

PRINCIPLE OF SPIRAL CTA (I)

김문찬
삼성서울병원 영상의학과

1. Rendering mode

..... 재구성과정을 거친 3차원의 데이터를 2차원의 모니터에 나타내는 과정을 rendering이라 하는데, 이때 일어나는 차원의 축소에 따른 데이터 손실을 보상하며 자연스러운 표현을 위해 음영법(shading), 투영법(transparency), hidden part removing (관찰하는 시선의 뒷쪽에 있는 부위를 보이지 않게 제거하는 기법), dynamic rotation 등의 기법이 사용된다.

1. surface rendering

일명 threshold rendering이라고 하며 미리 정한 threshold보다 큰 intensity를 가진 pixel들을 연결하여 기하학적 계산을 통해 구조물의 표면을 나타내는 binary-based technique이며, 보려는 위치에서의 viewer를 얻은 후 입체감을 주기 위해 음영(shading)을 추가한다. surface rendering은 구조물의 표면평가를 위해 volume data를 단순화된 이진법 형태로 변화시키므로 voxel이 1개의 단순한 형태로 구성되며 표현 가능한 데이터의 전체가 사용되지 않으므로 데이터 소모량이 상대적으로 적고 (image data의 약 10% 미만 사용), 처

리속도가 빠르다. 또한 threshold의 변화에 매우 민감하여 정확한 해부학적 구조를 나타낼 수 있는 threshold값 선정이 어려운 점이 있다.

SSD는 표면의 정보만 갖고 있으므로 상대적으로 sharp-edged image를 얻을 수 있고 해부학적 구조의 묘사능은 우수하지만, 작은 혈관의 직경이나 협착 정도의 구별에 어려움이 많으며 혈관벽의 석회화 구분이 어렵다. 또한 노이즈나 flow effect의 영향을 받아 이미지의 왜곡현상이 나타날 수 있다.

2. volume rendering

percentage rendering 방식이며 voxel이 1개의 tissue 값만 갖는 surface rendering에 비해, voxel 자체도 여러 개의 tissue 값을 가지며 구조물의 표면이 아닌 전체 volume의 정보를 나타낸다.

pixel을 transparent하게 만드는 semi-transparent continuum-based technique으로 재구성을 하여 마치 anatomic specimen을 보는 것처럼 만든다.

volume rendering의 단순한 형태는 average projection으로 이는 일직선으로 투과된 voxel intensity의 평균값을 취하는데 low contrast resolution이 문제가 된다.

관찰자로부터 일직선으로 구조물을 향하여 투과시키면 컴퓨터가 구조물의 색깔과 투명도에 따라 다른 block으로 가정하여, block의 위치와 각도에 따른 투과도 및 다른 조직으로부터의 반사도를 구하여 직선상에 놓여 있는 모든 voxel값들의 pixel 분포를 가중치를 두어 합하여 표시한다.

liver CTA에 이용되고 있는 volume rendering법을 예로들어 설명해보자.

먼저 컴퓨터가 pixel-intensity histogram에서 얻은 각 pixel intensity를 근거로 하여 각 voxel을 liver, vessel

그리고 tumor의 percentage로 분류한 후 관심부위를 알아보기 위해 각 물질에 정해진 색깔과 투명도와 굴절도를 결정한다.

voxel의 구성성분 차이에 따른 표면평가를 위한 segmented data를 이용하여 volumetric data를 얻는다.

마지막 단계로 명암의 부여 및 rotation을 이용하여 rendering이 시행된다.

전술한 바와 같이 volume rendering에서는 구조물 내부의 voxel의 성질이 각각 부여되므로, 특별히 어떤 부분을 선택하여 강조하거나 소멸시키는 특수기법을 적용시킬 수 있고, 중복된 부분의 가시성이 우수한 장점이 있는 반면, surface나 MIP 보다 훨씬 많은 양의 데이터가 소모된다.

그러나 경계면의 명확한 묘사가 불충분하여 수술계획 등의 미세한 측정에는 volume rendering기법이 잘 사용되지 않는다.

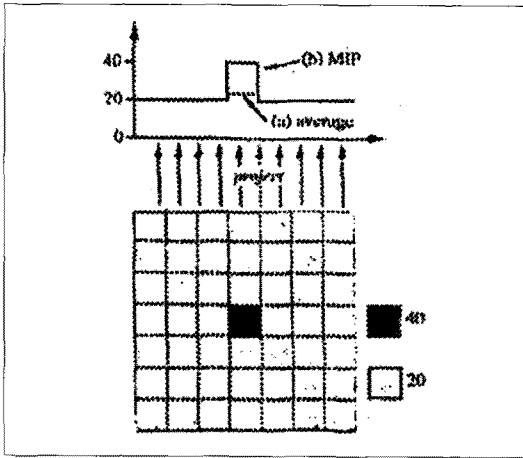
3. MIP (maximum intensity projection)

MIP법은 CTA에서 광범위하게 사용되어지는 volume rendering method의 한 형태로서 average projection보다 contrast resolution의 향상효과가 크다.

관찰자로부터 일직선으로 구조물을 투사시켜 그 직선상에 놓여있는 최대 강도 시그널을 갖는 voxel을 선택하여 (저강도 시그널은 희생시킴) rendering 한다.

다음 그림은 MIP와 average projection을 비교한 것으로서 dark pixel은 intensity 40의 plane에 수직인 혈관을 묘사한 것이며, gray pixel은 intensity 20의 background signal을 2차원으로 표시한 것으로서, 혈관을 통과한 ray passing의 평균값은 maximum value보다 적다.

그러므로 MIP가 average projection보다 contrast가 우수함을 알 수 있다. 일직선상의 단일 화소만을 사용하



여 voxel값의 계산을 줄여줌으로써 데이터 소모량이 줄어들며 이로 인해 volume rendering에 비해 빠른 처리속도를 갖는다.

MIP는 conventional angiography와 유사한 영상을 나타내며 혈관의 협착이나 contrast-filled lumen으로부터 mural calcification의 구별이 용이하며, (differentiation of calcified atheroma and intraluminal contrast)SSD에 비하여 작은혈관의 display가 우수하다.

그러나 중복된 구조의 가시성의 저하로 인하여 혈관 내의 정보획득이 결여되며 noise의 증가와 미리 sampling된 image data의 resampling 과정에서 additional artifact가 수반된다.

4. Ray-sum projection

모델에 일직선으로 투과된 rays에 따라 pixel값의 합을 display하는 mode로서 중복된 혈관의 relatively translucent appearance를 제공하며, conventional arteriogram에 가장 근접된 이미지를 제공한다.

intraluminal clot, multiple overlapping arteries and veins, 또는 a tangle of varices의 존재시에 특히 유용하다.

5. Integral projection

below surface의 shallow depth의 density합으로 재구성하며 MRA image에 주로 사용된다.

6. MPVR (multi-projection volume reconstruction)

volume image를 다각도에서 재구성하는 기법으로 보고자하는 부위를 인접 혈관구조물과 분리하여 display시켜 혈관변화와 주위장기와의 관계를 이해하는데 도움이 되며, 특히 eccentric calcification이나 부분적인 stenosis 및 vessel patency의 평가에 유용하다.

또한 slice thickness 변경이 가능하다.

- ① average:line을 따라 수직으로 얻은 slice의 평균 density값
- ② MIP:line을 따라 수직적으로 얻은 slice의 최고 density값
- ③ MIN:line을 따라 수직적으로 얻은 slice의 최소 density값

2. Editing technique

sectional image의 simple 3-D reconstruction으로서는 원하는 양질의 image를 얻을수 없다. simple thresholding과 같은 automatic editing은 미리 setting된 낮은 임의의 threshold값 보다 더 높은 강도를 갖는 pixel에서는 효과적이지만 vascular structure의 삭제없이 bone의 제거는 불가능하다.

이와같이 필요한 부위의 삭제없이, bone 등 필요치 않는 부위의 제거를 위해서 manual editing이 이용된다.

대부분의 CT system에서는 능률적인 manual editing process를 할수 있는 high version의 soft-ware

workstation에서 user가 image 전체를 redrawing할 필요없이 약간의 작업으로 원하는 3-D 이미지를 만들 수 있다.

manual editing은 inclusive editing과 exclusive editing으로 구분된다.

inclusive editing은 tracing이 target vessel의 테두리에서 집중적으로 발생되므로 작업시 주의가 필요하며, pixel의 tracing error는 왜곡된 stenotic 현상으로 나타나며 original anatomy의 재현성에 중대한 영향을 미친다.

exclusive editing은 tracing이 target vessel로 부터 떨어진 곳에서 발생하며 직접적인 영향을 주지 않기 때문에 tracing error 발생시 재현성에 대한 영향이 줄어든다.

1. threshold technique

CT number의 범위를 정하여 설정범위에 있는 부분들만 selection하거나, 필요없는 부위를 제거하는 기법으로서 3-D modeling에 기본적으로 이용된다.

slider bar를 이용하거나 pre-setting된 range를 사용할 수 있다.

2. scalpel technique

volume으로 쌓아놓은 image를 여러 방향으로 회전시키면서 불필요한 부위를 cutting하는 기법으로서, 직접 손으로 design하여 작업하므로 목적인 object image에도 손상을 입힐 위험성이 크다.

3. subtraction technique

2개의 image 사이에 subtraction을 이용하여 보고자 하는 부분만을 selection하거나, 제거하는 기법이다. 또한 조작성이 간편하고 processing time이 짧으며,

advanced processing의 Delta 기능과 동일하다.

4. SAVS (semi-automatic volume segmentation)

각 slice 또는 여러개의 slice단위로, axial image에서 임의의 부위만을 선택적으로 drawing (= painting)하여 보고자 하는 부위만 selection하는 기법이다.

이 기법은 slice by slice 또는 slab editing technique을 발전시킨 것으로서 brush size에 따라 painting되는 slice수가 정해진다.

<basic editing protocol in GE W/S>

- image selection
- browser의 3-D analysis package
- vaxtool의 build mode 선택하여 volume, high resolution : ON, filter floaters : yes 선택후 build선택
- image display : 3-D 3-D
no view no view
- build model에서 custom선택
- lower threshold값 선정 : axial image의 W = 0 상태에서 보고자하는 arteries나 aneurysm을 잘 구별할수있는 L값 선정 (약 65 - 100)
- high threshold값 선정 : 300 - 400
- build선택하면 surface의 anterior image가 나타남
- view plane에서 I 또는 S 선택 (aorta : I, intracranial : S)
- reformated surface image를 MIP로 변환 (select rendering mode에서 RT mouse click)
- modify model에서 threshold / VOI 선택
- threshold technique 이용 : 필요치 않는 주위조직 제거위해 lower threshold value를 올려 (약

- 100 정도) apply threshold선택
- scapel technique 이용 : 필요치 않는 bone이나 주위조직의 제거, 또는 vertebra와 aorta가 분리 될수 있도록 image를 rotation하여 shift + LT mouse로 trace한후 apply cut O clear trace
- subtraction technique 이용 :
mask용 spine image만 남기기위해 3-D cursor을 spine에 두고 select object
advanced processing에서 dilation (약 4) 시행
angio image (primary image)에 red board,spine image (second image)에 green board를 선택한 후 subtraction 시행
- 필요에 따라 threshold technique이나 filter floater 시행
- MIP image를 위한 각도로 돌려 screen save
- surface image screen save
- hard copy
- archive angio image with axail image

3. Protocols

●preparation

- 6 hrs NPO
- no oral contrast media
- 18G IV route

1. CT angiography, intracranial

(1) application

- pre-operative evaluation of aneurysm neck의 위치와 방향
aneurysm과 basal bone과의 관계
인접한 타혈관과의 관계

- vascular anatomy & disease
congenital anomaly
intracranial aneurysm의 detection (unruptured aneurysm)
focal stenosis lesion

(2) pre-localization scan

- scan 기준선 : IOML
- scan method : cluster axial scan
- thickness / scan space : 5 / 5
- technical factor : 120 Kv , 200 mA , 1 sec.

(3) cine test scan(if needed)

- scan area : middle cranial fossa부위
- contrast media : 3 ml / sec ,total20 ml
- prep delay : 10 - 15 sec
- ISD : 3 - 5 ,sec for 30 seconds
- region-of-interesttime density curve

(4) helical scan

- prep delay : 18 - 25 sec
- contrast media : 3 ml / sec, total 100 - 120 ml
- thickness / pitch : 1 / 1
- scan area : middle cranial fossa시작부위 (MCA bifurcation아래)부터 35 cuts
- reconstruction : 0.5 mm increment,DFOV : 13

2. CT angiography,thoracic aorta

(1) application

- extents of aortic aneurysm and branch involvement
- visualization of intimal flaps associated with

aortic dissection

- congenital anomaly
- aortic inflammation
- assessment of the patency of aortic stent-grafts

(2) pre-localization scan

- scan method : cluster axial scan
- scan area : aortic arch 1 cm 위 부터 diaphragm 까지
- thickness / scan space : 10 / 10

(3) cine test scan(if needed)

- scan area : aortic arch level
- contrast media : 3 - 4 ml / sec ,total 20 ml
- prep delay : 10 - 15 sec
- ISD : 3 - 5 sec for 30 seconds

(4) helical scan

- prep delay : 10 - 20 sec
- contrast media : 3 - 4 ml / sec ,total 120 - 150 ml
- thickness / pitch : 3 - 5 / 1
- scan area : thoracic inlet 위 부터 diaphragm 까지
- reconstruction : 1.5 - 2.5 increment, DFOV : 20

(5) pitfalls in thoracic aorta CTA

- pulsation artifacts에 의한 misregistration
- vessels created by high attenuation values
subclavian vein, LT brachiocephalic vein,
superior vena cava etc.
solutions

scanning from inferiorly to superiorly

- injection area : femoral vein
- dilute contrast media into antecubital vein
- injection of right antecubital vein

3. CT angiography , abdominal aorta

(1) application

- vascular anatomy
- congenital anomaly
- atherosclerotic occlusive disease & stenosis
high-grade stenosis
intestinal ischemia & angina
- preoperative aneurysm assessment
- relationship of an aneurysm to adjacent blood structure
- aneurysm내의 mural thrombus의 확장여부
- pancreatic tumor에 의한 splenic arteries,
SMA,celiac axis encasement
- kidney function evaluation for donor

(2) pre-localization scan

- scan method : cluster axial scan
- scan area : liver 중간부터 kidney 하단까지
- thickness / scan space : 10 / 10

(3) cine test scan(if needed)

- scan area : celiac trunk level(aorta at L -1 level)
- contrast media : 3 ml / sec ,total 20 ml
- prep delay : 10 - 15 sec
- ISD : 3 - 5 sec for 30 seconds

(4) helical scan

prep delay : 16 - 25 sec
contrast media : 3 - 4 ml / sec ,total 120 ml
thickness / pitch : 3 / 1
scan area : celiac trunk부터 renal pelvis 밑 까지
reconstruction : 1.5 mm increment ,DFOV:20

●renal CTA routine

(1) pre-contrast scan

scan method : cluster axial scan
scan area : kidney 전체
thickness / scan space : 10 / 10

(2) helical scan(for CT angiography)

abdominal aorta CTA에 준함

(3) routine kidney scan

scan method : helical scan
prep delay : 조영제 주입후 150 sec (IGD : 약 90 sec)
thickness / pitch:5 / 1
scan area : kidney 전체

●pancreas CTA routine

(1) application

suspected pancreatic neoplasm 환자의 major arteries and veins의 tumor encasement 여부

(2) pre-contrast scan

scan area: liver dome부터 pancreas까지

(3) helical scan (for CT angiography)

prep delay : 18 sec

contrast media : 3 ml / sec ,total 120 ml

scan area : celiac trunk위 부터 renal pelvis 밑 까지
thickness / pitch : 3 / 1

(4) routine pancreas scan

scan method : cluster axial scan
prep delay : 조영제 주입후 90 sec (IGD : 약 40 sec)
thickness / scan space : 5 / 8
scan area : duodenum 3rd portion부터 liver dome 까지

●splanchnic CTA

(1) application

detection of intestinal angina and bowel ischemia of SMA, celiac axis, portal or SMV

4. CT angiography, aortic dissection

(1) application

- vascular anatomy and dissection site
- thrombus and rupture

(2) pre-localization scan

scan method : cluster axial scan
scan area : aortic arch부터 iliac artery까지
thickness / scan space : 10 / 20

(3) cine test scan

scan area : aortic arch level 또는 celiac trunk level
prep delay : 10 - 15 sec

ISD : 3 - 5 sec

contrast media : 3 - 4 ml / sec ,total 20 ml

(4) helical scan

prep delay : 20 - 25 sec

contrast media : 3 ml / sec, total 120 ml

thickness / pitch

· scan - I : 5 / 1 - 1.5

· scan - II : 5 - 7 / 1 - 1.5

scan area

· scan -I : aortic arch부터 diaphragm까지

· scan -II : celiac trunk위 (diaphragm)부터
iliac artery bifurcation 밑까지

IGD : 10 - 15 sec

reconstruction

· scan - I : 2.5 mm increment

· scan - II : 3.5 mm increment

reconstruction DFOV : 20

4. CT angiography의 장 · 단점

1. 장 점

- conventional angiography에 비해 peripheral IV injection을 함으로써 less invasive 하다.
- 영상 재구성에 의한 3차원적이며 multi-directional image display가 가능하다.
- 빠른 image acquisition에 의해 검사시간이 단축되며 비용절감 효과가 있다.
- vascular structure 및 인접부위의 혈관이나 bone의 관계 뿐만 아니라, 혈관 강내 및 혈관벽의 구조도 자세히 볼수 있어 calcification이나 mural thrombus의 관찰능력이 U/S나 conventional

angiography보다 우수하다.

- MRA보다 resolution이 우수하며, metallic device 환자와 claustrophobic 환자의 검사에 유리하다.
- conventional angiography보다 thromboembolic complication의 요소가 적다.
- CTA를 위한 unedited axial image에서 lymphadenopathy, perianeurysmal fibrosis, hematomas, 또는 incidental carcinomas 등과 같은 non-vascular abnormalitis 발견능력이 MRA나 U/S, 또는 conventional angiogram에 비해 우수하다.

2. 단 점

- image editing 과정에서 bone이나 불필요한 구조물의 제거에 상대적으로 많은 시간이 소요된다.
- software적인 compensation 등의 기능을 통해 많은 향상이 있지만 Z-축상의 해상력에 제한성이 있다.
- 작고 미세한 혈관들의 imaging에 한계가 있다.
- 흉부 및 복부계통의 CTA에서는 상대적으로 긴 시간의 호흡 조절이 필요하므로 호흡조절이 어려운 환자의 검사에 한계가 있다.
- 한번에 다량의 조영제 사용으로 인한 부작용 발생 우려가 많다.
- renal important환자나 조영제에 severely reactive한 환자에게는 제한적이다.
- high quality의 image를 위해 thin slice scanning으로 MRA에 비해 과도한 radiation exposure의 우려가 있다.
- blood flow에 의한 artifact 발생이 적고 vascular anatomy의 표현은 우수 하지만 low dynamics의 표현은 MRA에 비해 떨어진다.

REFERENCES

1. David G. Heath etc : Three dimensional spiral CT during arterial portography : Comparison of three rendering techniques Imaging & therapeutic technology
2. Geoffrey D. Rubib : CT angiography earns role in thoracic aorta Diagnostic imaging, november 1995
3. Philip costello, Jocben gaa : Spiral CT angiography of abdominal aortic aneurysms Scientific exhibit, volume 15 number 2
4. Robert K. Zeman, etc : CT angiography AJR 1995 ; 165 : 1079 - 1088
5. Sandy A, Napel : principles and techniques of 3-D spiral CT angiography Raven press
6. Advantage windows 3-D analysis package GE medical systems