

흉부 4D CT에서 호흡 변화에 대한 일시 중지 및 재개 방법의 유용성 평가

서울아산병원 방사선종양학과

허술 · 신충훈 · 정현숙 · 유순미 · 김정미 · 윤인하 · 홍승모 · 백금문

목 적: Quasar™ Phantom을 활용하여 흉부 4D CT 촬영 시 호흡이 불규칙한 상황을 가정해 재촬영 했을 때와 Pause & Resume 방법을 사용하였을 때 Data 안정성과 선량감소 효과를 비교분석 하여 Pause & Resume 방법의 임상적용의 유용성을 평가하고자 한다.

대상 및 방법: Quasar™ Phantom을 사용하여 분당 호흡수를 15 BPM, 7.5 BPM으로 설정하고 S15 지점을 호흡이 불규칙한 구간이라고 설정한 후 이 지점에 OSLD를 부착하여 Pause & Resume 방법을 사용했을 때 S15 구간의 선량을 실측했다. 재촬영(2회) 했을 때와 Pause & Resume 방법을 사용했을 때의 선량 비교를 위해 CTDIvol, DLP, ALARA-CT를 이용해 분석했다. Pause & Resume 방법을 적용한 Data의 안정성과 유용성 평가를 위해 Advanced Workstation Volume Share7을 사용해 촬영된 이미지를 Sorting 하고 Eclipse™에 전송하여 Phantom 내 쇠구슬에 윤곽형성을 하여 지름과 체적을 분석했다.

결 과: OSLD 실측결과 Pause & Resume 사용 시 S15의 구간에 한해서 1.97배 선량이 증가했다. 영상 평가 결과 15 BPM과 7.5 BPM에서 Pause & Resume 방법을 사용했을 때와 사용하지 않았을 때 측정된 모든 체적의 평균값은 15.2 cm³± 0.5%였다. 반지름은 측정된 모든 값이 Pause & Resume 사용 유무와 관계없이 3.1 cm로 나타났다. 선량은 Pause & Resume을 사용한 경우 재촬영 했을 때 가장 낮은 DLP 값보다 33% 감소했고 가장 높은 DLP 값보다 38% 감소했으며 유효선량도 최소값 대비 32.1% 최대값 대비 37.6% 감소했다.

결 론: 호흡의 불규칙이 발생했다고 가정한 구간(S15)에서 Pause & Resume 한 경우 S15 구간에 한해 재촬영이 이루어져 국한된 선량증가가 나타났지만 전체 촬영구간에서의 선량감소는 재촬영때보다 Pause & Resume을 사용했을 때 뚜렷했다. Pause & Resume을 사용했을 때 촬영한 이미지 데이터들의 안정성과 가용성을 확인을 위해 진행했던 쇠구슬 윤곽형성 평가에서 Pause & Resume을 사용했을 때와 사용하지 않았을 때의 쇠구슬의 반지름과 체적 값이 유사하게 나타나며 임상 적용에 있어서 유용함을 증명했다.

▶ **핵심용어:** Quasar™ Phantom, DLP, Pause & Resume, OSLD, S15, 4D CT

서 론

방사선치료 분야의 눈부신 기술발전에 따라 종양에 조사되는 고선량의 방사선치료를 시행하기 위해 정확한 호흡 정보를 제공할 수 있는 치료계획 영상 획득의 필요성이 점차 중요해지고 있다. 유럽 암연구치료기구 가이드라인(European Organization for Research and Treat-

책임저자: 허술, 서울아산병원 방사선 종양학과 치료유닛
서울특별시 송파구 올림픽로43길 88 서울아산병원
Tel: 02) 2228-4345,***-****-****
E-mail: knuhs@naver.com

ment of Cancer Guidelines, EORTC Guidelines)에 의하면 폐암 환자의 경우 종양의 움직임은 알려져 있는 어떠한 임상 매개 변수(Clinical parameters)로도 예측이 불가능하기 때문에 호흡에 따른 종양의 움직임을 평가하는 것은 폐암의 치료계획과 선량 전달에 있어 필수적인 요소라고 명시하였다.^(1,2) 4차원 전산화단층촬영모의치료(Four-dimensional computed tomography simulation, 4DCT simulation)은 치료계획 단계에서 호흡으로 인하여 발생하는 종양과 주변 정상 장기들의 움직임에 대한 정보 제공 및 평가하여 재현성을 향상시키고, 정상조직에 조사되는 범위를 줄여 방사성독성(Radiotoxicity)을 감소시켜 더 효율적이고 정확한 치료를 가능하게 한다.⁽³⁾ 이러한 이점으로 인해 4D CT를 움직임이 있는 종양 치료 시 활용하고 있지만 사전 호흡 교육을 통해 4D CT의 진행이 가능한 환자의 선별과정이 필요하고 또한 검사 도중 예기치 못한 여러가지 변수들로 인해 규칙적인 호흡을 유지하지 못하는 경우가 발생한다.⁽⁴⁾ 특히 방사선종양학과에 내원하는 폐암(Lung cancer) 환자들의 경우 가장 흔한 증상인 마른기침과 호흡곤란을 호소하며 4D CT simulation에 필수적 요건이라고 할 수 있는 규칙적인 호흡에 많은 어려움을 겪고 있다. 또한 조영제를 사용하여 전산화단층촬영모의치료하는 경우 일부 환자에게서 조영제 주입 시작 후 일정 시간이 지나면 전신에 작열감, 소양감, 구역, 구토 등을 호소하며 정상적인 호흡을 유지할 수 없는 경우가 빈번하게 발생하고 있다. 이러한 상태에서 획득한 영상은 움직임에 의

한 인공물(Motion artifacts)이 발생하게 되는데 대표적으로 번짐(Blurring), 중복(Duplicate), 겹침(Overlapping), 소실(Incomplete)이 생긴다.⁽¹⁾ 이렇게 획득된 영상은 전산화치료계획(computer planning)에 사용하기 위한 분류(Sorting)작업 시 불완전 데이터 오류로 인해 CT 이미지 데이터 불러오기(Importing)가 불가능한 상태가 되고 이에 따른 재 전산화단층촬영모의치료를 필요로 하게 된다(Fig. 1). 이는 피폭 선량의 증가를 가져오고 환자의 재 내원 및 추가적인 조영제 사용으로 인해 시간과 경제적 손실을 발생시킬 뿐만 아니라 근무자들의 업무량 증가로도 이어진다. 이러한 번거로움을 피하기 위해 환자의 호흡이 불규칙해지는 구간에서 촬영을 일시 정지하고 실시간자세관리장치(Real-time Position Management TMSystem, RPM)에서 호흡이 안정되었을 때 다시 전산화단층촬영모의치료를 일시 중지 및 재개(Pause & resume, 이하 P&R)방법이 P.J. Keall 등의 기술 보고서에 고안되어 있다.⁽¹⁾

이에 본 연구에서는 위 방법을 활용하여 생성된 데이터들이 영상 분류(Sorting)와 전산화치료계획에 미치는 영향을 확인하고 전 구간 재 전산화단층촬영모의치료 시와 일시정지 후 전산화단층촬영모의치료 P&R 방법의 피폭선량을 CTDIvol(The Volume CT dose Index), 선량길이곱(Dose Length Product, 이하 DLP), 질병관리청 CT 방사선 피폭선량 계산프로그램(ALARA-CT)을 참고하여 피폭선량 및 유효선량을 비교 분석하고 그 유용성을 평가하고자 한다.⁽⁵⁾

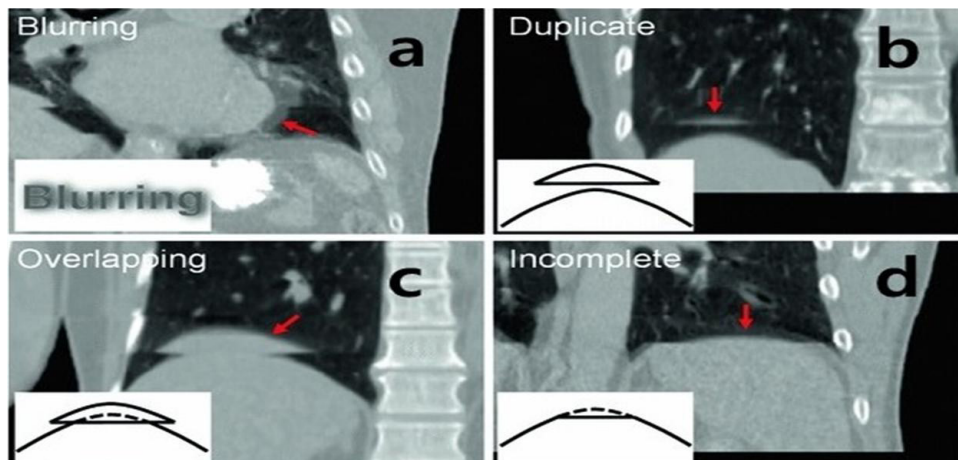


Fig. 1. Motion artifacts (a) Blurring, (b) Duplicate, (c) Overlapping, (d) Incomplete

대상 및 방법

1. 실험 재료

- CT Simulator(Discovery CT 590 RT, GE, Waukesha, USA)
- Eclipse™(Treatment Planning System, Varian, Palo Alto, USA, version 13.6)
- Quasar™ Respiratory Motion Phantom(pRESP, Modus, Ontario, Canada)
- Real-Time Position Management System(RPM™, Varian, Palo Alto, USA)
- Optically Simulated Luminescent Dosimeter(OSLD, NanoDOT, LANDAUER Inc., USA)
- Landauer InLight™(Microstar reader, LANDAUER Inc., USA)
- Advanced Workstation Volume Share7(AW4.7, GE, USA)
- ALARA-CT(Korea Disease Control and Prevention Agency, KDCA, Republic of Korea)

2. 실험 방법

본 실험을 위해 CT Simulator Discovery CT 590 RT(GE, USA)와 실시간자세관리장치(Real-time Position Management System, RPM™, Varian)을 사용하였다. 환자의 호흡을 재현하기 위해 Quasar™ Respiratory Motion Phantom(pRESP, Modus)을 CT 테이블 위에 올려놓고, 호흡주기는 분당 호흡수를 15 Breath Per Minute(BPM), 7.5 BPM으로 설정하고 P&R 시 Sorting에 필요한 영상 데이터들의 안정성 평가를 위해 지름 3 cm, 부피 14.1 cm³의 쇠구슬을 넣은 실험용 동적 폐 실린더(Moveable Lung Cylinder)를 결합해 움직임 데이터를 획득하였다. 촬영 조건은 고정 관전류 200 mA, 관전압 120 kVp를 설정하였으며, 영상의 관심 영역(field of view, FOV)는 500 mm, 검사 길이 180 mm 즉, 위쪽 부분(Superior)80 mm에서 아래쪽 부분(Inferior)100 mm, 절편 두께(Slice Thickness)2.5 mm, 갠트리 회전시간(Rotation time)은 0.5 sec, Cine mode를 적용했다. 환자가 호흡 위상 설정의 기준(Base line)을 벗어난 불규칙한 호흡

을 한 구간을 Superior 15(이하 S15)라고 가정하여 동일선상의 Phantom 우측 중앙에 OSLD를 부착하여 위 구간에서 P&R로 인한 불규칙 호흡 구간에서의 중첩 촬영이 피폭 선량에 미치는 영향을 검증하고자 하였다. OSLD system은 Landaur사의 InLight™ microstar reader를 사용하였으며, Detector는 Nano DOT dosimeter를 사용하였다(Fig. 2).

1) 영상 획득

Quasar™ Phantom의 분당 호흡수를 각 15 BPM, 7.5 BPM으로 맞춰 놓은 후, 반사체가 붙어 있는 6 Dot marker를 Phantom 위에 올려놓은 뒤 RPM™ system으로 호흡주기를 분석하였다(Fig. 3). 영상분류작업시 각 위상에 적합한 영상을 선별하여 사용하기 위해 Cine time between image는 각 0.2 sec, 0.4 sec Cine duration은 5 sec, 9 sec로 하였으며, 이때 생성될 예정인 총 영상의 수는 각 1656장, 1584장으로 촬영된 총 영상의 수는 다수의 위상 비닝(Phase Binning, 이하 Bin)의 모음으로 이루어진다.⁽⁶⁾ Bin이란 촬영 범위의 한 구간에 전체 호흡주기를 담은 데이터의 모음을 말하며 하나의 Bin 촬영이 끝나면 테이블이 이동한 후 다음 구간의 Bin 촬영이 이어진

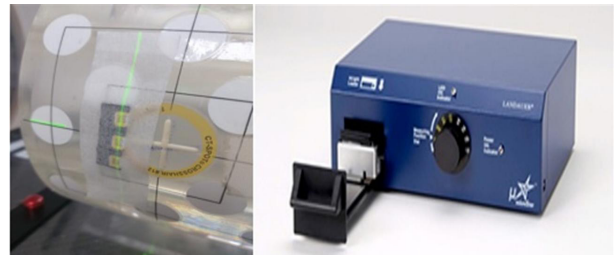


Fig. 2. OSLD and Landaur InLight™ microstar reader



Fig. 3. Quasar™ Phantom and RPM™ system

다. 본 연구에서는 환자의 호흡이 불규칙적으로 변경된 상황을 가정하여 S15(S20 ~ S2.5)구간에서 촬영을 중단하였으며 이후 환자의 호흡이 다시 안정되어 처음 설정한 Base line 구간 안으로 회복되었을 때를 가정하여 촬영을 재개하였다. 이 때 검사를 정지한 구간의 시작 지점부터 재촬영이 이루어지게 되며 획득되는 전체 영상의 수는 각각 1752(1656 + 96)장, 1672(1584 + 88)장 이었으며, 총 10개의 Bin중 9개의 Bin에 각각 184장, 176장씩 생성되었다. 호흡을 멈춘 구간(S20 ~ S2.5)에서 1개의 Bin만 불완전한 상태로 각각 96장, 88장의 영상이 생성되었고, Advanced Workstation(AW, GE, USA)에서의 Sorting 작업 시 데이터 가져오기 오류(Importing error)의 방지를 위해 불완전한 96장, 88장의 영상이 생성된 Bin을 재구성(Retro Reconstruction)에서 제외시키고 총 1584장의 영상을 AW Volume Share7(GE, USA)로 전송하였으며 10 Phase의 단위로 0 ~ 90 Phase까지 Sorting을 진행하였다.⁽⁷⁾

2) 영상 평가

P&R을 사용하여 Retro Reconstruction을 마친 데이터의 안정성과 가용성 확인을 위해 Advanced Workstation에서 Sorting을 마친 영상들을 Eclipse™(Varian, USA)에 전송했다. 15 BPM, 15 BPM P&R, 7.5 BPM, 7.5 BPM P&R 각 10개씩 총 40개의 Sorting된 Phase 중 움직임의 패턴이 안정적이며 실제 치료계획에도 사용하고 있는 50 Phase 영상의 최구슬에 Hounsfield Unit(HU) Threshold 값을 200 HU 이상으로 설정하고 윤곽 형성(Contouring)하여 분석했다.⁽⁸⁾ 이를 통하여 P&R의 사용으로 인해 Retro Reconstruction을 진행한 영상의 안정성을 지름과 체적을 통해 평가했다(Fig. 4).

3) 선량 평가

선량 평가의 지표로 CTDIvol 과, DLP, 유효선량, OSLD 측정을 통해 검증을 하였다. 유효선량은 질병관리청 ALARA-CT 프로그램에 CTDIvol, DLP 값을 입력하여 도출했다. 촬영 중 P&R 방법의 사용으로 인해 중복으로 피폭이 되는 구간의 선량 평가를 위해 S15 위치에 OSLD를 부착했다. 선량 평가를 위한 영상 촬영은 총 2회 진행하였으며 호흡주기는 7.5 BPM으로 동일하게 설정하였다. 촬영 중 중단없이 연속적으로 촬영한 선량 값과 P&R을 사용하여

중복 촬영된 구간의 선량 값을 비교 분석했다[식 1,2].

$$CTDIvol = CTDIw * NT/I(mGy) \text{ ----- [식1]}$$

N : CT 채널의 수

T : 절편두께

I = 나선형 CT에서 rotation 당 테이블이 움직인 거리

$$Dose\ Length\ Product(DLP) = CTDIvol * scan\ length(mGy-cm) \text{ ----- [식2]}$$

4) ALARA-CT 프로그램

ALARA-CT는 질병관리청의 지원을 받아 경희대학교 ALhPS 팀이 개발한 프로그램이다. 최신 CT 장비(256 채널 이상)부터 구 CT 장비(1 채널)까지 정보가 담겨있어 국내에서 사용되는 대부분의 CT 장비에 대한 피폭선량의 평가가 가능하다. 의료분야 종사자, 관련 연구자, 관련 정부 부처, 일반인 등 누구나 쉽게 사용할 수 있어 방사선학적 안전성 평가, 선량 관리를 위한 이력관리, 저선량 진단 프로토콜 개발, 환자선량 최적화, CT 검사 관련 연구, 정책 개발 등에 활용될 수 있는 프로그램이다(Fig. 5). 본 연구에서 사용하는 피폭선량 평가 도구인 CTDIvol, DLP만으로는 환자의 방사선 피폭 정도나 방사선학적 안전성 정도를 예상하기엔 어려움이 있어 국제방사선방어위원회(International commission on radiological protection, ICRP)103을 적용한 ALARA-CT 프로그램을 통해 유효선량을 평가하였다.⁽⁹⁾



Fig. 4. Moveable Lung Cylinder with Steel Bead

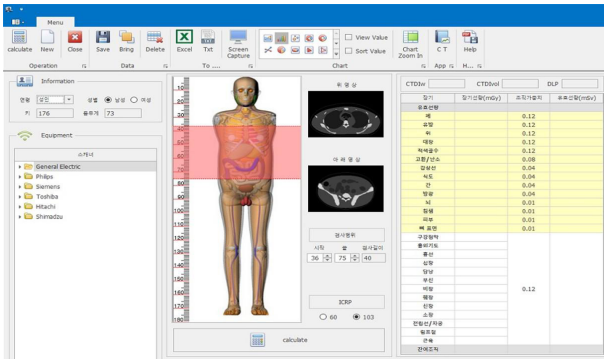


Fig. 5. KDCA ALARA-CT Dose Calculation Program

결 과

1. 50 Phase 영상 가를 통한 지름 3 cm, 부피 14.1 cm³ 쇠구슬의 지름과 체적 유사성 검증

50 Phase 호흡위상에서 P&R을 사용한 경우 15 BPM 쇠구슬의 부피는 15.2 cm³, 7.5 BPM에서는 15.1 cm³로 나타났고 P&R을 사용하지 않은 경우 15 BPM 쇠구슬의 부피는 15.3 cm³, 7.5 BPM에서 15.2 cm³로 나타났다. 쇠구슬의 지름은 P&R의 사용 유무와 관계없이 3.1 cm로 동일하게 나타났다(Table 1, 2).

Table 1. Volume of steel bead(Unit: cm³)

	15 BPM	15 BPM P&R	7.5 BPM	7.5 BPM P&R
50 Phase	15.3	15.2	15.2	15.1

Table 2. Diameter of steel bead(Unit: cm)

	15 BPM	15 BPM P&R	7.5 BPM	7.5 BPM P&R
50 Phase	3.1	3.1	3.1	3.1

2. CTDIvol, DLP, 유효선량, OSLD 비교분석

P&R을 하지 않았을 때 15 BPM의 호흡주기에서 CTDIvol은 88.5 mGy, DLP는 1593.4 mGy-cm였다. 7.5 BPM은 호흡의 주기가 커지며 하나의 Bin을 촬영하는데 소요 시간도 9 sec로 늘어나며 CTDIvol은 96.3 mGy, DLP는 1734.5 mGy-cm로 나타났다. P&R을 사용한 지점은 부분 재검사로 인해 촬영 구간이 나뉘었다. 15 BPM의 호흡주기에서 S80 ~ S22.5 구간의 CTDIvol은 87.8 mGy, DLP는 526.8 mGy-cm였으며 P&R 방법을 사용한 구간

인 S20 ~ S2.5에서 CTDIvol은 44.8 mGy, DLP는 89.6 mGy-cm로 나타났다. 호흡 재개 시점부터 끝 지점까지 영상 획득을 한 S20 ~ 197.5 구간은 CTDIvol 87.8 mGy, DLP 1053.5 mGy-cm로 나타났으며, 총 DLP값은 1670 mGy-cm였다. 7.5 BPM의 호흡주기에서 S80 ~ S22.5 구간의 CTDIvol은 113.1 mGy, DLP는 678.2 mGy-cm였으며 P & R 방법을 사용한 구간인 S20 ~ S2.5에서 CTDIvol은 64.9 mGy, DLP는 129.9 mGy-cm로 나타났다. 호흡 재개 시점부터 끝 지점까지 영상 획득을 한 S20 ~ 197.5 구간은 CTDIvol 113.1 mGy, DLP 1357.4 mGy-cm로 나타났으며, 총 DLP값은 2165.6 mGy-cm였다(Table 3, Fig. 6). P&R 방법 사용 시 가장 높은 DLP값은 2127.3 mGy-cm였고, P&R 방법을 사용하지 않고 재촬영을 했을 때 가장 낮은 DLP값은 3186.8 mGy-cm, 가장 높은 DLP값은 3496 mGy-cm로 나타났다(Fig. 7). 7.5 BPM의 호흡 주기 촬영 시 선량 검증을 위해 S15(S20 ~ S2.5)의 위치에 부착했던 OSLD 측정값은 P&R 시행 시 49568.2(환산 시 1.6 mGy)가 측정됐으며, 검사 중단과 재개 없이 연속 촬영한 경우 25097.1(환산 시 0.8 mGy)로 나타났다(Fig. 8).

DLP(Dose Length Product)

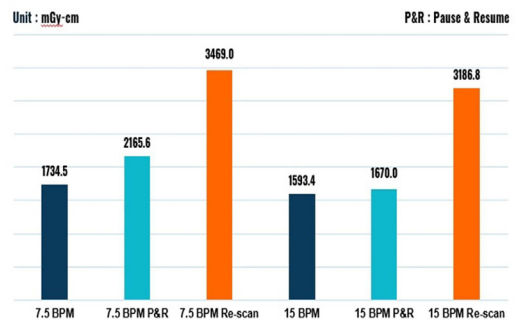


Fig. 6. Comparison of DLP(mGy-cm)

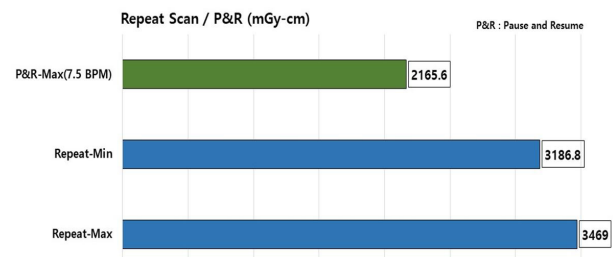


Fig. 7. Compare Repeat Scan and Pause & Resume

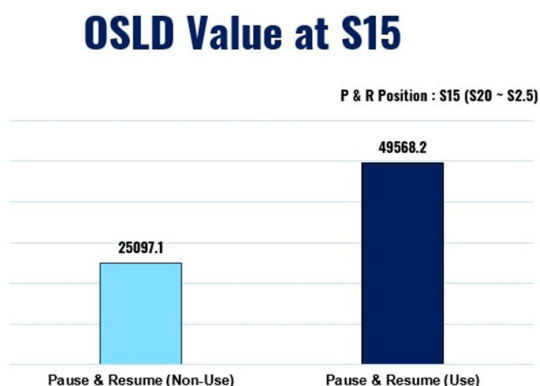


Fig. 8. OSLD Evaluation value at Pause and Resume Position(Superior 15)

폐의 유효선량은 ALARA-CT 프로그램을 통해 DLP값이 2165.6 mGy-cm일 때 6.1 mSv, 3186.8 mGy-cm일 때 9.1 mSv, 3496 mGy-cm일 때 9.9 mSv인것으로 나타났다(Fig. 9).

고안 및 결론

50 Phase 영상 평가결과는 15 BPM과 7.5 BPM에서 P&R 방법을 사용했을 때와 사용하지 않았을 때 측정된 모든 체적의 평균값 15.2 cm³대비 ± 0.5% 이내로 15 BPM과 7.5 BPM 모두 P&R의 사용 유무와 관계없이 유사함을 알 수 있었으며 특히 반지름의 경우 측정된 모든 값이 3.1 cm로 동일하게 나타났다. 측정된 반지름과 체적 값은 실제 구슬보다 높았지만 이는 4D CT 사용으로 움직임에 의해 발생하는 필연적 요소로 환자에게 4D CT를 적용할 경우 사전 교육을 통해 호흡의 안정성을 확보하여 Motion

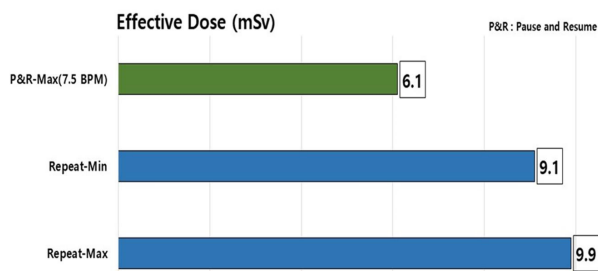


Fig. 9. Effective Dose(mSv) of Repeat Scan and Pause & Resume

artifact의 발생을 최소화하기 위한 노력이 필요할 것으로 생각된다. 선량 평가는 1회 촬영 시와 P&R을 사용했을 때 그리고 재검사(2회 촬영)를 했을 경우의 피폭선량을 CT-DIvol, DLP, 유효선량, OSLD평가값(evaluation value)을 통해 비교 분석했다. 15 BPM의 호흡주기에서 P&R 방법으로 인한 S15 구간(S20 ~ S2.5)에서 DLP의 일부 증가로 인해 총 DLP값은 1회 촬영했을 때 보다 4.8% 높았고 7.5 BPM의 호흡주기에서 22.6%로 가장 뚜렷하게 DLP값의 증가가 나타났으며 OSLD 측정값은 1.97배 증가한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 P&R을 사용한 검사에서 촬영을 중단하고 재개한 구간 S15(S20 ~ S2.5)에 국한된 중복 촬영에 의한 것으로 해석된다. 하지만 P&R 방법을 사용하면 P&R 방법을 사용하지 않고 재촬영(2회)을 했을 때 나타나는 가장낮은DLP값보다 33% 감소했고 가장 높은 DLP값보다 38% 감소했으며 유효선량도 최소값 대비 32.1% 최대값 대비 37.6% 감소한 것으로 나타났다. 위외영상평가및선량 평가의결과로환자의호흡이불규칙하게변한구간에서P&R 방법을 사용해도 영상의 Sorting을 하는데 문제가 없으며 재촬영을 실시하는 것 보다 선량이 감소되는 효과도 있는 것으로 나타났다. 다만 본 연구는 검사 시행 전 설정하는

Table 3. CTDIvol of each scan range(Unit: mGy)

	S80 ~ S22.5	S15(S20 ~ S2.5) P&R	S20 ~ I97.5	S80 ~ I97.5 (Non-Use P&R)
15 BPM	-	-	-	88.5
7.5 BPM	-	-	-	96.3
15 BPM P&R	87.8	44.8	87.8	-
7.5 BPM P&R	113.1	64.9	113.1	-

Base line을 일정한 호흡으로 유지할 수 있는 환자에게 한 해 P&R 방법을 사용할 수 있다는 전제가 필요하며 환자의 활성 징후가 좋지 않거나 호흡 유지가 어려워 불규칙한 호흡이 발생하여 Pause를 했다고 해도 Base line을 벗어나는 호흡을 지속한다면 불가피하게 재촬영을 해야 한다. 또한 선량 평가 시 환자의 장기에 직접적인 선량 측정이 불가능하여 팬텀을 사용해 결과를 도출하였고 OSLD 측정에서 P&R을 한 S15(S20 ~ S2.5) 구간에 대해서만 검증을 진행했다는 제한점이 있어 추후 연구에서 모든 범위의 4D CT 측정을 위한 방법의 고안이 필요할 것으로 사료된다. 결론적으로 흉부 4D CT 촬영 중 일시적인 돌발 현상에 기인한 호흡 불규칙 구간에서 P&R 방법의 사용은 데이터 안정성과 선량 감소의 측면에서 우수한 결과를 나타내어 임상 적용에도 매우 유용할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. P. J. Keall, S. S. Vedam, R. George, et al.: Respiratory regularity gated 4D CT acquisition: concepts and proof of principle. *Australas Phys Eng Sci Med* 2007;30:211-218
2. Dirk De Ruyscher, Corinne Faivre-Finn, Ursula Nestle, et al.: European Organisation for Research and Treatment of Cancer Recommendations for Planning and Delivery of High-Dose, High-Precision Radiotherapy for Lung Cancer. *J Clin Oncol* 2010;28:5301-5310
3. Daniel Low.: 4D Imaging and 4D Radiation Therapy: A New Era of Therapy Design and Delivery. *Front Radiat Ther Oncol*. Basel, Karger, 2011;43:99-117
4. Samuel Goossens, Frédéric Senny, John Aldo Lee, et al.: Assessment of tumor motion reproducibility with audio-visual coaching through successive 4D CT sessions. *J Clin Med Phys* 2014;15:47-56
5. 김승희.: CT 엑스선검사에서 환자선량 권고량 가이드라인. In: 김동섭, eds. 보건복지가족부, 식품의약품 안전평가원, 대한영상의학회, 대한방사선사협회. 2009;19:1-51
6. A F Abdelnour, S A Nehmeh, T Pan, et al.: Phase and amplitude binning for 4D-CT imaging. *Phys Med Biol* 2007;52:3515-3529
7. B F O'CONNELL, D M IRVINE, A J COLE, et al.: Optimizing geometric accuracy of four-dimensional CT scans acquired using the wall- and couch-mounted Varian² Real-time Position ManagementTM camera systems. *Br J Radiol* 2014;88:1-9
8. Soyoung Lee, Guanghua Yan, Bo Lu, et al.: Impact of scanning parameters and breathing patterns on image quality and accuracy of tumor motion reconstruction in 4D CBCT: a phantom study. *J App Clin Med Phys* 2015;16:195-212
9. Choi Seok-yoon, Im In-chul.: Noise and Image Quality Analysis of Brain CT Examination. *J Radiol Sci Tech* 2019;42(4):279-284

Evaluation of the usefulness of the method according to changes in patient breathing during chest 4D CT imaging

Department of Radiation Oncology, Asan Medical Center, Seoul, Korea

**Heo Sol, Shin Chung Hun, Jeong Hyun Sook, Yoo Soon Mi, Kim Jeong Mi,
Yun In Ha, Hong Seung Mo, Back Geum Mun**

Purpose : In order to evaluate the usefulness of clinical application of the Pause & Resume methods by comparing and analyzing the data stability and dose reduction effect when repeat scan assuming irregular breathing and using the Pause & Resume method during chest 4D CT using Quasar™ Phantom.

Materials and Methods : Using the Quasar™ Phantom, set the breathing rate per minute to 15 BPM and 7.5 BPM, and set the S15 point as an irregular breathing section, and then placed OSLD to this point and use the Pause & Resume method to measure the dose of S15. CTDIvol, DLP, and ALARA-CT were used for comparative analysis of radiation dose between Pause & Resume method and Repeat-scan. In order to evaluate the stability and usability of the data applying the Pause & Resume method, the captured images were sorted by Advanced Workstation Volume Share7 and then sent to Eclipse™, the diameter and volume were analyzed by forming a contour on the iron ball in the Quasar™ Phantom

Results : When using Pause & Resume, the dose of OSLD measurement increased by 1.97 times in the section of S15. As a result of image evaluation, the average value of all volumes measured with and without the Pause & Resume method at 15 BPM and 7.5 BPM was $15.2 \text{ cm}^3 \pm 0.5\%$. All the measured values for the radius of iron ball were 3.1 cm regardless of whether Pause & Resume method was used or not. In the case of using Pause & Resume, 33% decreased from the lowest DLP value and 38% decreased from the highest DLP value of repeat scan, and the effective dose also decreased 32.1% from the minimum value and 37.6% from the maximum value.

Conclusion: Irradiation dose was increased by Pause & Resume method because of the repeat scan on the S15 site where assuming irregular breathing occurred, However Pause & Resume method led to a significant reduction in dose on overall scan range. It also proved the usefulness of clinical application of the Pause & Resume method as a result of similar diameters and volumes of iron ball measurement.

► **Key words :** Quasar™ Phantom, DLP, Pause & Resume, OSLD, S15, 4D CT