

## 위장 이식편을 이용한 식도 재건술에서 위장 배출 지연 현상의 가시화

전혜진\* · 박희진\* · 성재용† · 이재익\*\*

### Visualization of Delayed Gastric Emptying Flows After Esophageal Reconstruction Using a Gastric Graft

Hyejin Jeon, Heejin Park, Jaeyong Sung and Jae-Ik Lee

**Abstract.** The delayed gastric emptying flows have been visualized in this study when a gastric graft replaced an esophagus after esophagectomy. To construct visualization models for gastric grafts, the path data of gastric graft were extracted from the CT images for real patients and then the experimental models were made from silicone tube by considering elasticity of real stomach. During experiments, 200 ml of water or glycerin was poured into the gastric graft model and the gastric emptying time for total volume of fluid to pass pylorus was measured from the successive images captured by a high speed CCD. The gastric emptying time was compared according to the change of diameter and path (front or rear path) of gastric graft, and pyloroplasty or not. In case that the pyloroplasty was not conducted, the smaller was the diameter of gastric graft, the shorter was the gastric emptying time. However, if the pyloroplasty was conducted, the larger diameter of gastric graft was better for the gastric emptying. Although the rear path gave rise to longer gastric emptying time than the front path, it did not matter, if the pyloroplasty was conducted.

**Key Words:** Delayed Gastric Emptying (위장 배출 지연), Esophageal Reconstruction (식도 재건술), Gastric Graft (위장 이식편), Pyloroplasty(유문 성형술)

## 1. 서 론

식도 재건술(esophageal reconstruction)은 식도(esophagus)에 암 등의 다양한 질환이 생겼을 때, 식도를 제거한 후, 다른 장기를 이용하여 식도를 대체하는 수술로, 수술을 행하는 의사에 따라서 수술에 이용하는 장기와 수술방법에 차이를 가지고 있다<sup>(1)</sup>. Fig. 1에서 식도 재건술의 과정을 보여주고 있다. 가장 흔히 이용되는 장기는 위장(stomach)이며, 이 위장 이식편(gastric graft)을 이용한 식도 재건술 후에 나타나는 여러 후유증들은 시간이 지남에 따라 어느 정도는 호전되지만, 수술 후에 나타나는 증상을 즉시 완화시켜 주

는 것도 중요하다. 임상실험 결과 식도 재건술 후에 나타나는 주요 증상으로는 음식물의 위장 배출 지연(delayed gastric emptying) 현상과 십이지장에서 위장 이식편으로의 역류(reflux) 현상이다<sup>(2)</sup>.

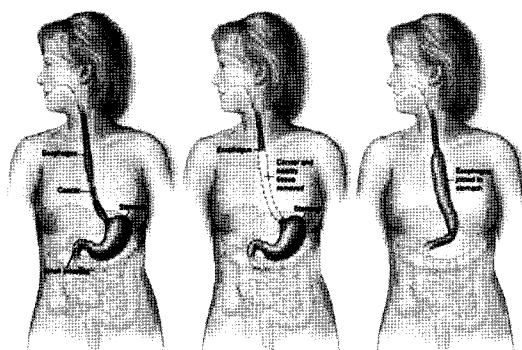
먼저, Lee 등<sup>(2)</sup>의 연구에 따르면, 음식물 위장 배출(gastric emptying)은 위장 이식편 내의 압력과 중력이 십이지장 내의 압력과 유문 팔약근 개방 압력보다 클 때 일어나게 된다. 위장 배출 지연은 식도 재건술에 위를 대체물로 사용하였을 때 일어나는 합병증 중의 하나로 지연 시간은 수술의 방법에 따라 달라질 수 있다. 식도 재건술에서 식도로 대체되는 위의 사용부위는 3가지로 나뉜다<sup>(3)</sup>. 위 전체를 절개하여 식도로 사용하는 방법, 위의 2/3를 식도로 대체하는 방법, 그리고 튜브화된 위를 만들어 사용하는 방법이다. 여기서, 전체 위를 사용했을 때 위장 배출 지연 증상이 현저하게 나타난다. 위장 배출 지연은 미주신경 절제술에 의한 장애와 위의 저장소 기능의 감소, 위의 부피 감소 그리고 혼합

\*서울산업대학교 기계공학과

E-mail : jysnug@snt.ac.kr

\*\*서울산업대학교 기계공학과(학부)

\*\*\*가천의과대학 흉부외과학 교실



**Fig. 1.** A process for the replacement of an esophagus by a gastric graft; normal esophagus(left), esophagectomy(middle), esophageal reconstruction (right). (Courtesy of National Cancer Institute)

기능 감소가 그 원인이다. 임상에서는 수술 후의 위장 배출 지연을 막기 위해서 위장 이식편을 폭이 좁은 투브로 만든다. 직경이 작은 투브 음식물이 채워졌을 때 투브 내의 압력이 급격히 증가하여 위장 배출을 촉진 한다.

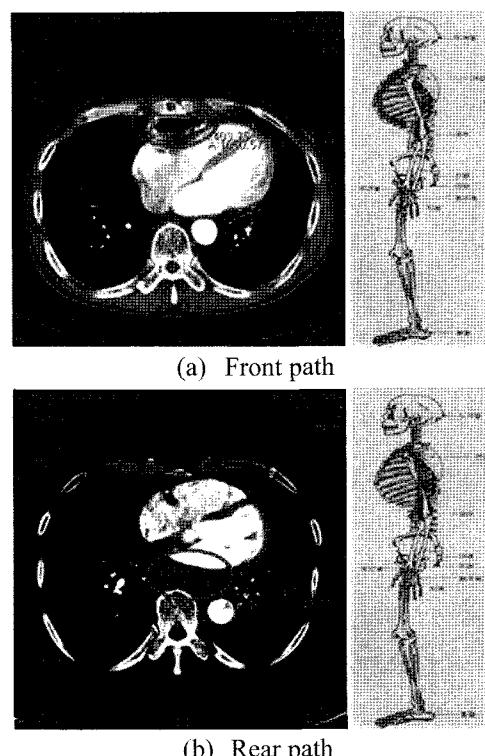
기존 연구<sup>(4)</sup>에 따르면 식도 재건술에서 위장 이식편의 경로는 심장을 기준으로 심장 앞쪽으로 가는 경로(전방)와 심장 뒤쪽으로 가는 경로(후방), 두 가지가 있고, 이 경로에 따라서 환자의 증상 호소 정도가 다르다. 또한, 식도 절제술을 하게 되면 미주 신경을 제거하기 때문에 더 이상 유문(pylorus)이 팔약근의 역할을 할 수 없게 된다<sup>(2)</sup>. 따라서 음식물의 원활한 위장 배출을 위해 유문 성형술이 일반적으로 시행되는데, 심한 역류(reflux) 현상을 유발할 수 있어 일부 외과의는 이 시술을 반대하기도 한다. 유문 성형술을 하게 되면 유문의 크기가 달라지며, 유문 성형술의 여부에 의해 위장 배출 지연도 영향을 받는다.

본 연구에서는 임상실험을 통해서는 얻기 힘든 공학적 데이터를 얻기 위해 위장 이식편을 이용한 식도 재건술에 있어서 위장 배출 지연 유동 현상을 가시화하고자 한다. 실험을 위하여 실제 수술환자의 재건술 경로 데이터를 근거로 식도 재건술의 모델을 만들었다. 투여하는 음식물의 종류에 따라 달라질 수 있으므로 점도가 낮은 물과 점도가 높은 글리세린을 작동 유체로 실험하였다. 위장 배출 지연에 영향을 주는 인자로 위장 이식편의 직경과 유문 성형술 여부를 설정하여 위장 배출 지연 시간을 측정하여 분석하였다.

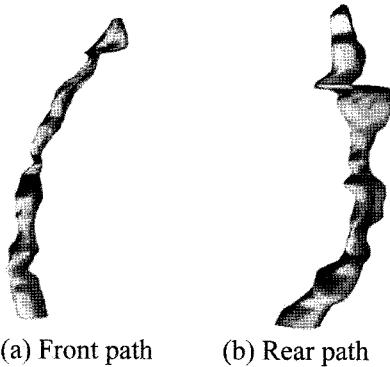
## 2. 실험 방법

### 2.1 실험변수

위장 배출 지연에 영향을 주는 요소는 크게 3가지로 위장 이식편의 경로, 위장 이식편의 직경, 유문 성형술의 여부이다. 우선, 위장 이식편의 경로에 대한 정보를 얻기 위하여 전방 수술법과 후방 수술법으로 각각 수술한 2명의 실제 환자의 CT(computerized tomography) 영상을 촬영하였다. Fig. 2는 촬영한 CT 영상과 수술법에 따른 위장 이식편의 경로를 보여주고 있다. 각각의 환자에 대해 목에서부터 십이지장 위치까지 총 150장의 CT 영상을 얻었으며, 영상처리 프로그램(Image J)을 이용하여 위장 이식편의 중심점과 단면적에 대한 정보를 위치별로 추출하였다. 전방 수술법과 후방 수술법에 따른 경로는 CT 데이터의 중심점의 좌표를 연결하여 구성하였다. 실제 위장 이식편의 단면 형상은 원형이 아니므로 별도로 개발된 영상처리 프로그램을 통하여 단면의 경계 데이터를 추출하였으며, 3D CAD를



**Fig. 2.** CT images of real patients after esophageal reconstruction for the two cases of reconstruction pathes.



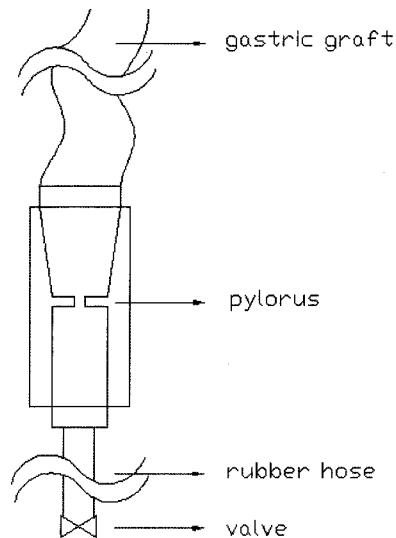
**Fig. 3.** 3D views of gastric graft constructed from the CT data of real patients after esophageal reconstruction.

이용하여 Fig. 3과 같은 3차원 위장 이식편 모형을 구현하였다.

정확한 실험 결과를 얻기 위해서는 다수의 환자를 대상으로 Fig. 3과 같은 3D 형상의 위장 이식편을 구현하여 각각 실험한 데이터를 통해 처리하는 것이 바람직하다. 그러나 이를 위해서는 많은 시간과 비용이 소요되므로 실험 모델을 공학적으로 단순화시키는 것이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 환자에 따라 차이가 많은 위장 이식편의 단면 형상은 원형으로 단순화하고, 환자에 따라 상대적으로 차이가 적은 경로는 Fig. 3의 데이터를 바탕으로 모델을 제작하였다. 원형 단면의 직경에 따른 위장 배출 지연의 차이는 식도 재건 수술에 있어 매우 중요한 정보이므로 본 연구에서는 직경이 다른 여러 가지 모델에 대해 시험하였다. 튜브화된 위의 표준 직경이 20-30 mm이고, 전체 위를 사용한 이식편의 최대 직경이 100 mm 이므로 위장 이식편 직경에 대한 변수를 20, 40, 60 mm로 설정하였다. 경로는 전방수술법과 후방수술법에 따라 차이가 크므로 이 2 가지 경로에 대해 시험하였다. 유문 성형술은 유문의 주변 근육을 파괴하여 유문의 크기를 넓히는 것이다. 이 경우 유문의 모양이 한쪽이 늘어난 타원 형태로 되지만 본 연구에서는 원형으로 가정하였다. 유문 성형술을 하지 않은 경우의 유문 직경이 10 mm, 유문 성형술을 한 경우 유문 직경을 약 20 mm로 추정하여, 본 연구에서는 이 2가지를 실험 변수를 사용하였다.

## 2.2 실험장치 및 방법

Fig. 4는 실험 장치도이다. 전방 수술법과 후방 수술



**Fig. 4.** Experimental apparatus.

법의 경로에 따라 각각 실험장치를 만들었고 위장 이식편의 경로는 직선 보간하여 기울기가 급격히 변하는 곳에 아크릴 판 지지대를 설치하여 위장 이식편의 경로를 잡아주었다. 십이지장과 연결되는 유문 근처는 이전 연구<sup>(5)</sup>를 토대로 아크릴을 테이퍼 형상으로 가공하여 윗부분은 위장 이식편과 연결하고 아래부분은 배출 호스와 연결하였다. 배출 호스에는 밸브를 설치하여 일정한 저항을 주었다. 배출 저항에 따라 위장 배출 지연시간이 달라질 수 있으나 본 연구는 절대적인 시간보다는 수술방법에 따른 상대적인 시간 비교가 목적이므로 배출 저항에 따른 영향은 고려하지 않았다. 위장 이식편 모델을 제작함에 있어 위장의 탄성을 고려하여 단단한 튜브를 사용하지 않고, 실리콘 튜브를 만들어서 사용했다. 실리콘 재료(dragon skin)를 적절히 배합하여 반죽을 만든 후, 각 직경에 맞는 원통 형상에 봇을 이용하여 실리콘을 바르고 말려서 만들었다.

본 실험에서는 3개의 위장 이식편 직경, 유문 성형술의 여부, 전방과 후방 수술법의 경로를 바꿔가며 총 12가지 경우에 대하여 음식물의 위장 배출 시간을 측정하였으며, 실험에 사용되는 음식물 대체 물질은 물과 글리세린이다. 각 경우에 대하여 물 또는 글리세린 200 ml를 위장 이식편 입구에 투여하였으며, 고속카메라를 이용하여 유체가 위장 이식편을 타고 내려오는 것을 동영상 촬영하였다. 촬영된 영상을 바탕으로 유

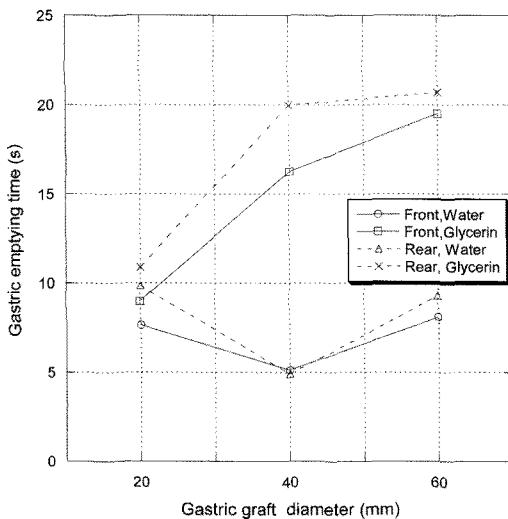


Fig. 5. Gastric emptying time in case of 10 mm pylorus (without pyloroplasty) according to gastric graft diameter and path for different fluids.

체가 유문을 완전히 통과하는 시간을 위장 배출 시간으로 정의하였다. 각 실험에 대하여 10회의 반복 실험을 수행하였으며, 그 평균값을 측정된 결과로 제시하였다.

### 3. 결과 및 고찰

위장 이식편을 이용한 식도 재건 수술을 받은 환자가 느끼는 불편한 증상 중의 하나가 음식물을 투여했을 때 발생하는 위장 배출 지연이다. 따라서 배출 지연 시간이 최소화되도록 수술하는 것이 필요하며, 본 연구에서는 식도로 대체되는 위장 이식편의 직경 및 유문 성형술 여부를 주요한 인자로 설정하여 음식물 배출 시간을 측정하였다. 단순한 논리로 예측하면 같은 양의 음식물을 투여하였을 때, 위장 이식편 직경이 작으면 위장 이식편에 쌓이는 음식물의 높이가 높아서 유문에서의 유체 압력이 커지므로 위장 배출이 빨라진다. 그러나 실제의 경우 위장 이식편의 경로에 따른 굴곡과 음식물과 음식물 사이에 생기는 공기층, 유문의 배출 능력 등에 의해 달라질 수 있다.

Fig. 5는 유문 성형술을 하지 않은 경우, 즉 유문의 크기가 10 mm인 경우에 대하여 위장 이식편 직경과 경로에 따른 음식물 배출 시간의 결과를 보여주고 있다. 배출 시간의 측정은 촬영된 동영상의 시간 정보로

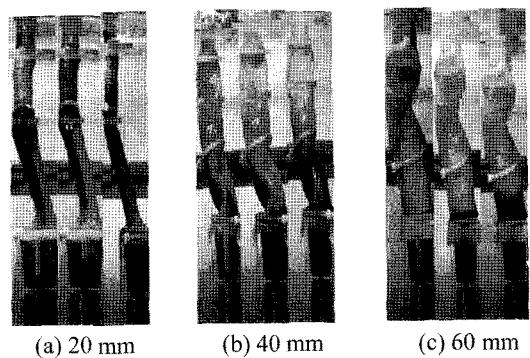


Fig. 6. Visualized images of the gastric emptying flows for glycerin through the front path and 10 mm pylorus.

부터 정량적으로 구하였으며, 각 경우에 대해 10회 반복 실험한 결과값을 평균하였다. 음식물의 점도에 따른 영향을 살펴보기 위하여 물과 글리세린을 이용한 측정 결과를 비교하였다. 이 그림에서 전체적으로 점도가 작은 물보다 점도가 큰 글리세린이 음식물 배출 시간이 길다. 그러나 직경에 따른 배출 시간의 변화는 서로 다른 경향을 보인다. 글리세린의 경우 위장 이식편 직경이 증가하면 위장 배출 시간이 늘어나는데 반해 물을 투여하면 위장 이식편 직경이 40 mm일 때 가장 빨리 배출되고 이 보다 크거나 작은 직경에서는 배출 시간이 늘어났다. 경로에 따른 영향을 살펴보면, 전방 경로가 후방 경로에 비해 배출 시간이 짧다.

유체의 점도 및 위장 이식편의 직경에 따른 위장 배출 시간의 차이가 나는 원인을 구체적으로 살펴보기 위하여 Fig. 6-7에 전방 경로를 통한 위장 배출 유동의 가시화 결과를 나타내었다. Fig. 6은 같은 양의 글리세린을 투여하였을 때, 직경에 따른 위장 배출 현상을 시간에 따라 나타낸 그림이다. 동일 직경에 대해 3개의 그림이 있는데, 원쪽에서 오른쪽으로 갈수록 시간이 경과한 후의 사진이다. 영상 간의 시간 간격은 임의적 이지만 유동현상의 특징이 가장 잘 나타나는 순간의 모습들을 나타내었다. 이 그림에서 투여한 글리세린은 모든 직경에 대하여 위장 이식편을 타고 내려와 유문에서 정체되어 쌓이는 모습을 보인다. 투여한 글리세린의 양이 동일하므로 위장 이식편의 직경이 20 mm일 때 가장 높이 쌓이고 유문에서의 정수력이 가장 크게 작용한다. 따라서 위장 배출 시간이 20 mm일 때 가장 빠르다. 여기서 특이한 점은 직경 20 mm인 경우 글리

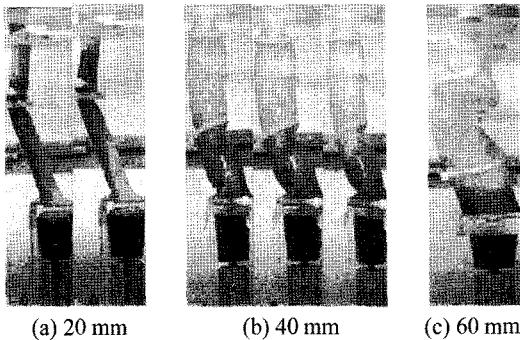


Fig. 7. Visualized images of the gastric emptying flows for water through the front path and 10 mm pylorus.

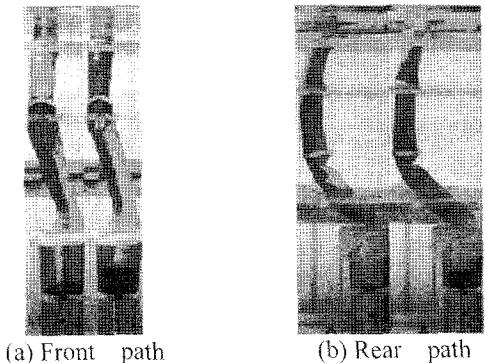


Fig. 8. Comparison of gastric emptying flows between the front and rear paths.

세린의 배출 시간이 물과 비슷할 정도로 짧다는 것이다. 그 이유는 위장 이식편 내부에 두꺼운 공기층이 형성되기 때문이다. 이 공기층은 상부의 글리세린으로 인해 압축이 되고, 압축된 공기가 위로 상승하면서 위장 이식편을 팽창시킨다. 팽창된 위장이식편이 다시 수축하면서 위장 이식편 내의 압력을 상승시킨다. 이 압력이 글리세린이 유문을 통과하는데 부가적인 힘을 가하므로 정수력에 의한 위장 배출보다 짧은 시간이 걸린다.

Fig. 7은 물을 투여하였을 때 직경에 따른 위장 배출 현상을 시간에 따라 나타낸 그림이다. 물을 작동유체로 사용하였을 경우에도 직경 20 mm와 40 mm에서 위장 이식편 내부에 공기층이 형성된다. 그러나 글리세린에 비해 공기층 두께도 작고, 위장 이식편의 팽창과 수축 과정이 없이 공기층이 위로 빠져 나가므로 유문에 작용하는 부가적인 힘은 그렇게 크지 않다. Fig. 5의 결과에서 위장 이식편 직경이 20 mm일 때 보다 40 mm일 때 더 빨리 배출되는 이유는 직경이 40 mm인 경우 공기층이 위로 빠르게 올라가면서 강한 외류를 발생시켜 물이 순간적으로 빠르게 내려가 유문 위에 정체된 물에 힘을 더 가하기 때문이다. 위장 이식편 직경이 60 mm인 경우는 공기층이 생기지 않고 벽면을 타고 내려가 유문에 도달하는 시간은 빠르지만 정수력만 작용하므로 유문에서 물이 빠지는 시간이 많이 걸린다.

Fig. 8은 전방 수술법과 후방 수술법의 경로에 따른 유동 현상을 가시화한 그림이다. 전방 수술법과 후방 수술법에 따른 위장 이식편 경로의 영향에 있어서는

대체로 전방 경로가 후방 경로보다 빠른 배출을 보이고 있다. 이는 전방 수술법보다 후방 수술법의 경로가 굴곡이 심해서 후방 경로의 위장 이식편을 음식물이 통과하는데 시간지연이 많이 발생하기 때문이다. 물을 투여하고 위장 이식편 직경이 40 mm인 경우만 배출 시간이 경로와 무관하게 나타났는데, 이는 앞에서 설명한 바와 같이 외류에 의해 물이 내려가는 시간이 매우 짧아 경로에 따른 시간 차이는 무시할 만큼 작기 때문이다. 유문 성형술을 하지 않은 경우에 대해 종합적으로 정리하면, 음식물로 물만 투여 한다면 위장 이식

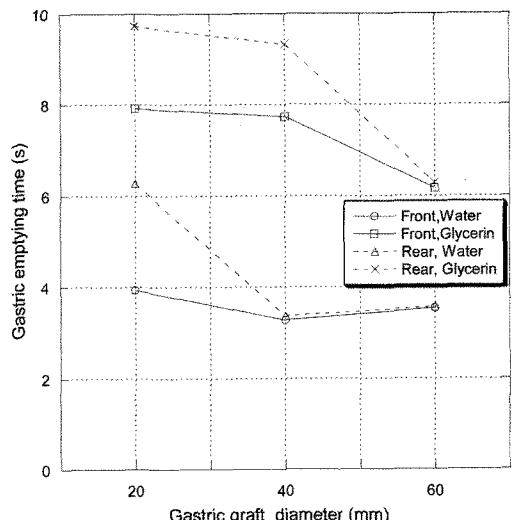
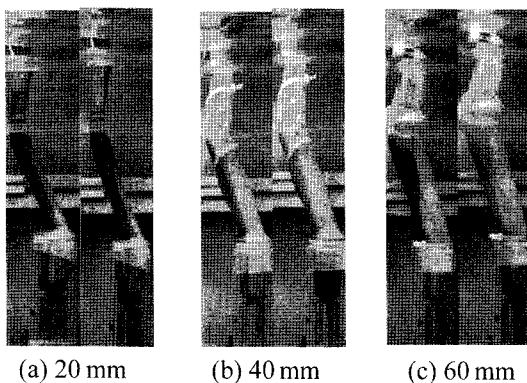


Fig. 9. Gastric emptying time in case of 20 mm pylorus (with pyloroplasty) according to gastric graft diameter and path for different fluids.



**Fig. 10.** Visualized images of the gastric emptying flows for water through the front path and 20 mm pylorus.

편 직경이 40 mm인 경우가 가장 배출 지연 시간이 작으나 점도가 높은 다양한 음식물을 고려하면 위장 이식편 직경이 20 mm인 경우가 위장 배출 특성이 가장 좋다. 또한, 전방 수술법이 후방 수술법에 비해 음식물의 위장 배출에는 보다 효과적이다.

Fig. 9는 유문 성형술을 한 경우, 즉 유문 직경이 20 mm인 경우에 대하여 위장 이식편 직경, 경로, 음식물의 점도에 따른 위장 배출 시간을 나타내었다. 전체적인 음식물 배출 시간은 유문 성형술을 하지 않은 Fig. 5의 결과보다 짧게 나타났다. 음식물의 점도에 따른 영향은 점도가 작은 물보다 점도가 큰 글리세린이 음식물 배출 시간이 길다. 그러나 위장 이식편의 직경과 경로에 대해서는 Fig. 5와 전혀 다른 결과를 보여주고 있다. 자세한 유동 현상을 살펴보기 위하여 Fig. 10에 전방 경로의 경우에 대한 직경에 따른 유동 가시화 결과를 나타내었다. 이 그림에서 유문 성형술로 유문을 넓히면 유문 위에 음식물이 쌓이지 않고 바로 배출되는 모습을 볼 수 있다. 따라서 위장 배출 시간에 영향을 주는 인자로서 유문 위에 쌓이는 음식물의 높이에 따른 정수력은 의미가 없고 오직 위장 이식편을 통과하는데 걸리는 시간만 중요한 인자가 된다. 그 결과 대체적으로 위장 이식편 직경이 클수록 배출 시간이 짧게 나타났다. 전방 경로와 후방 경로에 따른 차이는 위장 이식편 직경이 클수록 작게 나타났는데, 위장 이식편 직경이 크면 경로에 따른 굴곡 효과가 상대적으로 적게 나타나기 때문이다. 다시 말하면, 휘어진 경로를 통과할 때, 직경이 크면 음식물이 곡률이 작은 안쪽 면으로 내려가려는 경향이 있어 경로에 따른 영향을

최소화한다. 결론적으로 유문 성형술을 한 경우는 위장 이식편 직경이 클수록 음식물 배출 효과가 좋으며, 전방 수술법과 후방 수술법의 경로 차이는 무시하여도 좋다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 위장 이식편을 이용한 식도 재건술에 있어 위장 이식편 직경, 수술 경로, 유문 성형술 여부에 따른 위장 배출 지연 유동 현상을 가시화하였다. 유동 가시화를 통해 음식물의 위장 배출 시간을 측정하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

유문 성형술을 하지 않는다면 위장 이식편 직경이 작을수록 위장 배출 시간이 짧게 나타났으나 유문 성형술을 실시 하면 위장 이식편 직경이 클수록 위장 배출 시간이 짧게 나타났다. 위장 배출 시간의 측면에서만 보면 전방 수술법이 후방 수술법에 비해 효과적이거나 유문 성형술을 실시하고 위장 이식편 직경을 크게 하면 수술 경로는 영향을 주지 않는다.

#### 참고문헌

- 1) Nishihira, T., Watanabe, T., Ohmori, N., Kitamura, M., Toyoda, T., Hirayama, K., Kawachi, S., Kuramoto, J., Kanoh, T. and Akaishi, T., 1984, "Long-Term Evaluation of Patients Treated by Radical Operation for Carcinoma of the Thoracic Esophagus," *World J. Surg.*, Vol. 8, pp.778-785.
- 2) Lee, H.-S., Kim, M. S., Lee, J. M., Kim, S. K., Kang, K. W. and Zo, J. I., 2005, "Intrathoracic Gastric Emptying of Solid Food After Esophagectomy for Esophageal Cancer," *Ann. Thorac. Surg.*, Vol. 80, pp. 443-448.
- 3) Bemelman, W. A., Taat, C. W., Slors, J. F. M., van Lanschot, J. J. B. and Obertop, H., 1995, "Delayed Postoperative Emptying after Esophageal Resection is Dependent on the Size of the Gastric Substitute," *J. of the American college of Surgeons*, Vol. 180, pp. 461-464.
- 4) Hölscher, A. H., Voit, H., Butteermann, G. and Siewert, J. R., 1988, "Function of the Intrathoracic Stomach as Esophageal Replacement," *World J. Surg.*, Vol. 12, pp. 835-844.
- 5) Keet, A. D., 1993, *The Pyloric Sphincteric Cylinder in Health and Disease*, Springer-Verlag, Telos.