

부비동 내시경수술의 과거, 현재, 미래

성균관대학교 의과대학 삼성서울병원 이비인후과
동 현 중

Endoscopic Sinus Surgery : Past, Present, and Future

Hun-Jong Dhong, MD, PhD

Department of Otorhinolaryngology-Head and Neck Surgery, Sungkyunkwan University School of Medicine,
Samsung Medical Center, Seoul, Korea

Introduction

20세기 말 내시경 수술 기법이 널리 알려지기 전에, 부비동염 수술은 Caldwell-Luc 수술 또는 비내 사골동 절제술(intranasal ethmoidectomy)이 표준적인 수술 방법이었으나, 매우 제한된 시야에서 수술을 시행하여, 합병증 발생이 높고 병변을 충분히 제거하지 못하는 경우가 흔히 발생하였다. 이후 부비동 질환의 병태생리에 대한 이해와 내시경을 비롯한 광학기술의 발달, CT 등의 영상 진단학적 발전에 힘입어 최근에는 Endoscopic sinus surgery(ESS)가 만성 부비동 질환의 일차적인 수술법으로 자리잡았다.

1970년대에 비내 사골동절제술의 대안으로 수술 현미경이 도입되었다. 수술 현미경은 나안으로 수술 하는 것에 비해 더 좋은 시야를 제공하기는 하였으나, 양안시를 얻을만큼 충분한 비공을 넓히는 것이 어려운 경우가 많아서 널리 사용되지는 못하였다.¹⁾

이후 등장한 비내시경의 경우 양안시가 불가하여 깊이(depth perception)를 가늠하기 어려우며, 처음 접할 경우 내시경의 각도에 따라 구조물의 왜곡이 일어날 수 있다.

하지만 비강내의 구조물을 더욱 확대하여 볼 수 있으며, 다양한 각도의 내시경으로 기존에 보지 못하였던 부분까지 확인할 수 있게 되었고, 교육적 목적으로도 훌륭한 역할을 할 수 있게 되었다. 무엇보다도 내시경 기술의 도입 전에는 점막 보존의 중요성에 대한 개념 없이 염증에 의해 손상 받은 점막을 부비동에서 완전히 제거하는 것이었기 때문에 이로 인하여 점막에 반흔조직이 생기고 점액낭종의 발생이 증가하며 수술 후 만성 통증에 시달리기도 하였다.

이후 비내시경과 함께 Computed Tomography(CT)를 이용한 영상의학적 발전으로 비부비동의 해부학적 구조에 대해 더욱 많은 이해를 할 수 있게 되었으며, 만성 부비동염의 병인 및 수술, 그리고 술 후 처치에 이르기까지 많은 도움을 받을 수 있게 되었다.

점막에 발생한 염증은 비가역적이라는 기존의 가설 대신 치료 후 정상으로 돌아올 수 있다는 것이 알려지면서 부비동염의 내과적 수술적 치료의 방법을 변화 시켰다. 내시경의 소개 이후에 진행된 임상 연구들에서 자연공을 향한 점액섬모운동이 존재함을 증명하였고, 이것은 부비동 점막이 손상 후 재생되어도 유지된다는 것이 알려졌다. 기존에는 자연공을 넓히는 것이 이러한 점액섬모운동을 방해한다고 알려져 있었으나 그렇지 않다는 것이 알려지면서 상악동에 하비도 개창술(Inferior meatal antrostomy)을 시행하는 것에서 자연공을 넓히는 중비도 개창술(Middle meatal antrostomy)을 시행하는 방향으로 흐름

교신저자 : 동현중, 135-710 서울 강남구 일원동 50
성균관대학교 의과대학 삼성서울병원 이비인후과
전화 : (02) 3410-3579 · 전송 : (02) 3410-3879
E-mail : hjdhong@skku.edu

이 바뀌었다.

이후 부비동 내시경 수술법에 있어서 많은 발전이 있었고 이와 함께 수술 기구와 영상진단장비의 개발, 새로운 생합성 물질들이 도입되면서 부비동 수술의 영역이 넓어지게 되었고, 기존의 부비동염 뿐만이 아닌 종양, 외상, 뇌척수액 비루, 안와 병변 등 다양한 적응증을 가지게 되었다.

본 강좌에서는 부비동 내시경 수술의 일반적인 개념과 변천과정, 비부비동염의 병인론에 대해 소개하고, 현재 내시경 부비동 수술의 근간이 되는 다양한 개념 중 FESS와 Minimally invasive sinus technique(MIST)에 대하여 알아보고자 한다. 그리고 새로운 수술기구 및 지혈 물질들에 대하여 알아보고, 수년전부터 이슈가 되고 있는 Balloon sinuplasty, Image guided surgery, Robotic surgery 등에 대해 알아보고자 한다.

History of Endoscopic Sinus Surgery

1903년 Hirshman이 방광경(modified cystoscope)을 이용하여 부비동을 관찰하면서 부비동 내시경의 역사가 시작되었으며, 다음해에 Robert가 oroantral fistula를 통하여 7 mm endoscope을 가지고 초보적인 시술을 한 것이 최초의 endoscopic sinus surgery라고 여겨진다.²⁾ 1925년에는 Maltz가 endoscope을 이용하여 비부비동의 진단적 검사를 시행한 뒤에 이것을 "sinuscopy"라고 명명하였다.

오스트리아의 Messerklinger는 비내시경을 이용한 다양한 실험을 통하여, 비강의 외측벽, 특히 중비도-전사골동 부위가 비부비동 질환의 핵심부위로, 주위의 비부비동으로 염증이 확산되는 중심 부위라고 하였으며, 비내시경하에서 이러한 부위의 점막병변을 최소한으로 제거하면 만성 비부비동염을 치료할 수 있다고 주장하였다.

이후 Messerklinger, Draf, 그리고 Wigand 등이 내시경을 이용한 수술을 시작하게 되었으며, Kennedy가 이들에게서 기술을 전수 받은 후 Heinz Stammberger, James Zinreich와 함께 1985년 역사상 최초로 FESS course를 Johns Hopkins에서 개최하여 부비동 내시경 수술이라는 것을 널리 알리기 시작하였다.¹⁾

Evolution in understanding of pathogenesis of chronic rhinosinusitis

비내시경이 보편화되지 않은 시기에는 만성부비동염의 주된 수술적 목표를 상악동과 전두동 등의 부비동 자체에 두었고 따라서 Caldwell-Luc procedure를 시행하면서 상악동 전체의 점막을 완전히 제거(exenteration)하는 술식을 시행하였다. 이후 비내시경과 함께 OMU(ostiomaxillary unit)의 중요성이 대두되면서 만성부비동염의 병인을 OMU의 해부학적 문제로 판단하게 되었다. 그러나 결론적으로, 비부비강에 대한 해부학적인 이해는 많아졌지만, 실제 만성비부비동염의 병인에 대해서는 점점 복잡해지고 있는 것이 사실이다. 즉 ESS를 시행하였던 초창기 시기에는 OMU의 해부학적 병인만을 강조하였지만, 이제는 만성비부비동염이 훨씬 더 복잡하고, 개인의 해부학적 차이뿐 아니라, 환경적 요인들, 개인의 면역상태, 알레르기, bacteria와 최근의 fungus 등 다양한 요인들에 의해 일어나는 것으로 밝혀지고 있다. 특히 최근에는 fungus, bacterial superantigen과 biofilm 등에 대해 많은 연구들이 진행되고 있다(Table 1).

이러한 다양한 병인들을 생각할 때 부비동 점막의 hypoxia만으로 부비동염의 병인을 단정짓기는 어려우며, 따라서 모든 환자에서 동일하게 자연공의 폐쇄를 개선시키는 수술만을 시행하는 것으로 완전한 치료를 기대하기는 어렵다고 할 것이다. 그러므로 부비동염의 치료에서 좋은 결과를 얻기 위해서는 우선 부비동염의 정도와 병인에 따른 적절한 수술적 치료가 필요할 뿐만이 아니라 적

Table 1. Predisposing factors for chronic rhinosinusitis

Environmental factors
Bacteria, viruses, fungi
Pollution, smoking
Allergens, chemicals
General host factors
Genetic predisposition
Atopy
Immune deficiency
Cystic fibrosis variants, young's syndrome, etc
Ciliary dyskinesia
Local host factors
Chronic mucosal inflammation
Inflammation in underlying bone
Obstructing neoplasia
Anatomical abnormalities

절한 국소적, 전신적인 약물 치료, 술 후 관리가 중요함을 명심하여야 한다.

기능적 부비동내시경수술(Functional Endoscopic Sinus Surgery, FESS)

“기능적, functional”의 의미는 폐쇄된 전사골동을 제한적인 수술 방법으로 개방하여 상악동과 전두동의 환기와 배출(ventilation and drainage)을 회복시킨다는 것이다. 이러한 전사골동의 병목부위(bottle neck area)가 자연공비도단위(ostioameatal unit, OMU)이며, 이 부위가 폴립, 구조적 이상, 분비물, 염증 등으로 막힘으로써, 부비동염이 이 부위로부터 다른 부비동으로 퍼지게 된다는 것이 기본 개념이다. 또한 점액섬모운동이 부비동의 자연공을 향하여 일어난다는 관찰을 통해, 중비도에 상악동창을 개방하게 되었으며(middle meatal antrostomy, MMA), 이는 기존의 하비도 개창술(inferior meatal antrostomy, IMA)에 비해 더 정상 생리에 가까운 술식으로 받아들여지게 되었다. 즉 기능적 부비동수술이란, 좁은 이행부위(transition space)에 대한 제한적인 접근과 조작을 통해 상악동이나 전두동과 같은 큰 부비동에 대한 직접적인 처치 없이 자연공을 통한 배출기능을 복원하는 수술방법이라 할 수 있다.

기능적 부비동 수술의 기본 개념 중 “점액섬모운동(mucociliary transport)”에 대한 이해가 중요하다. 부비동의 통기성 외에 OMU의 정상적인 점액섬모운동 역시 부비동의 배액과 환기에 있어 매우 중요하다. 병적인 원인에 의해 점막들이 접촉함으로써 그 부위에 섬모 운동이 감소하거나 멈추게 되면 결국 점액의 국소저류에 의한 이차적인 세균감염을 초래하게 된다. 알레르기, 원발성 섬모운동이상증(primary ciliary dyskinesia)과 같은 전신질환이 비정상적 점막섬모운동을 초래할 수도 있다. 원발성 섬모운동이상증 환자는 만성 부비동염을 호소하는 경우가 많으며, 수술의 결과 또한 만족스럽지 않은 것이 일반적이다. 비내시경의 발달로 점막의 상태를 직접 확대하여 관찰할 수 있게 되면서, 정상 점막과 비가역적으로 병든 점막을 구분할 수 있게 되었다. ESS에서는 이러한 비가역적인 점막병변만 제거하는 보존적 치료인 반면, 전통적인 Caldwell-Luc수술이나 비강내 사골동절제술 등은 이화된 부비동의 점막을 완전히 제거하게 된다. 이런 경우 재

생된 상악동 점막은 섬모의 기능과 미세구조에 결함을 보여, 정상 점막보다 기능적으로 열등할 것으로 생각된다.

비부비동 염증에 의한 점막의 병변과 점액섬모운동의 이상이 가역적이라는 사실은 ESS의 또 다른 이론적 배경이다. Stammberger는 비강에서 부비동에 이르는 이행부위의 병변만 제거한 경우에도, 비가역적으로 판단되었던 부비동 점막이 정상화되는 것을 보고하였으며,³⁾ 이후 여러 연구자들이 ESS후에 점막섬모운동이 회복되는 것을 보고하였다.⁴⁻⁶⁾ 즉, 점막을 최대한 보존하는 술식이 가역적인 섬모의 기능과 점액섬모운동을 완전히 회복시키는 데에 보다 효과적이라는 것이다.

Functional Endoscopic Sinus Surgery(FESS)의 성적

FESS의 수술 성적은 매우 좋은 편으로, 대부분의 보고에서 비폐색과 두통을 비롯한 비부비동염의 증상이 80~90%의 환자에서 호전된다고 보고하였다. 하지만 후비루(postnasal drip)의 경우에는 호전율이 상대적으로 낮다. 무엇보다도 ESS가 본격적으로 시행된지 오랜 시간이 지나 3년에서 10년 정도의 장기 추적관찰 결과도 많은 논문들에서 보고되어 있고 여기에서도 역시 좋은 결과를 보이고 있다. 1998년 Senior 등은 72명 환자의 cohort study에서 ESS를 시행받은지 7.8년 이후에도 98.4% 환자가 증상의 호전을 보였다고 보고하였다.⁷⁾ 재수술이나 고령의 환자에서도 ESS 시행 후 증상의 호전을 얻을 수 있으며,⁸⁾ 천식을 동반한 비부비동염 환자의 70.6%가 ESS후 전신적 스테로이드의 복용량이 줄었다고 보고한 바 있다.⁹⁾ Smith 등은 기존의 논문을 분석하여 삶의 질(quality of life) 조사에서도 FESS는 좋은 결과를 보인다고 보고하였으나,¹⁰⁾ 객관적인 소견과 주관적인 증상과의 연관성은 뚜렷하지 않았다.¹¹⁾ FESS의 재수술률은 여러 논문에서 5%에서 30%까지 다양하게 보고되고 있으며,¹²⁻¹⁴⁾ 상악동 자연공을 확인하여 넓혀주지 못한 경우¹⁵⁾와 중비갑개 주변의 병변이 재발한 경우^{16,17)} 등이 잘 기술되어 있다. ESS의 합병증은 다양하지만 비교적 중증의 합병증으로는 뇌척수액비루, 안와혈종, 비루관협착, 시신경손상 등이 있다. 이러한 중증의 합병증은 약 0.44%, 다른 부비동 수술의 경우 1.4%로 차이가 없었다.¹²⁾

Large hole theory vs. small hole theory

부비동 내시경 수술에서 기존의 “large hole theory”의 개념은 작은 자연공의 부비동염 발생의 주된 원인인므로 자연공 자체를 넓게 열어주어 충분한 배액과 환기를 시켜주어야만 한다는 것이다. 그러나 “large hole theory”에 의한 수술 후 넓어진 공동으로부터 갑자기 분비물이 쏟아지는(dumping) 현상이 나타나기도 한다. 또한 산소분압의 변화와 림프액 배출 장애가 일어나며, 주변 환경의 여러 물질들(독소, 먼지 등)에 부비동 점막이 직접적으로 접촉하게 되는 문제가 일어난다. 새로운 개념인 “small hole theory”는 1996년 Setliff가 제안한 것으로 전통적인 large hole theory와 반대로 부비동의 개구부가 정상인에서 매우 좁고, 수술 후 좁은 상악동 개구부를 보이는 환자에서도 정상적인 부비동을 보이며, 중비도의 심한 점막병변에도 불구하고 상악동은 정상적인 경우 등의 여러 가지 증거에 근거하여, 좁은 자연공이 발병원인이 아니라 다만 좁은 이행부위(transition space)가 문제가 된다는 것이다.^{18,19)} 따라서 자연공 자체를 넓히기 보다는 자연공 주위의 폐쇄조직을 제거하여 자연공의 기능을 회복시켜야 된다는 것이 “small hole theory”의 개념이다. Setliff는 기존의 방법으로 수술한 환자에서 30% 가까운 재수술률 보인 반면, powered instrument를 이용한 “small hole technique”으로 수술한 160명의 환자에서는 재수술율이 5%에 불과하다고 보고하였다.¹⁹⁾

Minimally Invasive Sinus Technique(MIST)

MIST(minimally invasive sinus technique)는 이론적으로는 FESS와 동일한 목표, 즉 부비동 내부를 조작하지 않고도 정상적인 개구부를 유지하여 점액의 배액과 환기를 유도하면 부비동염을 치료할 수 있다는 개념을 갖고 시작한다. Setliff와 Catalano 등이 제안한 MIST는 기존의 FESS에서 conventional하게 시행되어오던 중비도개창술(MMA)조차도 불필요하다는 개념으로 부비동염의 중증도와 무관하게 모든 환자에서 동일한, 단계적 술식(standardized technique)을 시행하여도 정상적인 부비동의 기능을 회복할 수 있다는 것이다.^{18,20-22)} MIST의 경우에는 “landmark and space”라는 개념을 명확히 하여 이행부위(transition space)를 확인하게 되면 더 이상의 조

작을 가하지 않고 수술을 마치게 된다. MIST에서는 크게 네 개의 지표(landmark)와 이행부위(transition space)를 제시하고 있다. 구상돌기(uncinate process)와 사골포(ethmoid bulla), 상악동 및 전두동의 개구부의 일부 점막을 powered instrument와 real-time suction 등을 이용하여 atraumatic technique으로 최소한으로 수술하게되며, 이렇게만으로도 MMA 및 사골동절제술 등을 시행한 FESS와 동일한 성적을 거둘 수 있다고 보고하고 있다. 그 외에도 이론적으로 MIST는 수술 중 노출되는 골조직이 줄고 점막 반흔 발생이 적어지며, 수술 자체가 간단하고 빠르며 술 후 치료가 쉽다는 점 등의 장점이 있을 수 있다. 하지만 sphenoid sinus내의 병변에 대해서는 MIST를 적용하기 힘들다.

Minimally invasive sinus technique(MIST)의 성적

아직까지 MIST의 수술결과에 대해 성공률, 재발률이나 삶의 질 평가에 대한 논문은 절대적으로 부족한 실정이다. 2001년 노인들을 대상으로한 연구에서 84%의 호전을 보인 것으로 보고된 이후, 2003년 85명의 환자들을 대상으로한 보고에서 MIST는 ESS와 대등한 성적을 보인 것으로 보고하고 있다. 특히 재수술의 빈도는 5.9%로 ESS의 10%에 비해 오히려 낮았으며, CT상 부비동염의 중증도와는 상관관계가 없는 좋은 성적을 보였다.²²⁾ 이는 MIST가 경한 부비동염에서만 효과가 있을 것이라는 기존의 견해와는 상반된 것이다. 최근에는 2009년 Salama 등이 143명의 환자에서 3년까지 추적관찰하였을 때 삶의 질 면에서도 많은 호전이 있음을 보고하였다.²³⁾ 하지만 아직까지 FESS와 MIST를 같이 동시에 비교 연구하거나, 장기적이고 객관적인 추적관찰이 된 논문은 없는 상태이며, 위에서 언급한 일부 논문에서만 FESS와 비교적 동일한 효과를 보이는 것으로 보고하고 있다.

따라서 아직까지 MIST에 대해 회의적인 의견을 보이는 부분들이 많이 있다.²⁴⁾ Messerklinger가 부비동염에 대한 개념을 정립한 후 30여년이 지나는 동안 부비동염에 대한 해부학적 지식과 부비동염의 병태생리, 그리고 치료에 대한 많은 발전이 있었으며, 만성 부비동염이 단순히 환기를 시키고 배액하는 것만으로 쉽게 다루어 지지 않는다는 것을 알게 되었다.²⁴⁾ MIST procedure는 상악동 입구나 전 사골동 등의 OMU에 국한된 병변을 치료하는

데에는 이론적으로는 효과적일 수 있으나, 부비동 전체에 걸쳐서 비용이 형성되어 있는 경우나 접형동, 전두동에 염증이 심한 경우, 또한 심한 호산구성 점액을 동반한 알레르기성 진균성 부비동염 환자의 경우 등에서는 OMU 주변만을 수술범위에 포함시키는 MIST로는 충분한 병변의 제거가 어렵다. 또한 전두와(Frontal recess) 주변은 해부학적 변이가 많은 곳으로 frontal cell, supraorbital cell 등을 적절하게 제거하지 않을 경우 전두동의 염증치료가 어려워진다. 또한 FESS를 시행한 이후에는 자연공을 확장하여 병변부를 직접 노출시키게 되므로 병변부에 직접적으로 steroid나 amphotericin 등의 약물들을 투여할 수 있으나, MIST의 경우에는 small hole을 통해 약물이 전달되기 힘들다. 그리고 MIST의 제안자들은 powered instrument를 주로 사용하여 수술을 하는 것이 점막을 보호하는데 더 유리하다고 설명한다. 물론 microdebrider 등의 powered instrument는 내시경 수술에서 매우 유용하게 사용되지만, 중요 부위에서 powered instrument의 무분별한 사용은 술자의 tactile sense를 제한하고 기구의 크기로 인하여 시야를 방해하는 경우도 있으며 이러한 경우 오히려 정교한 수술을 방해할 수 있다.^{25,26)} 마지막으로 아직까지 FESS와 MIST에 대한 직접적인 비교분석 연구가 없으며, FESS의 경우 장단기 수술결과에 대한 많이 논문들이 보고된 반면 MIST의 효과에 대한 연구가 불충분한 것도 회의적인 시각의 원인이 되고 있다.

Surgical Instruments

광원 및 기구들의 발전이 부비동염에 대한 ESS의 결과 향상에 기여하고 있으며, 점점 내시경 수술을 전뇌기저(anterior skull base) 병변 등에 적용할 수 있도록 도와주고 있다. 여기서는 내시경 부비동 수술에 널리 적용되고 있는 microdebrider를 비롯하여 최근에 내시경 수술에 적용증을 확대하고 있는 몇몇 기구들에 대하여 소개하고자 한다.

Microdebrider

1980년대 정형외과 영역에서 관절내 연골을 제거하기 위해 고안되었던 미세 through cutting forceps들이 이비인후과에 소개되었고, 이러한 기구의 도움으로 부비동 내시경 수술 시 점막의 손상을 줄일 수 있게 되었으나, 수술

시간이 오래걸리고 출혈로 인한 수술 중 시야 방해가 발생하는 문제가 있었다. 1996년 Setliff 등이 역시 정형외과에서 사용되던 microdebrider를 부비동 수술에 도입하면서 부비동 내시경 수술 분야에서 획기적인 변화가 발생하였다. 지속적인 suction/irrigation을 하면서 rapid sharp dissection을 하는 것이 가능하게 되었고, 수술 시 출혈에 방해 받지 않는 우수한 시야를 확보할 수 있었다. 그러나 microdebrider는 적절하게 사용되지 않을 경우 기존의 cold instrument보다 더 쉽게 위험한 부작용을 유발할 수 있으므로 주의해야 한다. Microdebrider를 이용한 수술 영역은 계속 확대되어 최근에는 부비동내의 양성 종양절제에도 사용되고 있으며, 비중격 교정술, 비성형술에도 사용되고 있다. Electrocautery 기능이 있는 tip 및 drill tip의 등장으로 골조직 종양을 비롯한 다양한 수술에 도움을 받게 되었다. 그러나 많은 편리함을 제공하는 microdebrider를 이용시 조직학적 진단이 중요한 경우는 조직을 모을 수 있도록 반드시 suction trap을 설치하여 절제된 조직을 모두 모아서 병리 검사를 할 수 있도록 해야 한다.²⁷⁾

Coblation

Radiofrequency coblation technology(the Coblator ; ArthroCare ENT, Austin, TX, USA)는 편도 및 하비갑개 수술에 주로 사용되었던 기구로, 전기소작기(electrocautery)가 400~600℃에서 작동하는 것에 반해 40~70℃의 비교적 낮은 온도에서 작동하여 주변 열손상이 적은 것이 특징이다.²⁸⁾ 비강 및 부비동의 연조직의 제거에 효과가 입증되어 있으며, 특히 아데노이드, 혈관섬유종(angiofibroma), 비용종, 비갑개 수술 등에 적용되고 있다. 최근에 Eloy 등은 ESS 중 비용종 절제술 시 microdebrider에 비하여 coblator를 이용한 절제술이 유의하게 출혈이 적었음을 발표하였다.²⁹⁾

뇌기저부 종양(skull base tumor)의 내시경적 절제술이 점점 늘어가고 있으나, 아직도 수술 중 출혈로 인하여 발생하는 불안정한 시야가 가장 큰 제한점이다. 이전에 뇌기저부 종양의 debulking에 microdebrider가 매우 강력하고 효과적인 기구로 사용되었으나 많은 양의 출혈이 흔하였다. Coblator의 지혈과 함께 절제가 가능한 특징으로 인하여 종양 debulking에 적합한 기구로 사용되어지고 있다.

Frank 등은 23명의 비부비동 및 뇌기저부 종양 절제술

중 10명에 대하여 coblator를, 13명에 대하여는 microdebrider를 이용하여, 유의한 정도의 출혈 저하를 경험하였다(coblator vs. microdebrider=66 vs. 166 mL/h. $p=0.001$). Encephalocele에 대한 연구에서도 bipolar cautery를 이용한 군에 비하여 비슷한 지혈효과와 더불어 더 빠른 수술이 가능함을 보고하였다(coblator vs. bipolar=21.5 vs. 65.1 min. $p=0.013$). 더불어 뇌기저부 재건을 위한 nasoseptal flap, turbinate flap의 사용에도 coblator가 효과적이라고 주장하였다. 하지만 부비동에서의 적응증이 늘어남에 따라 기구 크기의 소형화 및 디자인의 발전이 필요할 것으로 판단된다.³⁰⁾

Hydrodebrider

ESS 수술 기구 및 기법의 상당한 수준의 발전에도 불구하고 잘 치유되지 않는 만성 부비동염의 원인 중 하나로 생각되는 biofilm의 제거에 대한 연구가 진행되어 왔다. Baby shampoo, Manuka honey, Mupirocin topical irrigation 등이 방법론으로 제기 되어왔다. 2004년 comprehensive consensus from five professional otorhinolaryngology societies에서 만성 부비동염 환자에서의 biofilm의 기계적 제거의 필요성을 제기 하였다.^{31,32)} 2007년 Desrosiers 등은 압력하에서 CAZS(citric acid combined with a zwitterionic surfactant)의 전달이 biofilm 제거에 효과적임을 보고하였다.³⁴⁾ Medtronic은 biofilm의 기계적 제거와 다른 debris들의 제거하기 위하여 Hydrodebrider system을 출시 하였다(Fig. 1). Hydrodebrider는 ESS 중에 pressure irrigation을 적용하도록 디자인된 270도 관절을 가지고 있는 내시경적 suction irrigator이다. 이 기구의 임상 연구는 아직 부족하지만 현재 allergic fungal sinusitis에서의 fungal mucin의 제거나 cystic fibrosis 환자에서 purulent debris의 제거에 점막 손상을 최소화시

키면서 사용되고 있다. 앞으로 biofilm을 가장 효과적으로 제거할 수 있는 적절하고 안전한 surfactant의 개발과 장기간의 임상연구가 필요할 것으로 판단된다.

Hemostatic Agents

여러가지 화학 물질, 생합성 물질들이 부비동 내시경 수술 중 또는 수술 후 치료과정 중에서 사용되고 있다. 이러한 물질들은 상처의 회복 과정, 조직의 재생, 그리고 지혈 작용등에 관여하며 수술 후 ostium의 재협착을 방지하기 위해, 수술 후 점막의 바른 회복을 위해, 그리고 수술 부위 지혈을 촉진시키기 위해 부비동 내시경 수술에서 사용되고 있다. 가장 많이 사용되는 비흡수성 foam polymer인 Merocel[®]은 사용하기 편하고 큰 부작용이 없지만 여전히 제거시 통증 및 추가적인 점막의 손상을 줄 가능성이 있어서, 점차 흡수성 재료로 대체되고 있다. 흡수성 재료들은 지혈을 촉진시킬 뿐 아니라 점막이 제거된 부위에서 점막의 재생을 돕는 것으로 알려져 있다. 일반적으로 수술 후 2주경에 완전히 흡수되고 흡수된 뒤에는 큰 후유증을 남기지 않는다고 한다. 그러나 일부에서 2주후에도 모두 흡수되지 않고 남아 있는 현상이 보고되고 있으며, 이런 경우 재생되는 점막과 엉겨 섬유화를 유발시켜 점막의 재생을 오히려 방해하게 되고 mucosal lymphocytosis를 유발하여 granulation tissue가 증가하게 된다고 한다.³³⁾

Merogel(Medtronic-Xomed, Jacksonville, FL, USA)은 hyaluronic acid ester 추출물로 새롭게 나온 다른 물질에 비하여 많은 사용이 되어졌다. 2009년 Berlucchi 등은 전통적인 패킹과 비교하여 더 나은 내시경 점수 및 적은 협착을 보였으며, 환자도 더 편안해 하였다고 보고하였으며, 점막에의 악영향도 없다고 보고하였다.³⁴⁾

FloSeal(Baxter Healthcare Corporation, Fremont, CA,



Fig. 1. Hydrodebrider system.

USA)은 bovine gelatin particles 과 thrombin의 혼합물로 지혈 효과까지의 시간이 3분정도로 빠르며, 환자의 불편감은 없어서 유망한 물질로 많은 사용이 있었다.³⁵⁻³⁷⁾ 하지만 중비도의 협착 발생률이 증가하는 단점 또한 보고되어 사용률이 떨어졌다.³⁸⁾

Surgiflo hemostatic matrix(Ethicon, Inc, West Somerville, NJ, USA)는 무균 흡수성 돼지 젤라틴으로 Thrombin-JMI(King Pharmaceuticals, Inc, Bristol, TN, USA)와 함께 사용하여 10분 이내(평균 61초)의 지혈 효과를 보고하였으며, 30일 경과 관찰시 synechia, adhesion, infection 등은 관찰되지 않았다. 하지만 장기간의 randomized-controlled trial은 없는 현실이다.³⁹⁾

최근 많이 사용되고 있는 polyethylene glycol(Nasopore, Polyganics B.V., Groningen, The Netherlands)에 대한 지혈 및 협착 등의 점막 소견에 대한 연구가 지속되고 있다. Vaseline gauze 및 Merocel packing과 비교한 연구에서 bleeding, synechia, granulation에서 차이가 없음을 보고하였으며, Cote 등은 triamcinolone impregnated Nasopre의 사용이 Nasopore만 사용한 그룹에 비하여 ESS 후 점막 치유가 잘되었음을 보고하였다. 하지만 전신 cortisol level 등 발생 가능한 스테로이드 부작용에 대한 언급이 부족하였다.⁴⁰⁾ 상기의 유망한 결과들을 정립된 치료로 사용하기 위하여 steroid impregnated Nasopore 사용시 전신적인 부작용 발현 여부 및 좀 더 많은 대상군에 대한 연구가 필요하다.

Balloon Sinuplasty

현재까지 부비동 내시경 수술이 만성 부비동염의 수술적 치료의 표준으로 받아들여지고 있다. 부비동 내시경수술은 안전하고 효과적인 치료법으로 널리 인정 받고 있지만 다소 침습적인 치료법이기 때문에 수술로 인한 통증, 출혈의 위험성이 있고 안구 손상이나 뇌척수액 비루 등 합병증을 동반할 수도 있다. 물론 최근에는 부비동 내시경수술에 있어 다양한 기술적인 발전(수술기구, 영상, 네비게이션 시스템, 지혈제 등)으로 수술 합병증의 위험도가 줄어들고 있다. 하지만 비부비동 수술 자체가 부비동의 비가역적인 변화를 만들기 때문에 성공적인 수술이 이루어진 후에도 정상적인 부비동의 생리와는 차이가 있을 수 있다.

심혈관계 치료에서의 Balloon angioplasty의 성공적인 결과를 바탕으로 catheter-based treatment를 적용 범위를 넓히기 위한 많은 노력이 있었다. 부비동염은 부비동의 자연공의 폐쇄로 인해 발생하게 된다는 점에서 심혈관 질환과 비슷하고 코를 통한 catheter 삽입은 비교적 안전하게 시행할 수 있다는 점, 점막을 보존하면서 폐쇄부위만 확장 시켜줌으로써 부비동의 기능은 회복되 수술로 인한 출혈, 조직 손상, 반흔의 문제를 해결 할 수 있다는 점은 balloon sinus dilation 개발의 배경이 되었다.

이러한 Balloon sinuplasty는 소화기, 비노기, 심혈관 치료에 사용하는 catheter-based treatment technique를 부비동에 적용시킨 것으로 1993년 수술 후 전두동 협착을 막기 위해서 담도 확장에 사용하는 balloon catheter를 이용한 연구가 있었으나, 진정한 의미의 balloon sinuplasty라고 이르는 어렵다. Balloon sinuplasty에 관한 최초의 임상 보고는 2006년부터 시작되었으며⁴¹⁾ 현재까지 많은 연구결과가 보고되고 있다.

Balloon sinuplasty에 이용되는 기구는 기본적으로 부비동 내시경 수술 시 사용하게 되는 기구에 ballooning을 위한 추가 기구들로 구성된다. 여러 각도의 내시경, guiding catheters, flexible sinus guide wires, sinus balloon catheters, sinus lavage catheter와 manometer가 장착된 inflation device 가 필요하다. plastic sinus guide cannula를 내시경 시야 하에 병변의 입구에 위치 시키고 sinus guide wire 를 sinus guide cannula를 통해 병변부로 삽입한다(Fig. 2). guide wire를 통해 balloon catheter 삽입하고 balloon의 팽창시키며, 팽창된 balloon 을 수초간 유지하였다가 balloon을 수축시키고 balloon catheter를 제거한다. 필요에 따라 sinus lavage catheter를 통해 부비동 내 세척을 시행할 수도 있다.

Indications for balloon sinuplasty

현재까지 발표되고 있는 balloon sinuplasty논문에서는 대부분 extensive polyp, 재수술, extensive sinonasal osteogenesis, cystic fibrosis, sinonasal tumor, facial trauma history 등의 환자들은 제외하고 있다. 하지만 현재까지 balloon sinuplasty의 공통적이고 합의된 적응증은 없는 상태이나, Freidman 등이 2008년 제시한 적응증/금기증은 다음과 같다(Table 2, 3).⁴²⁾

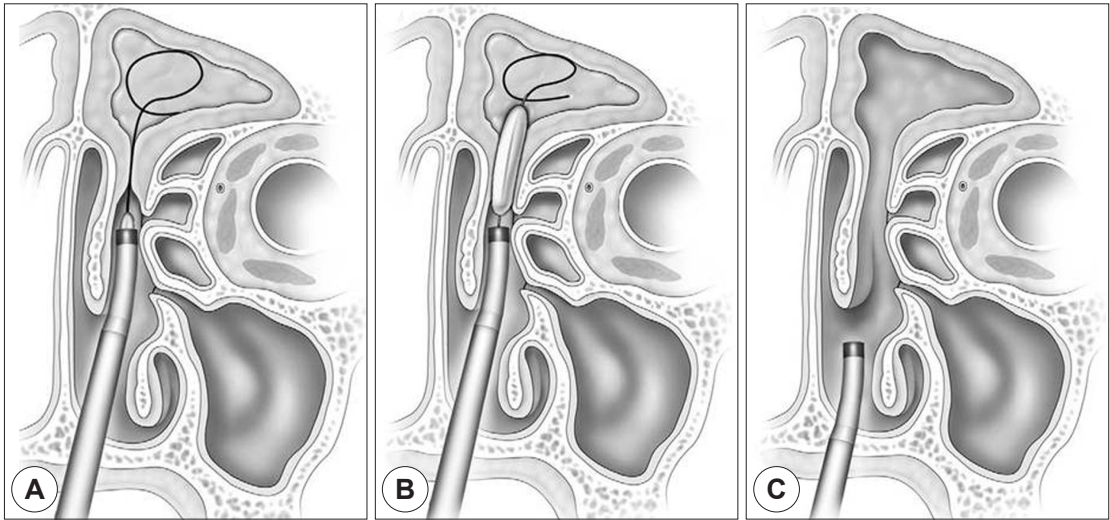


Fig. 2. Frontal sinus ostium balloon dilatation sequence. Guiding catheter in position, and balloon catheter at the tip of guiding catheter (A). Balloon catheter out of guiding catheter and inflated balloon positioned across ostium (B). Dilated ostium, drained sinus, and balloon catheter and wire removed (C).

Table 2. Indication of balloon sinuplasty

Sinuplasty is indicated for patients meeting criteria 1, 2 and 3 ; or 1, 2 and 4

1. In patients with a history of chronic recurrent rhinosinusitis
2. In patients who fail medical therapy in the form of antibiotics, topical nasal steroids, and allergic management
3. Patients with a persistently abnormal CT scan, after at least four continuous weeks of antibiotic treatment
4. Patients with three or more documented (by endoscopy and/or CT) recurrences per year, with normalization after treatment

Table 3. Contraindication of balloon sinuplasty

1. A history of previous sinus surgery
2. Significant ethmoid disease
3. Diagnosed sinonasal polyps, mucopyocele or pyocele, allergic fungal rhinosinusitis, sinonasal osteoneogenesis, sinonasal tumors, or obstructive lesions
4. History of facial trauma that distorts sinus anatomy (relative contraindication)
5. Severe rhinosinusitis with Lund-McKay scores above 10 (relative contraindication)

이외에도 여러 내과적 질환으로 수술이 어려운 경우나 중환자실 치료를 받는 환자에서 sinus infection이 의심되는 경우 balloon sinuplasty를 통해 lavage를 시행하거나 culture를 시행할 수도 있다. 또한 소아 환자나 면역기능이 저하된 환자 등에서 비교적 덜 침습적인 방법으로 증상의 호전을 기대할 때 이용할 수 있다.

Balloon sinuplasty의 수술 성적

Balloon sinuplasty의 수술 성적에 대한 논문들은 2006

년 총 10명의 환자에서 안전성과 가능성을 보고한 이래로⁴¹⁾ 최근에 많이 보고되고 있으나, 아직까지의 연구들은 선택적인 환자군에 시행한 경우가 대부분이며, 기존의 FESS 등과의 비교 연구는 거의 없는 실정이다. Bolger 등은 109명의 환자 중 307개의 부비동에서 balloon sinuplasty를 시행하여 24주간 관찰하였을 때 80.5%에서 부비동입구가 잘 열려있는 것을 확인하였고, 이 환자중에서는 일부 ESS와 balloon sinuplasty를 같이 시행하는 “hybrid procedure”를 시행한 환자도 52.3%정도로 보고

하였다.⁴³⁾ 최근 면역기능이 저하된 환자나 급성 축농증으로 인해 심한 증상을 호소하는 환자에서 balloon sinuplasty를 시행하여 성공적인 결과를 얻었다는 보고가 있으며,⁴⁴⁾ 약물치료에 실패하여 수술이 필요하였던 30명의 소아환자 총 56개 부비동에서 balloon sinuplasty를 시행하여 91%(51/56)에서 성공적으로 시술이 가능하였으며 특별한 합병증은 발생하지 않았다고 보고하였다.⁴⁵⁾ 실패한 5개 부비동 중 4개는 hypoplastic maxillary sinus, 1개는 frontal sinus였다. 2008년 다기관 연구에서는 총 1,036명의 환자에서 balloon sinuplasty를 시행하였고 평균 40주 가량 경과 관찰한 결과 부비동염 증상이 호전된 경우가 95.2%, 변화없음이 3.8%, 나빠진 경우가 1.0%로 보고하였으며 재수술의 빈도는 1.3%로 보고하였다.⁴⁶⁾

Balloon sinuplasty에서 발생할 수 있는 합병증은 이론적으로는 부비동 내시경 수술과 같다. 혈관이나 신경손상, 자연공을 찾지 못하는 경우 뇌, 안구 손상이 발생할 수 있지만 부비동 내시경 수술에 비해 덜 침습적인 치료법이므로 그 빈도가 더 낮다. 다만 구상돌기를 남겨 두고 시술하기 때문에 중비갑개와 유착이 발생할 수 있으므로 중비갑개의 lateralization을 막기 위해 microdebridement medialization technique를 권하기도 한다. 흡수성 물질을 패킹하여 spacer로 이용할 수도 있다. 대부분 sinuplasty의 결과를 보고한 연구에서 심각한 합병증은 없었다고 보고하였지만, 최근 접형동 개구부에 ballooning을 시행하고 난 후 비중격 혈종이 발생하였다는 증례보고가 있었으며,⁴⁷⁾ 전두동 수술 중 사골천정(ethmoid roof)을 통해 뇌척수액루(CSF leakage)를 유발한 증례도 보고되었다.⁴⁸⁾

Balloon sinuplasty는 점막과 점액섬모 기능을 보존하여 부비동의 기능을 회복시키는 minimally invasive procedure로 여러 연구를 통해 안정성과 효과를 증명하고 있다. 하지만 현재까지의 연구 결과를 토대로 볼 때는 EBM level 4(case series without control)에 머물러 있는 실정이며, 아직까지 기존의 FESS를 포함하는 수술적 치료와의 randomized, controlled clinical trial은 보고되지 않은 상태이다. 또한 공통된 적응증이 확립되어 있지 않은 상태이며, 비용(cost), 방사선 노출 등 해결해야 할 과제들이 남아있다. 따라서 아직까지는 기존의 부비동 내시경 수술을 대체하기 보다는 부비동 수술의 또 다른 instrument로 받아들여지고 있다. 하지만 심혈관 질환에서 balloon an-

gioplasty가 심장동맥우회수술(CABG)과 함께 하나의 표준화된 치료로 받아들여진 것처럼 부비동염의 치료에서 balloon sinuplasty도 하나의 새로운 치료법으로 발전할 가능성은 있다고 보여진다.

Image-Guided Sinus Surgery

History

1970년대에 CT-assisted location system이 신경외과 stereotactic brain surgery에서 처음으로 소개되었다.⁴⁹⁾ 이 장치는 환자 머리에 reference frame을 고정하는 과정이 필요하였으므로, 이비인후과 의사에게는 사용하기 어려웠다. 1980년대 1990년대를 지나면서, 다양한 시스템이 발전하면서 reference frame이 불필요하게 되었으며, 1990년대 후반에는 적외선과 전자기장을 이용한 localization 시스템의 개발로 기준이 되는 marker와 articulate arm이 필요 없어지면서 술자가 충분한 공간을 이용하여 수술이 가능하게 되었다.⁵⁰⁾

Role of IGS in sinus surgery

IGS의 가장 중요한 이점은 내시경의 2차원 영상과 비교하여 부비동의 3차원 영상을 볼 수 있도록 한 것이다. 술 전 시행한 스캔과 비교하여 만들어진 3차원 영상은 내시경 영상에 “깊이”를 더하여 localization error를 최소화할 수 있다. 내시경 부비동 수술이 major complication은 0~3%로 매우 낮지만, 발생할 경우 blindness, double vision, brain lesion, CSF leakage, epistaxis, 사망 등 심각한 결과를 낼 수 있으므로⁵¹⁾ 합병증이 예상되는 케이스에 대한 IGS의 사용을 고려할 수 있겠다.

IGS의 적응증은 전세계적으로 아직 논란이 있지만, 뇌기저부, 안구, 시신경 및 내경동맥과 인접한 부위의 수술에 사용하는 것에는 대체로 동의하고 있다. 심한 염증, 재수술, 전두동, 후사골동, 접형동 수술, 비부비동 종양, 선천성 안면 장애 또는 외상후 안면골 리모델링과 연관된 부비동 수술 등에도 적용되고 있다.⁵²⁻⁵⁴⁾

IGS를 이용한 sinonasal surgery가 실제로 합병증을 줄이고, 임상 결과 향상에 도움이 되는지에 대한 randomized control study는 없다. Lanza's team은 그 이유에 대하여 1~2%의 rare complication을 줄이는 효과를 보기

위하여 최소한 각 군당 3,000명의 환자가 필요하며, 0.25% 가량의 안구 혹은 두개내 합병증에 대한 효과를 입증하려면 최소 35,000명의 환자가 필요하다고 하였다.⁵⁴⁾ 임상결과 향상에 대한 연구도 IGS의 적응증이 되는 환자들에게 IGS를 사용하지 않는 것의 윤리적 문제로 인하여 randomization 연구가 어렵다고 하였다.

New generation IGS : real-time image reconstruction in sinus surgery

현재의 IGS는 수술전 이미지를 이용하는 것으로, 수술 중에 update를 할 수가 없다. 하지만, uncinctomy, ethmoid cell opening, tumor resection 등으로 인하여 anatomic landmark의 변화가 발생할 수 있다. Kennedy's team은 최근 ethmoid cavity revision 및 sinus tumor surgery에 대하여 술 중 CT를 IGS로 적용하여 사용하였다.⁵⁵⁾ 이미지는 40초 내에 얻을 수 있었으며, IGS로의 적용은 수 분내에 이루어졌다. 이러한 peroperative IGS를 통하여 30%의 환자에서 수술 중 계획을 변경 하였다고 한다. 같은 팀에서 peroperative CT의 IGS로의 적용이 frontal sinus repermeabilization에 도움이 된다는 연구를 발표하기도 하였다.⁵⁶⁾ 신경외과 영역에서 real-time MRI IGS를 적용한 예가 있었으나, 비용 등의 문제로 부비동 수술에의 적용은 아직 이루어지지 않았다. IGS에서의 real-time image는 부비동 수술, 특히 부비동 종양 수술에서 기대되는 기술이다.

이러한 IGS가 수술 중 많은 도움을 주는 것은 사실이지만 이것이 해부학적 지식들 대체할 수 없다는 사실은 꼭 기억해야 한다. 영상 등록의 오류나, 컴퓨터 시스템의 이상 등은 항상 일어날 수 있는 문제이며, 수술자는 IGS에서 보여주는 영상과 실제 보이는 수술 시야의 모습을 항상 연관지어서 생각해야 하며 전적으로 IGS에 의존하는 것은 금물이다.

Robotic Skull Base Surgery

지난 10년간 점점 최소 침습적인 수술 접근법이 수술자들에게서 트렌드가 되어왔다. 로봇 수술은 비노기과 및 심장 수술 등에서 많은 발전이 있어왔으며, 최근에는 이비인후과 두경부 파트에서도 경구강 로봇 수술(transoral

robotic surgery)을 통하여 구강, 구인두, 상후두의 병변 수술에 효과가 보고되고 있다. 로봇 수술의 장점으로는 3차원 영상과 작은 구멍을 통한 양손 수술이 가능하다는 점이다. 두경부 수술에서는 이전 고식적 방법으로는 morbidity가 컸던 종양의 안전한 절제가 가능해졌다.⁵⁷⁾

내시경을 이용한 뇌기저부(skull base) 수술은 최소 침습적인 수술이긴 하지만, 지금까지 많은 한계가 있어왔다. 내시경은 처음 소개되었을 때보다 많은 발전을 이루었지만 2차원 영상만을 제공할 수 있다는 단점이 있다. 게다가 뇌기저부 종양의 내시경 절제술은 한 손으로 내시경을 들어야 하기 때문에 기구는 한 손으로만 잡아야 한다는 단점이 있었다.

로봇 수술이 뇌기저부 수술에도 적용이 된다면, 향상된 영상을 제공하면서 두손을 이용한 수술이 가능할 것이다.

2007년 O'Malley 등은 parapharyngeal space 와 infratemporal fossa에 대한 transoral robotic surgery의 적용 가능성에 대한 연구를 하였다. 그들은 카테바 스테디에서 출발하여 임상으로 적용할 수 있었다. 그러나 그들의 연구에서 transoral approach만으로는 midline and anterior skull base의 접근이 어려웠다. 그들은 transcervical troca를 이용하여서만 뇌기저부에 접근할 수 있었다.^{58,59)}

Hanna 등은 anterior and midline skull base에 접근하여 water-tight dural closure를 위하여 다른 접근을 시도 하였다. 그들은 카테바 연구를 통하여, bilateral Caldwell-Luc antrostomy와 septectomy를 이용하여 skull base에 접근할 수 있었다.⁶⁰⁾ 이 전임상 연구를 통하여 로봇 수술이 skull base에 적용할 수 있음을 알 수 있게 되었으며, 점점 더 작은 로봇 기구가 발전함에 따라 이 기술의 적용도 활발해 질 것이다.

Implications for Research

지난 10~20년 동안 재료와 기술, 그리고 수술 테크닉의 발전에 따라 부비동 내시경 수술은 점점 확장되고 진화해왔다. 지혈물질(hemostatic agents)은 부비동 수술에 널리 사용되고 있지만, 각각의 물질들은 장단점이 있어서, large-scale randomized trials이 필요하다. 환자에게 사용하기 위한 최선의 공식을 확립하기 위하여, 지혈물질의 장기간 효과 및 특성의 비교 연구가 필요하다.

미래에는 극도의 정밀함, 합병증의 최소화, 그리고 결과의 향상을 위하여 로봇 수술이 내시경 부비동 수술 및 두개저 수술 영역에서 혁신을 일으킬 수 있다. 그러나 부비동 내시경 수술에 대한 로봇 수술의 적응증은 아직 걸음마 단계로, 실행가능성에 대한 연구, 더 작은 기구의 개발(miniaturize)이 필요하며, 결국에는 사람을 대상으로 임상 시험도 필요하다.

Conclusion

Kennedy가 근대적인 ESS를 주창한 1980년대 이후 부비동 내시경 수술은 비약적인 발전을 거듭하여 기존의 침습적인 많은 수술들을 대체하게 되었다. 이러한 내시경 수술을 통해 환자의 고통과 재원기간, 후유증 등을 줄일 수 있었으며, 질병의 치료 성적 또한 기존의 수술에 비해 좋은 결과를 보여주었다. 이후 ESS의 개념과 수술방법 역시 다양해져 기존의 FESS외에도 MIST나 balloon sinuplasty 등 다양한 방법들이 시도되고 있다. 1990년대에 들어서면서 기존의 부비동이라는 해부학적 범위를 벗어나 부비동 외부에 발생한 병변에 대한 내시경적 접근이 활발하게 시도 되었고 이미 우수한 결과들을 보여주고 있다. 또한 양성 및 일부 악성 종양에 대한 내시경 수술 역시 시도되고 있고, 기존의 고식적 수술법과 비교하여 떨어지지 않는 결과가 나왔다. 최근에는 real time IGS 및 로봇수술을 부비동 수술 특히 부비동 종양 및 뇌기저부 병변에 적용하려는 시도가 있어 내시경적 비내 수술의 진정한 한계가 어디까지인가에 대한 새로운 질문을 하게 되었다. 다가올 현재 진행형이지만, 미래에는 더욱더 부비동염 뿐만 아니라 뇌기저부, 부비동 종양, 혈관 질환, 안와를 침범한 병변 등의 치료에 내시경 수술이 우선적으로 고려 될 것이며, 로봇 수술 등으로 3차원 영상 및 양손 수술을 통하여, 인간이 가진 내재적인 제한점을 극복 할 수 있을 것이다.

새로운 기술이 발전하고 새로운 접근법이 개발되고 있지만, 과거에 진실이었던 것이 현재에는 적용되지 않는 것은 아니다. 우리는 지속적으로 내시경적 혹은 전통적인 해부학적 구조에 대한 이해를 발전시키고, 새로운 수술 기구 및 접근법을 발전시켜야 한다. 가장 중요하다고 생각하는 것은 돌이킬 수 없는 중대한 실수를 하지 않는 것이다. 내시경을 이용한 비강내 접근 뿐 아니라, 구강을 통

한 접근 또한 개발해야 할 부분이다. 앞으로, 기술 및 기구들이 지속적으로 바뀔 것이고, 문제의 해결 방법과 접근법 또한 바뀔 것이지만, 변하지 않는 것은 이 모든 노력의 중심에는 환자가 있다는 것이다.

중심 단어 : 부비동 내시경수술.

REFERENCES

- 1) Kennedy DW. *Technical innovations and the evolution of endoscopic sinus surgery. Ann Otol Rhinol Laryngol Suppl* 2006;196:3-12.
- 2) Kennedy DW, Zinreich SJ, Rosenbaum AE, Johns ME. *Functional endoscopic sinus surgery. Theory and diagnostic evaluation. Arch Otolaryngol* 1985;111(9):576-82.
- 3) Stammberger H. *Endoscopic endonasal surgery--concepts in treatment of recurring rhinosinusitis. Part II. Surgical technique. Otolaryngol Head Neck Surg* 1986;94(2):147-56.
- 4) Elwany S, Hisham M, Gamaee R. *The effect of endoscopic sinus surgery on mucociliary clearance in patients with chronic sinusitis. Eur Arch Otorhinolaryngol* 1998;255(10):511-4.
- 5) Ikeda K, Oshima T, Furukawa M, Katori Y, Shimomura A, Takasaka T, et al. *Restoration of the mucociliary clearance of the maxillary sinus after endoscopic sinus surgery. J Allergy Clin Immunol* 1997;99(1 Pt 1):48-52.
- 6) Min YG, Yun YS, Song BH, Cho YS, Lee KS. *Recovery of nasal physiology after functional endoscopic sinus surgery: olfaction and mucociliary transport. ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec* 1995;57(5):264-8.
- 7) Senior BA, Kennedy DW, Tanabodee J, Kroger H, Hassab M, Lanza D. *Long-term results of functional endoscopic sinus surgery. Laryngoscope* 1998;108(2):151-7.
- 8) Colclasure JC, Gross CW, Kountakis SE. *Endoscopic sinus surgery in patients older than sixty. Otolaryngol Head Neck Surg* 2004;131(6):946-9.
- 9) Iro H, Mayr S, Wallisch C, Schick B, Wigand ME. *Endoscopic sinus surgery: its subjective medium-term outcome in chronic rhinosinusitis. Rhinology* 2004;42(4):200-6.
- 10) Smith TL, Batra PS, Seiden AM, Hannley M. *Evidence supporting endoscopic sinus surgery in the management of adult chronic rhinosinusitis: a systematic review. Am J Rhinol* 2005; 19(6):537-43.
- 11) Bhattacharyya N. *Radiographic stage fails to predict symptom outcomes after endoscopic sinus surgery for chronic rhinosinusitis. Laryngoscope* 2006;116(1):18-22.
- 12) Kennedy DW. *Prognostic factors, outcomes and staging in ethmoid sinus surgery. Laryngoscope* 1992;102(12 PT 2 Suppl 57):1-18.
- 13) Vleming M, Middelweerd MJ, de Vries N. *[Good results of endoscopic paranasal sinus surgery for chronic or recurrent sinusitis and for nasal polyps]. Ned Tijdschr Geneeskd* 1993; 137(29):1453-6.
- 14) Welch KC, Stankiewicz JA. *A contemporary review of endoscopic sinus surgery: techniques, tools, and outcomes. La-*

- ryngoscope* 2009;119(11):2258-68.
- 15) Parsons DS, Stivers FE, Talbot AR. *The missed ostium sequence and the surgical approach to revision functional endoscopic sinus surgery.* *Otolaryngol Clin North Am* 1996;29(1):169-83.
 - 16) Chu CT, Lebowitz RA, Jacobs JB. *An analysis of sites of disease in revision endoscopic sinus surgery.* *Am J Rhinol* 1997;11(4):287-91.
 - 17) Ramadan HH. *Surgical causes of failure in endoscopic sinus surgery.* *Laryngoscope* 1999;109(1):27-9.
 - 18) Setliff RC 3rd. *Minimally invasive sinus surgery: the rationale and the technique.* *Otolaryngol Clin North Am* 1996;29(1):115-24.
 - 19) Setliff RC 3rd. *The small-hole technique in endoscopic sinus surgery.* *Otolaryngol Clin North Am* 1997;30(3):341-54.
 - 20) Catalano PJ, Strouch M. *The minimally invasive sinus technique: theory and practice.* *Otolaryngol Clin North Am* 2004;37(2):401-9, viii.
 - 21) Catalano PJ. *Minimally invasive sinus technique: what is it? Should we consider it?* *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg* 2004;12(1):34-7.
 - 22) Catalano P, Roffman E. *Outcome in patients with chronic sinusitis after the minimally invasive sinus technique.* *Am J Rhinol* 2003;17(1):17-22.
 - 23) Salama N, Oakley RJ, Skilbeck CJ, Choudhury N, Jacob A. *Benefit from the minimally invasive sinus technique.* *J Laryngol Otol* 2009;123(2):186-90.
 - 24) Chiu AG, Kennedy DW. *Disadvantages of minimal techniques for surgical management of chronic rhinosinusitis.* *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg* 2004;12(1):38-42.
 - 25) Church CA, Chiu AG, Vaughan WC. *Endoscopic repair of large skull base defects after powered sinus surgery.* *Otolaryngol Head Neck Surg* 2003;129(3):204-9.
 - 26) Graham SM, Nerad JA. *Orbital complications in endoscopic sinus surgery using powered instrumentation.* *Laryngoscope* 2003;113(5):874-8.
 - 27) Hackman TG, Ferguson BJ. *Powered instrumentation and tissue effects in the nose and paranasal sinuses.* *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg* 2005;13(1):22-6.
 - 28) Palmer JM. *Bipolar radiofrequency for adenoidectomy.* *Otolaryngol Head Neck Surg* 2006;135(2):323-4.
 - 29) Eloy JA, Walker TJ, Casiano RR, Ruiz JW. *Effect of coblation polypectomy on estimated blood loss in endoscopic sinus surgery.* *Am J Rhinol Allergy* 2009;23(5):535-9.
 - 30) Virgin FW, Bleier BS, Woodworth BA. *Evolving materials and techniques for endoscopic sinus surgery.* *Otolaryngol Clin North Am* 2010;43(3):653-72, xi.
 - 31) Meltzer EO, Hamilos DL, Hadley JA, Lanza DC, Marple BF, Nicklas RA, et al. *Rhinosinusitis: establishing definitions for clinical research and patient care.* *Otolaryngol Head Neck Surg* 2004;131(6 Suppl):S1-62.
 - 32) Desrosiers M, Myntti M, James G. *Methods for removing bacterial biofilms: in vitro study using clinical chronic rhinosinusitis specimens.* *Am J Rhinol* 2007;21(5):527-32.
 - 33) Maccabee MS, Trune DR, Hwang PH. *Effects of topically applied biomaterials on paranasal sinus mucosal healing.* *Am J Rhinol* 2003;17(4):203-7.
 - 34) Berlucchi M, Castelnuovo P, Vincenzi A, Morra B, Pasquini E. *Endoscopic outcomes of resorbable nasal packing after functional endoscopic sinus surgery: a multicenter prospective randomized controlled study.* *Eur Arch Otorhinolaryngol* 2009;266(6):839-45.
 - 35) Baumann A, Caversaccio M. *Hemostasis in endoscopic sinus surgery using a specific gelatin-thrombin based agent (FloSeal).* *Rhinology* 2003;41(4):244-9.
 - 36) Gall RM, Witterick IJ, Shargill NS, Hawke M. *Control of bleeding in endoscopic sinus surgery: use of a novel gelatin-based hemostatic agent.* *J Otolaryngol* 2002;31(5):271-4.
 - 37) Jameson M, Gross CW, Kountakis SE. *FloSeal use in endoscopic sinus surgery: effect on postoperative bleeding and synechia formation.* *Am J Otolaryngol* 2006;27(2):86-90.
 - 38) Shrime MG, Tabae A, Hsu AK, Rickert S, Close LG. *Synechia formation after endoscopic sinus surgery and middle turbinate medialization with and without FloSeal.* *Am J Rhinol* 2007;21(2):174-9.
 - 39) Woodworth BA, Chandra RK, LeBenger JD, Ilie B, Schlosser RJ. *A gelatin-thrombin matrix for hemostasis after endoscopic sinus surgery.* *Am J Otolaryngol* 2009;30(1):49-53.
 - 40) Cote DW, Wright ED. *Triamcinolone-impregnated nasal dressing following endoscopic sinus surgery: a randomized, double-blind, placebo-controlled study.* *Laryngoscope* 2010;120(6):1269-73.
 - 41) Brown CL, Bolger WE. *Safety and feasibility of balloon catheter dilation of paranasal sinus ostia: a preliminary investigation.* *Ann Otol Rhinol Laryngol* 2006;115(4):293-9; discussion 300-1.
 - 42) Friedman M, Schalch P, Lin HC, Mazloom N, Neidich M, Joseph NJ. *Functional endoscopic dilatation of the sinuses: patient satisfaction, postoperative pain, and cost.* *Am J Rhinol* 2008;22(2):204-9.
 - 43) Bolger WE, Brown CL, Church CA, Goldberg AN, Karanfilov B, Kuhn FA, et al. *Safety and outcomes of balloon catheter sinusotomy: a multicenter 24-week analysis in 115 patients.* *Otolaryngol Head Neck Surg* 2007;137(1):10-20.
 - 44) Wittkopf ML, Becker SS, Duncavage JA, Russell PT. *Balloon sinuplasty for the surgical management of immunocompromised and critically ill patients with acute rhinosinusitis.* *Otolaryngol Head Neck Surg* 2009;140(4):596-8.
 - 45) Ramadan HH. *Safety and feasibility of balloon sinuplasty for treatment of chronic rhinosinusitis in children.* *Ann Otol Rhinol Laryngol* 2009;118(3):161-5.
 - 46) Levine HL, Sertich AP 2nd, Hoisington DR, Weiss RL, Pritikin J. *Multicenter registry of balloon catheter sinusotomy outcomes for 1,036 patients.* *Ann Otol Rhinol Laryngol* 2008;117(4):263-70.
 - 47) Alexander AA, Shonka DC Jr, Payne SC. *Septal hematoma after balloon dilation of the sphenoid.* *Otolaryngol Head Neck Surg* 2009;141(3):424-5.
 - 48) Tomazic PV, Stammberger H, Koele W, Gerstenberger C. *Ethmoid roof CSF-leak following frontal sinus balloon sinuplasty.* *Rhinology* 2010;48(2):247-50.
 - 49) Bergstrom M, Greitz T. *Stereotaxic computed tomography.*

- AJR Am J Roentgenol* 1976;127(1):167-70.
- 50) Caversaccio M, Ladrach K, Bachler R, Schroth G, Nolte LP, Hausler R. [Computer-assisted surgical navigation with a dynamic mobile framework for the nasal fossae, sinuses and base of the skull]. *Ann Otolaryngol Chir Cervicofac* 1998;115(5):253-8.
- 51) Maniglia AJ. Fatal and major complications secondary to nasal and sinus surgery. *Laryngoscope* 1989;99(3):276-83.
- 52) Olson G, Citardi MJ. Image-guided functional endoscopic sinus surgery. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2000;123(3):188-94.
- 53) Tabae A, Kacker A, Kassenoff TL, Anand V. Outcome of computer-assisted sinus surgery: a 5-year study. *Am J Rhinol* 2003;17(5):291-7.
- 54) Smith TL, Stewart MG, Orlandi RR, Setzen M, Lanza DC. Indications for image-guided sinus surgery: the current evidence. *Am J Rhinol* 2007;21(1):80-3.
- 55) Jackman AH, Palmer JN, Chiu AG, Kennedy DW. Use of intraoperative CT scanning in endoscopic sinus surgery: a preliminary report. *Am J Rhinol* 2008;22(2):170-4.
- 56) Chennupati SK, Woodworth BA, Palmer JN, Cohen NA, Kennedy DW, Chiu AG. Intraoperative IGS/CT updates for complex endoscopic frontal sinus surgery. *ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec* 2008;70(4):268-70.
- 57) O'Malley BW Jr, Weinstein GS, Snyder W, Hockstein NG. Transoral robotic surgery (TORS) for base of tongue neoplasms. *Laryngoscope* 2006;116(8):1465-72.
- 58) O'Malley BW Jr, Weinstein GS. Robotic skull base surgery: preclinical investigations to human clinical application. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 2007;133(12):1215-9.
- 59) O'Malley BW Jr, Weinstein GS. Robotic anterior and midline skull base surgery: preclinical investigations. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2007;69(2 Suppl):S125-8.
- 60) Hanna EY, Holsinger C, DeMonte F, Kupferman M. Robotic endoscopic surgery of the skull base: a novel surgical approach. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 2007;133(12):1209-14.