 설골근절개거상술도 같이 행해지는 경우도 있다[7].

1983년 Riley 등에 의해 양측시상분할절골술(bilateral sagittal split osteotomy, BSSO)을 동반한 sliding osteotomy의 형태로 처음 소개되었으며[8], 1986년 하부시상절골술(inferior sagittal osteotomy)로 변형되었으나 수술 후 하악골절의 위험성이 높아 1993년 하악의 직사각형 절골술(rectangular osteotomy)을 통한 geniotubercle advancement의 형태로 발전되어 현재 가장 널리 사용되고 있다(Fig. 1)[9,10]. 하지만 geniotubercle advancement는 하악이 약해지는 것을 막을 수 있고 수술 시간이 짧은 장점이 있는 반면, 수술실에서 genial tubercle의 위치를 확인하는 것이 어렵고, 출혈의 조절이 어려우며, 모든 환자에서 선택의 여지없이 하악의 두께만큼 당겨야 하므로 하악의 전진정도를 조절할 수 없어 이로 인한 근육의 긴장도가 과중한 경우 오히려 근육의 파열을 가져올 수 있고 당겨진 근육의 피로도로 인해 재발의 가능성을 가진다는 단점이 있을 수 있다.

이설근전진을 위한 다양한 술식의 변형이 보고되고 있는데 이설근 전체를 충분히 전진시키는 목적으로 1998년 하악능형절골술(mandibular trapezoid osteotomy)이 보고되었으나 이 술식은 얼굴의 변형을 피할 수 없으며 하악의 약화로 인한 하악골절이 문제가 되는 술식으로 이후 보고가 없는 상태이다(Fig. 2A)[11]. 이후

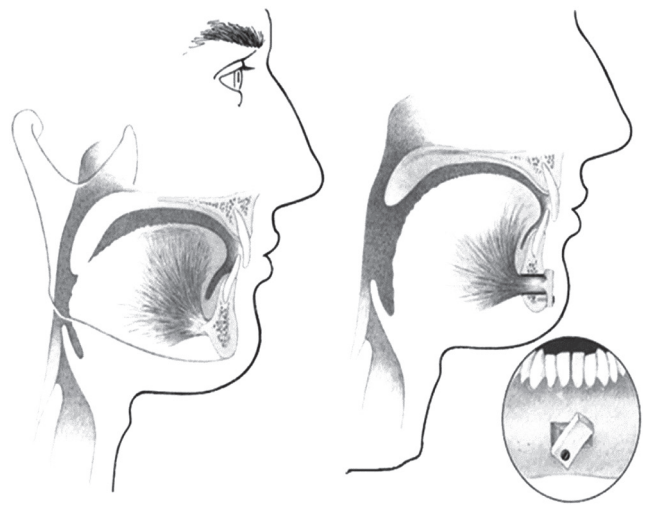
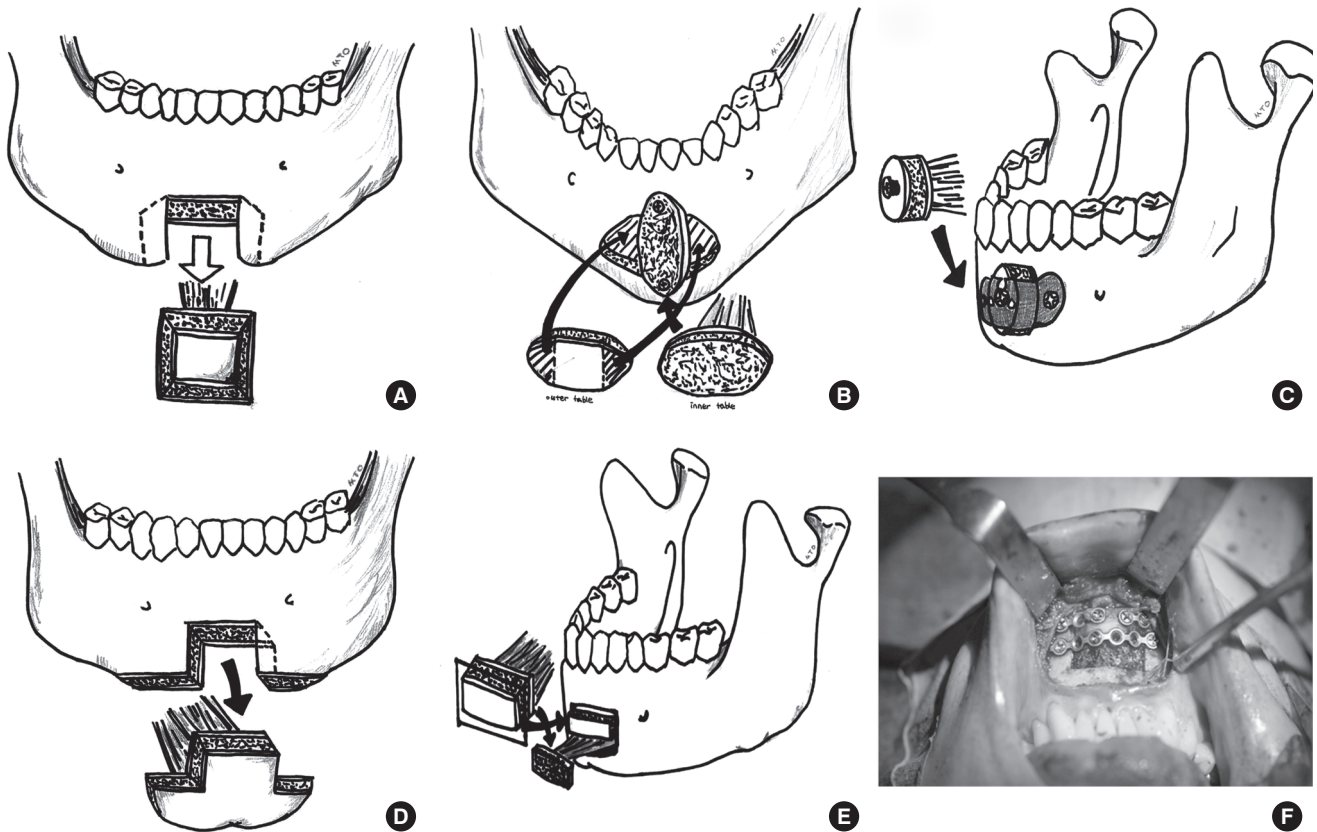


Fig. 1. Geniotubercle advancement. Ref. 10 with permission from Ilchokak.

Datillo 등이 보고한 타원창이설근전진술(elliptical window genioglossus advancement)의 술식은 하악골절을 피할 수 있다는 장점이 있으나 수술이 복잡하고 osteotomy 부위를 하악의 두께만큼 전진시킬 수 밖에 없어 전진의 길이를 조절할 수 없는 단점은 보완되지 않았다(Fig. 2B)[12]. 수술의 편이성을 고려하여 관상절골접근술(trephine osteotomy approach)도 개발되었으나 이는 정확성이 문제가 되는 술식이라고 생각된다(Fig. 2C)[13]. Hendler 등은 좀 더 효과적으로 이설근을 전진시키기 위한 mortised genioplasty를 보고하였으나 이 술식도 이설근 전진에는 기존의 geniotubercle advancement 보다 효과적일 수 있으나 소개된 술식 중에 가장 하악이 약화될 수 있는 술식이다(Fig. 2D)[14]. Garcia Vega 등이 최근에 직사각형 절골술의 단점을 보완한 술식을 보고하였는데, 이는 기존의 술식에서 골편을 30-90도 회전시키는 것에 의한 근육의 손상을 최소화할 수 있도록 고안되어 비교적 안정된 술식으로 보이거나 술식이 조금 복잡하고 하악이 작은 환자에서는 적용이 어려울 것으로 보인다(Fig. 2E)[15]. 최근 저자는 이러한 기존의 술식을 보완하고 합병증의 빈도를 줄일 수 있는 방법으로 전방하악분절전진술(anterior mandibular segmental advancement)의 방법을 고안하여 사용하고 있다. 이 술식은 genial tubercle을 쉽게 확인할 수 있으며 술 후 출혈을 조절하기에 용이하고 이설근의 전진정도를 조절하는 것도 가능하며 얼굴의 모양도 원하는 상태로 조절이 가능하다는 여러 가지 장점이 있다. 하지만 수술의 결과는 좀 더 연구가 필요할 것으로 생각된다(Fig. 2F). 이설근전진술을 위한 하악절골술을 하는 모든 술식에서 공히 가능한 합병증으로는 감염, 혈종, 이설근 손상, 하악치의 이상감각, 하악골절, 치아의 변형 등이 있을 수 있다[16]. 이설근전진술의 효과는 단독 수술로 보고된 것은 거의 없고 다단계수술(multilevel surgery)의 일부로 보고되어 있는 것이 대

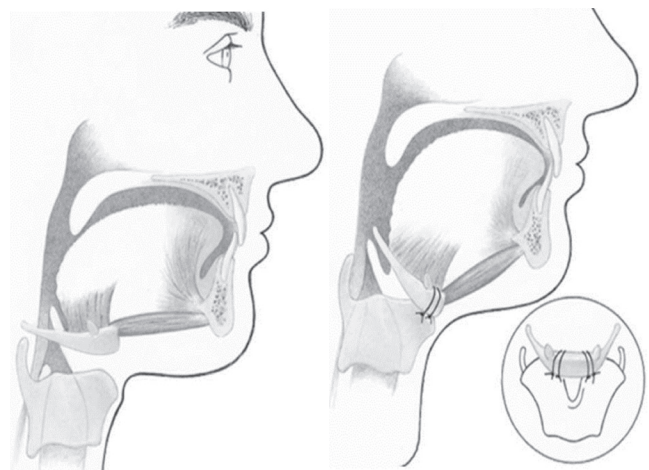


**Fig. 2.** Various modifications of genioglossus advancement. (A) mandibular trapezoid osteotomy (Repainted from Ref. 11), (B) elliptical window genioglossus advancement (Repainted from Ref. 12), (C) trephine osteotomy approach approach (Repainted from Ref. 13), (D) mortised genioplasty (Repainted from Ref. 14), (E) modified geniotubercle advancement (Repainted from Ref. 15), (F) anterior mandibular segmental advancement.

부분인데, 그 결과가 보고마다 차이가 많아 약 40-70%의 성공률을 보고하고 있다. 이는 술식이 다양하고 술자의 경험과 기술적인 요소 그리고 대상 환자의 선택에 따라 수술의 결과가 큰 영향을 받을 수 있다는 것을 보여준다고 생각한다[17].

### 3. 설골근절개거상술(hyoid myotomy/suspension)

설골을 전방으로 재위치하여 기도를 확장하는 술식이다. Riley 등에 의해 처음 도입되었을 때는 설골을 하악골에 고정하는 술식이 사용되었으나, 흡인 등의 문제점으로 인하여 현재는 갑상연골에 고정하는 hyoidthyroidpexia의 방법이 가장 흔하게 사용된다(Fig. 3)[10,18]. 대개 구개수개인두성형술과 동반하여 시행하나 단독으로 시행하거나 다른 골격수술과 동반하여 시행하기도 한다[18]. 이 술식은 경부 피부에 절개가 필요한 것이 단점이며, 설골을 갑상연골에 고정할 때 사용되는 고정물질로는 Nylon, Techron, wire 등이 사용되는데 실제로 수술 후 갑상연골에 대비하여 설골의 전진 정도가 어느 정도인가에 따라 결과가 많이 다를 수 있다. 긴장도가 증가된 근육의 힘에 의하여 갑상연골이 찢어지면서 벌어지거나 고정부위가 풀어지는 등 고정에 대한 문제로 재발의 가능성이 있을



**Fig. 3.** Hyoid myotomy/suspension. Ref. 10 with permission from Il-chokak.

수 있다. 설골을 갑상연골의 앞쪽에 위치 시키는 경우 효과도 극대화할 수 있고 고정도 비교적 쉽게 할 수 있으나, 상대적으로 설골이 갑상연골을 전방에서 누르게 되므로 목소리의 변화를 가져올 확



률이 높아질 수 있다. 반면 갑상연골 위에 설골을 놓이게 하는 정도로 전진시키는 경우 목소리의 변화를 가져올 확률은 줄어드나 전진의 정도가 줄어들어 수술의 효과도 감소할 수 있고, 고정 부위가 안정되지 못해 생기는 고정부위의 분리가 일어날 가능성이 높아질 수 있다. 합병증으로는 감염, 혈청종, 음성의 변화 그리고 연하곤란 등이 발생할 수 있으나 큰 합병증은 없다[16,19]. 설골근절개거상술의 효과는 독일의 Manheim 대학 팀의 연구들이 주를 이루는데 multilevel surgery의 일부로 시행하는 경우 약 70% 정도의 비교적 좋은 결과를 보고하고 있다[20,21].

#### 4. 양악전진술(bimaxillary or maxillomandibular advancement)

양악(상하악)전진술은 안면 골격의 이상(상악 또는 하악 부전증)이 폐쇄성 수면무호흡증 환자에서 종종 발견되며, 상하악의 발육부전은 기도용적을 감소시켜 수면 중 기도폐쇄를 유발한다는 점

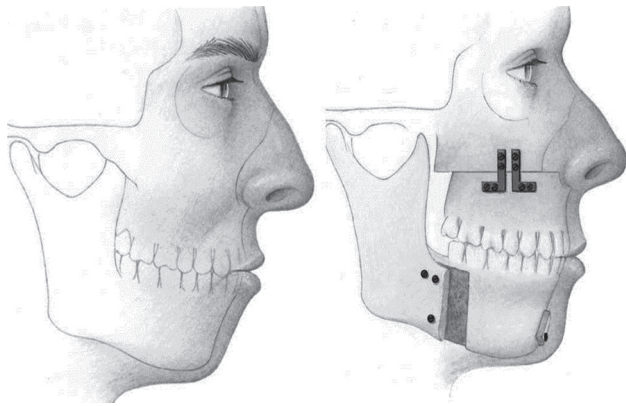


Fig. 4. Bimaxillary advancement. Ref. 10 with permission from Ilchokak.

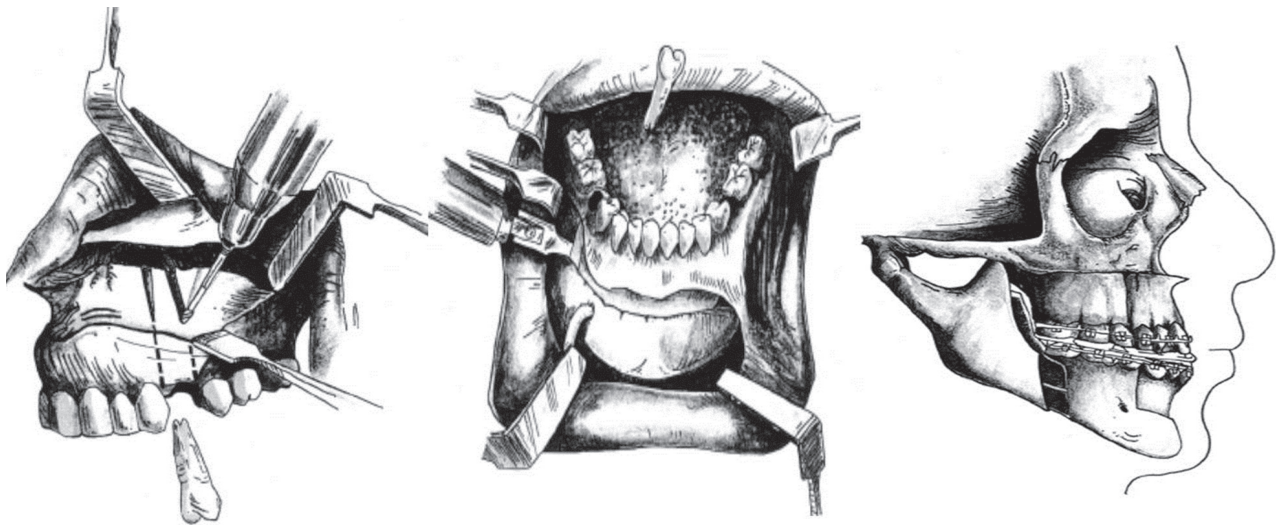


Fig. 5. Modified bimaxillary advancement. Ref. 24 with permission from John Wiley and Sons.

에 기초하여 시도되었다[22]. 양악전진술은 상악과 하악 모두를 전진시켜 비인두, 구인두, 하인두 기도의 골격구조를 확장시켜 전체 기도를 확장시켜 기도재건(airway reconstruction)의 개념을 가진다(Fig. 4)[10]. 비인두내시경과 두개골계측촬영으로 수술 전후를 비교해보면 상하악 구조의 전방이동에 의한 기도확장과 상설골근과 인두 근육의 긴장도와 폐쇄정도를 감소시켜 측인두벽의 폐쇄를 줄인다[23]. 양악전진술은 가장 침습적인 방법이고 출혈, 감염, 부정교합, 기도폐쇄 등의 합병증이 생길 수 있어 다른 수술을 일차적으로 한 후에 좋아지지 않은 환자에서 시행하는 것이 일반적이다.

동양인에서는 얼굴의 모양이 변하는 것이 양악전진술을 받는 환자에서 가장 큰 저항으로 나타난다. 이를 극복하기 위한 방법으로 변형된 양악전진술이 개발되었다(Fig. 5)[24]. 이 방법은 상악과 하악의 일부를 수직적으로 제거하여 실제로는 양악의 전진이 있지만 외형적으로는 전진술 이전의 얼굴모양을 유지하는 방법으로 동양인들의 정서에 맞는 수술방법이라고 할 수 있겠다.

수술의 결과에 대해서는 주관적인 만족도가 아주 높으며, 객관적으로 기도의 크기가 커지고 얼굴이 바뀌지만 개선되는 방향으로 바뀌어 동양인 환자에서도 불만은 없다고 한다[25,26]. 다른 수술 후에 2차적으로 하는 경우나 1차적으로 시행되는 경우 모두에서 가장 효과적인 수술로 보고되고 있고, 장기 추적에서도 약 85-90% 정도의 성공률을 보고하고 있으며, 다른 골격수술이나 연조직수술과 동반하여 시행하여 좋은 결과를 보고하기도 한다[5,27-29]. 특히 중등도-중증의 환자에서 UPPP와 비교했을 때 현저하게 좋은 성적을 보였다[30]. 이 술식의 단점은 얼굴의 변화를 피할 수 없고, 심각한 합병증의 가능성이 있다는 점이 부담이다. 합병증으로는 안면골의 혈액순환장애로 골괴사가 일어날 수도 있고 악관절의 손상과 더불어 교합의 문제가 생길 수도 있으며, 혈종이 생기는 경우 기도의 폐쇄도 가능하여 기관절개술을 해야 하는 경우도 있고, 인

두부전증의 발생도 가능하다[16]. 또한 가격이 비싸고 최근에는 수술 전후 오랜 기간의 치아교정을 하는 경우도 있어 많은 비용을 초래하는 것도 제한점이라고 하겠다.

## 5. 골격수술의 제한점

골격수술의 가장 큰 문제점은 대상이 되는 환자 군의 선택과 수술의 결과에 대한 충분한 증거가 아직 부족하다는 것이다. 실제로 단독수술에 대한 결과가 부족하고 수술 결과에 대해서도 논란이 많은 것이 사실이다. 주로 수면을 담당하는 내과의사들에 의해 근거중심의학의 관점에서 분석하면 골격수술은 양악전진술을 제외하면 나머지 수술들은 아직 결과가 부족해 일차치료로 권하지 않는 경향을 보인다[1,31,32]. 하지만 외과의사들에 의한 메타분석들은 대부분 다단계수술에 대해 일관되게 좋은 결과들을 보고하고 있으며, 특히 양악전진술의 경우 양압치료와 비교할 만한 효과를 보인다고 보고되고 있다[18,33,34]. 이는 골격수술을 포함하는 수면수술을 할 수 있는 의사의 수가 세계적으로 적고, 수술이라는 연구 대상의 특성상 근거중심의학의 측면에서 가치가 높은 대조 연구가 어렵다는 문제점이 있다. 또한 수면무호흡증 환자들의 다양한 구조적인 문제들을 고려할 때 한가지 수술로 좋아지기 어렵다고 느껴지는 환자들이 많고, 이 환자들에게 다단계수술을 하게 되어 단독수술의 결과를 도출하기 어렵다는 점도 문제이다.

수술 전 폐쇄부위를 정확히 알 수 있는 검사가 있다면 설근부수술의 결과를 더 향상시킬 수 있다고 생각할 수 있으나, 설근부에 대한 충분한 공간확보와 충분한 근육의 긴장도를 주었다고 생각되는 환자에서도 여전히 치료결과를 낙관할 수 없는 것도 사실이다. 하지만 저자의 경험에 의하면 수술이 익숙해지면 모든 골격수술이 수술 시간도 길지 않고, 수술 후 환자들의 회복이나 고통도 오히려 구인두 수술들 보다 적다는 느낌이 있어, 설근부의 폐쇄가 의심되는 환자에서 수술에 익숙한 술자라면 환자에게 적용하는 것을 망설일 필요는 없다고 생각된다. 다만 연조직수술에 비해 숙달되는 기간이 길고 좀 더 중한 수술 후 합병증이 있을 수 있으며, 수술 후 처치에 대해서도 더 많은 주의가 필요하고 수술 전에도 더 많은 설명이 환자에게 필요하다는 점이 골격수술을 하려는 외과의들에게 부담으로 작용하는 것이 사실이다.

다단계수술의 결과들로 예측해보면 골격수술은 분명 효과가 있는 환자 군이 있으며 효과가 없는 환자 군도 있다. 이것은 단순히 연조직수술에 추가되는 성공률이 아니라 다른 적응증을 가진 환자에서의 결과라고 생각된다. 또한 여러 연구에서 이 술식은 다단계수술의 결과에서 보듯 설근부의 고주파수술과 같은 연조직수술보다 우월한 결과를 보인다. 다만 가장 적절한 적응증을 찾기 위한 좀 더 많은 연구가 필요하다고 생각된다. 이를 위해 다양한 폐쇄부위를 찾기 위한 진단기법에 따른 수술의 적응증이 마련되어야 할 것이며, 폐쇄부위에 대한 여러 가지 진단기술을 발전시키고 수술의

방법 또한 더 많이 개발되어야 할 것이다. 또한 최근의 Sweden 연구에서처럼 대조 군을 적절히 사용하는 연구들을 통해 근거중심의학의 측면에서 좀 더 가치 있는 결과들을 보고하는 것도 필요할 것으로 생각한다[35].

## 결론

수면무호흡증 치료에 있어 골격수술은 수면무호흡증을 수술로 치료하고자 하는 외과의사들에게는 피할 수 없는 중요한 수술법이다. 아직 그 적응증이 분명하지 못하고 결과에 대한 보고가 정확하지 못한 것은 그 만큼 많은 수의 외과의사가 골격수술을 하지 않고 있다는 반증이기도 하다. 좀 더 많은 연구를 통하여 좋은 적응증과 제한점을 알아냄으로써 좀 더 나은 수술 성공률을 이루어 내도록 노력해야 할 것으로 생각한다.

## REFERENCES

1. Aurora RN, Casey KR, Kristo D, Auerbach S, Bista SR, Chowdhuri S, et al. Practice parameters for the surgical modifications of the upper airway for obstructive sleep apnea in adults. *Sleep* 2010;33:1408-13.
2. Powell NB. Contemporary surgery for obstructive sleep apnea syndrome. *Clin Exp Otorhinolaryngol* 2009;2:107-14.
3. Brevi BC, Toma L, Magri AS, Sesenna E. Use of the mandibular distraction technique to treat obstructive sleep apnea syndrome. *J Oral Maxillofac Surg* 2011;69:566-71.
4. Riley RW, Powell NB, Guilleminault C. Obstructive sleep apnea syndrome: a surgical protocol for dynamic upper airway reconstruction. *J Oral Maxillofac Surg* 1993;51:742-7; discussion 8-9.
5. Hendler BH, Costello BJ, Silverstein K, Yen D, Goldberg A. A protocol for uvulopalatopharyngoplasty, mortised genioplasty, and maxillomandibular advancement in patients with obstructive sleep apnea: an analysis of 40 cases. *J Oral Maxillofac Surg* 2001;59:892-7; discussion 8-9.
6. Emara TA, Omara TA, Shouman WM. Modified genioglossus advancement and uvulopalatopharyngoplasty in patients with obstructive sleep apnea. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2011;145:865-71.
7. Riley RW, Powell NB, Guilleminault C. Inferior mandibular osteotomy and hyoid myotomy suspension for obstructive sleep apnea: a review of 55 patients. *J Oral Maxillofac Surg* 1989;47:159-64.
8. Powell N, Guilleminault C, Riley R, Smith L. Mandibular advancement and obstructive sleep apnea syndrome. *Bull Eur Physiopathol Respir* 1983;19:607-10.
9. Riley RW, Powell NB, Guilleminault C. Obstructive sleep apnea syndrome: a review of 306 consecutively treated surgical patients. *Otolaryngol Head Neck Surg* 1993;108:117-25.
10. Kim SW. Sleep disordered breathing. In *Korean Society of Otorhinolaryngology-Head and Neck Surgery*, ed. Otorhinolaryngology-Head and Neck Surgery. Seoul: Ilchokak; 2009:1364-88.
11. Dattilo DJ. The mandibular trapezoid osteotomy for the treatment of obstructive sleep apnea: report of a case. *J Oral Maxillofac Surg* 1998;56:1442-6.
12. Dattilo DJ, Ayneci M. Modification of the anterior mandibular osteotomy for genioglossus advancement with hyoid suspension for obstructive

- sleep apnea. *J Oral Maxillofac Surg* 2007;65:1876-9.
13. Miller FR, Watson D, Boseley M. The role of the Genial Bone Advancement Trephine system in conjunction with uvulopalatopharyngoplasty in the multilevel management of obstructive sleep apnea. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2004;130:73-9.
  14. Hendler BH, Costello BJ, Silverstein K, Yen D, Goldberg A. A protocol for uvulopalatopharyngoplasty, mortised genioplasty, and maxillomandibular advancement in patients with obstructive sleep apnea: an analysis of 40 cases. *J Oral Maxillofac Surg* 2001;59:892-7; discussion 8-9.
  15. Garcia Vega JR, de la Plata MM, Galindo N, Navarro M, Diez D, Lancara F. Genioglossus muscle advancement: a modification of the conventional technique. *J Craniomaxillofac Surg* 2013.
  16. Li KK, Riley R, Powell N. Complications of obstructive sleep apnea surgery. *Oral Maxillofac Surg Clin North Am* 2003;15:297-304.
  17. Kezirian EJ, Goldberg AN. Hypopharyngeal surgery in obstructive sleep apnea: an evidence-based medicine review. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 2006;132:206-13.
  18. Riley RW, Powell NB, Guilleminault C. Obstructive sleep apnea and the hyoid: a revised surgical procedure. *Otolaryngol Head Neck Surg* 1994;111:717-21.
  19. Richard W, Timmer F, van Tinteren H, de Vries N. Complications of hyoid suspension in the treatment of obstructive sleep apnea syndrome. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 2011;268:631-5.
  20. Baisch A, Maurer JT, Hormann K. The effect of hyoid suspension in a multilevel surgery concept for obstructive sleep apnea. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2006;134:856-61.
  21. Verse T, Baisch A, Maurer JT, Stuck BA, Hormann K. Multilevel surgery for obstructive sleep apnea: short-term results. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2006;134:571-7.
  22. Riley RW, Powell NB, Guilleminault C. Maxillofacial surgery and obstructive sleep apnea: a review of 80 patients. *Otolaryngol Head Neck Surg* 1989;101:353-61.
  23. Li KK, Guilleminault C, Riley RW, Powell NB. Obstructive sleep apnea and maxillomandibular advancement: an assessment of airway changes using radiographic and nasopharyngoscopic examinations. *J Oral Maxillofac Surg* 2002;60:526-30; discussion 31.
  24. Goh YH, Lim KA. Modified maxillomandibular advancement for the treatment of obstructive sleep apnea: a preliminary report. *Laryngoscope* 2003;113:1577-82.
  25. Goodday R, Bourque S. Subjective outcomes of maxillomandibular advancement surgery for treatment of obstructive sleep apnea syndrome. *J Oral Maxillofac Surg* 2012;70:417-20.
  26. Liu SR, Yi HL, Guan J, Chen B, Wu HM, Yin SK. Changes in facial appearance after maxillomandibular advancement for severe obstructive sleep apnoea hypopnoea syndrome in Chinese patients: a subjective and objective evaluation. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2012;41:1112-9.
  27. Li KK, Powell NB, Riley RW, Troell RJ, Guilleminault C. Long-term results of maxillomandibular advancement surgery. *Sleep Breath* 2000;4:137-40.
  28. Pirklbauer K, Russmueller G, Stiebellehner L, Nell C, Sinko K, Milesi G, et al. Maxillomandibular advancement for treatment of obstructive sleep apnea syndrome: a systematic review. *J Oral Maxillofac Surg* 2011;69:e165-76.
  29. Liu SR, Yi HL, Yin SK, Guan J, Chen B, Meng LL, et al. Primary maxillomandibular advancement with concomitant revised uvulopalatopharyngoplasty with uvula preservation for severe obstructive sleep apnea-hypopnea syndrome. *J Craniofac Surg* 2012;23:1649-53.
  30. Boyd SB, Walters AS, Song Y, Wang L. Comparative effectiveness of maxillomandibular advancement and uvulopalatopharyngoplasty for the treatment of moderate to severe obstructive sleep apnea. *J Oral Maxillofac Surg* 2013;71:743-51.
  31. Sundaram S, Bridgman SA, Lim J, Lasserson TJ. Surgery for obstructive sleep apnoea. *Cochrane Database Syst Rev* 2005;19:CD001004.
  32. Randerath WJ, Verbraecken J, Andreas S, Bettega G, Boudewyns A, Hamans E, et al. Non-CPAP therapies in obstructive sleep apnoea. *Eur Respir J* 2011;37:1000-28.
  33. Hochban W, Conradt R, Brandenburg U, Heitmann J, Peter JH. Surgical maxillofacial treatment of obstructive sleep apnea. *Plast Reconstr Surg* 1997;99:619-26; discussion 27-8.
  34. Lin HC, Friedman M, Chang HW, Gupinar B. The efficacy of multilevel surgery of the upper airway in adults with obstructive sleep apnea/hypopnea syndrome. *Laryngoscope* 2008;118:902-8.
  35. Browaldh N, Nerfeldt P, Lysdahl M, Bring J, Friberg D. SKUP3 randomised controlled trial: polysomnographic results after uvulopalatopharyngoplasty in selected patients with obstructive sleep apnoea. *Thorax* 2013;68:846-53.