

식도 재건 수술에 있어 유문 성형과 식도 접합 경로에 따른 음식물 역류 현상 연구

최성훈* · 성재용**† · 이재익***

* 서울과학기술대학교 에너지환경대학원, ** 서울과학기술대학교 기계공학과, ** 가천의과대학 흉부외과학교실

Study on Reflux According to Pyloroplasty and Path of Gastric Graft in Esophageal Reconstruction

Sunghoon Choi*, Jaeyong Sung**† and Jae-Ik Lee***

* Graduate School of Energy and Environment, Seoul National University of Science and Technology,

** Dept. of Mechanical Engineering, Seoul National University of Science and Technology,

*** Dept. of Thoracic and Cardiovascular Surgery, Gachon University Gil Hospital

(Received December 20, 2011 ; Revised April 9, 2012 ; Accepted May 2, 2012)

Key Words : Reflux(역류), Esophageal Reconstruction(식도 재건술), Pyloroplasty(유문 성형), Gastric Graft(위장 이식편)

초록: 본 연구에서는 식도 재건 수술 시 유문 성형 여부와 위장 이식편을 이용한 식도 접합 경로에 따른 음식물 역류 현상에 대해 고찰하였다. 위장 이식편의 두 가지 접합 경로(전방, 후방)는 환자 10 명의 CT 영상으로부터 얻어졌으며, 식도관 모델은 RP 로 제작하였다. 식도관은 유문 성형 여부의 두 가지 유문 모델에 연결하였고, 다양한 압력과 펄스폭을 적용하여 역류되는 유체의 체적과 최대 역류 높이를 측정하였다. 그 결과, 역류 체적과 높이는 압력에 따라 증가하였으며, 유문 성형을 하면 전방 경로가 후방 경로보다 역류되는 체적과 높이 작게 나타났다. 역류량은 펄스폭이 증가하면 증가하나 최대 역류높이에 대한 영향은 유문 성형 여부에 따라 달라진다.

Abstract: In this study, duodenogastric reflux has been investigated according to pyloroplasty and the path of the gastric tube in esophageal reconstruction. The paths of the gastric graft (front and rear paths) were determined from the CT images of ten patients, and the gastric tube model was constructed using an RP technique. The gastric tubes were connected to the pylorus models with and without pyloroplasty. Various distal pressures and pulse widths were applied, and the volume and maximum height of the refluxate were measured. The results show that the volume and height of the refluxate increase with the distal pressure, and the front path leads to a smaller volume and lesser height of the refluxate than the rear path if pyloroplasty is conducted. The volume of the refluxate is markedly increased by a larger pulse width, but its effect on the maximum height depends on whether pyloroplasty is conducted.

1. 서론

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 가지

고 있다.⁽¹⁾ 식도 재건술에서 가장 흔히 이용되는 장기는 위장(stomach)이다. 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 주는 것도 중요하다. 임상실험 결과 식도 재건술 후에 나타나는 주요 증상으로는 음식물의 위장 배출 지연(delayed gastric emptying) 현상과 십이지장에서 위장 이식편으로의 역류(reflux) 현상이다.⁽²⁾

기존 연구⁽³⁾에 따르면 식도 재건술에서 위장 이

† Corresponding Author, jysung@seoultech.ac.kr
© 2012 The Korean Society of Mechanical Engineers

식편의 경로는 심장을 기준으로 심장 앞쪽으로 가는 전방 경로(front path)와 심장 뒤쪽으로 가는 후방 경로(rear path), 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 괄약근의 역할을 할 수 없게 된다.⁽²⁾ 따라서 음식물의 원활한 위장 배출을 위해 유문 성형술(pyloroplasty)이 시행되기도 한다. 유문 성형술을 하게 되면 유문의 크기가 달라지며, 유문 성형술의 여부에 의해 위장 배출 지연과 역류 현상도 영향을 받는다.

본 연구의 선행연구로서 위장 배출 지연 현상을 고찰한 바 있다.⁽⁴⁾ 그 결과 식도 재건 수술 시 식도의 직경을 작게 할수록 그리고 유문 성형을 통해 유문을 확장하면 위장 배출 지연을 줄일 수 있는 것으로 나타났다. 본 연구의 대상인 십이지장에서 음식물 역류 현상에 관해서는 환자의 60-80%가 심각한 문제로 받아들이고 있음에도 불구하고⁽⁵⁾ 식도의 경로와 유문 성형 여부가 어떤 영향을 미치는지 아직 분명하게 밝혀지지 않았다. 식도의 경로가 음식물 역류에 많은 영향을 미친다는 연구 결과^(6,7)가 있는가 하면 크게 중요하지 않다는 연구 결과^(8,9)도 보고되고 있다. 유문 성형에 있어서도 유문을 확장하면 음식물 배출이 잘되기 때문에 역류를 줄일 수 있다는 연구 결과⁽¹⁰⁾가 있는 반면 큰 영향이 없다는 상충된 연구 결과^(11,12)도 있다. 이러한 임상적 연구 결과들은 실제 환자들을 대상으로 위장의 pH 검사 등 역류 현상에 대한 간접적 측정으로 이루어졌기 때문에 한계를

가질 수밖에 없다. 따라서 공학적 관점에서 정량적이고 체계화된 연구가 절실하다.

본 연구에서는 위장 이식편을 이용한 식도 재건술에 있어서 수술 방법에 따른 십이지장 음식물의 역류 현상에 관하여 임상실험을 통해서 얻기 힘든 공학적 데이터를 제시하고자 한다. 실험을 위하여 실제 수술환자의 재건술 경로 데이터를 근거로 가시화용 식도 모델을 제작하였다. 환자의 상체가 45°로 뒤로 기울여진 자세에서 십이지장 압력이 갑자기 상승하였을 때 나타나는 역류 현상을 식도의 경로 및 유문 성형 여부에 따라 측정하고 분석하였다.

2. 실험 방법

2.1 식도 모델의 제작

위장 이식편의 경로에 대한 정보를 얻기 위하여 전방 수술법과 후방 수술법으로 수술한 10명(전방

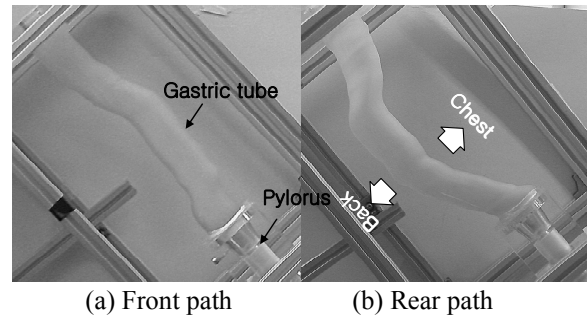


Fig. 1 Side views of the gastric tube models fabricated by a RP technique and tilted at the angle of 45°

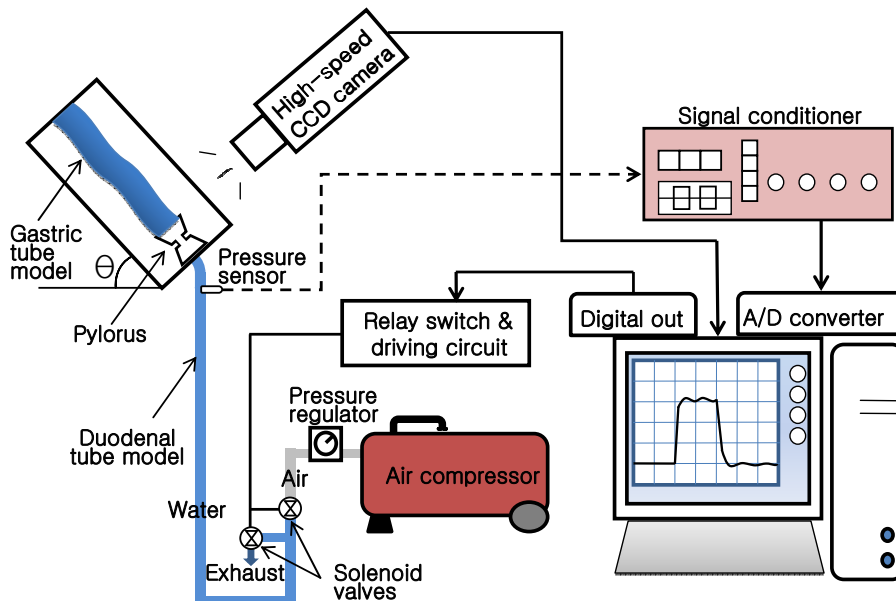


Fig. 2 Experimental setup for the measurements of duodenogastric reflux

수술법 5 명, 후방 수술법 5 명)의 실제 환자의 CT(computerized tomography) 영상을 촬영하였다. 각각의 환자에 대해 목에서부터 십이지장 위치까지 총 150 장의 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 좌표 (x, y)를 연결하여 구성하였다. 각 수술법에 대해 5 명의 데이터를 평균하여 최종 경로를 구하였으며, 환자에 따라 키와 골격이 다르기 때문에 평균 식도 길이에 맞춰서 개별 환자의 중심점 좌표값을 보정하였다. 실제 위장 이식편의 단면 형상은 원형이 아니지만 문제를 단순화하여 비교하기 위해 임의의 z 위치에서 단면 형상은 원형으로 가정하였다. 원형 단면의 내경은 일반적으로 수술시 많이 사용되는 40 mm 로 설계하였다. 이상의 데이터를 기반으로 3 차원 CAD 를 이용하여 식도 모형을 경로에 따라 모델링하였으며, RP(rapid prototyping) 기법을 이용하여 Fig. 1 과 같은 식도 모델을 제작하였다. 유동을 가시화하기 위하여 RP 의 재질은 광경화성 수지(photo polymer) 를 사용하여 반투명하게 만들었다.

유문 성형술은 위장과 십이지장 사이에 존재하는 유문의 주변 근육을 파괴하여 유문의 크기를 넓히는 것이다. 유문의 형상은 원형 단면으로 모델링하였으며, 임상적 경험을 바탕으로 유문 성형을 하지 않은 경우는 유문 직경이 7.5 mm, 유문 성형을 한 경우 그 2 배인 15 mm 로 가정하였다. 십이지장과 연결되는 유문 근처는 이전 연구⁽¹³⁾를 토대로 아크릴을 테이퍼 형상으로 가공하여 Fig. 1 과 같이 윗부분은 식도 모델과 연결하고 아랫부분은 호스와 연결하였다.

2.2 실험 장치 및 조건

Fig. 2 는 실험 장치도이다. 식도 모델을 지지할 수 있는 프레임을 제작하고, 이 프레임을 자유 각도로 기울일 수 있도록 힌지를 부착하였다. 본 연구에서는 환자가 병실 침상에 편안하게 기대어 있는 상태를 고려하여 상체의 각도를 45°로 설정하였다.

십이지장에서 갑자기 압력이 증가하면 음식물이 유문을 지나 위장 이식편으로 역류가 일어나는데, 이를 공학적으로 모사하기 위하여 유문 아래 부분까지 물을 채워놓고 압축기와 연결되어 있는 호스를 통해 순간적인 압력을 가하는 방식을 채택하였다. 음식물은 보통 유동성 고체이나 작동 유체로서 물을 사용한 이유는 음식물 역류가 가장 큰 문

제가 되는 경우가 수술 후 1 달 정도이며, 이 기간에는 환자들이 죽과 같은 묽은 음식만 섭취하고, 소화되어 십이지장으로 내려갔을 때는 물과 비슷한 상태로 변하기 때문이다. 압축기에서 공급되는 압력은 압축기 출구에 정압밸브에 의해 조절되며, 압력 펄스는 PC 에 의해 제어되는 솔레노이드 밸브를 통해 공급된다. 초기 시간 t = 0 에서 공급관 솔레노이드 밸브가 열리면 정압 밸브에 의해 셋팅된 압력이 호스를 통해 유문에 전달된다. 일정 펄스폭(pulse width)의 시간이 지나면 공급관 솔레노이드 밸브는 닫히도록 하였다. 공급되는 압력펄스를 측정하기 위해 유문부 아래에 압력센서를 설치하여 시간에 따른 압력 변화를 모니터링 하였다. Fig. 3 은 측정된 압력 펄스 데이터를 보여주고 있다. 본 연구에서는 유문 아래 십이지장 압력이 음식물 섭취 후 수축될 때 약 22-27 mmHg 인 점을 감안하여,⁽¹⁴⁾ 작동 압력(distal pressure)을 20, 30, 40, 50 mmHg 로 변화시켰다. 압력 펄스의 폭은 알려진 데이터가 없어 임의적이지만 0.2, 0.5, 0.8 s 로 변화시켰다.

소화된 음식물은 높은 산성을 띠고 있어 역류는 위장 이식편을 손상시키는 원인이 된다. 이러한 역류 현상을 정량적으로 평가하기 위하여 본 연구에서는 역류되는 유체의 양과 역류시 최대 올라가는 높이를 측정하였다. 역류된 유체의 양은 유문 위로 넘쳐 올라간 물을 채집하여 부피를 측정하여 구하였다. 역류시 최대 올라간 유체의 높이는 압력 펄스와 동기화되어 작동되는 고속 CCD 카메라(SVSI)의 영상으로부터 관찰되었다.

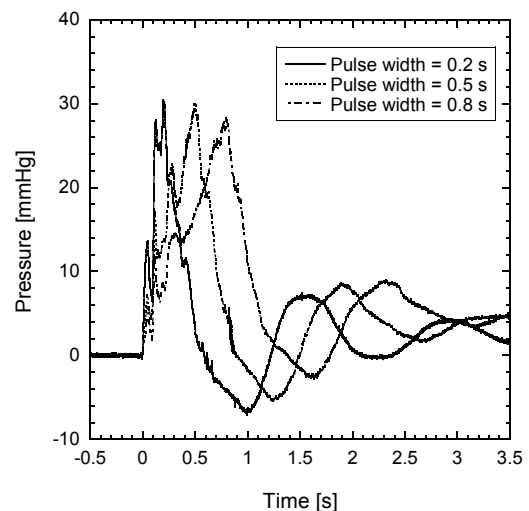


Fig. 3 Pressure pulses with various pulse widths applied to the reflux experiments. Maximum distal pressure is 30 mmHg

실험 변수는 전방 경로와 후방 경로, 유문 성형 유부, 작동 압력, 펄스폭이다. 각각의 경우에 대하여 5 회 반복실험을 수행하였으며, 그 평균값을 측정된 결과로 제시하였다.

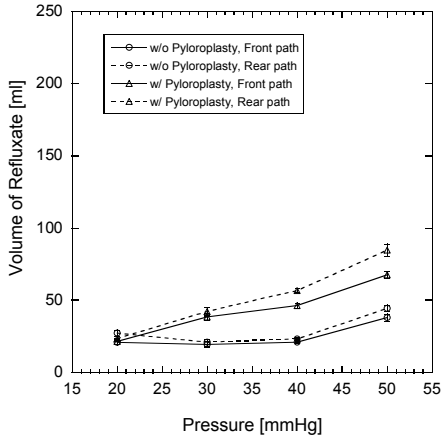
3. 결과 및 고찰

Fig. 4 에서는 각각의 압력 펄스폭에 대해서 작동 압력에 따른 역류되는 유체의 양을 그래프로 나타내었다. 각 경우에 대해 총 5 회 반복실험 하였으며, 측정 데이터의 표준편차를 막대선으로 표시하였다. 측정 결과, 압력 펄스폭이 증가하면 역류량은 증가한다. 또한, 동일한 펄스폭에서 작동 압력이 증가하면 역류량은 증가한다. 유문 성형을 통해 유문을 확장하면 유문 성형 이전에 비해 역류량이 크게 증가하는 것을 볼 수 있으며, 증가되는 정도는 작동 압력이 크고 펄스폭이 길수록 더욱 심화됨을 알 수 있다. 전, 후방 경로에 따라 비교하면, 유문 성형을 하지 않았을 경우 경로에 따른 역류량 차이는 측정 오차 범위 내에서 차이가 없는 것으로 판단된다. 그러나 유문 성형을 하게 되면 전방 경로보다 후방 경로를 통해 더 많이 역류됨을 알 수 있다.

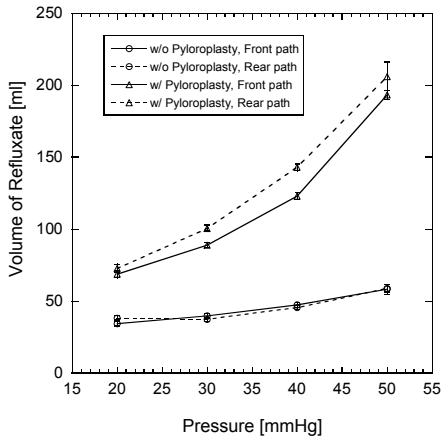
유문을 통과하는 역류 유동은 다음 식과 같은 베르누이 장애이론 (Bernoulli obstruction theory)에 의한 오리피스(orifice) 유동으로 해석이 가능하다.

$$Q = C_d A_t \sqrt{\frac{2\Delta p / \rho}{1 - \beta^4}} \tag{1}$$

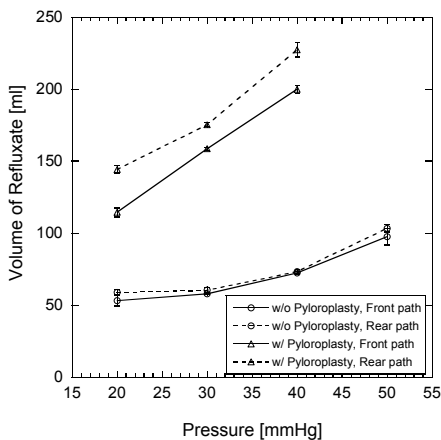
여기서 Q 는 유량, C_d 는 송출계수, A_t 는 유문의 단면적, Δp 는 유문 전후의 압력차, ρ 는 밀도 그리고 $\beta = d/D$ 는 유문과 식도의 직경비이다. 유문 성형을 하게 되면 A_t 와 β 가 커지게 되므로 동일한 압력차에서 역류되는 유량이 증가한다. 또한 압력차가 증가하거나 작용되는 압력의 시간이 증가하면 총 역류량이 증가한다. 유문을 통과한 이후의 유동은 배관 내 마찰유동으로 생각할 수 있으며, 압력 및 운동에너지가 벽면 마찰 및 위치에너지를 의해 감소된다. 그러나 순간적인 압력파에 의해 유문으로 분출되는 유동은 단순한 배관 마찰유동으로 해석할 수는 없다. 즉, 초기에는 공기와 섞여 식도관의 일부만 채운 상태로 분사되다가 시간이 지날수록 식도관을 꽉 채운 배관 마찰유동으로 변함을 동영상 분석을 통해 확인하였다. 유문 확장으로 순간 유량이 많을수록 식도관을 꽉 채운 상태의 역류 유동이 지배적이다. 또한 유문에서 식도로 진입하는 방향이 수평에 가까운 후방 경로보다 수직 방향으로 분사되는 전방 경로의 경우가 식도관을 꽉 채운 상태로 수면이 상승하는 현상이 더 많이 나타났다. 이 경우 식도벽에 의한 마찰이



(a) Pulse width = 0.2 s

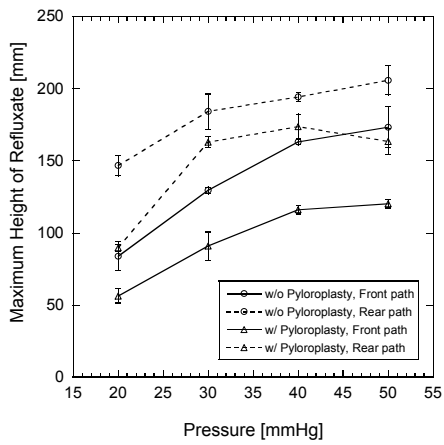


(b) Pulse width = 0.5 s

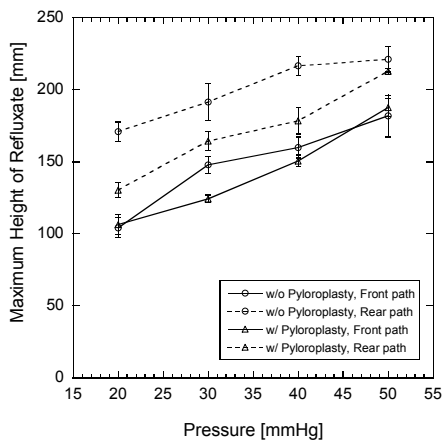


(c) Pulse width = 0.8 s

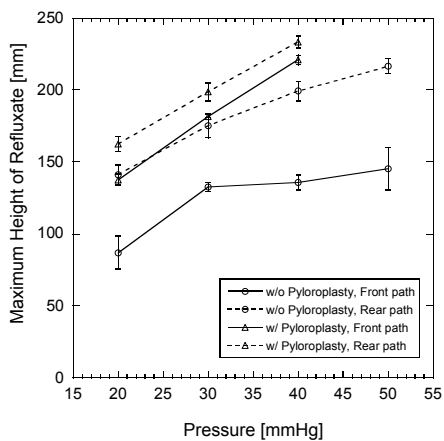
Fig. 4 Volumes of refluxate for various distal pressures, which are compared according to the path of gastric tube and the pyloroplasty in esophageal reconstruction



(a) Pulse width = 0.2 s



(b) Pulse width = 0.5 s



(c) Pulse width = 0.8 s

Fig. 5 Maximum heights of refluxate for various distal pressures, which are compared according to the path of gastric tube and the pyloroplasty in esophageal reconstruction

증가하며, 결과적으로 총 역류량이 감소하는 것으로 확인되었다.

Fig. 5에서는 각각의 압력 펄스폭에 대해서 작동 압력에 따른 최대 역류 높이를 나타내었다. 최

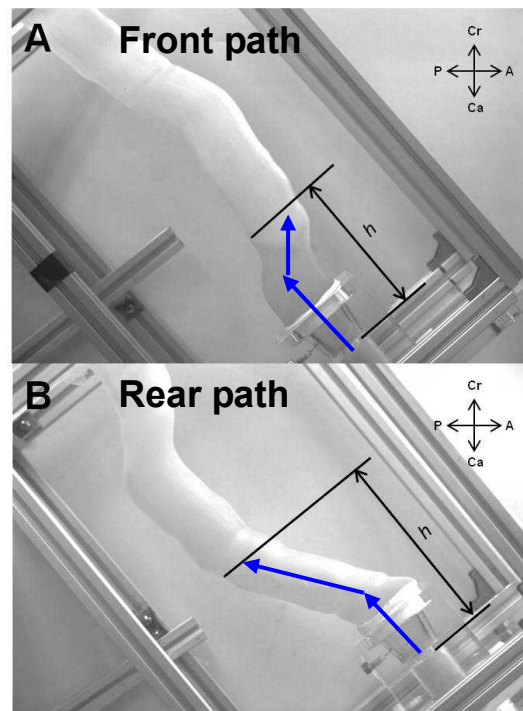
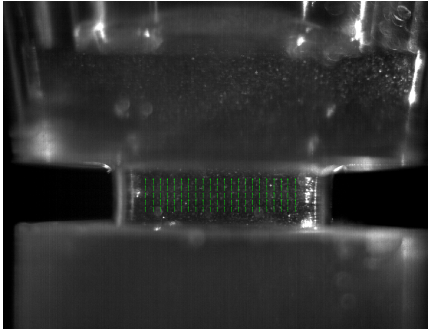


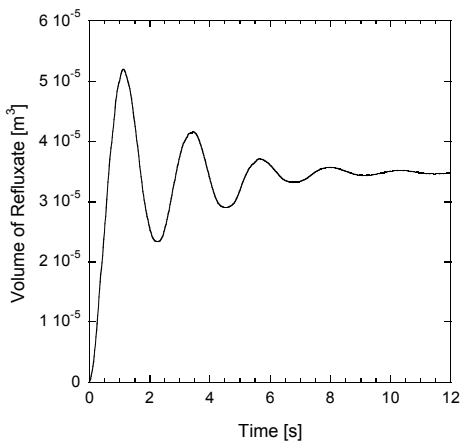
Fig. 6 Comparison of the flow direction for both paths of gastric tube, which affects the maximum height of refluxate

대 역류 높이는 작동 압력이 증가하면 확실하게 역류 높이가 증가하는 것을 볼 수 있다. 역류 높이는 유문을 통과한 직후 분출되는 속도에 지배를 받기 때문에 작동 압력이 가장 중요한 요소이다. 이 그림에서 흥미있는 사실은 유문 성형을 하지 않았을 경우, 펄스폭이 증가하더라도 역류 높이에 크게 영향을 주지 않는 반면 유문 성형을 통해 유문을 확장할 경우, 펄스폭에 따른 역류 높이 차이가 많이 발생한다. 펄스폭이 0.2 s에서는 동일한 식도 경로에 대해 확장 이전에 비해 역류 높이가 낮게 나왔으나 펄스폭이 0.5 s에서는 그 차이가 줄고, 펄스폭이 0.8 s로 증가하면 오히려 높은 것으로 관측되었다. 그 이유는 유문 확장을 하면 단면적의 증가로 인해 역류량은 증가하나 유문에서 분출되는 속도는 펄스폭에 따라 달라지기 때문이다. 즉, 단면적이 넓은 경우 유체가 가속되기 위해 더 많은 시간을 필요로 하게 되는데, 펄스폭이 작으면 충분히 가속되기 전에 압력 에너지 공급이 중단되는 것으로 판단된다. 충분한 가속 시간이 주어지면 넓은 유문에서 분출되는 속도가 좁은 유문보다 약간 증가하나 유량의 증가에 비해서는 그 차이가 미약하다.

Fig. 5의 그림에서 전, 후방 경로에 따른 영향을 살펴보면, 모든 경우에 있어 전방 경로보다 후방



(a) Visualization of reflux flow through the pylorus



(b) Temporal variation of the volume of refluxate

Fig. 7 Transient phenomena of the refluxate measured by PIV (particle image velocimetry) system

경로의 역류 높이가 높게 나타났다. 이는 유문 성형을 하지 않았을 경우 역류량의 차이가 없게 나타난 것과는 대조적이다. 유문을 통해 동일한 속도로 분출되더라도 전, 후방 경로에 따라 분출된 유체가 식도 벽면에 부딪치는 정도와 중력의 영향에 따라 차이가 발생한다. Fig. 6의 영상에서 볼 수 있듯이 상체가 45°뒤로 기울어져 있을 경우 후방 경로는 유문에서 분출된 유체가 식도 벽면에 부딪쳐 거의 수평에 가까운 방향으로 진행하기 때문에 위치에너지에 의한 운동량 감소가 작다. 반면, 전방 경로는 식도 벽면에 부딪친 후 중력을 거슬러 수직으로 올라가므로 위치에너지에 의한 운동량 손실이 더 많이 발생하고 결과적으로 최대 역류 높이가 낮아진다.

본 연구를 통하여 전체적으로 후방 경로보다 전방 경로의 수술법이 음식물 역류를 줄이는데 효과적임을 알 수 있었다. 그러나 이 결과를 임상에 곧바로 적용하기 위해서는 후속 연구를 통하여 다양한 상체 각도에서도 동일한 경향이 나오는지 파악되어야 한다. 또한 시간에 따른 역류 유량을 정량화하여 유문

에서 분출되는 순간과 유문을 통과한 후 식도의 경로가 역류에 미치는 영향도 체계적으로 고찰되어야 한다. Fig. 7(a)에서는 유문을 지나는 비정상(unsteady) 역류 유량 변화를 PIV (particle image velocimetry)⁽¹⁵⁾를 이용하여 측정된 사례를 보여주고 있다. PIV 속도장을 적분하여 Fig. 7(b)와 같은 비정상 유량변화를 측정할 수 있으며, 초기 압력 펄스로 인해 역류량이 급격하게 증가하였다가 시간이 지나면서 진동하는 모습을 확인할 수 있다. 따라서 비정상 유량변화가 상체 각도에 따라 어떻게 나타나는지를 고찰하고, 식도 경로에 따른 역류량 차이가 수술에 있어 얼마나 중요한지를 검증하는 연구가 필요하다.

4. 결론

본 연구에서는 위장 이식편을 이용한 식도 재건 수술 후 나타날 수 있는 음식물 역류 현상을 식도 접합 수술 경로와 유문 성형 여부에 따라 고찰하였다. 실제 환자들의 CT 데이터를 바탕으로 가시화 모델을 제작하였으며, 상체를 45°뒤로 기울인 상태에서 유문 아래 십이지장에 순간 압력 펄스를 가하였다. 이 때 역류되는 유체의 양과 최대 역류 높이를 측정하였다. 또한, 작동 압력의 크기 및 펄스폭에 따른 영향도 고찰하였다.

그 결과, 역류량은 작동 압력이 클수록, 펄스폭이 길수록 많았고, 유문 성형을 통해 확장을 하면 역류량 증가에 지배적인 요소임을 확인하였다. 전방 및 후방 경로에 의한 수술법의 차이는 유문 성형을 하지 않으면 역류량 차이가 거의 없으나 성형을 하면 전방 경로보다 후방 경로의 역류량이 많았다.

최대 역류 높이는 작동 압력이 크면 증가하며, 유문 성형을 하지 않았을 경우 펄스폭의 증가는 역류 높이 증가에 미약한 영향만 미친다. 그러나 유문 성형을 하게 되면 펄스폭 증가가 역류 높이 증가에 많은 영향을 준다. 짧은 펄스폭에서는 유문 성형을 하면 역류 높이가 성형 이전보다 낮으나, 펄스폭이 길면 반대로 성형 이전보다 역류 높이가 높아진다. 모든 경우에 있어 전방 경로보다 후방 경로를 통한 역류 높이가 높게 나타났다.

후 기

이 연구는 서울과학기술대학교 교내 학술연구비 지원으로 수행되었습니다.

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) 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.
- (4) Lee, J.-I., Choi, S. and Sung, J., 2011, "A Flow Visualization Model of Gastric Emptying in the Intrathoracic Stomach After Esophagectomy," *Ann. Thorac. Surg.*, Vol. 91, pp. 1039~1045.
- (5) Dresner, S. M., Griffin, S. M. and Wayman, J., Bennett, M. K., Hayes, N. and Raimes, S. A., 2003, "Human Model of Duodenogastro-Oesophageal Reflux in the Development of Barrett's Metaplasia," *Br. J. Surg.*, Vol. 90, pp. 1120~1128.
- (6) Shibuya, S., Fukudo, S., Shineha, R., Miyazaki, S., Miyata, G., Sugawara, K., Mori, T., Tanabe, S., Tonotsuka, N. and Satomi, S., 2003, "High Incidence of Reflux Esophagitis Observed by Routine Endoscopic Examination After Gastric Pull-up Esophagectomy," *World J. Surg.*, Vol. 27, pp. 580~583.
- (7) Yamamoto, S., Makuuchi, H. and Shimada, H., Chino, O., Nishi, T., Kise, Y., Kenmochi, T. and Hara, T., 2007, "Clinical Analysis of Reflux Esophagitis Following Esophagectomy with Gastric Tube Reconstruction," *J. Gastroenterol.*, Vol. 42, pp. 342~345.
- (8) Yajima, K., Kosugi, S., Kanda, T., Matsuki, A. and Hatakeyama, K., 2009, "Risk Factors of Reflux Esophagitis in the Cervical Remnant Following Esophagectomy with Gastric Tube Reconstruction," *World J. Surg.*, Vol. 33, pp. 284~289.
- (9) Nishimura, K., Tanaka, T., Tanaka, Y., Matono, S., Murata, K., Shirouzu, K. and Fujita, H., 2010, "Reflux Esophagitis and Columnar-Lined Esophagus After Cervical Esophagogastrostomy (Following Esophagectomy)," *Dis. Esophagus.*, Vol. 23, pp. 94~99.
- (10) Wang, L. S., Huang, M. H., Huang, B. S. and Chien, K. Y., 1992, "Gastric Substitution for Resectable Carcinoma of the Esophagus: An Analysis of 368 Cases," *Ann. Thorac. Surg.*, Vol. 53, pp. 289~294.
- (11) Chattopadhyay, T. K., Shad, S. K. and Kumar, A., 1993, "Intragastric Bile Acid and Symptoms in Patients with an Intrathoracic Stomach After Oesophagectomy," *Br. J. Surg.*, Vol. 80, pp. 371~373.
- (12) Gutschow, C. A., Collard, J. M., Romagnoli, R., Michel, J. M., Salizzoni, M. and Hölscher, A. H., 2001, "Bile Exposure of the Denervated Stomach as an Esophageal Substitute," *Ann. Thorac. Surg.*, Vol. 71, pp. 1786~1791.
- (13) Keet, A. D., 1993, *The Pyloric Sphincteric Cylinder in Health and Disease*, Springer-Verlag, Telos.
- (14) Soffer, E. E., Thongsawat, S. and Ellerbroek, S., 1998, "Prolonged Ambulatory Duodeno-jejunal Manometry in Humans: Normal Values and Gender Effect," *Am. J. Gastroenterol.*, Vol. 93, pp. 1318~1323.
- (15) Kim, J. K., Sung, J., Chang, J. K., Yoo, J. Y and Min, B. G., 2002, "PIV Measurements of Flow Downstream of Polyurethane Heart Valve Prosthesis for Artificial Heart : Pulsatile Flow Experiment," *Trans. of the KSME (B)*, Vol. 26, No. 5, pp. 629~639.