

Evaluation of Usefulness of CT Angiography in the Lower Extremity using Heart Rate

Sung-Sik Kim¹, Ho-Sung Park^{2,*}

¹Department of Radiology, Ajou University Medical Center, Suwon, Korea

²Department of Convergence Healthcare Medicine, Ajou University, Suwon, Korea

Received: December 24, 2022. Revised: February 27, 2023. Accepted: February 28, 2023.

ABSTRACT

The purpose of this study is to find an optimized imaging technique and evaluate its usefulness by comparing and analyzing the difference in contrast enhancement of lower extremity artery according to the patient's heart rate during lower extremity Computed Tomography Angiography examination. From January 2022 to August 22nd, 139 outpatients who visited Ajou University Hospital and underwent lower extremity angio CT examination were targeted. According to the heart rate, the groups were divided into four groups: A(HR ≤ 65), B(65 < HR < 80), C(80 ≤ HR). In addition, among patients with a heart rate of 65 or less, the heart rate was considered, and the scan was divided into D, E, F group with a delay time. The time of arrival of contrast medium and the average value of contrast enhancement were compared and analyzed. As a result of quantitative evaluation, B and C groups with a heart rate of more than 65 times had better HU values in the popliteal artery than A group (HR ≤ 65), and D group showed better HU improvement effects compared to A group (p<0.001). The comparative analysis with other groups was insignificant. The difference in heart rate affected the angiographic intensity of the lower extremities artery. Therefore, it is effective to apply the appropriate test timing for each patient by using the heart rate during the lower extremity angio CT Scan.

Keywords: Lower Extremity Angio CT, Heart Rate, Contrast Enhancement

I. INTRODUCTION

하지의 말초 동맥 질환은 주로 죽상동맥경화증(Arteriosclerosis)이 주요 원인이 되는 하지 혈관의 부분적 또는 완전한 폐색으로 정의되며^[1,2], 플라크 형성을 유발하는 만성 염증 질환이다. 관련성 높은 위험 인자로 고혈압, 고령, 흡연 및 당뇨병, 가족력, 고지혈증 등이 혈관 질환의 발생에 관여하고 있다^[3, 4]. 유병률 또한 인구 고령화로 인해 지난 수십 년 동안 증가하는 추세이며 전 세계 말초혈관질환 유병률은 약 8.3%로 보고된 바 있다^[5,6].

이에 따라 Lower Extremity Computed Tomography Angiography(이하: CTA) 검사는 빠른 이미지 획득

으로 인한 영상 정보와 높은 공간 해상도, 비용의 효용성과 가용성을 장점으로 하지의 말초동맥폐색 질환(Peripheral Artery Occlusive Disease; PAOD)를 평가하고, 치료의 방침을 결정하는데 매우 중요한 역할을 한다^[7]. 하지만 Lower Extremity CTA 검사의 높은 진단 정확도에도 불구하고, 하지 동맥혈관(Low Extremity Artery)의 조영증강이 충분히 되지 않아 정확한 혈관 평가에 어려움을 갖는 경우가 있다. 이는 무릎 이하 동맥혈관의 협착을 오진하거나 과대평가할 수 있게 만든다^[8]. 이러한 문제를 개선하기 위해 최근 임상에서는 스캔 파라미터(Parameter)를 조절하여 영상 획득 방식을 변경하거나, 나이와 체중에 기반을 둔 조영제의 양이나 속도에 변화를 주어 개선하려 하고 있지만, 환자마다 다른 조영

* Corresponding Author: Ho-Sung Park

E-mail: ablebe@naver.com

Tel:+82-31-219-5844

증강 시간을 정확하게 맞추기 어려워 정확한 하지 혈관 영상 구현에 어려움이 존재하고 있다^{9,10)}.

Lower Extremity CTA에 영향을 미치는 요소는 다양하게 존재하며 크게 조영제와 스캔 방식이 변화하며 발생하는 기술적 요인과 환자 개인이 가지고 있는 신체적 특성이 변화하여 발생하는 개인적 요인으로 나누어진다¹¹⁾. 그중 개인적 요인은 환자 개인마다 다른 체내 순환 시간의 차이를 가지고 있어 조영제의 체내 순환과 깊은 연관이 있다. 영향 인자에는 심장의 기능과 심박출량(Cardiac Output; CO), 신장의 기능, 장기의 위치, 혈관의 상태 및 질환의 유무 등이 있고, 그중에서 가장 영향을 미치는 중요한 인자는 심박출량이다^{12,14)}.

심박출량(Cardiac Output; CO)은 좌심실에서 대동맥으로 보내는 분당 혈액량을 의미하며 1회 심박출량(Stroke Volume; SV)과 심박동 수(Heart Rate; HR)에 의해 결정된다. 일반적으로 심박출량이 감소하면 조영제의 도달시간이 지연되지만, 동맥 혈관에 더 강하게 조영 증강된 영상을 얻게 된다고 보고되고 있다^{11,12)}. 또한 심박동 수(HR)가 조영제의 순환에 영향을 미치며 동맥 혈관의 조영증강 변화에 큰 연관성을 가지고 있다고 이전 연구에서 보고되고 있다¹⁴⁾. 선행된 연구들에서 다양한 Scan Parameter의 변화와 조영증강과의 상관관계를 비교 분석한 연구는 많았으나^{14,15)}, 심박동 수(HR)와 하지 동맥 혈관(Low Extremity Artery)의 조영증강 정도를 비교 평가한 연구는 없었다.

이에 본 연구의 목적은 환자의 심박동 수(HR)가 Lower Extremity CTA 검사에 미치는 영향을 분석하고, 심박동 수(HR)를 활용한 Lower Extremity CTA 검사의 유용성을 평가하고자 한다.

II. MATERIAL AND METHODS

1. Study Subject

1.1. 연구대상

2022년 1월부터 23년 1월까지 본원에 내원하여 Lower Extremity CTA 검사를 시행한 외래환자 210명을 대상으로 하였다. 이 중 남성은 125명 여성은

85명으로 전체 평균 나이는 67.8 ± 9.15 이다. 연구 대상자 중 저체중과 과체중을 제한하기 위하여 체질량지수(Body Mass Index; BMI) 22 이상 27 이하의 환자를 대상으로 선정하였고, 심장 부정맥(Arrhythmia)이 있는 환자, 무릎 인공관절 성형술을 시행한 환자, 만성 폐색 병변(Chronic Total Occlusion; CTO)이 있거나 만성 말초동맥폐색증(Chronic PAOD)을 가지고 있는 환자, 하지 정맥 혈전증(Deep Vein Thrombosis, DVT)을 진단받은 환자들은 연구 대상에서 제외하였다.

1.2. IRB(기관생명윤리위원회)

통상적인 교육 과정의 범위에서 실무와 관련하여 수행하는 연구, 의료기관에서 치료 및 진단을 목적으로 정확도 검사 등 검사실 정도관리 및 검사법 평가 등을 수행하는 연구로 평가하여 IRB는 면제되어 진행하였다.

2. Experimental Objects And Devices

2.1. 검사장비

연구에 사용된 CT 검사 장비(Somatom Force Dual Source slices 384, Siemens, Germany, 2020)를 사용하였으며, 비이온성 조영제(Xenetix 350mg, Guerbet, Germany)를 사용하였다. 심박동 수(HR) 측정을 위한 휴대용 심박동 수(HR) 측정기(Pulse Oximeter, Shenzhen IMDK Medical Technology Co, China)를 사용하였다. 연구에는 Table 1과 같이 동일한 Scan Parameter를 사용하였다.

2.2. 연구방법

조영제 주입 부위는 오른쪽 상지의 팔오금 중간 정맥(Median Cubital Vein)에 18G Catheter을 이용하여 자동 조영 주입기로 주입하였다. 주입 속도는 4.0cc/ml, 총 130ml 조영제를 주입 후 생리식염수 20ml를 고정하여 주입하였다.

환자는 바로 누운 자세(Supine)로 양쪽 하지의 움직임을 최소화하기 위해 양쪽 발목에 고정 장치로 고정하고, 양쪽 팔을 머리 위로 올린 상태에서 검사 직전에 왼쪽 검지에서 심박동 수(HR) 측정을 하였다. 검사 부위는 간 상단(Liver Dome)에서 발끝(End Toe)을 포함하여 위에서 아래 방향으로(Cranio

-Caudal) 스캔 방향과 재구성 방향을 설정하였다. 영상 획득 방법은 L3 (Lumbar Third Level)의 하행 대동맥(Descending Aorta) 위치에 관심 영역(Region of Interest; ROI)을 설정하고, 하운스필드 유닛 값(Hounsfield Unit; HU)의 역치 값이 100 HU가 넘으면 15초 후 자동 스캔하는 조영제 추적법(Bolus Tracking Technique)을 사용하였다.

설정된 ROI 역치 값에 도달하였을 때의 평균 시간과 동맥기(Arterial Phase)의 검사 시작 시간을 측정 하였으며, 심박동 수(HR)를 3개의 그룹(A 그룹: $HR \leq 65$, B 그룹: $65 < HR < 80$, C 그룹: $HR \geq 80$)으로 나누었다. 조영 증강이 되는 시간과 심박동 수(HR)와의 상관관계를 분석하기 위하여 Table 6와 같이

역치 값에 도달한 평균 시간과 심박동 수(HR) 그룹을 비교분석 하였다. 또한 심박동수 그룹(A, B, C)의 영상을 정량적 평가하였다.

추가로 ROI 역치 값에 도달하는 시간을 분석하여 5초의 지연시간(Delay Time)을 추가로 설정하여 심박동 수를 3개의 그룹(D 그룹: $HR \leq 65$, E 그룹: $65 < HR < 80$, F 그룹: $HR \geq 80$)으로 분류하였다. 지연시간을 적용한 그룹은 심박동 수(HR)가 같은 대조 군들과 비교 분석을 위한 실험 군으로 지연시간 설정을 통한 영상 화질 개선 효과를 확인하기 위하여 설정하였다. 영상은 정량적, 정성적 평가를 진행하였다.

Table 1. Scan Parameter

Scan Parameter	Normal Scan Group	Delay Scan Group
	A, B, C Group	D, E, F Group
kV	CARE kV	CARE kV
mAs	CARE Dose 4D	CARE Dose 4D
Delay	15 s	20 s
Pitch	0.7	0.7
Rotation time	0.5	0.5
Slice Thickness / Increment [mm]	5/5	5/5
Collimation	192 × 0.6 mm	192 × 0.6 mm
Kernel	Bv40	Bv40
Image Reconstruction Algorithms	ADMIRE	ADMIRE

Table 2. Arrival Time by Heart Rate Group

HR Group	N	Threshold Limit Arrival Time		Arterial Phase Scan Start Time	
		Mean	(Min/Max)	Mean	(Min/Max)
A($HR \leq 65$)	34	24.54 ± 2.15	(18/29)	39.54 ± 2.15	(33/44)
B($65 < HR < 80$)	38	21.76 ± 2.41	(17/26)	36.76 ± 2.41	(32/41)
C($HR \geq 80$)	33	18.24 ± 2.03	(14/25)	33.24 ± 2.03	(29/40)

3. 영상평가방법

검사를 시행한 대조군과 실험 군의 영상을 정량적 평가와 정성적 평가로 나누어 시행하였다.

3.1. 정량적 평가 방법

영상의 정량적 평가는 재구성된 영상을 워크스테이션(Syngo.via: Siemens Medical Solutions, Forchheim,

in Germany)를 이용하여 축 방향(axial) 영상을 기준으로 그룹별 평균값을 구하여 비교 분석하였다. 영상의 평가 지점은 슬와 동맥(Popliteal artery)의 근위부(Proximal) HU 값만을 평가하기로 하였다.

동일한 Level 지점의 횡단면(Axila Plane)에서 슬개골(Patella) 상방 1 cm 부근의 슬와동맥(Popliteal artery)의 관심 영역(ROI)를 10 mm로 설정하여 양쪽 혈관의 HU 값을 각각 구하였으며, 관심 영역 설정 시 최대

한 플라크(Plaque) 및 석회화(Calcification)를 피하여 측정하였다. 총 5회 측정하여 표준편차가 상대적으로 큰 2회의 측정값을 제외했으며, 양쪽 혈관의 HU 값을 평균값으로 수치화하였다.

심박동 수 그룹(A, B, C 그룹)에 따라 HU 값의 차이가 있는지 알아보기 위해 일원 분산분석(ANOVA) 후 사후검증을 실시하였다. 또한 같은 심박동 수(HR)의 집단 간의 새로운 Scan Time 적용 전, 후에 따른 하부 혈관의 조영 증강의 차이 여부를 확인하기 위해 대응 표본 t-test를 실시하였다. 영상의 통계는 SPSS 26 ver. 프로그램을 사용하여 통계 분석하였다.

3.2. 정성적 평가 방법

2명의 영상의학과 판독의가 영상을 정성적으로 평가하였다. MIP(Maximum Intensity Projection)의 3D 재구성 영상과 횡단면(Axial Plane) 영상을 영상 진단의 적합성 여부로 평가하였으며, 평가항목은 Table 3과 같이 1점부터 4점까지의 항목으로 나누어 점수를 부여하는 방식을 사용하였고, 평가한 점수는 윌콕스 부호 순위 검정(Wilcoxon Signed Rank-test)으로 통계 분석하였다. 두 판독의는 서로의 판독에는 영향을 미치지 않도록 하였다. 두 평가자 간의 측정 범주 값의 일치도를 측정하기 위하여 Cohen's Kappa Test를 시행했다.

Table 3. Image Evaluation Score Table

No.		Diagnostic scale
1.	Nondiagnostic	Did not provide sufficient information for the diagnosis
2.	Indeterminate Diagnosis	The examination provided acceptable information but unsatisfactory image quality
3.	Diagnostic	Image quality was satisfactory enough to provide the information necessary to make an adequate radiological diagnosis
4.	High Diagnostic Confidence	Image quality provided optimal information for a radiological diagnosis

III. RESULT

1. 연구 대상자의 인구 사회학적 특성

연구 대상자의 인구 사회학적 특성은 Table 4와

같이 남성이 125명, 여성이 85명, 연령대 중 60대가 가장 많았으며, 6집단 간의 분포는 Table 5와 같이 동질 하였다. 검사의 질환별 특성을 살펴보면 동맥경화증(Arteriosclerosis obliterans; ASO)에 의한 말초 동맥폐색증(Peripheral Arterial Occlusive Disease; PAOD)이 109건으로 전체 질환의 약 77%에 해당하였으며, 혈관 기형(Vascular Malformation), 동정맥루(AV Fistula), 버거씨 병(Buerger's Disease)으로 인한 혈행 장애 평가가 23건, 스텐트(Stent), 피관술(Skin Flap Surgery) 등 시술 전, 후의 혈관 평가가 7건으로 분류되었다.

Table 4. Socio-demographical Variables

Variables	(unit: Mean ± SD)					
	A Group (n=34)	B Group (n=38)	C Group (n=33)	D Group (n=34)	E Group (n=38)	F Group (n=33)
Age (year)	69.44 ± 10.10	62.94 ± 11.20	64.15 ± 12.7	67.39 ± 11.6	65.18 ± 7.84	69.81 ± 5.17
Male	19	24	18	19	21	24
Female	15	14	15	15	17	9
Height (cm)	164.3 ± 9.13	162.3 ± 8.14	170.7 ± 6.04	169.2 ± 5.15	168.3 ± 8.15	164.4 ± 7.17
Weight (kg)	64.73 ± 8.5	64.00 ± 6.8	64.72 ± 7.5	64.31 ± 8.6	67.61 ± 9.7	62.18 ± 1.2

Table 5. Test of Homogeneity of Variances

Variables	Levene Statistic	p
Age (year)	1.782	0.421
Male	2.123	0.241
Female	1.788	0.427
Height (cm)	1.885	0.774
Weight (kg)	2.154	0.378

2. 심박동수와 ROI 역치값 도달시간 간의 상관관계 분석(회귀분석)

조영제 추적법(BIolus Tracking Technique)을 사용한 Lower Extremity CTA 검사 시 환자의 심장박동수(HR)와 ROI 역치 값 도달시간과의 상관관계를 분석하였다. 조영제 추적법(BIolus Tracking Technique)을 사용한 Lower Extremity CTA 검사 시 환자의 심장박동 수(HR)와 ROI 역치 값 도달시간에 어떠한 영향을 미치는지 검증하기 위하여 회귀

분석을 실시하였다. 분석 결과 Table 6과 같이 환자의 심박동 수(HR) 차이는 조영제의 ROI 역치 값 도달시간에 유의미하게 영향을 주는 것으로 분석되었다($\beta=.794, p<.001$).

Table 6. Heart Rate - Arrive Time

	B	β	t(p)	R	R ²	F
Arrive time	-0.354	.794	8.217	.712 ^a	.507	136.98***

a. Predictors : Arrive Time
b. Dependent Variable : Patient Heart Rate (p<.001)

3. 영상 평가 결과

3.1. 정량적 평가결과

(1) 심박동 수(HR)에 따른 Hounsfield Unit(HU) 값의 1원 분산분석, 사후검증 결과

집단의 평균(M), 표준편차(SD), 그리고 유의수준(p value)을 제시한다. 또한 3집단 간의 차이가 있는가를 검증하기 위하여 사후검증(Post Hoc)을 해주었고, 그 결과를 Table 7을 통해서 나타내었다. 심박동 수(HR) 차이에 따른 하지 혈관 조영증강 강도 차이가 있는지 검증하기 위하여 일원 분산분석(ANOVA)을 실시하였다. 분석 결과, 집단 간에 유의미한 차이가 나타났다($F=12.936, p<.001***$).

Table 7. Result of ANOVA Test(Popleteal Artery HU)

	n	Mean	Std. Deviation	F
A Group (HR≤65)	34	469.33	77.23	12.936***
B Group (65<HR<80)	38	516.84	99.06	
C Group (80≤HR)	33	577.21	78.98	
Total	105	520.92	95.86	

p<.001***

Table 8. Result of Scheffe Test(Popleteal Artery HU)

	n	Mean	Std. Deviation	Scheffe
A Group (HR≤65)	34	469.33	77.23	A<B<C
B Group (65<HR<80)	38	516.84	99.06	
C Group (80≤HR)	33	577.21	78.98	
Total	105	520.92	95.86	

3집단 간의 차이를 검증하기 위하여 Table 8과 같이 사후검증으로 Scheffe 검증을 실시하였다. Scheffe 검증 결과 Fig. 1와 같이 A Group은 B, C Group에 비해서 하지 혈관 조영증강 강도가 유의미하게 낮은 것으로 나타났다.

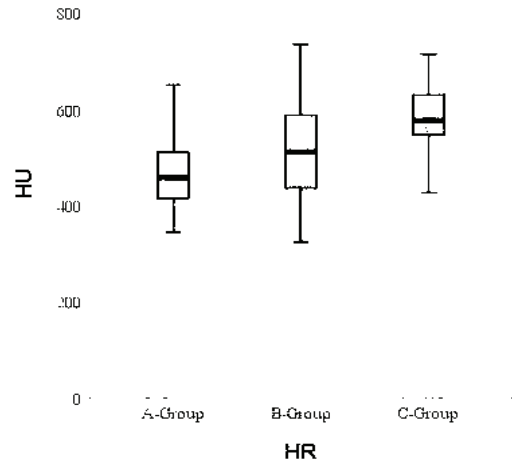


Fig. 1. Popliteal Artery's HU Box plot of A, B, C Group.

(2) A 그룹과 지연시간 보정한 D 그룹 간의 t-test 결과

통계 분석 결과 Fig. 2과 같이 D 그룹은 A 그룹에 비해 하지 혈관의 조영증강 강도가 유의미하게 높게 나왔으며, Table 9와 같이 통계학적으로 두 그룹 간의 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났다.

Table 9. t-test Result of HU between A Group and D Group

	Mean	Std. Deviation	t	p
A Group	469.33	77.23	-5.763	.000
D Group	569.79	58.72		

(3) B 그룹과 지연시간 보정한 E 그룹 간의 t-test 결과

통계 분석 결과 B 그룹과 E 그룹은 Table 10, Fig.3과 같이 통계학적으로 두 그룹 간의 유의미한 차이가 없는 것으로 나타났다.

Table 10. t-test Result of HU between B Group and E Group

	Mean	Std. Deviation	t	p
B Group	516.84	99.06	-0.096	.461
E Group	519.02	104.12		

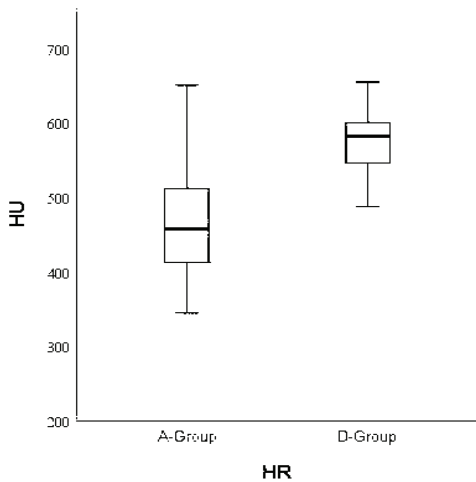


Fig. 2. Popliteal Artery's HU Box Plot of A and D Group.

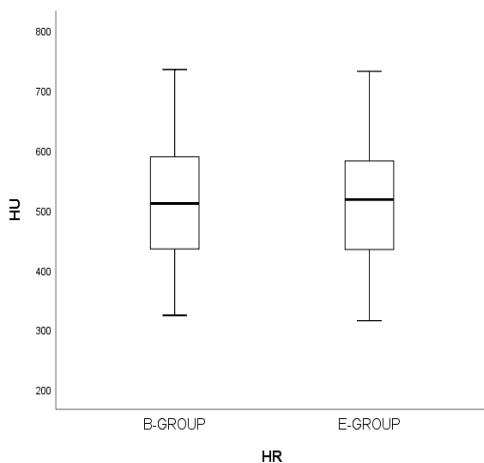


Fig. 3. Popliteal Artery's HU Box Plot of B and E Group.

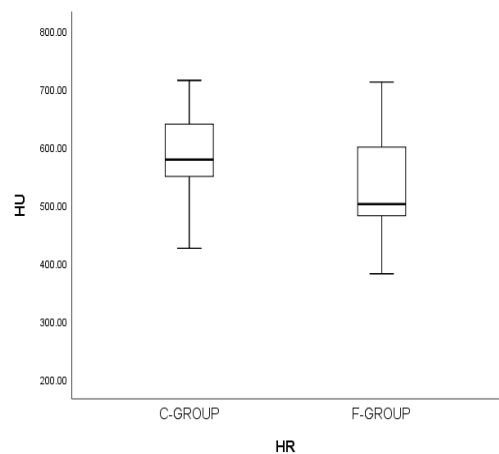


Fig. 4. Popliteal Artery's HU Box Plot of C and F Group.

3.2. 정성적 평가 결과

(1) A 그룹과 지연시간 보정한 D 그룹 간의 t-test 결과

A 그룹과 D 그룹 사이에는 유의미한 차이가 있었다. 스캔 지연시간(Delay Time)을 보정한 그룹인 D 그룹은 A 그룹에 비하여 영상 화질이 더 좋다고 Table 12와 같이 분석되었다.

Table 12. Wilconxon's Signed Rank Test between A Group and D Group

Evaluation	A Group (HR≤65)	D Group (HR≤65) Delay Control	p
Axial	2.24 ± 0.34	3.43 ± 0.42	.000
COR MIP	2.44 ± 0.18	3.55 ± 0.12	.000

(2) B 그룹과 지연시간 보정한 E 그룹 간의 t-test 결과

B 그룹과 E 그룹 사이에는 유의미한 차이가 없었다. 스캔 지연시간(Delay Time)을 보정한 그룹인 E 그룹은 B 그룹에 비하여 영상 화질의 차이가 없다고 Table 13과 같이 분석되었다.

Table 13. Wilconxon's Signed Rank Test between B Group and E Group

Evaluation	B Group (65<HR<80)	E Group (65<HR<80) Delay Control	p
Axial	4.12 ± 0.82	4.09 ± 0.22	.112
COR MIP	4.02 ± 0.71	4.08 ± 0.17	.092

(4) C 그룹과 지연시간 보정한 F 그룹 간의 t-test 결과

통계 분석 결과 Fig. 4과 같이 C 그룹은 F 그룹에 비해 하지 혈관의 조영증강 강도가 유의미하게 높게 나왔으며, Table 9와 같이 통계학적으로 두 그룹 간의 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났다

Table 11. t-test Result of HU between C Group and F Group

	Mean	Std. Deviation	t	p
C Group	577.21	78.98	1.66	.046
F Group	523.82	98.21		

(3) C 그룹과 지연시간 보정한 F 그룹 간의 t-test 결과

C 그룹과 F 그룹 사이에는 유의미한 차이가 있었다. 스캔 지연시간을 보정한 그룹인 F 그룹이 C 그룹에 비하여 영상 화질이 더 좋지 않다고 Table 14와 같이 분석되었다.

Table 14. Wilconxon's Signed Rank Test between C Group and F Group

Evaluation	C Group (80 ≤ HR)	F Group (80 ≤ HR) Delay Control	p
Axial	4.04 ± 0.72	3.32 ± 0.68	.000
COR MIP	4.21 ± 0.11	3.27 ± 0.44	.000

(4) 평가자간 일치도 결과

kappa value는 Table 15와 같이 모든 항목이 0.81 이상으로 두 평가자 간의 영상 측정에 대한 평가는 거의 완벽히 일치했다.

Table 15. Result of cohen's Kappa statistical Analysis between observers

Evaluation	kappa value	
A, D Group	Axial	88.3%
	COR MIP	85.3%
B, E Group	Axial	89.4%
	COR MIP	82.7%
C F Group	Axial	90.4%
	COR MIP	85.7%

A kappa value of 0 - 0.20 indicates slight agreement; 0.21 - 0.40, fair agreement; 0.41 - 0.60, moderate agreement; 0.61 - 0.80, substantial agreement and 0.81-1.0, almost perfect agreement

IV. DISCUSSION

본 연구는 Lower Extremity CTA 검사 시 하지 동맥혈관(Low Extremity Artery)의 불충분한 조영증강의 문제점을 개선하기 위하여 시작되었다. 체내 순환의 간접 인자인 심박동 수(HR)와 하지 동맥혈관의 조영증강 차이를 비교 분석하고, 심박동 수(HR)를 활용한 Lower Extremity CTA 검사의 유용성을 평가하고자 하였다. 연구는 체내 순환과 관련한 영

향인자의 영향을 최소화하기 위하여 검사 장비의 동일한 파라미터, IV-Route, 조영제의 조건을 적용하여 연구하였다.

연구 결과 심박동 수(HR)가 65회 미만인 A 그룹에서 가장 낮은 조영 증강 값을 나타냈다. 그룹별 정량평가 결과인 Table 7을 살펴보면 A, B, C 그룹에 조영증강 강도의 차이가 있었으며, A 그룹은 상대적으로 조영증강 값이 낮게 분석되었다. 이는 Lower extremity CTA의 저품질 영상의 원인이 낮은 심박동 수(HR)에 있다는 것을 확인할 수 있다. 나아가 지연시간을 적용하는 것이 조영 증강 개선에 효과가 있는가를 분석하기 위하여 D 그룹(HR≤65), E 그룹(65 < HR < 80), F 그룹(80≤HR)을 지정하여 5초의 지연시간을 추가하여 비교 분석하였다. 지정된 D 그룹은 A 그룹에 비해 평균 100HU 정도 높은 통계학적으로 유의미한 결과값을 Table 9와 Fig. 2에 나타냈으며, 이는 21% 상승하는 수치를 보였다. 또한 정성적 평가 결과 D 그룹은 A 그룹에 비하여 혈관 재현성이 더 우수하다고 평가되었고, 평가 결과는 Table 10에 나타내었다. 하지만 E 그룹은 조영 증강 개선에 효과가 없었고, F 그룹은 C 그룹에 비하여 영상 화질이 더 좋지 않다고 분석되었다. 이는 심박동 수(HR)가 65 이하로 낮은 경우에만 환자에게 적절한 지연시간을 적용하여 검사하는 것이 더 우수한 영상을 확보할 수 있다고 해석된다.

기존의 Lower Extremity CTA 검사를 개선하는 방법 중 Pitch 값을 변경하여 검사하는 방법은 방사선 선량을 환자에게 과도하게 줄 수 있는 가능성이 존재하며^[15], 대퇴동맥(Femoral artery) 이하의 조영제 추적자(Tracker)의 위치를 변화하는 방법은 작은 혈관의 ROI 설정의 어려움이 따를 수 있다. 하지만 환자 개인마다 다른 심박동 수(HR)를 Lower Extremity CTA 검사 시 심박동 수(HR)를 적용하는 방법은 65이하로 낮은 심박동의 환자에게 개선된 하지 동맥혈관(Low Extremity Artery)의 조영증강 효과를 볼 수 있을 뿐만 아니라, 임상에서 추가 스캔을 통한 이중 검사의 피폭을 방지할 수 있다는 측면에서 긍정적인 의미가 있다.

끝으로 본 연구는 심박동 수(HR)와 조영증강의

연관성을 찾는 것이 주된 목적이었기 때문에 환자의 체중을 계산하여 조절하는 조영제의 가변적 요소를 적용되지 못하였고, 다양한 제조사의 CT 장비의 조건이나 스캔 파라미터를 적용하여 연구하지 않았던 점은 제한점으로 남았다. 향후 Lower Extremity CTA 검사에 대한 연구들은 조영제의 가변 요소와 제조사의 다양한 Scan Parameter 등의 변인들을 고려하여 기존의 연구들을 발전시키기를 바란다.

V. CONCLUSION

연구 결과 심박동 수(HR)가 낮을수록 조영제 도달시간이 지연되었으며, 심박동 수(HR)의 차이에 따라 하지 동맥혈관(Low Extremity Artery)의 조영증강 강도(Intensity)는 유의미한 차이를 나타냈다($p < 0.001^{***}$). 또한 지연시간을 적용한 그룹과의 비교 결과는 아래와 같다.

첫째. 지연시간을 적용한 D 그룹은 심박동 수(HR)가 같은 A 그룹($HR \leq 65$)과 비교하여 조영증강 효과가 개선되었다($p < 0.001^{***}$).

둘째. 지연시간을 적용한 E 그룹은 심박동 수(HR)가 같은 B 그룹($65 < HR < 80$)과 비교하여 조영증강 효과가 개선되지 않았다($p < 0.461$).

셋째. 지연시간을 적용한 F 그룹은 심박동 수(HR)가 같은 C 그룹($80 \leq HR$)과 비교하여 조영증강 효과가 저하 되었다($p < 0.05^*$).

결과적으로 심박동 수(HR) 활용한 Lower extremity CTA 검사 방법은 유의미 하였고, 특히 심박동 수(HR)가 65 이하로 낮은 경우에는 환자에게 적절한 지연시간을 적용하여 검사하는 것이 도움이 된다고 사료된다.

Reference

- [1] W. R. Hiatt, J. Goldstone, S. C. Smith Jr, M. McDermott, G. Moneta, R. Oka, A. B. Newman, W. H. Pearce, "Atherosclerotic Peripheral Vascular Disease Symposium II: nomenclature for vascular diseases", *Circulation*, Vol. 118, No. 25, pp. 2826-2829, 2008.
<https://doi.org/10.1161/circulationaha.108.191171>
- [2] M. H. Criqui, V. Aboyans, "Epidemiology of peripheral artery disease", *Circulation research*, Vol. 116, No. 9, pp. 1509-1526, 2015.
<https://doi.org/10.1161/circresaha.116.303849>
- [3] E. Ergün, P. Koşar, C. Oztürk, E. Başbay, F. Koç, U. Koşar, "Prevalence and extent of coronary artery disease determined by 64-slice CTA in patients with zero coronary calcium score", *The international journal of cardiovascular imaging*, Vol. 27, No. 3, pp. 451-458, 2011.
<https://doi.org/10.1007/s10554-010-9681-5>
- [4] F. G. Fowkes, D. Rudan, I. Rudan, V. Aboyans, J. O. Denenberg, M. M. McDermott, P. E. Norman, U. K. Sampson, L. J. Williams, G. A. Mensah, M. H. Criqui, "Comparison of global estimates of prevalence and risk factors for peripheral artery disease 2000 and 2010: a systematic review and analysis", *Lancet* (London, England), Vol. 382, No. 9901, pp. 1329-1340, 2013.
[https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(13\)61249-0](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(13)61249-0)
- [5] E. Selvin, Th. P. Erlinger, "Prevalence of and risk factors for peripheral arterial disease in the United States: results from the National Health and Nutrition Examination Survey 1999-2000", *Circulation*, Vol. 110, No. 6, pp. 738-743, 2004.
<https://doi.org/10.1161/01.cir.0000137913.26087.f0>
- [6] R. L. Pande, T. S. Perlstein, J. A. Beckman, M. A. Creager, "Secondary prevention and mortality in peripheral artery disease: National Health and Nutrition Examination Study 1999 to 2004", *Circulation*, Vol. 124, No. 1, pp. 17-23, 2011.
<https://doi.org/10.1161/circulationaha.110.003954>
- [7] O. Shwaiki, B. Rashwan, M. A. Fink, L. Kirksey, S. Gadani, K. Karupphasamy, C. Melzig, D. Thompson, G. D'Amico, F. Rengier, S. Partovi, "Lower extremity CT angiography in peripheral arterial disease: from the established approach to evolving technical developments", *The international journal of cardiovascular imaging*, Vol. 37, No. 10, pp. 3101-3114, 2021.
<https://doi.org/10.1007/s10554-021-02277-1>
- [8] A. S. Chin, G. D. Rubin, "CT angiography of peripheral arterial occlusive disease", *Techniques in vascular and interventional radiology*, Vol. 9, No. 4, pp. 143-149, 2006.
<https://doi.org/10.1053/j.tvir.2007.02.007>

- [9] D. Fleischmann, R. L. Hallett, G. D. Rubin, "CT angiography of peripheral arterial disease", *Journal of vascular and interventional radiology*, Vol. 17, No. 1, pp. 3-26, 2006.
<https://doi.org/10.1097/01.rvi.0000191361.02857.de>
- [10] A. N. Keeling, C. Farrelly, J. C. Carr, V. Yaghmai, "Technical considerations for lower limb multidetector computed tomographic angiography", *Vascular medicine (London, England)*, Vol. 16, No. 2, pp. 131-143, 2011.
<https://doi.org/10.1177/1358863x10388347>
- [11] K. T. Bae, J. P. Heiken, J. A. Brink, "Aortic and hepatic contrast medium enhancement at CT. Part II. Effect of reduced cardiac output in a porcine model", *Radiology*, Vol. 207, No. 3, pp. 657-662, 1998. <https://doi.org/10.1148/radiology.207.3.9609887>
- [12] K. T. Bae, "Intravenous contrast medium administration and scan timing at CT: considerations and approaches", *Radiology*, Vol. 256, No. 1, pp. 32-61, 2010. <https://doi.org/10.1148/radiol.10090908>
- [13] T. Masuda, T. Nakaura, Y. Funama, T. Higaki, M. Kiguchi, N. Imada, T. Sato, K. Awai, "Aortic and Hepatic Contrast Enhancement During Hepatic-Arterial and Portal Venous Phase Computed Tomography Scanning: Multivariate Linear Regression Analysis Using Age, Sex, Total Body Weight, Height, and Cardiac Output", *Journal of computer assisted tomography*, Vol. 41, No. 2, pp. 309-314, 2017.
<https://doi.org/10.1097/rct.0000000000000513>
- [14] H. Brodoefel, C. Burgstahler, I. Tsiflikas, A. Reimann, S. Schroeder, C. D. Claussen, M. Heuschmid, A. F. Kopp, "Dual-source CT: effect of heart rate, heart rate variability, and calcification on image quality and diagnostic accuracy", *Radiology*, Vol. 247, No. 2, pp. 346-355, 2008.
<https://doi.org/10.1148/radiol.2472070906>
- [15] J. H. Park, K. S. Choo, U. B. Jeon, S. K. Baik, Y. W. Kim, T. U. Kim, Ch. W. Kim, D. W. Jeong, S. J. Lim, "Image Quality and Radiation Dose of Lower Extremity CT Angiography in 128 Slice Dual-Source CT: Comparison of High Pitch and Low Pitch", *Journal of the Korean Society of Radiology*, Vol. 71, No. 3, pp. 120-127, 2014.
<http://doi.org/10.3348/jksr.2014.71.3.124>

심박동 수를 활용한 Lower Extremity CT Angiography 검사의 유용성 평가

김성식¹, 박호성^{2,*}

¹아주대학교의료원 영상의학과

²아주대학교 대학원 융합의과학과

요 약

Lower Extremity CT Angiography 검사 시 환자의 심박동 수(HR)에 따라 하지 혈관의 조영증강 차이를 비교 분석하여 최적화된 영상 기법을 찾고 유용성을 평가하고자 한다. 2022년 1월부터 22년 8월까지 아주대 병원을 내원하여 Lower Extremity CT Angiography 검사를 진행한 외래환자 139명을 대상으로 하였으며, 심박동 수(HR)에 따라 A 그룹(HR ≤65), B 그룹(65<HR<80), C 그룹(80≤ HR)으로 나누었다. 추가로 지연시간을 설정하여 D 그룹(HR ≤65), E 그룹(65<HR<80), F 그룹(80≤ HR) 으로 나누어 조영제 도달시간과 조영증강 평균값을 비교 분석하였다. 결과적으로 심박동 수(HR)의 차이는 하지 혈관 조영증강 강도에 영향을 주었고, 그룹별 정량적 평가 결과 Heart Rate가 65회 이상인 B, C 그룹은 A 그룹에 비해 슬와 동맥의 HU 값이 우수하였다(p<0.001***). 지연시간을 적용한 D 그룹은 A 그룹에 비하여 하지 동맥의 조영증강 효과가 개선이 되었음을 확인할 수 있었고(p<0.001***), 다른 그룹과의 비교한 분석은 유의미하지 않았다. 심박동 수(HR) 활용한 Lower extremity CTA 검사 방법은 유의미 하였고, 특히 심박동 수(HR)가 65이하로 낮은 경우에는 환자에게 적절한 지연시간을 적용하여 검사하는 것이 도움이 된다

중심단어: 심박동 수, 하지 동맥 조영CT, 조영증강

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자)	김성식	아주대학교의료원 영상의학과	방사선사
(교신저자)	박호성	아주대학교 대학원 융합의과학과	박사과정 연구원