











Neuroimaging in Acute Ischemic Stroke: Role and Recent Advances

급성 허혈성 뇌졸중에서의 뇌 영상 검사의 최신 지견과 역할

Se Jin Cho, MD¹ , Seung Chai Jung, MD^{1,2*} , Chong Hyun Suh, MD¹ ,
 Kyung Won Kim, MD^{1,2} , Dong-Cheol Woo, PhD³ , Woo Yong Oh, MD⁴ ,
 Jong Gu Lee, PhD⁴ , Byung Jun Kim, MD⁵ 

¹Department of Radiology, Asan Medical Center, University of Ulsan College of Medicine, Seoul, Korea

²Asan Image Metrics, Clinical Trial Center, Asan Institute for Life Sciences, Asan Medical Center, Seoul, Korea

³Bioimaging Center, Biomedical Research Center, Asan Institute for Life Sciences, Asan Medical Center, Seoul, Korea

⁴Clinical Research Division, National Institute of Food and Drug Safety Evaluation, Cheongju, Korea

⁵Department of Radiology, Korea University Anam Hospital, Korea University College of Medicine, Seoul, Korea

Neuroimaging plays a key role in assessing the detection of acute hemorrhage, diagnosis of infarct core, detection of steno-occlusive arteries, mismatch between infarct core and penumbra, and collateral circulation in patients with acute cerebral ischemic stroke. The recent announcement of randomized clinical trials that demonstrated the usefulness of intra-arterial mechanical thrombectomy and the guidelines of 2018 Guidelines for the Early Management of Patients with Acute Ischemic Stroke from American Heart Association/American Stroke Association led to a larger role of neuroimaging and required new neuroimaging strategy for acute cerebral ischemic stroke. In this review, we summarize the recommendation on neuroimaging from the 2018 Guidelines, and review pros and cons between CT and MR and fast scanned stroke MR. Based on the new guidelines and recent research, we discuss the appropriate neuroimaging strategy for acute cerebral ischemic stroke patients.

Index terms Stroke; Neuroimaging; Computed Tomography, X-Ray; Magnetic Resonance Imaging

서론

급성 허혈성 뇌졸중은 신경학적 후유증을 유발하여 장애와 심할 경우 사망에 이를 수 있는 가장 흔한 신경학적 질환이다. 급성 허혈성 뇌졸중에서 1995년 The National Institute

Received August 28, 2018
 Revised October 16, 2018
 Accepted October 26, 2018

*Corresponding author

Seung Chai Jung, MD
 Department of Radiology,
 Asan Medical Center,
 University of Ulsan
 College of Medicine,
 88 Olympic-ro 43-gil, Songpa-gu,
 Seoul 05505, Korea.









Tel 82-2-3010-3949

Fax 82-2-3010-6645

E-mail dynamics79@gmail.com

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ORCID iDs

Se Jin Cho 
<https://orcid.org/0000-0001-6450-7554>
 Seung Chai Jung 
<https://orcid.org/0000-0001-5559-7973>
 Chong Hyun Suh 
<https://orcid.org/0000-0002-4737-0530>
 Kyung Won Kim 
<https://orcid.org/0000-0002-1532-5970>
 Dong-Cheol Woo 
<https://orcid.org/0000-0001-8202-015X>
 Woo Yong Oh 
<https://orcid.org/0000-0001-7442-7128>
 Jong Gu Lee 
<https://orcid.org/0000-0002-0282-8720>
 Byung Jun Kim 
<https://orcid.org/0000-0001-9462-5885>

of Neurological Disorders recombinant tissue-type plasminogen activator trial 임상시험 (NINDS rtPA) 이후 정맥 내 혈전 용해술(intravenous recombinant tissue-type plasminogen activator trial, IV tPA)은 유일하게 입증된 재관류 치료방법이었다(1). 하지만 정맥 내 혈전 용해술의 적용 시간은 급성 허혈성 뇌졸중 발생 시간 후 3~4.5시간 이내로 짧고, 주로 말단 동맥에 발생한 작은 혈전에 효과를 보이고, 큰 혈관에서의 재개통률이 낮다는 단점이 있다(2). 이에 동맥 내 재개통술의 역할이 주목받으면서 2013년 Interventional Management of Stroke III (IMS-III), Mechanical Retrieval and Recanalization of Stroke Clots Using Embolectomy (MR RESCUE), Systemic Thrombolysis for Acute Ischemic Stroke (SYNTHESIS)-Expansion 3개의 무작위 배정 임상시험은(3-5) 동맥 내 재개통술의 효용성을 입증하려 하였으나 실패하였다(6). 2013년의 임상시험의 실패 원인에 대한 분석과 함께 동맥 내 재개통술에 적합한 환자군을 선별하는데 주목하면서 2015년에 발표된 Multicenter Randomized Clinical Trial of Endovascular Treatment for Acute Ischemic Stroke in the Netherlands (이하 MR CLEAN), Endovascular Treatment for Small Core and Anterior Circulation Proximal Occlusion with Emphasis on Minimizing CT to Recanalization Times (이하 ESCAPE), Extending the Time for Thrombolysis in Emergency Neurological Deficits-Intra-Arterial (이하 EXTEND-IA), Solitaire with the Intention for Thrombectomy as Primary Endovascular Treatment (이하 SWIFT PRIME), Revascularization with Solitaire FR Device versus Best Medical Therapy in the Treatment of Acute Stroke Due to Anterior Circulation Large Vessel Occlusion Presenting within Eight Hours of Symptom Onset (이하 REVASCAT) 등의 5개의 무작위 배정 임상시험에서 급성 허혈성 뇌졸중 환자의 치료에 있어 동맥 내 재개통술(endovascular mechanical thrombectomy)로 대변되는 혈관 내 치료(endovascular treatment, EVT)의 효용성을 입증하였다(7-11). 이러한 임상시험에서 영상학적 검사는 뇌경색을 진단하고 뇌경색 부피(infarct core)를 반영하며 주요 동맥혈관의 협착 여부를 판단하여 동맥 내 재개통술의 적응증이 될 수 있는 환자를 분류하는데 핵심적 역할을 하였다. 하지만, 이러한 동맥 내 재개통술은 최근까지 증상 발현 6시간 이후의 치료에서 효과가 입증된 바 없었다. 그런데, 2018년 DWI or CTP Assessment with Clinical Mismatch in the Triage of Wake-Up and Late Presenting Strokes Undergoing Neurointervention with Trevo (이하 DAWN)과 Diffusion and Perfusion Imaging Evaluation For Understanding Stroke Evolution (이하 DEFUSE-3) 무작위 배정 임상시험에서 영상의학적 검사를 중심으로 동맥 내 재개통술에 적합한 뇌졸중 환자를 선택한다면 6시간 이후에도(DAWN: 6~24시간, DEFUSE-3: 6~16시간) 동맥 내 재개통술이 효과가 있음을 증명하였다(12, 13). 이에 2018년 미국뇌졸중협회(American Heart Association/American Stroke Association, AHA/ASA)는 새로운 가이드라인(2018 Guidelines for the Early Management of Patients with Acute Ischemic Stroke)에서(14) 동맥 내 재개통술의 권고 시간을 기존의 6시간에서 최대 24시간으로 늘렸다. 가이드라인의 영향으로 동맥 내 재개통술의 시술대상의 폭이 넓어졌다고 할 수 있는데, 급성 허혈성 뇌졸중의 가장 중요한 치료 목표인 신속한 재관류를 위한 신속한 영상 검사뿐만이 아니라 6시간 이후에 동맥 내 재개통술의 적응증에 해당하는 환자를 선별해 내기 위한 정확한 영상의학 검사가 이전보다 더욱 중요해졌다고 할

수 있다. 따라서 이 논문에서는 최근 발표된 2018년 미국뇌졸중협회 가이드라인의 배경과 영상의학적 권고안을 요약하고자 한다. 급성 허혈성 뇌졸중의 영상의학적 검사로서의 컴퓨터단층촬영(이하 CT)과 자기공명영상(이하 MRI)과 장·단점을 기술하고 MR의 단점 극복을 위한 고속촬영 기법에 대해 기술하고자 한다. 새로운 가이드라인과 최근의 연구를 바탕으로 급성 허혈성 뇌졸중 환자를 위한 적절한 영상의학적 전략에 대해 논하고자 한다.

뇌 영상에 관한 2018년 미국 뇌졸중 협회 가이드라인(AHA/ASA 2018 Recommendation Focusing on Update of Imaging Protocols)

2015년에 발표된 MR CLEAN, ESCAPE, EXTEND-IA, SWIFT PRIME, REVASCAT 등의 5개의 무작위 배정 임상시험들은 첫째, 비침습적 혈관 조영술을 포함하는 뇌 영상을 근거로 주요 뇌혈관 폐색이 있는 환자를 대상으로 포함시켰고, 둘째, 뇌 영상을 바탕으로 큰 뇌경색(large ischemic core)이 동반된 환자를 배제하고 측부순환(collateral circulation)을 평가하여 동맥 내 재개통술 적응증이 되는 환자를 분류하였고, 셋째, 기술적으로 개선된 혈전 제거용 스텐트[Solitaire (Covidien) and Trevo (Stryker)]를 사용하였고, 넷째, 혈관 재개통까지의 시간 단축에 집중했다는 점 등의 공통점이 있었다(7-11). 2018년 미국뇌졸중협회 가이드라인은 2015년의 5개 임상시험 결과와 더불어 2018년에 연달아 발표된 DAWN과 DEFUSE-3 임상시험 결과에 근거를 두고 개정하였다(12, 13). 동맥 내 재개통술은 6시간 이내에 시행해야 환자의 예후가 보장된다는 기존의 임상시험 결과를 넘어서 6시간 이후에서도 영상 검사를 바탕으로 특정 환자군을 선별한다면 동맥 내 재개통술이 효과를 발휘할 수 있다는 것이 DAWN과 DEFUSE-3 임상시험의 중요한 의의라고 할 수 있다. DAWN과 DEFUSE-3 임상시험에서는 뇌 영상을 통해 뇌경색의 크기가 비교적 작은 환자를 대상으로 하였고 뇌경색(infarct core) 부피와 환자의 증상 혹은 회생 가능한 허혈성 반음영(salvageable ischemic penumbra)과의 불일치(mismatch)를 확보하는데 집중했다(12, 13). DAWN 임상시험에서 환자 선별을 위한 영상의학적인 기준은 1) CT나 MRI에서 중대뇌혈관 영역 3분의 1 이하의 뇌경색이 있고, 2) 컴퓨터단층촬영 혈관 조영술(computed tomographic angiography; 이하 CTA)과 자기공명영상 혈관 조영술(magnetic resonance angiography; 이하 MRA)로 내경동맥(internal carotid artery; 이하 ICA) 또는 중대뇌동맥(middle cerebral artery; 이하 MCA)의 M1 분지 폐색이 확인되며, 3) 환자의 증상(National Institutes of Health Stroke Scale score)과 뇌경색(infarct core) 부피(0~50 mL)와의 불일치(mismatch)가 있는 환자를 포함시켰다(12). DEFUSE-3 임상시험의 경우 1) CTA와 MRA를 이용하여 ICA 혹은 MCA의 M1 분지의 폐색이 확인되고, 2) 관류 CT와 MR상 뇌경색(infarct core) 부피가 70 mL 이하이고, 회생 가능한 허혈성 반음영(salvageable ischemic penumbra)이 뇌경색 부피의 1.8배 이상인 환자, 그리고 회생 가능한 허혈성 반음영(salvageable ischemic penumbra)의 절대 부피가 15 mL 이상인 환자를 대상으로 하였다(13).

급성 허혈성 뇌졸중 환자를 위한 뇌 영상에 대한 2018년 미국뇌졸중협회 가이드라인은 Table 1에 요약하였다(14). 가이드라인상 뇌 영상 검사의 핵심 역할은 환자의 치료 시간을 늦추지 않으면

Table 1. AHA/ASA 2018 Recommendation of Imaging Protocols

뇌 영상 가이드라인	권고 수준 COR	근거 수준 LOE	개정 상태
1. 허혈성 뇌 경색이 의심돼 내원한 모든 환자는 도착과 동시에 뇌 영상 검사를 시행해야 한다. 대부분의 경우, 비 조영 증강 CT (noncontrast CT) 가 초기 치료 결정에 필요한 정보를 제공할 것이다.	I*	B-NR ^{††}	2013 권고안으로 부터 개정됨
2. 정맥 내 혈전 용해술(IV alteplase) 또는 동맥 내 재개통술(mechanical thrombectomy)의 대상이 될 수 있는 환자의 적어도 50%가 응급실 내원 후 20분 안에 뇌 영상 검사를 할 수 있도록 시스템을 갖추어야 한다.	I*	B-NR ^{††}	새 권고 사항
3. 정맥 내 혈전 용해술(IV alteplase)의 치료반응에 영향을 줄 수 있는 급성 CT 저음영(acute CT hypoattenuation)의 정도와 크기에 대한 특정한 역치값에 대한 증거는 여전히 불충분하다. 따라서 급성 초기 허혈성 저음영을 제외하면 정맥 내 혈전 용해술 치료 대상인 환자에 대해서 급성 초기 허혈성 저음영(CT hypoattenuation or early ischemic change)의 정도와 크기를 치료를 유보하는 기준으로 삼아서는 안된다.	III: No Benefit [§]	B-R ^{**}	2015 권고안으로 부터 개정됨
4. CT 동맥 고음영 소견(CT hyperdense MCA sign)을 제외하면 치료 대상인 환자에 대해서 CT 동맥 고음영 소견을 정맥 내 혈전 용해술(IV alteplase) 치료를 유보하는 기준으로 삼아서는 안된다.	III: No Benefit [§]	B-R ^{**}	새 권고 사항
5. 정맥 내 혈전 용해술(IV alteplase) 치료 전에 뇌 미세출혈(cerebral microbleeds)을 배제하려는 목적으로 시행하는 정례적인 MR (routine MR)은 권고되지 않는다.	III: No Benefit [§]	B-NR ^{††}	새 권고 사항
6. 증상발생시점이 불명확하거나 기상 시 발견된 뇌졸중(awoke with stroke) 환자에서 정맥 내 혈전 용해술(IV alteplase) 치료 결정을 위해 뇌영상의 기준(imaging criteria)을 적용하는 것은 임상시험외에는 권고되지 않는다.	III: No Benefit [§]	B-NR ^{††}	2015 권고안과 차이 없음.
7. 관류 영상을 포함한 다중기법의 CT, MR (multimodal CT and MR) 검사로 인해 정맥 내 혈전 용해술(IV alteplase) 치료가 지연되어서는 안된다.	III: Harm	B-NR ^{††}	새 권고 사항
8. 동맥 내 재개통술 적응증에 해당하는 환자들에게 초기 영상학적 검사 중 비 침습적 혈관 조영술(CTA 및 MRA)이 권장되지만, 정맥 내 혈전 용해술(IV alteplase) 치료를 지연시켜서는 안된다. 전문적인 의료 그룹(professional medical societies)의 가이드라인을 따라 정맥 내 혈전 용해술(IV alteplase) 치료 대상이 되는 환자들에서 초기 영상학적 검사 중에 비 침습적 혈관 조영술이 시행되지 않았다면 그 검사 전에 정맥 내 혈전 용해술(IV alteplase) 치료를 먼저 시행하는 것이 권고된다. 그리고 비 침습적 혈관 조영술은 가능한 빨리 시행해야 한다.	I*	A [¶]	2015 권고안으로 부터 명료한 표현으로 수정됨
9. 동맥 내 재개통술 대상인 환자에서 큰 뇌 혈관 폐색 (large vessel occlusion)이 의심된다면 혈중 크레아티닌 검사를 하지 않았을 경우라도 이전에 신장 기능 장애의 기왕력이 없다면 CT 혈관 조영술을 시행하는 것이 합리적이다.	IIa [†]	B-NR ^{††}	새 권고 사항
10. 동맥 내 재개통술의 잠재적 후보 환자들에서 뇌 혈관뿐 아니라 두개 외경동맥(extracranial carotid artery) 과 척추동맥에 대한 영상 검사는 치료 환자 선별과 계획에 유용한 정보를 줄 수 있으므로 합리적이다.	IIa [†]	C-EO ^{§§}	새 권고 사항
11. CT 그리고 CTA, 또는 MR 그리고 MRA 검사 외 관류영상과 같은 추가적인 영상은 6시간 이내 환자에서는 동맥 내 재개통술 대상자 선정을 위한 검사로 권고되지 않는다.	III: No Benefit [§]	B-R ^{**}	새 권고 사항
12. 증상 발생 추정 시점부터 6시간부터 24시간 사이의 환자가 전방 순환의 큰 뇌혈관 폐색이 확인되었다면 동맥 내 재개통술 대상자 선정을 위해 관류 CT, 확산 강조 MR, 혹은 관류 MR 검사를 추천한다. 하지만 동맥 내 재개통술을 위한 환자 선정은 DAWN과 DEFUSE-3 임상 시험에서 동맥 내 재개통술이 이득을 보였던 뇌 영상을 포함한 기준 범위 내에서 엄격히 적용돼야 한다.	I*	A [¶]	새 권고 사항
13. 동맥 내 재개통술의 대상자 선정을 위해 측부 순환 상태를 임상적 결정에 포함시키는 것은 합리적일 수 있다.	IIb [†]	C-LD ^{**}	2015 권고안으로 부터 개정됨

Adapted from Power et al. Stroke 2018;49:e46-e110 (14). Only Korean translated table is permitted from the American Heart Association.

*Class I (strong recommendation), Benefit >>> Risk.

† Class IIa (moderate recommendation), Benefit >> Risk.

‡ Class IIb (weak recommendation), Benefit ≥ Risk.

§ Class III: no Benefit (moderate recommendation), Benefit = Risk, || Class III: harm (moderate recommendation), Benefit = Risk.

¶ Level A, high quality evidence.

**Level B-R, moderated quality evidence, randomized.

†† Level B-NR, moderated quality evidence, nonrandomized.

** Level C-LD, limited data.

§§ Level C-EO, consensus of expert opinion based on clinical experience.

AHA/ASA = American Heart Association/American Stroke Association, COR = class of recommendation, CTA = CT angiography, CTP = CT perfusion, DW = diffusion-weighted, EVT = endovascular treatment, LOE = level of evidence, MCA = middle cranial artery, MRP = MRI perfusion

서 정확한 진단을 내리는 것과 함께 동맥 내 재개통술의 적합한 환자를 선별하는 것이다. 첫째, 급성 허혈성 뇌졸중 환자에서의 정맥 내 혈전 용해술을 통한 신속한 재관류 치료는 초기 치료의 핵심인바 뇌 영상 검사로 인해 재관류 치료가 지연되지 않도록 하면서도 정확한 적응 환자를 진단할 수 있는 시스템과 프로토콜이 필요하다. 특히 응급실에 도착하자마자 비조영 증강 CT (noncontrast CT)를 시행하여 환자의 치료 선택을 해야 한다. 동맥 내 재개통술 치료 적응증에 해당하는 환자들에서는 CTA 혹은 MRA를 권장하지만, 검사가 정맥 내 혈전 용해술을 지연시키면 안된다. 또한 신장 기능 장애의 기왕력이 없다면 혈중 creatinine 검사 없이도 CTA를 시행할 수 있다는 것도 또한 같은 맥락에서 나온 권고사항이다. 6시간 이내에 동맥 내 재개통술의 대상자 선정을 위한 검사로서 CT와 CTA, 또는 MR과 MRA 이외의 관류 영상과 같은 추가적인 뇌 영상을 추천하지 않는 것은 신속한 치료의 중요성을 감안한 것이다. 둘째, 동맥 내 재개통술의 대상자를 선별하는 각 센터의 영상학적 전략이 필요하다. 증상 발생 후 6시간 이내 혹은 이후 모두 비침습적 혈관 조영술을 시행하는 것을 추천하고, CTA 혹은 MRA를 시행할 때 두개의 혈관상태에 대한 검사가 필요하다고 권고한다. 증상 발생 추정 시점부터의 시간별로 세부적으로 보면, 6시간 이내의 동맥 내 재개통술의 대상자의 경우, 관류 CT와 MR은 대상 환자를 선별하려는 목적으로 시행하는 것은 추천하지 않는다. 이는 무작위 배정 임상시험인 MR CLEAN과 Trial and Cost Effectiveness Evaluation of Intra-arterial Thrombectomy in Acute Ischemic Stroke (THRACE)에서 주요 혈관 폐색 확인을 위해 비조영 증강 CT만을 사용 했음에도(7, 15), 그의 추가적인 검사를 시행했던 나머지 ESCAPE, EXTEND-IA, SWIFT PRIME, REVASCAT 등의 4개의 임상시험과 비교했을 때(8-11), 이득이 확인되었기 때문인데 추가적인 영상 검사로 얻는 정보의 이득보다는 치료 시간 지연을 막아서 생긴 이득이 더 컸기 때문으로 판단된다. 그리고 6시간 이후 동맥 내 재개통술의 대상자가 되는 환자는 DAWN (6~24시간)과 DEFUSE-3 (6~16시간) 임상시험에서 효용성이 입증된 범위 안에서 엄격히 선별되어야 하고, 이를 위해 관류 CT, 확산강조 MR (diffusion weighted MR), 혹은 관류 MR을 추천하고 있다. 요약하면, 증상 발생 후 6시간 이내의 환자의 경우 뇌 영상 검사는 동맥 내 재개통술을 지연시키지 않는 범위에서 시행하고, 6시간 이후 24시간 이내의 환자의 경우 뇌 영상 검사를 통해 뇌 관류 상태와 측부순환(collateral circulation)을 확인하여 동맥 내 재개통술에 적합한 환자를 선별하는 것이 중요하다고 할 수 있다. 따라서 급성 허혈성 뇌졸중 환자를 위한 뇌 영상 검사는 뇌출혈의 배제와 뇌경색 부피의 진단(3시간 이내), 폐색 부위의 신속한 위치 파악(6시간 이내), 회생 가능한 허혈성 반음영과 뇌경색 부피의 불일치 정도와 측부순환 확인(6시간 이후)과 같이 시간에 따라 다른 영상학적 전략이 요구된다.

급성 허혈성 뇌졸중 환자를 위한 컴퓨터단층촬영과 자기공명영상의 역할 및 소견

컴퓨터단층촬영

비조영 증강 CT는 초기 급성 허혈성 뇌졸중 환자의 평가에 있어 필수적인 검사이며 대부분의 경우에 처음으로 쓰이는 뇌 영상 검사이다. 적은 비용, 용이한 접근성, 짧은 검사 시간의 장점을 바

탕으로 출혈성 뇌졸중을 배제할 수 있기 때문에 스크리닝 검사로 아주 유용하다고 할 수 있다(16). 초기 허혈성 변화(early ischemic change)를 요약하면 1) 뇌 실질의 부종과 저음영(hypoattenuation), 2) 뇌 피질의 고랑과 수조(sulcus and cistern)를 소실시키는 종괴 효과(mass effect), 3) 섬피질(insular cortex) 리본 소실, 4) 불명료한 렌즈 모양 핵(obscuration of the lentiform nucleus)을 비롯한 회백질과 백질 사이의 경계 소실, 5) 중대뇌 동맥의 고음영 소견(hyperdense MCA sign) 등이다(16-18). 이러한 초기 허혈성 변화를 간단하게 구조화된 방법으로 평가하는 방법으로 제시된 것이 Alberta Stroke Program Early CT Score (이하 ASPECTS) 방법이다(19). 시상(thalamus)과 기저 핵(basal ganglia)이 포함된 영상 그리고 기저 핵 바로 위쪽의 두 컷의 영상에서 중뇌혈관 영역을 10개의 관심영역으로 구분하고(M1, M2, M3, M4, M5, M6, caudate, lentiform nucleus, and internal capsule) 각각 1점씩을 부여한 후 비정상 부위에서 감점하는 방식이다. 따라서 정상인은 10점이고, 4점까지 점수가 떨어지면 큰 뇌경색(infarct core)을 가졌다고 판단된다. 하지만 ASPECTS는 초급성기(증상 발생 90분 이내) 환자의 경우에는 신뢰도가 떨어진다고 보고된 바 있다(20, 21). 그리고 영상 획득의 차이(장비의 종류, 촬영 방법, 촬영 프로토콜)와 환자 요인(뇌 위축, 뇌 백질 신호 변화 등)이 신뢰도에 영향을 미친다고 알려져 있다(21, 22). 따라서 비조영 증강 CT 영상 획득 파라미터의 표준화가 요구된다.

CTA는 정맥 내에 조영제를 주입하여, 빠른 시간 안에 혈관 폐색 부위를 찾는데 유용하다(23). 특히 동맥 내 재개통술 효용성 증명을 위한 대부분의 뇌졸중 임상시험 연구에서 모두 CTA를 환자 선별에 이용했다는 점은 주목할 필요가 있다. 또한 혈전 위치, 혈전의 범위, 치료 여부 결정, 치료 방법과 기구 결정 등에 핵심적인 역할을 하는 대동맥 궁(aortic arch), 근위부 두개 외경동맥(proximal extracranial carotid artery), 원위부 두개 내경동맥(distal intracranial carotid artery) 등에 대한 혈관 해부 정보를 제공하고 혹은 색전의 원인 병변이 있는지 정보를 줄 수 있다(23, 24). 부가적으로 막힌 뇌 혈관이 공급하는 해당 혈관 범위의 허혈 뇌 조직에서 보이는 뇌 연막 동맥 조영 증강으로 미루어 측부순환을 판단하는데 도움을 얻을 수 있다(25). 고식적 CTA에서의 측부순환은 조영제가 혈관에 도달하는 순간의 한 시점에서 평가하기 때문에 너무 일찍 영상을 얻으면 측부순환을 과소평가할 수 있다는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 개발된 multiphase CTA는 동맥기 때 두개 외 혈관과 뇌 혈관을 포함하는 넓은 범위의 영상 획득을 하고, 이어서 한번 내지 두 번의 정맥기(중간 정맥기 혹은 후기 정맥기)에서는 뇌 혈관 영상만을 획득하여 뇌 혈관과 두개 외 혈관 정보 모두를 얻으면서 뇌 혈관의 혈류역학을 파악하여 측부순환 상태 판단이 더욱 정확해진다는 장점이 있다(26). 측부순환이 잘 발달된 환자는 뇌경색(infarct core) 부피의 크기 증가 속도에 유효한 영향이 있다고 알려져 있고 앞서 언급한 최근의 무작위 배정 임상시험들에서도 측부순환이 있는 환자가 동맥 내 재개통술에 더 좋은 결과를 보였다(27).

2015년 발표된 EXTEND-IA, SWIFT PRIME과 2018년 DAWN과 DEFUSE-3에서 관류 CT 검사를 환자 선별을 위해 이용하였고 특히 6시간 이후 24시간 이내의 환자에서 동맥 내 재개통술의 환자 선별을 위해 관류 CT의 유용성이 높아지고 있다(8, 11-13). 급성 허혈성 뇌졸중에서 관류 CT는 회생 가능한 허혈성 뇌 조직을 반영하는 허혈성 반음영(penumbra)이 남아있는지 평가할 수 있는 방법이다. 원리는 조영제를 정맥 내 주입한 후 뇌 혈관에 조영제가 첫 통과(first pass) 할 때, 조

영제의 밀도(density)를 추적자 역동학 모델(tracer kinetic model)에 근거하여 분석함으로써 혈관 내 mean transit time (이하 MTT), time to peak (TTP), cerebral blood flow (이하 CBF), cerebral blood volume (이하 CBV) 등의 혈류 흐름의 정보를 얻어 내고 이를 일반적으로 색깔 코딩을 하여 시각화 시킨다(28). 일반적으로 뇌경색(infarct core)이 MTT가 길어지고, CBF와 CBV가 감소하는 것과 비교했을 때, 허혈성 반음영(penumbra)으로 대변되는 회생 가능한 뇌 조직은 MTT가 길어지고 CBF가 떨어짐에도 불구하고 CBV가 증가되는 것을 보고 판단한다(29). 관류 CT의 원 데이터(raw data)를 이용하여 역동적(dynamic) CTA 영상을 만들어 측부순환 상태를 확인할 수도 있다(30). 그럼에도 불구하고 관류 CT는 스캔 범위가 짧고, Z축의 움직임 허상의 위험이 높다(31). 특히 검사 후 프로세스에 있어 시간이 걸릴 수 있다는 단점은 자동 영상 프로세스 시스템을 통해 극복 가능하지만(8, 11-13), 움직임 허상 교정이나 뇌 혈류 역치를 어떻게 정할지에 대한 최적화 연구는 여전히 필요하다(31).

자기공명영상

CT가 급성 허혈성 뇌졸중 환자의 뇌 영상 검사로서 널리 쓰이고 있지만, 확산 강조 MR을 중심으로 한 MR 또한 급성 허혈성 뇌졸중 환자의 뇌 영상 검사의 중요한 축을 담당하고 있다. 확산 강조 MR은 뇌경색의 영상학적 진단 민감도가 가장 높을 뿐 아니라 뇌경색(infarct core)의 부피를 정확히 정량화할 수 있다는 점이 가장 큰 장점이다(32). 뇌경색은 확산 강조 MR의 높은 신호 강도를 보이는 병변 중에서 낮은 현성 확산 계수(apparent diffusion coefficient, ADC)를 확인하여, 세포 독성 부종으로 인한 확산 제한(diffusion restriction)이 발생했음을 확인하는 것이다. 확산 강조 영상과 현성 확산 계수가 모두 높은 경우는 T2 shine-through 효과에 의한 혈관 부종 부위이므로 혈관 경색 부위에 포함시키지 않도록 주의해야 한다. 현성 확산 계수의 수치가 낮을수록 허혈성 장애 유발이 크지만 재 관류 이후 조직의 치명률(fate)을 예측할 수는 없다고 알려져 있다. 하지만 거짓 정상화(pseudo-normalization)로 인한 해석의 오류가 있음을 알아야 한다(33). 액체 감쇠 역전 회복 영상(fluid-attenuated inversion recovery imaging; 이하 FLAIR)은 증상 발생 추정 시점으로부터 3~8시간 안에 변화가 나타나는데, 확산 강조 영상에 비해 늦게 나타나는 것이지만 해부학적 정확도가 높고, 폐색 발생 시점이 명확하지 않은 경우 발생 예상 시간 추정에 부가적인 도움을 받을 수 있다. 한 예로 액체 감쇠 역전 회복 영상에서 신호 강도 변화가 없고, 확산 강조 영상에서 신호 변화가 있는 경우, 약 78~93%의 정확도로 3시간에서 4.5시간 사이에 폐색이 발생한다고 알려져 있다(34).

MRA는 CTA와 마찬가지로 직접적으로 혈관 폐색 부위를 찾고, 동맥 내 재개통술의 경우 접근 경로가 되는 혈관 정보를 주며, 색전의 경우는 원인 병변을 찾을 수도 있다. Phase-contrast MRA, 혹은 time-of-flight (이하 TOF)-MRA 기법의 경우는 조영 증강 MRA와 비교했을 때 조영제를 사용하지 않고도 영상을 획득할 수 있는데, 긴 영상 획득 시간, 큰 혈류 의존성, 많은 움직임 허상 등의 단점이 있지만, 반대로 혈류의 방향에 대한 간접적인 정보가 있다는 장점이 있다(35). 반대로 조영 증강 MRA는 넓은 범위를 검사할 수 있지만 공간 분해능이 떨어진다. 각각의 기법 간에도 차이가 있지만 MRA 기법 자체는 CTA와 비교 시 혈류 의존성이 크고, 움직임 허상이 많다. 그리고 완

전 혈관 폐색과 내부에 매우 작은 내강이 있는 심한 폐색을 구분하기 어렵다(35).

관류 MR은 관류 CT와 사용하는 조영제가 다르고(gadolinium containing contrast versus iodinated contrast media) 신호강도를 반영하기 위한 역동학적 모델이 다르지만, 기본적으로 동맥, 미세 혈관, 정맥을 통과하는 조영제의 증감을 측정하고, 검사 후 프로세스로 영상화한 후 분석하여 파라미터를 코딩하여 뇌 관류를 예측한다는 점에서 비슷하다(36). 하지만 CTA에서는 조영증강의 원리는 조영제가 많을수록 감쇄 정도(Hounsfield units)가 커지는 선형 상관관계를 갖지만, MRA에서는 단순 상관관계가 아니고 신호 강도에 영향을 주는 다양한 원인이 있어 정량화가 쉽지 않다. 상대적으로 Z축 스캔 범위가 관류 CT보다 넓기 때문에 이를 보완해주는 방법이 될 수 있다.

급성 허혈성 뇌졸중에서 MR의 핵심 역할이 앞선 경색의 유무를 민감하게 진단하는 것, 뇌경색(infarct core)의 정도를 파악하는 것, 폐색 혈관을 찾는 것에 있지만 액체 감쇠 역전 회복 영상(FLAIR), 경사 에코 기법(Gradient echo), 그리고 자화율 강조 영상(susceptibility weighted imaging)과 같은 MR 기법들은 자화율이 강조되기 때문에 육안적 출혈 발견 뿐만 아니고 미세 출혈(cerebral microbleed) 진단 그리고 폐색 혈관 발견에 민감도가 높다(32, 37). 아직까지는 미세 출혈의 유무가 재 관류 치료를 결정하는 요소가 될 수 있는지에 대한 무작위 임상시험 연구는 없다.

급성 허혈성 뇌졸중 환자에서 컴퓨터단층촬영과 자기공명영상의 비교

CT는 일반적으로 MR에 비해 접근성이 좋고, 검사시간이 짧은 장점이 있다(38). 하지만 CT가 방사선 노출이 된다는 단점에 대해 선량 감소에 대한 노력은 꾸준히 되어야 한다. 비조영 증강 CT의 경우 초기 출혈 배제를 위해 가장 기초적인 검사이지만, 급성 허혈성 뇌졸중 진단의 민감도(24시간 이내: 57~71%)가 확산 강조 MR (6시간 이내: 95~100%)에 비해 떨어지고, 특히 3시간 이내의 초급성 허혈성 뇌졸중의 민감도는 20%가 되지 않는다(32, 33, 37). 특히 뇌경색(infarct core)에 대한 판독자간 일치성이 낮으며 특히 후방 순환(posterior circulation), 원위부(distal emboli), 열공성 혹은 작은(lacunar) 뇌경색이 있는 경우 민감도가 매우 낮아진다(32, 33, 37, 39). 한국인이 백인/코카시아인에 비해 후방 순환 경색이 상대적으로 높다는 특수성과(40, 41), 후방 순환 경색이 전방 순환 경색에 비해 장애 유발이 크고 안 좋은 예후 예측인자라는 보고를 참고하면 CT의 단점이 될 수 있다(42, 43). 중대뇌 동맥의 고음영 소견(hyperdense sign)은 병변의 위치 정보를 줄 수 있으나 민감성이 52%로 낮고, 동맥경화증 등의 고음영을 보이는 다른 거짓 양성 병변들로 인해 해석에 어려움이 있다(44). CTA와 관류 CT는 폐색 부위와 정도를 정확히 찾고 측부순환 파악에 유용한 정보를 제공한다. 상대적으로 후방 순환 뇌경색이 많은 한국의 특수성 때문에 비조영 증강 CT의 제한점이 더 커질 수 있다고 하였는데, CTA로 병변 국소화에 도움을 얻고(40), 관류 CT가 후방 순환에서 비조영 증강 CT와 CTA에 비해서 조기 허혈 변화를 찾아내는 진단능에 있어 유의한 가치가 있다는 보고가 있어(민감도 91%, 특이도 93%) (43, 45), CTA와 관류 CT가 비조영 증강 CT를 보완하는 효과가 있다고 할 수 있다. CTA는 MRA에 비해서 움직임 허상에 강하고, 혈류 의존도가 낮다. 특히 급성 허혈성 뇌졸중 환자의 큰 뇌 혈관 폐색 진단에 있어 거의 100%까지 민감도를 보여 MRA에 비해 높은 민감도를 보인다고 알려져 있다(33, 46). 하지만 대동맥궁과 두개 외 혈관 평가는 허

상으로 인해 어려움이 있다. 관류 CT는 관류 MR과 비교했을 때, 측부순환의 정도 파악에 큰 차이를 보이지 않지만, 검사 시간이 짧아 유용하다(47). 마지막으로, CTA와 관류 CT는 MR과 비교했을 때 기본적으로 조영제를 사용해야 한다는 단점이 있다.

MR은 CT와 비교하여 이온화 방사선 노출이 없다. 그리고 다양한 영상 검사 기법을 통해 제공하는 정보가 다양하다(32). 조영제를 사용하지 않고 영상을 획득할 수 있어 신장 기능 저하 환자에서 유용하게 쓰일 수 있다(48). 확산 강조 MR은 CT와 비교했을 때 6시간 이내 진단이 거의 100%까지, 진단이 어려운 3시간 이내의 73~92%까지로 민감도가 높고 부피 정량화에 정확성이 매우 높다(33). 큰 뇌 혈관 폐색이 확인된 환자를 대상으로 CT만을 사용했던 그룹과 MR을 추가한 두 그룹을 전향적으로 비교 연구했을 때 MR을 추가한 그룹이 신경 중재 시술의 수를 50%까지 줄였다는 보고가 있는데 이는 뇌경색 진단의 민감도가 CT보다 높기 때문이다(48). 하지만 수많은 장점에도 불구하고, 많은 응급센터에서 MR 검사로의 접근성과 가용성이 떨어진다. 모든 응급센터가 표준화된 급성 허혈성 뇌졸중 환자에 맞춘 다양한 기법을 갖추기가 어렵고, 검사 시간이 CT보다 더 걸린다. 또한 폐쇄 공포증의 유무, 인공 허상 유발이 가능한 보철물 삽입 여부 등 MR의 비 적응증이 되는 환자 선별, MR 검사실로의 동선, 다양한 MR 기계 중 가장 적절한 장비의 선택, 급성 뇌졸중 검사에 경험이 있는 방사선사 등 부가적으로 검사 시간에 영향을 미치는 요소가 많이 있다(Table 2).

급성 허혈성 뇌졸중 환자를 위한 고속 촬영 자기공명영상 기법

CT와 MR의 비교를 요약하면, MR은 뇌경색 진단 민감도가 매우 높고 제공하는 정보가 다양함에도 불구하고 접근성과 촬영 시간이 단점으로 작용하는 것을 알 수 있다. 하지만 접근성 향상 및

Table 2. Comparison between CT and MRI in Acute Ischemic Stroke

	CT	MRI
Accessibility	High	Low
Examination time	Short	Relatively long
Information (amount and characters)	Limited, sensitive to hemorrhage and calcification	Various
Radiation exposure	High	No
Usage of contrast agent	Essential in angiography	Possible without contrast agent in angiography
Standardization of examination	Easy	Complex
Dependency by the technician	Low	High
Sensitivity on early detection of hemorrhage	Within 24 hours: 57-71%	Within 6 hours: 95-100%
Inter-reader agreement about infarct core	Low	High
Sensitivity on diagnosis of lesions of posterior circulation	Low	High
Sensitivity on localization of involved vessel	Low	High
Interfering factors for image interpretation	False-positive high attenuated lesion, artifact (movement, beam hardening, etc)	Artifact (movement, metal, etc), claustrophobia
Relative advantages of angiography	Less movement artifact, less blood flow dependency, high sensitivity than MRI	Less artifact for aortic arch or extracranial vessel than CT

촬영 시간 단축 전략들이 끊임없이 연구되고 있다. 2013년 미국 뇌졸중협회 가이드라인에서 병원 도착부터 뇌 영상까지의 시간(door-to-imaging time)을 25분 이내로 권고한 이후(49) 2018년 미국 뇌졸중협회 가이드라인에서는 20분 이내로 더 단축하여 권고하였다(14). 이러한 뇌 영상 검사까지의 시간 단축 권고의 근거에는 전방위적인 응급실 시스템의 향상이 시간 단축을 이끌 수 있다는 연구 결과와 함께(50-53) 최근의 신속한 동맥 내 재개통술에 대한 필요가 더해진 결과로 생각된다. 최근에는 응급실 도착부터 MR 촬영 시간까지의 시간을 단축함으로써 급성 허혈성 뇌졸중 환자에서 MR을 주된 스크리닝 검사로 이용할 수 있다는 연구도 있었다(54).

MR의 촬영 시간 단축을 위한 시도는 최근의 다양한 시간 단축 기술 개발과 함께 더욱 진화하고 있다. Simultaneous multi-slice acquisition이나 Compressed sensing과 같은 촬영 시간을 단축하면서도 영상의 질 저하를 최소화하는 기술의 적용으로 급성 허혈성 뇌졸중 환자를 위한 촬영 시간 2분대의 고속 촬영 MR이 선보였다(55-57). 2014년 최신의 촬영 시간 단축 기술 없이 기존에 잘 알려져 있는 Echo planar imaging (이하 EPI) 기술을 이용하여 촬영 시간 6분대의 급성 뇌졸중 촬영 기법이 소개되었다. Nael 등(58)은 3 테슬라 장비에서 확산 강조 영상, 액체 감쇠 역전 회복 영상, 경사 에코 기법에 EPI 기법을 적용하고, TOF MRA 대신 조영 증강 MRA를 촬영하며, 추가로 기존 그대로의 역동적 자화율 강조 관류영상(dynamic susceptibility contrast perfusion)을 수행하는 다중적인 구성(multimodal imaging)에도 불구하고 촬영 시간 6분대의 고속 촬영 급성 허혈성 뇌졸중 MR을 발표하였다(58). 또한 저자는 기존에 잘 알려져 있고 어느 장비에서도 적용 가능한 촬영 시간 단축 기술인 parallel imaging과 echo train length를 높이는 방법을 이용하여 3 테슬라 장비 뿐 아니라 1.5 테슬라 MR 장비에서도 기존의 영상 대비 진단능이 떨어지지 않는 고속 촬영 급성 허혈성 뇌졸중 MR을 개발하였다(Table 3, Figs. 1-3).

따라서 CT에 비해 신속성과 접근성의 약점을 지니고 있지만 확실한 뇌경색의 진단과 다양한 정보를 제공할 수 있는 MR이 접근성과 촬영 시간에서 단점을 보완하고 있어 급성 허혈성 뇌졸중 환

Table 3. Examples of Scan Parameters for 1.5 Tesla Fast MR

	FLAIR				GRE			MRA	
	Conventional	EPI	ETL	TR	Conventional	EPI	Parallel	Conventional CE-MRA	Fast CE-MRA
TR/TE	9000/109	9000/101	9000/102	5560/109	690/16	2260/48	765/26	3.67/1.31	3.37/1.2
Inversion time	2500	2000	2500	1930					
Flip angle	150	90	150	150	15	90	20	30	25
Matrix	256 × 218	128 × 128	192 × 192	256 × 256	256 × 205	192 × 192	192 × 163	320 × 320	448 × 367
Field of view	210 × 184	230 × 230	210 × 184	210 × 184	210 × 210	230 × 230	220 × 220	320 × 240	340 × 276
Slice thickness (mm)	5	5	5	5	5	5	5	0.5	0.8
ETL	21	128 (EPI)	32	21		192 (EPI)			
GRAPPA	2	2	2	2		2	3	2	3
NAV	1	2	1	1	1	10	1	1	1
Scan time (second)	128	45	74	79	141	29	54	74	39

CE-MRA = contrast-enhanced MR angiography, EPI = echo planar imaging, ETL = echo train length, FLAIR = fluid attenuated inversion recovery, GRAPPA = generalized autocalibrating partial parallel acquisition, GRE = Gradient echo, NAV = number of signal averaging, TE = echo time, TR = repetition time

Fig. 1. Acute ischemic hyperintensity on fast and conventional FLAIR. Acute ischemic hyperintensity (left column, arrows) in a diffusion-restricted area is well demonstrated in both conventional FLAIR (middle column, scan time: 128 s) and fast FLAIR [right column: (EPI-FLAIR, top, scan time: 45 s), (ETL-FLAIR, middle row, scan time: 74 s), and (TR-FLAIR, bottom, scan time: 79 s)].
DWI = diffusion-weighted imaging, EPI = echo planar imaging, ETL = echo train length, FLAIR = fluid-attenuated inversion recovery imaging, TR = repetition time

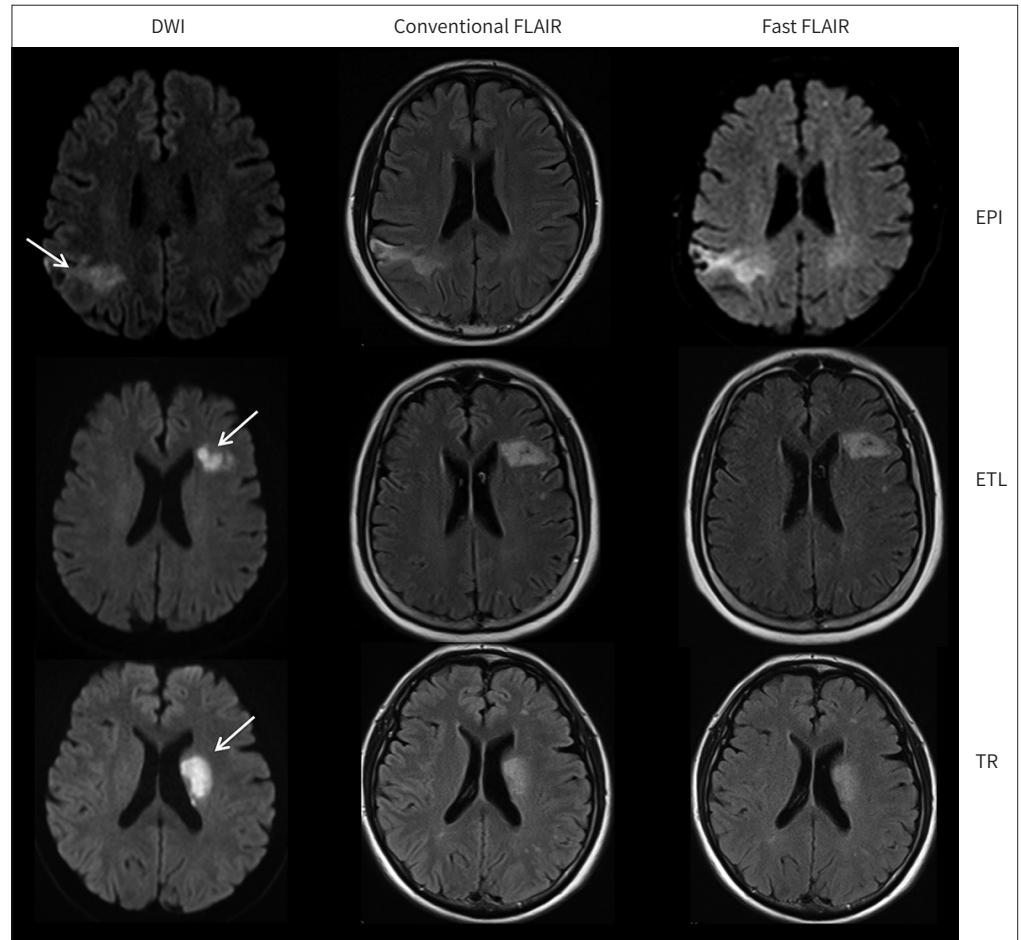


Fig. 2. Fast and conventional GRE. A microbleed in the right thalamus (arrows) is well-demonstrated on both conventional GRE (right, scan time: 141 s) and fast GRE [EPI-GRE (middle, scan time: 29 s) and parallel-GRE (left, scan time: 54 s)].
EPI = echo planar imaging, GRE = Gradient echo

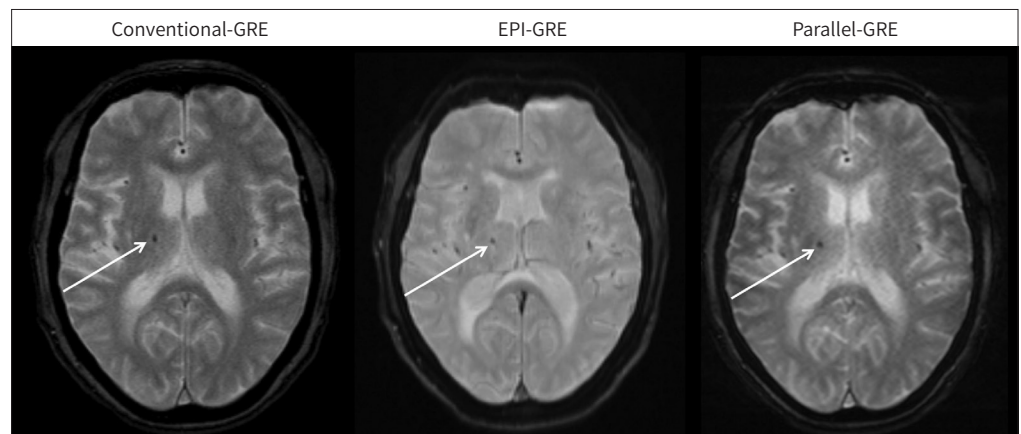
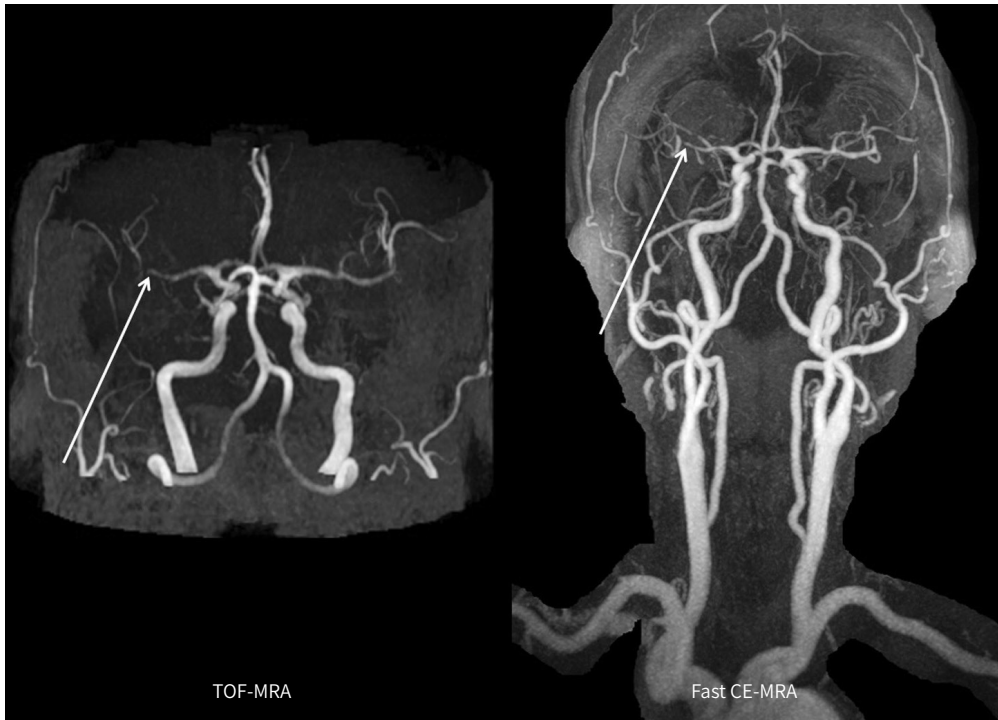


Fig. 3. Fast CE-MRA and TOF-MRA. Both TOF-MRA (left, scan time: 274 s) and fast CE-MRA (right, scan time: 39 s) demonstrate an occlusion in the right middle cerebral artery (arrows).
CE = contrast-enhanced, MRA = magnetic resonance angiography, TOF = time-of-flight



자에서 MR의 역할이 기대가 되고 있다. 또한 다양한 MR 장비에서 적용 가능한 다양한 고속 촬영 기법이 소개되고 있는 시점에서 영상의학과 의사들은 각 센터의 환경에 맞는 프로토콜 확립에 노력을 기울여야 하겠다.

결론

동맥 내 재개통술의 효용성을 증명한 최근의 무작위 배정 임상시험과 이를 반영한 2018년 미국 뇌졸중협회 가이드라인이 발표되면서 급성 허혈성 뇌졸중 환자의 진단과 치료 대상 선별을 위한 뇌 영상 검사의 역할은 더욱 커졌으며 이에 시간에 따른 영상의학적 전략이 중요해졌다. 뇌 영상 검사의 근간을 이루는 CT와 MR은 촬영 시간, 접근성, 제공되는 정보에서 차이를 보인다. CT는 신속하면서 적절한 진단 정보를 제공하면서 급성 허혈성 뇌졸중 환자에서 널리 쓰이고 있다. MR은 확산 강조 영상을 통해 가장 정확한 뇌경색 부피를 제공할 수 있으며 후방 순환 뇌졸중에서 CT에 비해서 장점을 발휘하며 경사 에코 영상, 액체 감쇠 역전 회복 영상을 통한 차별화된 정보를 제공할 수 있으나 접근성과 촬영 시간에서 단점을 보인다. 최근의 고속 촬영 기법을 이용한 MR은 촬영 시간에 대한 단점을 보완하고 있어 MR을 중심으로 한 뇌졸중 센터의 경우 고려할 만한 영상의학적 전략이다. 환자 증상 시작부터 급성 뇌졸중 환자를 위한 응급 환자 체계와 환자 동선 개선을 위한 시스템의 노력으로 MR의 접근성에 대한 개선이 이루어지고 있으나 실제 의료 환경에서

는 CT에 비해 한계가 보인다. 따라서 각 뇌졸중 센터는 신속한 치료 대상 선정이라는 뇌 영상 검사의 대전제 아래 CT와 MR의 장·단점을 각 센터의 특수성에 맞게 조합한 영상의학적 전략을 구축해야 한다.

Author Contributions

Conceptualization, all authors; data curation, C.S.J., J.S.C.; formal analysis, all authors; funding acquisition, J.S.C., K.K.W., O.W.Y., L.J.G., K.B.J.; investigation, C.S.J., J.S.C.; methodology, C.S.J., J.S.C., S.C.H., K.K.W., W.D., K.B.J.; project administration, J.S.C., K.K.W., K.B.J.; resources, C.S.J., J.S.C., S.C.H., K.K.W., K.B.J.; software, all authors; supervision, all authors; validation, C.S.J., J.S.C.; visualization, C.S.J., J.S.C.; writing—original draft, C.S.J., J.S.C., S.C.H., K.K.W., K.B.J.; writing—review & editing, all authors.

Conflicts of Interest

The authors have no potential conflicts of interest to disclose.

Acknowledgments

The research was supported by a grant (No. 18182MFDS402) from the Korea Healthcare Technology R&D Project, Ministry for Health, Welfare & Family Affairs, Republic of Korea (HI12C1847) and the Ministry of Food and Drug Safety in 2018.

REFERENCES

1. National Institute of Neurological Disorders and Stroke rt-PA Stroke Study Group. Tissue plasminogen activator for acute ischemic stroke. *N Engl J Med* 1995;333:1581-1587
2. Rha JH, Saver JL. The impact of recanalization on ischemic stroke outcome: a meta-analysis. *Stroke* 2007; 38:967-973
3. Broderick JP, Palesch YY, Demchuk AM, Yeatts SD, Khatri P, Hill MD, et al. Endovascular therapy after intravenous t-PA versus t-PA alone for stroke. *N Engl J Med* 2013;368:893-903
4. Ciccone A, Valvassori L, Nichelatti M, Sgoifo A, Ponzio M, Sterzi R, et al. Endovascular treatment for acute ischemic stroke. *N Engl J Med* 2013;368:904-913
5. Kidwell CS, Jahan R, Gornbein J, Alger JR, Nenov V, Ajani Z, et al. A trial of imaging selection and endovascular treatment for ischemic stroke. *N Engl J Med* 2013;368:914-923
6. Khatri P, Hacke W, Fiehler J, Saver JL, Diener HC, Bendzus M, et al. State of acute endovascular therapy: report from the 12th thrombolysis, thrombectomy, and acute stroke therapy conference. *Stroke* 2015;46: 1727-1734
7. Berkhemer OA, Fransen PS, Beumer D, Van den Berg LA, Lingsma HF, Yoo AJ, et al. A randomized trial of intraarterial treatment for acute ischemic stroke. *N Engl J Med* 2015;372:11-20
8. Campbell BC, Mitchell PJ, Kleinig TJ, Dewey HM, Churilov L, Yassi N, et al. Endovascular therapy for ischemic stroke with perfusion-imaging selection. *N Engl J Med* 2015;372:1009-1018
9. Goyal M, Demchuk AM, Menon BK, Eesa M, Rempel JL, Thornton J, et al. Randomized assessment of rapid endovascular treatment of ischemic stroke. *N Engl J Med* 2015;372:1019-1030
10. Jovin TG, Chamorro A, Cobo E, De Miquel MA, Molina CA, Rovira A, et al. Thrombectomy within 8 hours after symptom onset in ischemic stroke. *N Engl J Med* 2015;372:2296-2306
11. Saver JL, Goyal M, Bonafe A, Diener HC, Levy EI, Pereira VM, et al. Stent-retriever thrombectomy after intravenous t-PA vs. t-PA alone in stroke. *N Engl J Med* 2015;372:2285-2295
12. Nogueira RG, Jadhav AP, Haussen DC, Bonafe A, Budzik RF, Bhuva P, et al. Thrombectomy 6 to 24 hours after stroke with a mismatch between deficit and infarct. *N Engl J Med* 2018;378:11-21
13. Albers GW, Marks MP, Kemp S, Christensen S, Tsai JP, Ortega-Gutierrez S, et al. Thrombectomy for stroke at 6 to 16 hours with selection by perfusion imaging. *N Engl J Med* 2018;378:708-718
14. Powers WJ, Rabinstein AA, Ackerson T, Adeoye OM, Bambakidis NC, Becker K, et al. 2018 guidelines for the early management of patients with acute ischemic stroke: a guideline for healthcare professionals from the American Heart Association/American Stroke Association. *Stroke* 2018;49:e46-e110

15. Bracard S, Ducrocq X, Mas JL, Soudant M, Oppenheim C, Moulin T, et al. Mechanical thrombectomy after intravenous alteplase versus alteplase alone after stroke (THRACE): a randomised controlled trial. *Lancet Neurol* 2016;15:1138-1147
16. Wardlaw JM, Seymour J, Cairns J, Keir S, Lewis S, Sandercock P. Immediate computed tomography scanning of acute stroke is cost-effective and improves quality of life. *Stroke* 2004;35:2477-2483
17. Truwit CL, Barkovich AJ, Gean-Marton A, Hibri N, Norman D. Loss of the insular ribbon: another early CT sign of acute middle cerebral artery infarction. *Radiology* 1990;176:801-806
18. Marks MP, Holmgren EB, Fox AJ, Patel S, Von Kummer R, Froehlich J. Evaluation of early computed tomographic findings in acute ischemic stroke. *Stroke* 1999;30:389-392
19. Barber PA, Demchuk AM, Zhang J, Buchan AM. Validity and reliability of a quantitative computed tomography score in predicting outcome of hyperacute stroke before thrombolytic therapy. ASPECTS Study Group. Alberta Stroke Programme Early CT Score. *Lancet* 2000;355:1670-1674
20. Gupta AC, Schaefer PW, Chaudhry ZA, Leslie-Mazwi TM, Chandra RV, González RG, et al. Interobserver reliability of baseline noncontrast CT Alberta Stroke Program Early CT Score for intra-arterial stroke treatment selection. *AJNR Am J Neuroradiol* 2012;33:1046-1049
21. Bal S, Bhatia R, Menon BK, Shobha N, Puetz V, Dzialowski I, et al. Time dependence of reliability of noncontrast computed tomography in comparison to computed tomography angiography source image in acute ischemic stroke. *Int J Stroke* 2015;10:55-60
22. Menon BK, Goyal M. Imaging paradigms in acute ischemic stroke: a pragmatic evidence-based approach. *Radiology* 2015;277:7-12
23. Menon BK, Demchuk AM. Computed tomography angiography in the assessment of patients with stroke/TIA. *Neurohospitalist* 2011;1:187-199
24. Menon BK, Campbell BC, Levi C, Goyal M. Role of imaging in current acute ischemic stroke workflow for endovascular therapy. *Stroke* 2015;46:1453-1461
25. Nambiar V, Sohn SI, Almekhlafi MA, Chang HW, Mishra S, Qazi E, et al. CTA collateral status and response to recanalization in patients with acute ischemic stroke. *AJNR Am J Neuroradiol* 2014;35:884-890
26. Menon BK, D'Esterre CD, Qazi EM, Almekhlafi M, Hahn L, Demchuk AM, et al. Multiphase CT angiography: a new tool for the imaging triage of patients with acute ischemic stroke. *Radiology* 2015;275:510-520
27. Liebeskind DS. Collateral circulation. *Stroke* 2003;34:2279-2284
28. Cianfoni A, Colosimo C, Basile M, Wintermark M, Bonomo L. Brain perfusion CT: principles, technique and clinical applications. *Radiol Med* 2007;112:1225-1243
29. Hunter GJ, Silvennoinen HM, Hamberg LM, Koroshetz WJ, Buonanno FS, Schwamm LH, et al. Whole-brain CT perfusion measurement of perfused cerebral blood volume in acute ischemic stroke: probability curve for regional infarction. *Radiology* 2003;227:725-730
30. Menon BK, O'Brien B, Bivard A, Spratt NJ, Demchuk AM, Miteff F, et al. Assessment of leptomeningeal collaterals using dynamic CT angiography in patients with acute ischemic stroke. *J Cereb Blood Flow Metab* 2013;33:365-371
31. Goyal M, Menon BK, Derdeyn CP. Perfusion imaging in acute ischemic stroke: let us improve the science before changing clinical practice. *Radiology* 2013;266:16-21
32. Köhrmann M, Schellinger PD. Acute stroke triage to intravenous thrombolysis and other therapies with advanced CT or MR imaging: pro MR imaging. *Radiology* 2009;251:627-633
33. Vilela P, Rowley HA. Brain ischemia: CT and MRI techniques in acute ischemic stroke. *Eur J Radiol* 2017;96:162-172
34. Thomalla G, Cheng B, Ebinger M, Hao Q, Tourdias T, Wu O, et al. DWI-FLAIR mismatch for the identification of patients with acute ischaemic stroke within 4·5 h of symptom onset (PRE-FLAIR): a multicentre observational study. *Lancet Neurol* 2011;10:978-986
35. Kinoshita T, Ogawa T, Kado H, Sasaki N, Okudera T. CT angiography in the evaluation of intracranial occlusive disease with collateral circulation: comparison with MR angiography. *Clin Imaging* 2005;29:303-306
36. Wintermark M, Maeder P, Thiran JP, Schnyder P, Meuli R. Quantitative assessment of regional cerebral blood flows by perfusion CT studies at low injection rates: a critical review of the underlying theoretical models. *Eur Radiol* 2001;11:1220-1230
37. Wintermark M, Rowley HA, Lev MH. Acute stroke triage to intravenous thrombolysis and other therapies with advanced CT or MR imaging: pro CT. *Radiology* 2009;251:619-626

38. Rudkin S, Cerejo R, Tayal A, Goldberg MF. Imaging of acute ischemic stroke. *Emerg Radiol* 2018;25:659-672
39. Muir KW, Buchan A, Von Kummer R, Rother J, Baron JC. Imaging of acute stroke. *Lancet Neurol* 2006;5:755-768
40. Rai AT, Seldon AE, Boo S, Link PS, Domico JR, Tarabishy AR, et al. A population-based incidence of acute large vessel occlusions and thrombectomy eligible patients indicates significant potential for growth of endovascular stroke therapy in the USA. *J Neurointerv Surg* 2017;9:722-726
41. Lee JH, Han SJ, Yun YH, Choi HC, Jung S, Cho SJ, et al. Posterior circulation ischemic stroke in Korean population. *Eur J Neurol* 2006;13:742-748
42. Kim JT, Park MS, Choi KH, Kim BJ, Han MK, Park TH, et al. Clinical outcomes of posterior versus anterior circulation infarction with low National Institutes of Health Stroke Scale Scores. *Stroke* 2017;48:55-62
43. Pallesen LP, Lambrou D, Eskandari A, Barlinn J, Barlinn K, Reichmann H, et al. Perfusion computed tomography in posterior circulation stroke: predictors and prognostic implications of focal hypoperfusion. *Eur J Neurol* 2018;25:725-731
44. De Lucas EM, Sánchez E, Gutiérrez A, Mandly AG, Ruiz E, Flórez AF, et al. CT protocol for acute stroke: tips and tricks for general radiologists. *Radiographics* 2008;28:1673-1687
45. Van der Hoeven EJ, Dankbaar JW, Algra A, Vos JA, Niesten JM, Van Seeters T, et al. Additional diagnostic value of computed tomography perfusion for detection of acute ischemic stroke in the posterior circulation. *Stroke* 2015;46:1113-1115
46. Bash S, Villablanca JP, Jahan R, Duckwiler G, Tillis M, Kidwell C, et al. Intracranial vascular stenosis and occlusive disease: evaluation with CT angiography, MR angiography, and digital subtraction angiography. *AJNR Am J Neuroradiol* 2005;26:1012-1021
47. Campbell BC, Christensen S, Levi CR, Desmond PM, Donnan GA, Davis SM, et al. Comparison of computed tomography perfusion and magnetic resonance imaging perfusion-diffusion mismatch in ischemic stroke. *Stroke* 2012;43:2648-2653
48. Wisco D, Uchino K, Saqqur M, Gebel JM, Aoki J, Alam S, et al. Addition of hyperacute MRI AIDS in patient selection, decreasing the use of endovascular stroke therapy. *Stroke* 2014;45:467-472
49. Jauch EC, Saver JL, Adams HP Jr, Bruno A, Connors JJ, Demaerschalk BM, et al. Guidelines for the early management of patients with acute ischemic stroke: a guideline for healthcare professionals from the American Heart Association/American Stroke Association. *Stroke* 2013;44:870-947
50. Sauser K, Burke JF, Levine DA, Scott PA, Meurer WJ. Time to brain imaging in acute stroke is improving: secondary analysis of the INSTINCT trial. *Stroke* 2014;45:287-289
51. Sauser K, Levine DA, Nickles AV, Reeves MJ. Hospital variation in thrombolysis times among patients with acute ischemic stroke: the contributions of door-to-imaging time and imaging-to-needle time. *JAMA Neurol* 2014;71:1155-1161
52. Wang H, Thevathasan A, Dowling R, Bush S, Mitchell P, Yan B. Streamlining workflow for endovascular mechanical thrombectomy: lessons learned from a comprehensive stroke center. *J Stroke Cerebrovasc Dis* 2017;26:1655-1662
53. Zaidi SF, Shawver J, Espinosa Morales A, Salahuddin H, Tietjen G, Lindstrom D, et al. Stroke care: initial data from a county-based bypass protocol for patients with acute stroke. *J Neurointerv Surg* 2017;9:631-635
54. Shah S, Luby M, Poole K, Morella T, Keller E, Benson RT, et al. Screening with MRI for accurate and rapid stroke treatment: SMART. *Neurology* 2015;84:2438-2444
55. Li B, Li H, Dong L, Huang G. Fast carotid artery MR angiography with compressed sensing based three-dimensional time-of-flight sequence. *Magn Reson Imaging* 2017;43:129-135
56. Wu EL, Kuo LW, Wu FH, Hsu CF, Hsieh CW, Chen JH, et al. Ultra-fast brain MR imaging using simultaneous multi-slice acquisition (SMA) technique. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 2007;2007:2618-2621
57. Baek HJ. Two-minute MR ultra-fast neuro protocol. Available at. <https://www.gehealthcare.co.uk/-/media/1386100484c8464bb08bd49f821b5c5db.pdf/>. Published 2017. Accessed Jun 30, 2018
58. Nael K, Khan R, Choudhary G, Meshksar A, Villablanca P, Tay J, et al. Six-minute magnetic resonance imaging protocol for evaluation of acute ischemic stroke: pushing the boundaries. *Stroke* 2014;45:1985-1991

급성 허혈성 뇌졸중에서의 뇌 영상 검사의 최신 지견과 역할

조세진¹ · 정승채^{1,2*} · 서종현¹ · 김경원^{1,2} · 우동철³ · 오우용⁴ · 이종구⁴ · 김병준⁵

뇌 영상 검사는 급성 허혈성 뇌졸중 환자의 뇌출혈 배제, 뇌경색 진단, 폐색 혈관의 검출, 관류 상태와 뇌경색 간의 불일치 정도, 측부 순환 상태를 평가하는 핵심적인 역할을 한다. 최근 동맥 내 재개통술의 효용성을 증명한 무작위 배정 임상시험과 함께 이를 반영한 2018년 미국뇌졸중협회 가이드라인이 발표되면서 급성 허혈성 뇌졸중 환자의 진단과 치료 대상 선별을 위한 뇌 영상 검사의 역할은 더욱 커졌고 이에 시간에 따라 다른 영상의학적 전략이 중요해졌다. 이에 2018년 미국뇌졸중협회 가이드라인의 영상의학적 권고안을 요약하고 주요 뇌 영상 검사인 CT와 MR의 역할과 장·단점 및 MR의 단점 극복을 위한 고속촬영 기법에 대해 기술하고자 한다. 아울러 새로운 가이드라인과 최근의 연구를 바탕으로 급성 허혈성 뇌졸중 환자를 위한 적절한 영상의학적 전략에 대해 논하고자 한다.

¹울산대학교 의과대학 서울아산병원 영상의학과,

²서울아산병원 임상시험센터 Asan Image Metrics,

³서울아산병원 임상시험센터 Bioimaging Center,

⁴국립 식품 의약품 안전 평가원 임상 연구실,

⁵고려대학교 의과대학 안암병원 영상의학과