

조기 위암에서 CT Gastrography를 이용한 위점막 표면 거리 측정

경북대학교 의과대학 외과학교실, ¹영상의학과교실, ²ISIS Center, Department of Radiology, Georgetown University Medical Center

최향희 · 정호영 · 유완식 · 엄현규¹ · 이재혁¹ · 최재정² · 김희수² · Kevin Cleary² · Seong Ki Mun²

목적: 위암의 조기발견이 갈수록 많아져서 근래에는 수술 환자에서 조기위암의 비율이 50%를 넘고 있다. 그런데 조기위암은 수술 중 촉각이나 시각에 의해 인지되지 않는 경우가 드물지 않게 있으며 수술 전 위 내시경조차도 병변의 위치에 대한 정확한 정보를 제공하지 못하여 술 중에 절제범위를 결정하는 데 어려움이 있다. 저자들은 이 연구를 통하여 1) CT gastrography를 이용하여 해부학적 경계지점에서부터 조기 위암 병변까지의 생체내 실제의 표면 거리를 측정할 수 있는 소프트웨어를 개발하고 2) 개발된 소프트웨어에 의해 측정된 거리와 술 후 병리 표본에 의해 측정된 거리를 비교하여 수술에서의 유용성을 알고자 하였다.

대상 및 방법: 2004년 1월부터 2005년 9월까지 경북대학교 병원에서 술 전 복부 3차원 CT gastrography를 촬영하고 위 절제술을 시행한 60명의 조기 위암 환자를 대상으로 하였다. 이들은 남자 45명, 여자 15명이었으며 평균 연령은 57.8세였다. 수술 전 컴퓨터 단층촬영은 5 Fr 비위장관을 통해 실내 공기를 흡입시킨 후 시행되었고 이 영상은 절편 두께 0.625 mm의 thin section과 kVp:120, mAs:200의 low dose radiation의 protocol을 적용하였다. 본 연구에서 개발된 표면거리 측정 소프트웨어를 Rapidia 2.8 CT 3차원 재구성 프로그램과 연동하여 3차원 볼륨 렌더링 및 조기 위암 병변에서 유문, 또는 분문까지의 표면 거리를 측정하였고, 술 후 병리 표본에 의해 측정된 거리와 개발된 소프트웨어에 의해 술 전 생체 내에서 측정된 거리 사이의 관계를 평가하였다.

결과: 병소와 유문, 또는 분문 사이의 거리에 대한 병리 표본과 CT gastrography로부터 측정된 거리 간의 차이는 5.04 ± 2.97 mm (range, 0~11 mm)였으며 CT gastrography에 기초한 거리측정은 병리표본에 비하여 18명의 환자에서는 더 길었고 3명의 환자에서는 더 짧았다. CT gastrography로 측정된 술 전 생체 내 표면거리와 술 후 병리 표본에서 측정된 거리 사이에는 유의한 상관관계가 있었다($r=0.995$, $P<0.01$).

결론: 이러한 결과들은 해부학적 경계지점으로부터 조기

위암 병변까지의 표면 거리가 CT gastrography에 의해 정확하게 측정될 수 있다는 사실을 시사한다. 이 기법은 수술적 절제의 적절한 범위를 결정하기 위한 조기 위암의 술 전 위치 결정에 이용될 수 있을 것으로 보인다.

중심 단어: 위암, CT gastrography

서 론

내시경 선별검사의 확대에 따른 위암 조기 발견율의 증가로 최근 우리나라에서 조기위암의 빈도는 전체 위암의 30% 이상, 수술 위암의 50% 이상을 차지하고 있다.(1)

그러나 선별 검사로 널리 이용되고 있는 내시경의 경우 시술 당시 병변의 정확한 위치나 필요한 거리를 측정하는 구체적인 방법이 개발되어 있지 않아 내시경 삽입 정도와 술자의 경험에 따라 병변의 위치나 원하는 거리를 적당히 가늠할 수밖에 없고 따라서 술자 간에 다소의 차이가 있는 것이 사실이다. 또한 내시경은 피검자의 불편감과 협조의 어려움으로 인해 일부 환자에서는 검사를 시행하지 못하거나 시행하더라도 원하는 만큼 세밀한 검사를 할 수 없는 경우가 종종 있다. 특히 조기위암은 이런 내시경 시술 자체에서의 문제점과 대부분 작고 얇은 병변의 특성상 수술 전 위 내시경에서 병변의 위치에 대한 정확한 정보를 얻을 수 없는 경우가 많을 뿐 아니라, 수술 중 촉각이나 시각에 의해 서조차 인지되지 않는 경우가 드물지 않게 있어, 술 중 절제 범위를 결정하는 데 어려움을 겪는 경우가 있다.

일정 수준 이상의 CT와 컴퓨터 시스템이 필요하여 아직까지 일부 한정된 곳에서만 시행되고 있기는 하나 최근 대장이나 뇌혈관 질환의 검사에서 CT 혹은 MRI의 3차원 재구성 영상의 이용이 점차 확대되면서 진단뿐만 아니라 구체적인 수술 계획을 수립하는 데도 큰 도움을 주고 있다. 특히 CT endoscopy는 내장 기관을 원래의 해부학적 위치를 유지한 형태로 전장을 볼 수 있고 술자 외에도 영상을 함께 공유함으로써 좀 더 객관적이고 통합된 의견을 도출할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 아직까지 상부 위장관 특히 위암 환자의 CT 혹은 MRI의 3차원 재구성 영상이 실험 목적

책임저자: 정호영, 대구광역시 중구 삼덕2가 50번지
경북대학교병원 외과, 700-721
Tel: 053-420-5605, Fax: 053-421-0510
E-mail: hychung@knu.ac.kr

접수일 : 2006년 6월 27일, 게재승인일 : 2006년 8월 23일
본 논문의 요지는 2005년 대한위암학회 추계통합학술대회에서 구연하였음.

이 아니라 진단과 치료 계획 수립을 위해 실제로 임상에 적용된 예는 없었으며 따라서 앞서 기술한 내시경의 몇 가지 한계점에 대한 보완법이나 나아가 내시경에 대한 대체 방법으로써의 시도 또한 없었다.

이에 저자들은 CT gastrography를 이용하여 위점막의 두 지점 간 표면 거리를 측정하고, 이를 술 후 병리 표본에 의해 측정된 거리와 비교하여 거리 측정의 유용성을 알아보 고자 하였다.

1959년 최초로 Dijkstra(2)가 그래프 이론과 dynamic programming을 이용하여 수학적인 방식으로 최단 거리를 구하는 방법을 처음으로 제안한 이후 Cohen과 Kimmel(3)을 거쳐 Adalsteinsson과 Sethian(4-6)에 의해 개발된 fast marching method에 이르기까지 영상에서 최단 거리를 구하는 다양한 방법이 제시되었다. 그런데 대표적으로 이용되는 Dijkstra's algorithm과 fast marching method의 경우 Dijkstra's algorithm은 정확한 반면 속도가 느리고 fast marching method는 상대적으로 빠르긴 하지만 덜 정확하고 데이터 양이 많은 등의 각각의 장단점이 있었다.(7) 이에 저자들은 좀 더 정확하면서도 빠른 거리 측정을 위해 기존에 의료 영상에서 많이 이용하던 Dijkstra's algorithm과 정확도에서 유사하면서도 속도면에서 우수한 자체 프로그램 모듈을 개발하여 기존의 상용화된 3차원 영상 재구성 프로그램과 결합하였다.

방 법

이 연구는 2004년 1월부터 2005년 9월까지 경북대학교병원에서 술 전 시행한 복부 CT gastrography에서 조기 위암으로 진단받고 수술 받은 60명의 환자들을 대상으로 하였다. 이들은 남자 45명, 여성 15명이었으며 평균 연령 57.8세였다. 이 기간 동안 본원에서 위암으로 위 절제술을 시행 받은 환자는 561명으로 술 전 진단상 조기 위암 219명(39.0%), 진행성 위암 342명(61.0%)이었다. 이들 중 본원에서 술 전 복부 CT gastrography를 촬영한 경우는 각각 79명(36.1%)과 107명(31.3%)이었는데 타병원에서 복부 CT를 촬영하지 않았던 모든 환자를 대상으로 하였다. 술 전 조기 위암으로 진단 받은 환자 중 술 후 조직검사상 진행성 위암으로 진단된 환자는 8명이었으며 이들은 모두 연구 대상에서 제외되었다. 남은 71명 중 촬영 당시 환자의 움직임이나 자료의 디지털화 과정에서 영상의 질이 좋지 않아 병변 가장자리의 정확한 두 지점을 지정하기 힘들었던 3예와 CT gastrography에서 병변을 확인할 수 없었던 8예 역시 연구에서 제외되었다. 연구 대상에 포함된 조기 위암 60예는 육안형은 type I 2예, type IIa 3예, type IIb 13예, type IIc 39예, type III 3예였다.

수술 전 CT gastrography 촬영은 촬영 전날 자정부터 금식 후 5 Fr 비위장관 카테터를 통해 실내 공기를 500 cc 흡입시킨 후 복와위와 양와위에서 multidetector CT (Lightspeed ul-

tra16[®]:GE)를 이용하여 시행하였고, 0.625 mm의 thin section 과 kVp:120, mAs:200의 low dose radiation의 protocol을 적용하였다. 조영제는 iopromide (Ultravist[®]:Schering Korea)를 용량 2 ml/kg, 속도 1.5 ml/sec로 정맥내 주입하였다. CT 영상의 3차원 볼륨 렌더링은 INFINITT (Seoul, Republic of Korea, <http://www.infinit.com>) 사의 Rapidia 2.8[®] program을 이용하였고, 병변의 원위부에서 유문까지의 표면거리는 A*(8)를 기반으로 하는 자체 개발된 프로그램 모듈(9)을 이용하여 transparent module의 화면에서 병변의 가장 원위부의 한 점과 이 점으로부터 가장 인접한 위치에 있는 유문의 한 점을 각각 클릭함으로써 프로그램에 의해 자동으로 두 지점 간의 표면거리를 구하는 방식으로 한 명의 영상의학과 전문 의사가 측정하였다.

통계학적인 방법으로는 두 군 간의 상관관계를 구하기 위하여 Pearson의 상관계수 방법을 사용하였고 선형회귀분석을 사용하여 관계식을 구하였으며 P값이 0.05 이하일 때를 유의한 것으로 판정하였다.

결 과

3차원 볼륨 렌더링 프로그램 Rapidia 2.8[®]을 이용하여 복부 CT 영상 중에서 위만을 분리하여 위 내벽을 바깥쪽으로 투영시키는 모듈을 사용함으로써 조기위암의 병변을 확인할 수 있었다(Fig. 1). 그 후 같은 화면에 transparent module을 적용하여 보았고, 여기에 표면거리 측정 모듈을 적용하여 자체 개발한 프로그램을 이용하여 유문에서 병변의 원위부까지 위점막 표면을 따라가는 거리를 CT gastrography에서 구현하였다(Fig. 2).

유문에서 병변의 원위부까지 위점막 표면거리는 수술 후 병리표본에서 평균 65.1±32.1 mm, CT gastrography에서 70.4±33.5 mm로 두 군 간의 차이는 5.3±2.9 mm (범위 0~23 mm)였다. CT gastrography로 측정된 위점막 표면거리는 병리 표본에서의 그것보다 51명에서 과대평가되었으며 9명에서 과소평가되었다.

Pearson's correlation method에 의해 분석된 CT gastrography와 병리 표본에서 측정된 표면 거리 사이에는 매우 유의한 상관관계가 있었으며(Fig. 3), 선형회귀분석을 통해 '병리표본에서의 표면거리 = -1.348 + 0.943 × (CT gastrography에서의 표면거리)'라는 식을 유도할 수 있었다.

육안형과 조직형에 따라서 CT gastrography와 병리 표본에서의 유문에서 병변의 원위부까지 표면거리의 차이를 비교하였을 때 육안형에 따라서는 비교적 평탄한 형에서보다는 용기, 함몰 등의 병변의 구별이 정확한 형에서 두 군 간의 거리 차이가 적었으며, 조직형에 따라서는 분화도가 좋은 것일수록 두 군 간의 거리 차이가 적었다. 그러나 육안형과 조직형에 따라서 통계학적인 유의성을 가지는 차이는 없었다(Table 1).

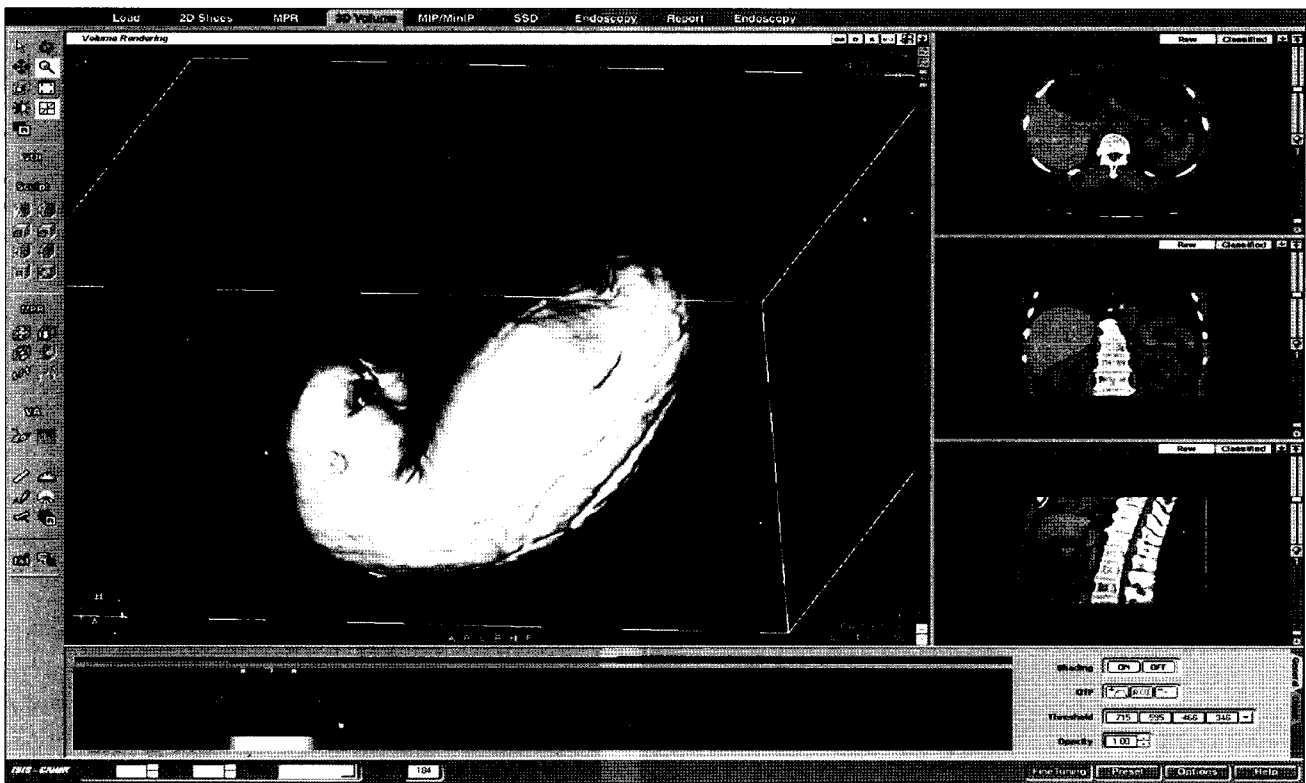


Fig. 1. General module of 3D volume rendered stomach by Rapidia 2.8[®] that is the surface of projection of gastric inner surface including EGC IIc.

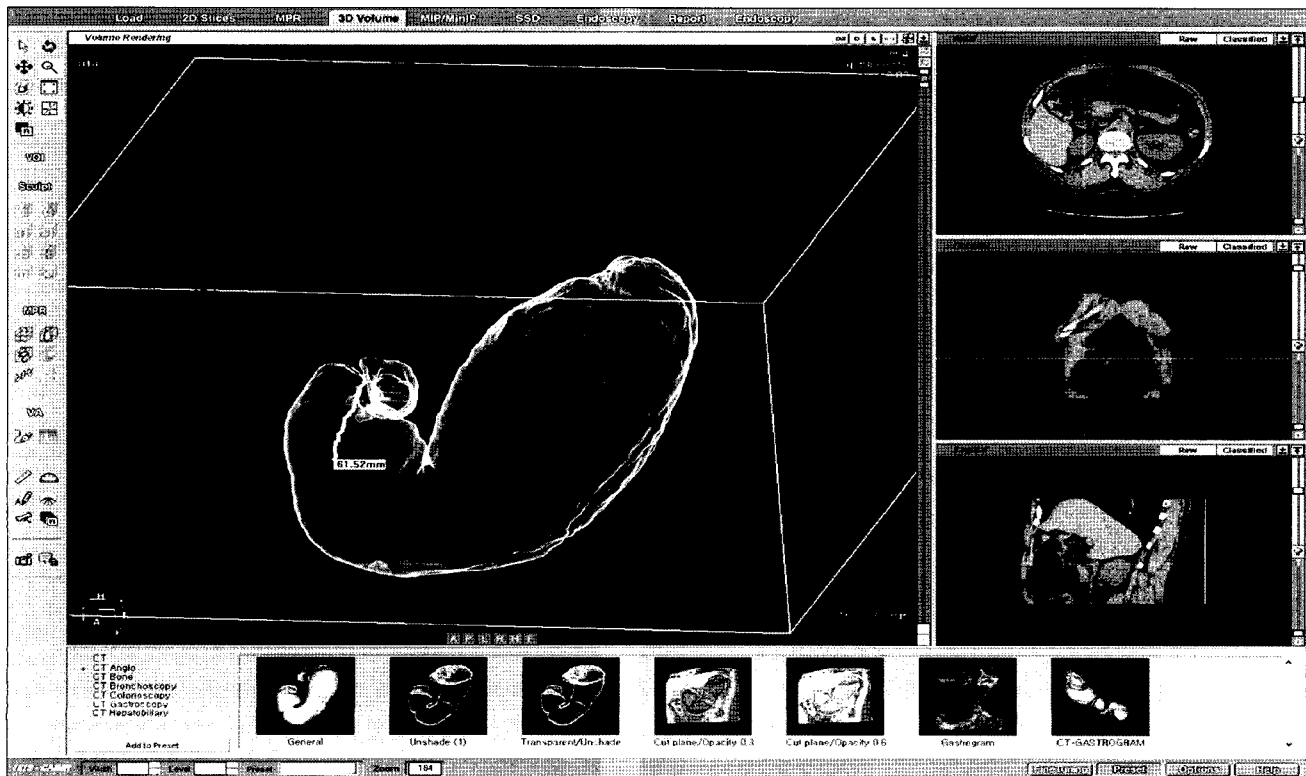


Fig. 2. Transparent module of Fig. 1. The surface distance from the pylorus to the EGC can be measured by the developed software.

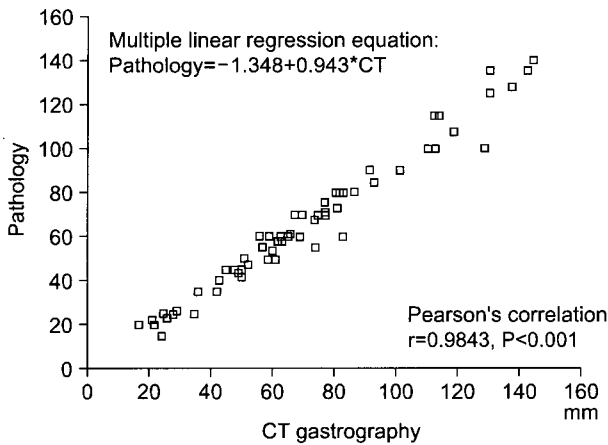


Fig. 3. Comparison of CT gastrography-based distance with pathologic distance from pylorus to EGC.

Table 1. Difference of surface distance between CT gastrography and pathologic specimens from distal margin of the EGC to pylorus

	Numbers	Differences of distance (mm)
Gross type		
Type I	2	4.16
Type IIa	3	5.66
Type IIb	13	5.65
Type IIc	39	6.45
Type III	3	2.88
Differentiation		
Well	14	4.57
Moderate	18	4.70
Poor	18	8.08
Signet ring cell	10	6.48

고찰

의료 영역에서 진단목적의 영상을 이용하여 두 지점 간의 삼차원 거리를 구하는 경우에는 그 목적상 직선거리를 필요로 하였거나 또는 대부분의 경우 직선거리로써 충분하였다. 그러나 특정한 경우에는 인체의 피부, 인체 내 장기의 표면 또는 내면을 따라가는 표면 거리가 필요한 수가 있는데 그동안 인체에서는 두 지점 간의 표면상의 최단거리를 구하는 기법을 뇌 표면 등에 적용하여 연구한 예는 있었으나(10) 수술 계획을 목적으로 복강 내에 적용시킨 예는 없었다.

1959년 Dijkstra(2)가 그래프 이론과 dynamic programming을 이용하여 수학적인 방식으로 최단 거리를 구하는 방법을 처음으로 제안한 이후 Cohen과 Kimmel(3)은 1997년 2차원 영상에서 두 개의 고정된 지점 사이에서의 최단 거리를 Eikonal 방정식을 통한 front propagation 방정식을 이용하여 구하는 방법을 개발하였다. 1995년 Adalsteinsson과 Sethian(4)이 level-set이라 불리는 새로운 공식을 통해 좀 더 빠르고 효과적으로 최단 거리를 구하는 방법을 개발하였으며 이것은 1996년 Sethian(5)에 의해 이른바 fast marching method라 불리는 좀 더 구체적인 방법으로 발전하였다. 이후 Cohen과 Kimmel의 방식을 3차원 영상에서 역시 적용할 수 있게 되면서 3차원 영상에서의 최단 거리를 구하는 문제를 해결할 수 있게 되었다.(7) 현재 사용되는 3차원 영상에서 두 지점 간의 표면상의 최단 거리를 구하는 대표적인 방법으로는 Dijkstra's algorithm과 fast marching algorithm을 들 수 있는데, Dijkstra's algorithm의 경우 정확도에서는 우월하지만 속도가 느린 단점이 있고, fast marching method의 경우 속도는 빠르지만 정확도가 떨어지고 원하는 거리를 측정하기 위해서는 훨씬 많은 결절점을 거쳐야만 하는 프로그램상의 약점으로 인해 데이터 양이 방대한 단점이 있었다.(11,12) 이

Table 2. Experimental results of search algorithms performed on CT volumes

Dataset	Algorithms	Visted nodes	Length obtained (mm)	Calculated time (second)
Abdominal CT (512×512×396 voxels, 12-bits per voxel)	A*	768,283	334.904	7.39
	Dijkstra	6,147,055	334.904	47.57
	Fast marching	5,168,005	355.028	3.57
Stanford bunny (512×512×362 voxels, 12-bits per voxel)	A*	515,694	147.742	3.83
	Dijkstra	3,366,799	147.742	21.96
	Fast marching	2,804,579	162.768	3.83
Swine CT (512×512×125 voxels, 12-bits per voxel)	A*	13,291	63.253	0.80
	Dijkstra	226,033	63.253	1.77
	Fast marching	195,797	65.559	0.33

에 비해 이번에 저자들이 채택한 A*알고리즘(8)을 기반으로 한 것은 Dijkstra's algorithm에 비해 속도는 약 6배 정도 빠르면서 정확도는 유사한 것으로 확인된 바 있다.(9)(Table 2)

본 연구에서 CT gastrography로 측정된 위 점막의 표면거리는 60명 중 51명에서 병리표본에서의 그것보다 과대평가되었는데 이것은 병리 표본에서 발생한 수축 현상이 중요한 이유로 생각된다. Goldstein 등의 대장 절제술 후 절제연의 길이에 대한 연구에서도 고정 후 측정된 체외 길이가 수술 후 집도의에 의해 곧바로 측정된 생체내 길이의 57% 밖에 미치지 못함을 지적한 바 있었다(13). 반면 나머지 9명의 예에서 과소평가된 것에 대해서는 명확한 근거를 추정하기가 힘들지만 CT를 촬영할 당시 상대적으로 강한 위의 연동작용에 의해 실제보다 적은 볼륨으로 촬영되었을 가능성을 생각해 볼 수 있겠다. 그러므로 향후에는 CT 촬영 시에 평활근 완화제를 사용하는 등의 방법을 이용하여 위장관의 운동이 가능한 최소한으로 발생했을 때 거리를 측정하고, 그것을 수술장에서 위절제 직후에 수축이 최소한으로 일어났을 때의 절제 표본에서 구한 거리와 비교하는 방법이 정확도를 평가하는 데 더욱 도움이 될 것으로 생각된다.

본 연구는 위점막 표면거리 측정에 있어서 자체 개발한 프로그램의 정확성과 그것을 이용한 수술 계획 수립에서의 유용성을 알아보는 데 주안점을 두었는데 실제로 임상에서는 위절제의 범위를 결정하기 위하여 유문에서 병변의 원위부까지의 거리보다는 식도-위 연결부위에서 병변의 기시부까지의 거리를 측정하는 것에 더 큰 의미가 있을 것이다. 그러나 이 경우에는 술 후 병리 표본에서 식도-위 연결부위로부터 병변의 기시부까지의 거리를 측정할 수 있는 위 전절제술을 대상으로 해야하므로 향후 조기위암에서 CT gastrography를 하고 위 전절제술을 시행한 증례가 많아지면 이에 대한 연구가 다시 따라야 할 것으로 생각된다.

실제로 아직까지 선별검사로 가장 널리 이용되고 있는 것은 위내시경이며,(14-16) 특히 조기위암은 CT에서 병변을 확인하기가 힘든 경우가 많기 때문에 위내시경에서 얻은 정보에 전적으로 의존해야 하는 경우가 많다. 현재까지 내시경상에서 해부학적 경계지점 간 혹은 병변과의 거리를 측정할 시도는 없었고 이런 연구가 위의 연동운동 및 기술적인 측면에서 많은 어려움이 있을 것으로 예상되지만 차후 내시경상 측정된 표면거리와 실제 표본에서의 거리, 그리고 CT gastrography에서 얻은 거리를 모두 같이 비교해 본다면 그 유용성 및 정확도를 평가하고 실제 임상에 적용하는데 큰 도움이 될 것으로 생각된다.

결 론

본 연구는 CT gastrography에 의해 해부학적 경계지점인 유문으로부터 조기 위암의 병변까지 위점막 표면을 따라가는 거리가 자체 개발된 거리 측정 기법을 이용하여 비교적

정확하게 측정될 수 있다는 사실을 시사하며, 아울러 이 기법은 수술 전 조기위암의 위치 결정에 이용되어 수술적 절제의 적절한 범위를 결정하는 데 도움을 줄 수 있을 것으로 생각된다.

REFERENCES

1. Jung HC. Early screening of gastric cancer. Korean J Gastroenterol 2003;1:S72-S78.
2. Dijkstra EW. A note on two problems in connection with graphs. Numerische Mathematic 1959;1:269-271.
3. Cohen LD, Kimmel R. Global minimum for active contour models: a minimal path approach. International Journal of Computer Vision 1997;24:57-58.
4. Adalsteinsson D, Sethian JA. A fast level set method for propagating interfaces. Journal of Computational Physics 1995;118:269-277.
5. Sethian JA. A fast marching level set method for monotonically advancing fronts. Proc Natl Acad Sci 1996;93:1591-1595.
6. Sethian JA. Level set methods: evolving interfaces in geometry, fluid mechanics, computer vision and materials sciences. Cambridge university 1999.
7. Deschamps T, Cohen LD. Fast extraction of minimal paths in 3D images and applications to virtual endoscopy. Med Image Anal 2001;5:281-299.
8. Hart PE, Nilsson NJ, Raphael B. A Formal basis for the heuristic determination of minimum cost paths. IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics SSC-4 1968;2:100-107.
9. Kim HS. The minimal geodesic search on voxel-based surfaces. Master thesis, Kyungpook National University 2005.
10. Rettmann ME, Tosun D, Tao X, Resnick SM, Prince JL. Program for assisted labeling of sulcal regions (PALS): description and reliability. Neuro 2005;24:398-416.
11. Dechter R, Pearl J. Generalized best-first search strategies and the optimality of A*. Journal of the Association for Computing Machinery 1985;32:505-536.
12. Atallah MJ, ed. Algorithms and Theory of Computation Handbook. Denver: CRC, 1998.
13. Goldstein NS, Soman A, Sacksner J. Disparate surgical margin lengths of colorectal resection specimens between in vivo and in vitro measurements. The effects of surgical resection and formalin fixation on organ shrinkage. Am J Clin Pathol 1999;111:349-351.
14. Mercer DW, Robinson EK. Stomach. In: Townsend CM, Beauchamp RD, Evers BM, Mattox KL, eds. Sabiston Textbook of Surgery. 17th ed. Philadelphia: Elsevier Saunders, 2004.
15. Cnnizzaro R, Fornasari M, Lacchin T. Endoscopic diagnosis and staging of gastric tumors. Suppl Tumori 2003;2:S16-S18.
16. Han JY, Son H, Lee WC, Choi BG. The correlation between gastric cancer screening method and the clinicopathologic features of gastric cancer. Med Oncol 2003;20:265-269.

= Abstract =

Measurement of the Mucosal Surface Distance in the Early Gastric Cancer Using CT Gastrography

Hyanghee Choi, Ho Young Chung, Wansik Yu, Hun Kyu Ryeom¹, Jae Hyuk Lee¹, Jae Choi², Hee-Su Kim², Kevin Cleary² and Seong Ki Mun²

Departments of Surgery and ¹Radiology, Kyungpook National University Hospital, Daegu, Korea, ²ISIS Center, Department of Radiology, Georgetown University Medical Center, Washington D.C., USA

Purpose: Recently, the incidence of early gastric cancer (EGC) patients is rapidly increased in Korea. However, they're often not perceptible by surgical palpation or inspection. The aim of this study is 1) to develop a software that can locate the tumor and measure the mucosal distance from an anatomic landmark to the tumor using CT gastrography and 2) to compare the distance measured by the developed software with the distance measured by the pathologic findings.

Materials and Methods: Between January 2004 and September 2005, sixty patients (male=45, female=15, mean 57.8 years old) estimated for EGC with preoperative CT scans and undergone gastrectomies in Kyungpook National University Hospital were enrolled in this study. Preoperative CT scans were performed after insufflations of room air via 5 Fr NG tube. The scans included the following parameters: (slice thickness/reconstruction interval: 0.625 mm, kVp: 120, mAs: 200). 3D volume rendering and measurement of the surface distance from the pylorus to the EGC were performed using the developed software.

Results: The average difference between the lesion to pylorus distances measured from pathologic specimens and CT gastrography was 5.3 ± 2.9 mm (range 0~23 mm). The lesion to pylorus distance measured from CT gastrography was well correlated with that measured from the pathologic specimens ($r=0.9843$, $P < 0.001$).

Conclusion: These results suggest that the surface distance from an anatomic landmark to the EGC can be measured accurately by CT gastrography. This technique could be used for preoperative localization of early gastric carcinomas to determine the optimal extent of surgical resection. (**J Korean Gastric Cancer Assoc 2006;6:161-166**)

Key Words: Gastric cancer, CT gastrography