

두경부 종물의 3차원 재건 영상에서, 원형 경계선 중첩을 이용한 경계선 추출법의 응용

인제대학교 의과대학 상계백병원 이비인후과학교실
유 영 삼

= Abstract =

The Application of Circular Boundary Overlapping in 3-D Reconstruction of Neck Tumors

Young Sam Yoo, MD

Department of Otolaryngology Head and Neck Surgery, Sanggye Paik Hospital, College of Medicine,
Inje University, Seoul, Korea

Background and Objectives : Boundary detection and drawing are essential in 3D reconstruction of neck mass. Manual tracing methods are popular for drawing head and neck tumor. To improve manual tracing, circular boundaries overlapping was tried. **Materials and Methods** : Twenty patients with neck tumors were recruited for study. Representative frames were examined for shapes of outline. They were all single closed curves. Circular boundaries were added to fill the outlines of the tumors. Inserted circles were merged to form single closed curves (Circular boundary overlapping, CBO). After surface rendering, 3 dimensional images with volumes and area data were made. Same procedures were performed with manual tracing from same cases. 3D images were compared with surgical photographs of tumors for shape similarity by 2 doctors. All data were evaluated with Mann-Whitney test ($p < 0.05$). **Results** : Shapes of boundaries from CBO were similar with boundaries from manual tracing. Tumor outlines could be filled with multiple circular boundaries. While both boundary tracing gave same results in small tumors, the bigger tumors showed different data. Two raters gave the similar high scores for both manual and CBO methods. **Conclusion** : Circular boundary overlapping is time saver in 3 dimensional reconstruction of CT images.

KEY WORDS : 3D reconstruction · Neck tumor.

서 론

CT를 이용하여 신체의 정상적인 구조물 혹은 병적인 상태의 촬영 후 이를 3차원 재건 영상으로 만들어 여러 가지 용도로 활용할 수 있다. 정상 해부학적인 구조들을 보고 교육시키는 도구로 사용하는 것이 가장 많고, 신체의 움직임을 모의실험을 통해 알아보는데 응용되기도 한다. 또한 정

형외과에서는 인공관절의 제작을 위한 기초 연구로도 사용되는 등 다양하게 사용되고 있다.¹⁻⁷⁾ 이는 CT로 촬영한 자료를 바탕으로 만들어지고 있고 각 영상에서 필요한 부위의 가장 외곽의 경계선을 수학적 방법(역치로 이야기한다)으로 규정지어 경계를 하나의 선으로 그어 잇고(경계선 추출, boundary detection이라 한다), 필요한 영역의 모든 사진에서 추출한 경계선 들을 입체적으로 중첩 나열하여 필요한 3차원 입체 영상을 만들게 된다(Surface rendering) 경계 추출에서 가장 중요한 것은 경계선을 중심으로 음영이나 색깔 변화가 명확할수록 좋은데 이런 이유로 정형외과의 수지 분야에서 많은 연구가 있게 된 것 같다. 즉 수지부위는 골조직과 연부 조직으로만 이루어지고 골부분의 비중

교신저자 : 유영삼, 139-707 서울 노원구 상계7동 761-1
인제대학교 의과대학 상계백병원 이비인후과학교실
전화 : (02) 950-1104 · 전송 : (02) 935-6220
E-mail : entyoo@empal.com

이 높은 편이고 구조적으로도 복잡하지 않아 골 부분의 음영을 중심으로 경계를 찾으면 수월하게 3차원 재건 영상 제작이 가능하다. 그에 반해 두경부 영역은 두개골의 돌기와 공간들이 많고 골 자체의 모양도 복잡하다. 정상적인 구조물들도 골로 둘러싸이거나 복잡한 구조물들과 같이 있어 조영제를 사용한 영상을 보더라도 간단한 분석이 쉽지는 않다. 이런 복잡한 구조물을 가진 두경부에 종물이 생기면 어느 정도의 크기가 되기 전에는 발견이 힘들고 발견되어도 입체적인 모양이나 구조를 분석하기 쉽지 않다. 다행히 neck CT나 MRI, PET CT 등의 발달로 입체적인 영상을 조합할 수 있는 자료들은 많이 축적된 편이다. 최근 neck CT를 이용하여 다양한 형태로 3차원 재건 영상을 만들어 사용하는 연구들이 늘고 있다. 기관지의 구조를 구명하거나 후두의 입체 영상을 교육에 응용하거나 후두에서도 피열연골의 수술 후 움직임을 측정하려는 시도들이 그런 것이다. 임상적으로는 하악골의 종물 수술이나 심한 외상에서 큰 혈관 손상 정도를 추정하는 방법으로도 이 방법들이 응용되고 있다.⁸⁻¹²⁾

대부분의 방법들은 방사선과의 CT 장비와 같이 움직이는 소프트웨어를 활용하거나 복잡한 수학적인 알고리즘을 이해할 수 있는 공학도의 도움을 빌어야 시행 가능한 것들이다. 모든 장비를 다 갖추고 수학적인 지식이 있다 하더라도 삼차원 입체 영상을 만들어 보려면 CT 자료의 필요한 부위에서 전부 경계선을 추출하여 재조합해야 한다. 대부분의 논문에서 자동적인 추출법을 사용하여 한다고 하지만 실제로는 수작업으로 해야 하는 경우가 더 많다고 보면 된다. 결과물은 평면에 입체 사진을 보여주지만 이면에는 반복적인 작업이 필요한 것이다. 저자는 앞서 언급한 수작업을 피할 수 없어도 단순화할 수 있는 방법을 찾고자 경부 종물 환자의 axial CT를 분석하였고 이를 바탕으로 종물의 단면 모양을 확인하고 경계선을 추출한 후 이 경계선 내부를 원형으로 채울 수 있는 지를 확인하려 한다. 다음으로 기존에 수동으로 종물의 경계를 추출하는 방법에 추가로 원형으로 경계를 채워서 종물의 경계를 그릴 수 있는지 알아보고 그 효용성을 검증해보고자 한다.

재료 및 방법

경부 종물로 수술을 받은 20명의 환자를 대상으로 후향적인 검토로 연구를 진행하였다. 환자는 남자 9명 여자 11명으로 평균연령은 46.05세였다.

질병은 갑상선 종물 3예, 이하선종물 8예, 새성낭종 2예, 지방종 1예, 결핵성 임파절염 1예, 악하선 타석증 2예, 전이성암종 2예, 혈관종 1예였다(Table 1 and 2).

모든 대상에서 neck CT를 촬영하여 기본 자료로 활용하였다. 실험 대상에서 촬영한 axial CT의 모든 frame은 di-

Table 1. Diagnosis of cases

Diagnosis	No of cases
Thyroid tumor	3
Tbc	1
SMG infection	2
Parotid tumor	8
Meta	2
BCC	2
Hemangioma	1
Lipoma	1
Total	20

Table 2. Patients profile

Sex	Number
Male	9
Female	11
Total	20

com형식으로 저장하여 사용하였다. CT기종은 Toshiba aquilion으로 촬영은 Neck-helical-CE-3-phase로 120 KVP, Exp 100, ST=2, Z=1, L=50, W=300의 조건을 기본으로 하였다. Axial frame은 정수리에서 흉골(sternum) 상부(쇄골부위)까지 촬영하였고 2mm간격의 자료를 받았다.

CT자료를 기반으로 하여 영상분석 및 삼차원 재건 소프트웨어는 3-D doctor(Ablesoftware, USA)를 사용하였고 결과로 나오는 영상의 편집은 Gimp(freeware)를 이용하였다. 본 연구에서는 종물의 외면 경계(mass boundary)를 추출하여 분석 자료로 만들었다. 종물이 1개일 경우는 보이는 모든 frame에서 경계를 추출하여 분석자료로 삼았고 종물이 여러 개인 경우 가능한 한 모든 종물에서 경계를 추출하였다. 모든 종물의 경계 추출은 수작업으로 진행하였고 필요 시 확대, 복사 등의 기능을 활용하였다.

1. 종물의 Axial CT 분석

CT자료 중 새성낭종, 갑상선 종물, 결핵성 임파절염, 이하선 종양에서 각각 대표적인 axial CT 사진을 한 장씩 선택하여 3D-doctor에서 제공하는 수동경계 추출(boundary editing)기능을 이용하여 종물의 경계선을 그린다. 다음으로 종물의 동일한 새로운 사진을 불러와 종물의 경계를 채울 수 있도록 여러 크기와 여러 개의 원형이나 타원형 경계선을 그려 넣는다. 가능한 한 종물의 경계 안에 빈틈이 없도록 한다. 결과적으로 종물의 사진 안에 크고 작은 원과 타원들이 조밀하게 차있는 그림이 얻어진다. 3D-doctor의 merge(병합)기능을 이용하여 조밀하게 차있는 원들을 한 덩어리의 커다란 단일 폐곡선이 만들어지도록 한다. 이 과정을 저자는 원형 경계선 중첩법(Circular boundary overlapping, CBO)이라 부르겠다. 앞서 수동경계 추출로 그린 경계선과 원형경계 중첩법으로 그린 경계선

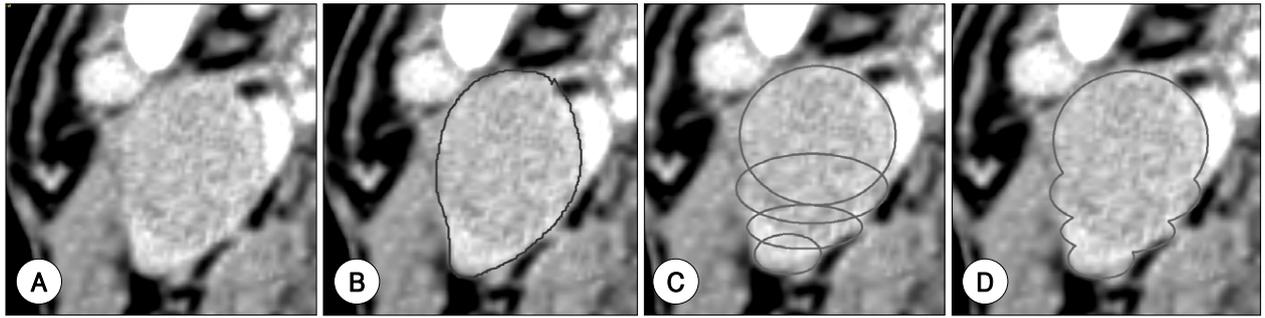


Fig. 1. A : Branchial cleft cyst. B : Manual tracing. C : Circular boundaries are overlapped inside the tumor shadow. D : Circles are merged to form single closed curve. Final outlines are similar between B and D.

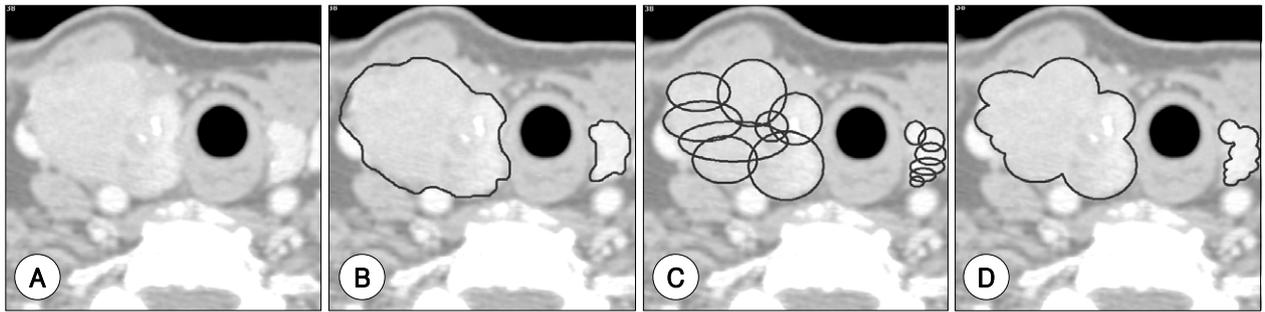


Fig. 2. A : Thyroid tumor. B : Manual tracing. C : Circular boundaries are overlapped inside the tumor shadow. D : Circles are merged to form single closed curve. Final outlines are similar between B and D.

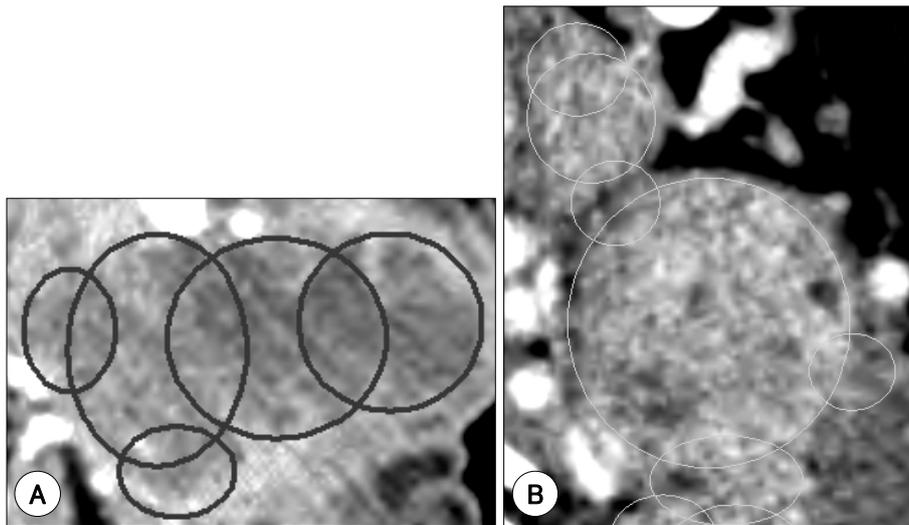


Fig. 3. A and B : Circular boundaries are overlapped inside the multiple tumor shadow.

간의 모양이나 크기 등이 유사한지 육안으로 검토를 한다 (Figs. 1-3).

2. 수동경계 추출법과 원형 경계 중첩법으로 각각 삼차원 재건 영상을 만든 후 부피, 면적, 모양을 비교

다음 단계로 20개의 종물 CT에서 종물의 경계선(외곽선)을 수동으로 그려 자료를 확보 후 surface rendering을 하여 3차원 입체영상을 만들고 이를 그림파일로 저장한다. 위의 입체 영상에서 종물의 부피와 표면적을 계산한다.

다시 20개의 종물 CT에서 종물의 경계선(외곽선)을 앞의

CBO법과 같이 원형 혹은 타원형으로 채워 그린 후 merge를 시행하여 경계선을 완성 후 surface rendering을 하여 3차원 입체영상을 만든 후 그림파일로 저장한다. 위의 입체 영상에서 종물의 부피와 표면적을 계산한다.

종물의 경계를 추출하는 수동추출 방법과 CBO방법의 결과를 비교하고자 각각의 방법을 이용하여 같은 대상의 CT에서 volume과 surface area를 3d-doctor에서 계산하였고 이를 바탕으로 수동 경계 추출법과 CBO법을 통계학적으로 분석하였다. 3차원 재건 영상이 실제 적출물 사진과 유사한지를 비교하고자 앞서 만든 영상과 적출물 사진을 인

Table 3. Similarity score sheet between 3D and specimen

Case no	Score table	
	Manual boundary tracing	Circular boundary overlapping
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
Grade 1	Very different	
Grade 2	Different	
Grade 3	Vague	
Grade 4	Same	
Grade 5	Very same	

쇄하여 2명의 이비인후과 의사에게 평가서를 작성하도록 하였다(Table 3, Fig. 4).

수동 경계선 추출과 원형경계선 중첩으로 만든 3차원 영상의 volume과 area의 차이와 재건영상의 유사성 평가 점수의 차이는 SAS, Enterprise Guide 4.2(SAS, USA)를 사용하여 Mann Whitney test로 검증하였고 통계적인 유의 수준은 $p < 0.05$ 로 정하였다.

결 과

새성낭종, 갑상선 종물, 결핵성 임파절염, 이하선 종물의 대표적인 CT사진을 분석해보면 단일 종물인 경우 단일 폐곡선(Simple closed curve)형태이고 원형이나 타원형에 가까운 모양이 많았다. 종물이 여러 개(multiple)인 경우 혹은 여러 개가 합쳐져 있는 경우도 원형이나 타원형 경계선을 여러 개 겹쳐 사용하면 충분히 메꾸어졌다. 또한 병합(Merge) 기능을 이용하면 여러 개의 원형 종물이 하나의 단일 폐곡선 형태로 만들어져서 그 모양이 수동으로 경계 추출한 모습과 유사하였다(Figs. 1, 2 and 3)

총 20예의 삼차원 재건 영상에서 수동 경계 추출 자료의

평균 부피는 $2,494\text{mm}^3$, 원형경계선 중첩 자료의 평균 부피는 $2,555\text{mm}^3$ 로 통계적으로 유의미한 차이가 있었다($p = 0.0073$). 수동 경계 추출 자료의 평균 표면적은 $6,074\text{mm}^2$ 였고 원형경계선 중첩 자료의 평균 표면적은 $6,325\text{mm}^2$ 였고 통계적으로 유의미한 차이가 있었다($p = 0.0049$) (Table 4).

수동 경계 추출 자료의 평균 부피가 가장 작은 종물부터 큰 종물까지 11예를 모아 다시 분석을 하면 수동 경계 추출 자료의 평균 부피는 $11,419\text{mm}^3$, 원형경계선 중첩 자료의 평균 부피는 $11,881\text{mm}^3$ 로 통계적으로 유의미한 차이가 없었다($p = 0.0674$). 수동 경계 추출 자료의 평균 표면적은 $3,257\text{mm}^2$ 였고 원형경계선 중첩 자료의 평균 표면적은 $3,378\text{mm}^2$ 였고 통계적으로 유의미한 차이가 없었다($p = 0.0674$) (Table 5).

수동 경계 추출 자료의 평균 부피가 11번째인 종물부터 부피가 가장 큰 종물까지 10예를 모아 다시 분석을 하면 수동 경계 추출 자료의 평균 부피는 $39,903\text{mm}^3$, 원형경계선 중첩 자료의 평균 부피는 $40,630\text{mm}^3$ 로 통계적으로 유의미한 차이가 없었다. ($p = 0.0840$). 수동 경계 추출 자료의 평균 표면적은 $9,071\text{mm}^2$ 였고 원형경계선 중첩 자료의 평균 표면적은 $9,448\text{mm}^2$ 였고 통계적으로 유의미한 차이가 있었다($p = 0.0488$) (Table 6).

수동 경계 추출 영상과 원형경계선 중첩 영상을 실제 적출한 종물 사진과 비교하여 유사성을 평가한 자료를 보면 평가자 1은 수동 경계 추출 영상에 평균 4점, 원형경계선 중첩 영상에 평균 4.05점을 주었고 통계적으로 유의미한 차이가 없었고($p = 0.8469$) 평가자 2은 수동 경계 추출 영상에 평균 4점, 원형경계선 중첩 영상에 평균 3.8점을 주었고 통계적으로 유의미한 차이가 없었다($p = 0.3652$). 각각의 평가 성적 간에 여러 조합으로 통계학적인 분석을 해보았는데 모두 통계적으로 유의미한 차이가 없었고 따로 자료는 제시 안 했다.

고 찰

임상적으로 두경부 종물의 부피를 측정하고 이를 활용하는 경우가 많이 있고 연구 목적의 활용은 의용공학이나 방사선과에 많이 이루어지고 있으며 복잡한 수학적 계산을 거치는 경우가 많다.¹³⁻¹⁶⁾

우리가 흔히 접할 수 있는 삼차원 재건 영상은 CT나 MRI 자료를 바탕으로 volume rendering이나 surface rendering의 방법을 거쳐서 만들어 지고 있고¹⁷⁻²⁰⁾ 최근에는 가상내시경(virtual endoscopy) 기술을 이용하여 장 내시경을 CT만 촬영하여 만들 수 있는 기술까지 개발되어 상용화되고 있다.²¹⁻²²⁾ 더구나 심장의 입체영상을 심혈관의 모습과 함께 보여 주는 정도로 CT의 촬영 속도와 자료 처리 속도가 빨라

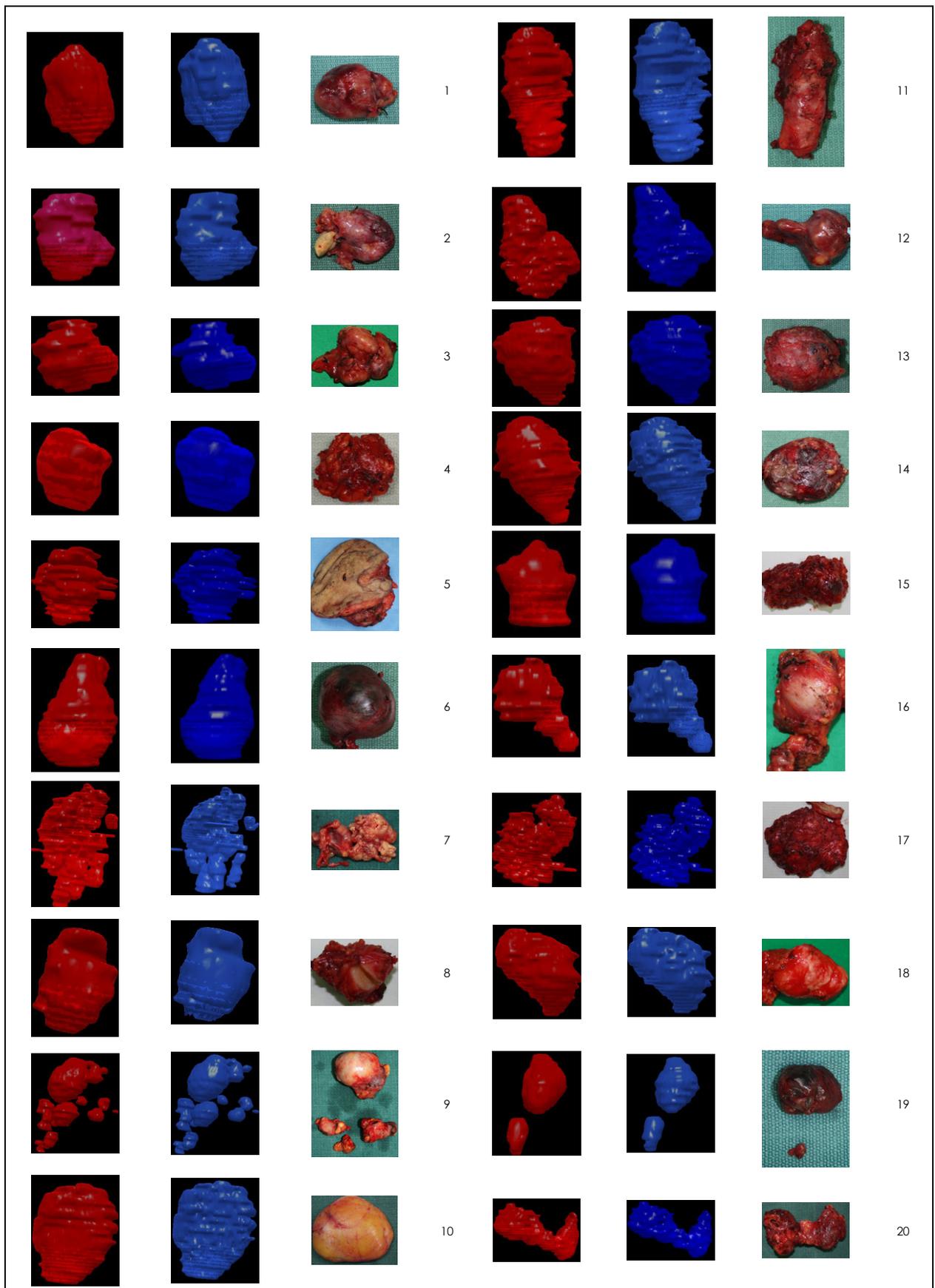


Fig. 4. 3D comparison chart. 1–20, Case number, Red ; manual tracing, blue ; Circular boundary overlapping, full color : surgical specimen.

Table 4. Volume and area of the 3D reconstructed masses (total cases)

Case No	Vol_Man	Vol_Cbo	Area_Man	Area_Cbo
1	489	505	327	328
2	2943	3016	1160	1147
3	3736	3863	1423	1497
4	5674	6581	1776	2035
5	8166	8744	2522	2702
6	9697	9403	2927	2755
7	10997	10236	3105	3011
8	12218	13542	3482	3792
9	22396	23778	5556	5990
10	23569	25047	8494	8760
11	25728	25980	5052	5146
12	28167	28567	5881	6121
13	30862	33050	6315	6963
14	31415	33302	7076	7113
15	34274	35059	8395	8897
16	35417	35715	11595	11929
17	36362	38801	8360	9229
18	46619	42809	14036	13298
19	58254	58888	9127	10238
20	71933	74128	14869	15550
Average	24946	25551	6074	6325

P=0.0073

P=0.0049

vol_man : volume of manual tracing, vol_cbo : volume of circular boundary overlapping, area_man : area of manual tracing, area_cbo : area of of circular boundary overlapping. Units. volume=mm³, area=mm²

Table 5. Volume and area of the 3D reconstructed masses (case 1-11, increasing order of vol_man)

Case no	Vol_man	Vol_cbo	Area_man	Area_cbo
1	489	505	327	328
2	2943	3016	1160	1147
3	3736	3863	1423	1497
4	5674	6581	1776	2035
5	8166	8744	2522	2702
6	9697	9403	2927	2755
7	10997	10236	3105	3011
8	12218	13542	3482	3792
9	22396	23778	5556	5990
10	23569	25047	8494	8760
11	25728	25980	5052	5146
Average	11419	11881	3257	3378

P=0.0674

P=0.0674

vol_man : volume of manual tracing, vol_cbo : volume of circular boundary overlapping, area_man : area of manual tracing, area_cbo : area of of circular boundary overlapping. Units, volume=mm³, area=mm²

졌다. 영상재건은 CT를 촬영하는 고사양의 컴퓨터에서만 가능했지만 현재는 일반 데스크탑 컴퓨터에서도 쉽게 할 수 있게 되었다. 더구나 NIH의 지원을 받은 연구자들이 다양한 무료 소프트웨어를 배포하고 있는데 이들은 사용이 아주 복잡하거나 아주 단순해서 실제로는 입체영상을 만들어 보는 정도로만 활용이 가능해 보이고 복잡한 소프트웨어의

Table 6. Volume and area of the 3D reconstructed masses (case 11-20, increasing order of vol_man)

Case no	Vol_man	Vol_cbo	Area_man	Area_cbo
11	25728	25980	5052	5146
12	28167	28567	5881	6121
13	30862	33050	6315	6963
14	31415	33302	7076	7113
15	34274	35059	8395	8897
16	35417	35715	11595	11929
17	36362	38801	8360	9229
18	46619	42809	14036	13298
19	58254	58888	9127	10238
20	71933	74128	14869	15550
Average	39903	40630	9071	9448

P=0.0840

P=0.0488

vol_man : volume of manual tracing, vol_cbo : volume of circular boundary overlapping, area_man : area of manual tracing, area_cbo : area of of circular boundary overlapping. Units, volume=mm³, area=mm²

경우는 별도의 연구가 필요한 상황이다.

실제로 상업용 소프트웨어를 사용하더라도 마우스만 가지고 경계선을 그리는 것이 수월하지 않다. 추가로 Pen tablet이라는 전자 펜을 갖추어야 편리하게 작업을 할 수 있다. 저자가 원형 경계선 중첩법을 고안한 이유는 마우스 작업을 하더라도 일일이 수작업으로 경계를 따라 그리는 것 보다는 대부분의 소프트웨어의 경계선 편집 기능에 있는 원형이나

Table 7. Similarity score by two raters

Case no	Manual-1	CBO-1	Manual-2	CBO-2
1	4	5	4	4
2	5	4	4	4
3	5	3	3	3
4	4	4	4	4
5	1	2	2	1
6	5	4	4	4
7	3	2	2	3
8	4	5	5	4
9	5	4	4	5
10	5	5	5	5
11	2	4	4	2
12	4	5	5	4
13	4	4	4	4
14	4	5	5	4
15	5	5	5	5
16	2	3	3	2
17	4	5	5	4
18	4	4	4	4
19	5	4	4	5
20	5	4	4	5
Average	4	4.05	4	3.8

P=0.8469

P=0.3652

Manual-1 : score by rater1 for manual tracing CBO-2 : score by rater1 for circular boundary overlapping, Manual-2 : score by rater2 for manual tracing, CBO-2 : score by rater2 for circular boundary overlapping

타원형 그리기 기능을 활용하고자 함이었다. 즉 마우스로도 원형이나 타원형은 drag-and-drop만으로 그릴 수 있고 이를 여러크기로 여러개를 종물의 경계선 안에 그려 넣고 나중에 하나로 합치면(Merge) 수동으로 일일이 그린 것과 흡사한 종물의 경계선이 만들어 진다.

수동 경계선 추출법과 원형 경계선 중첩법으로 만든 재건 영상 자료가 얼마나 서로 유사한지를 보려면 삼차원 재건 영상을 비교하면 된다. 본 연구에서는 각 영상 자료에서 얻을 수 있는 종물의 부피와 표면적을 계산하여 비교하였고 2명의 의사로 하여금 인쇄된 삼차원 재건 영상을 실제 수술 후 적출한 종물의 사진과 비교하여 평가하도록 한 것이다.

20예 전체를 비교한 결과는 수동 경계선 추출법과 원형 경계선 중첩법으로 만든 재건 영상사이에 통계적으로 유의미한 차이가 있는 것으로 나왔다. 그 의미를 알아 보고자 수동경계 추출 결과에서 종물의 부피가 가장 작은 종물 11예로 따로 분석을 하였고 여기서는 수동 경계선 추출법과 원형 경계선 중첩법으로 만든 재건 영상사이에 통계적으로 유의미한 차이가 없는 것으로 나왔다. 또 같은 요령으로 수동 경계 추출 결과에서 종물의 부피가 11번째인 종물에서부터 가장 큰 종물까지 10예의 분석에서는 부피는 유의미한 차이가 없고 표면적은 유의미한 차이가 있는 것으로 나왔다. 이

를 종합하여 분석하면 종물이 작을 수록 수동 경계선 추출법과 원형 경계선 중첩법으로 만든 재건 영상사이에 측정치가 유사해지고 종물이 커지면 둘 사이에 측정치가 차이가 나게 된다는 것이다. 두 방법이 경계선을 그리고 추출하는 방법은 다르지만 작업은 사람이 눈으로 보면서 손으로 작업을 하는 것은 동일하다. 작은 종물을 그리려면 마우스 작업 횟수가 10회 이내로 끝나지만 종물이 크고 모양이 복잡해지면 100회의 작업이 필요할 수도 있다. 반복작업을 하면 숙련도는 좋아지지만 피로도가 누적되어 효율이 떨어진다. 이런 이유로 작은 종물에서는 작업결과가 유사하게 나오고 큰 종물의 경우는 유사성이 떨어지는 것으로 판단된다. 큰 종물이라도 시간을 많이 들여 세밀하게 작업을 하면 두 방법 모두 유사성이 증가할 것이나 효율성을 떨어진다.

향후 자동으로 위의 작업을 소프트웨어가 대신해주기를 기대하지만 경부 종물의 경우는 서두에서 언급한대로 주변 구조가 복잡하고 연부조직으로 이루어져서 명도나 채도에 대비가 크지 않아 구별이 어려운 점이 있다. 예외적으로 낭종인 경우는 모양이 구형이고 액체로 차있어서 구별이 용이하다. 또 경부의 종물은 팽창적으로 주위로 자라는 경향이 있어 단면이 원형을 띠는 경우가 많아 원형 경계선 중첩법을 활용할 수 있는 근거가 된다.

수동경계선 추출 영상과 원형 경계선 중첩법 영상에 대해 2인의 평가자 매긴 점수는 좋은 편이고 상호간 비교를 해도 통계적으로 유의미한 차이가 없었다. 즉, 적절한 종물 사진과 외견상 흡사해 보인다는 의미이다.

결론적으로 종물이 작은 경우는 수동경계선 추출법이나 원형 경계선 중첩법이나 결과에 차이가 없어 보인다. 종물이 커지거나 개수가 늘어나면 세밀한 작업이 필요해 보인다. 육안적인 평가는 모든 결과가 유사하게 나왔다.

저자가 제안한 원형 경계선 중첩법도 수작업이지만 수동 경계추출시 작업을 더 편하게 도와준다고 생각하면 된다. 수동경계선 추출법과 병행 사용하면 더 효율을 높일 수 있다. 종물의 삼차원 재건 영상 제작은 임상적으로는 환자 교육이나 의료인 교육에 활용할 수 있을 것이고 방사선치료나 항암 화학요법 후 CT나 MRI로 치료 결과를 추적할 때 좀 더 시각적으로 또 객관적으로 자료화할 수 있는 자료로 활용할 수 있으리라 생각한다.

중심 단어 : 3차원 재건 · 두경부 종물.

References

- 1) Lanza A, Laino L, Rossiello L, Perillo L, Ermo AD, Cirillo N. *Clinical Practice: Giant Cell Tumour of the Jaw Mimicking Bone Malignancy on Three-Dimensional Computed Tomography (3D CT) Reconstruction. Open Dent J. 2008;2:73-77.*

- 2) Hu A, Wilson T, Ladak H, Haase P, Fung K. *Three-dimensional educational computer model of the larynx: voicing a new direction. Arch Otolaryngol Head Neck Surg.* 2009 Jul;135 (7):677-681.
- 3) Kim SM, Kim SJ, Seo SY, Tack GR. *A study on automated 3-D reconstruction based on 2-D CT image of lumbar spine. J Biomed Eng Res* 1999;20 (5):581-586.
- 4) Robinson RJ, Russo J, Doolittle RL. *3D airway reconstruction using visible human data set and human casts with comparison to morphometric data. Anat Rec (Hoboken).* 2009 Jul;292 (7):1028-1044.
- 5) Shiraishi I, Yamagishi M, Hamaoka K, Fukuzawa M, Yagihara T. *Simulative operation on congenital heart disease using rubber-like urethane stereolithographic biomodels based on 3D datasets of multislice computed tomography. Eur J Cardiothorac Surg.* 2010 Feb;37 (2):302-6.
- 6) Di Giammarco G, Storto ML, Marano R, Di Mauro M. *Superior vena cava syndrome: a 3D CT-scan reconstruction. Eur J Cardiothorac Surg.* 2006 Aug;30 (2):384-5.
- 7) Choi EY, Yoon YW, Kwon HM, Kim D, Park BE, Hong YS, et al. *A case of pulmonary artery intimal sarcoma diagnosed with multislice CT scan with 3D reconstruction. Yonsei Med J.* 2004 Jun 30;45 (3):547-551.
- 8) Cho SH, Lee HC, Park CW. *CT angiography with 3D reconstruction for the initial evaluation of penetrating neck injury with retained knife. Otolaryngol Head Neck Surg.* 2007 Mar;136 (3):504-505.
- 9) Min KJ, Kim JK, Cho JB, Choi K. *A study on 3D reconstruction and simulated implantation of human femur using consecutive CT-images. J Biomed Eng Res.* 1999;20 (2):155-163.
- 10) Archip N, Jolesz FA, Warfield SK. *A validation framework for brain tumor segmentation. Academic Radiology.* 2007;14 (10):1243-51.
- 11) Han YH, Lee Eh, Jang YG, Hong SH. *A study on the 3D reconstruction and representation of CT images. J of KOSOMBE.* 1994; 15 (2):201-207.
- 12) Byun SW. *Three-dimensional computer graphics in otology. Korean J Otorhinolaryngol-Head Neck Surg.* 2009;52 (2):104-112.
- 13) Chong VF, Zhou JY, Khoo JB, Huang J, Lim TK. *Nasopharyngeal carcinoma tumor volume measurement. Radiology.* 2004 Jun; 231 (3):914-921.
- 14) Chong VF, Zhou JY, Khoo JB, Huang J, Lim TK. *Tongue carcinoma: tumor volume measurement. Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2004 May 1;59 (1):59-66.
- 15) Chew MH, Khoo JB, Chong VF, Tai BC, Soo KC, Lim DT. *Significance of tumour volume measurements in tongue cancer: a novel role in staging. ANZ J Surg.* 2007 Aug;77 (8):632-637.
- 16) Chu ST, Wu PH, Chou P, Lee CC. *Primary tumor volume of nasopharyngeal carcinoma: prognostic significance for recurrence and survival rate. Eur Arch Otorhinolaryngol.* 2008 Jul;265 Suppl 1:S115-S120.
- 17) Kusanovic JP, Nien JK, Goncalves LF, Espinoza J, Lee W, Balasubramaniam M, et al. *The use of inversion mode and 3D manual segmentation in volume measurement of fetal fluid-filled structures: comparison with Virtual Organ Computer-aided Analysis (VOCAL). Ultrasound Obstet Gynecol.* 2008 Feb;31 (2):177-186.
- 18) Cheong KB, Leung KY, Chan HY, Lee YP, Yang F, Tang MH. *Comparison of inter-and intraobserver agreement between three types of fetal volume measurement technique (XI VOCAL, VOCAL and multiplanar). Ultrasound Obstet Gynecol.* 2009 Mar; 33 (3):287-294.
- 19) Cross JJ, Baguley DM, Antoun NM, Moffat DA, Prevost AT. *Reproducibility of volume measurements of vestibular schwannomas - a preliminary study. Clin Otolaryngol.* 2006 Apr;31 (2):123-129.
- 20) Eckstein F, Westhoff J, Sitttek H, Maag KP, Haubner M, Faber S, et al. *In vivo reproducibility of three-dimensional cartilage volume and thickness measurements with MR imaging. AJR Am J Roentgenol.* 1998 Mar;170 (3):593-597.
- 21) Wang S, Yao J, Petrick N, Summers RM. *Combining Statistical and Geometric Features for Colonic Polyp Detection in CTC Based on Multiple Kernel Learning. Int J Comput Intell Appl.* 2010 Jan 1;9 (1):1-15.
- 22) Chaparro M, Gisbert JP, Del Campo L, Cantero J, Mate J. *Accuracy of computed tomographic colonography for the detection of polyps and colorectal tumors: a systematic review and meta-analysis. Digestion.* 2009;80 (1):1-17.