

NECA-의료기술재평가사업

NECA-R-25-001-45



의료기술재평가보고서 2025

초음파를 활용한 뇌혈류 기능검사

의료기술재평가사업 총괄

김민정 한국보건의료연구원 보건의료평가연구본부 본부장
서재경 한국보건의료연구원 보건의료평가연구본부 재평가기획팀 팀장

연구진

담당연구원

고려진 한국보건의료연구원 재평가기획팀 부연구위원
현유진 한국보건의료연구원 재평가기획팀 연구원

주의

1. 이 보고서는 한국보건의료연구원에서 수행한 의료기술재평가사업(NECA-R-25-001)의 결과보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 신문, 방송, 참고문헌, 세미나 등에 인용할 때에는 반드시 한국보건의료연구원에서 수행한 평가사업의 결과임을 밝혀야 하며, 평가내용 중 문의사항이 있을 경우에는 주관부서에 문의하여 주시기 바랍니다.

요약문(국문)	i
알기 쉬운 의료기술재평가	1
I. 서론	1
1. 평가배경	1
1.1 평가대상 의료기술 개요	1
1.2 평가대상 의료기술의 국내외 보험 및 행위등재 현황	7
1.3 질병 특성 및 현존하는 의료기술	16
1.4 관련 의료기술평가	20
1.5 선행연구	20
2. 평가목적	24
II. 평가방법	25
1. 개요	25
1.1 문헌검토	25
1.2 문헌검색	26
III. 평가결과	27
1. 교과서 검토 결과	27
2. 임상진료지침 검토 결과	37
IV. 결과 요약 및 결론	52
1. 평가결과 요약	52
2. 결론	53
V. 참고문헌	55
VI. 부록	58
1. 위원회 운영	58
2. 소위원회	59
3. 검색결과	60

표 차례

표 1.1 TCD 일반적인 검사	2
표 1.2 참고치	3
표 1.3 국내 식품의약품안전처 허가사항	7
표 1.4 건강보험요양급여비용목록 등재 현황	7
표 1.5 초음파를 활용한 뇌혈류 기능검사	10
표 1.6 비급여 진료비용 등의 보고 및 공개에 관한 기준 [별표1] 비급여 보고항목	10
표 1.7 (참고) 초음파 검사	11
표 1.8 초음파검사 급여기준	12
표 1.9 비교기술 국내 이용현황	14
표 1.10 관련 질환 환자 수	15
표 1.11 국외 보험 및 행위 등재 현황	15
표 1.12 뇌졸중 분류	16
표 1.13 기질적 원인질환을 확인해야 하는 경우	19
표 1.14 이차두통 감별에 유용한 검사	19
표 1.15 열린타원구멍 진단 검사(modality) 비교	20
표 1.16 [자동조절/MES 모니터링] 선행연구 요약	21
표 1.17 [미세기포를 이용한 우좌선택검사] 선행연구 요약	22
표 1.18 [MES monitoring] 선행연구 요약	22
표 2.1 문헌검토 개요	25
표 2.2 검토 대상 교과서	26
표 2.3 임상진료지침 검색원	26
표 3.1 교과서 목록	27
표 3.2 TCD의 우좌선택양 측정기준	28
표 3.3 TCD 기립경사검사 결과에 따른 진단	31
표 3.4 교과서 검토 결과 요약표	36
표 3.5 임상진료지침 검색결과	37
표 3.6 임상실무에서 TCD를 위한 임상 상태, 적응증, 특정 요구사항	38
표 3.7 TCD 검사의 임상적 적응증	42
표 3.8 기립경사도 검사 적응증 별 프로토콜 및 추가 검사	43
표 3.9 TCD 검사의 확립된 임상적 적응증 및 예상결과	46
표 3.10 임상진료지침_결과 요약표	49

그림 차례

그림 1.1 미세기포를 이용한 TCD 역할(우좌선트평가)	4
그림 1.2 기립경사도 검사 중의 경도개도플러 초음파 모니터링	6
그림 3.1 기립못건덤 유형에 따른 TCD-기립경사검사 결과	32

요약문(국문)

평가배경

초음파를 활용한 뇌혈류 기능검사는 두개경유도플러(transcranial doppler, TCD)를 이용한 특수검사로 미세기포를 이용한 좌우단락검사, 경두개 혈관운동반응성검사, 미세색전신호(microembolic signals, MES) 모니터링, 기립경사도 경두개 초음파가 포함되며, 뇌졸중, 일과성 뇌허혈증 등 환자에게 시행되는 기술이다. 신의료기술평가 없이 비급여로 등재되어 사용되고 있다. 동 기술은 국민건강보험공단의 비급여 보고제도 대상 항목이며 수요조사(유관기관 평가 요청)를 통해 재평가 대상으로 발굴하였고, 2025년 제5차 의료기술재평가위원회(2025.5.16.)에서 재평가 대상으로 심의를 받고 재평가를 수행하였다.

평가목적

본 평가는 뇌혈류 및 뇌혈관 기능 상태 평가가 필요한 환자를 대상으로 "초음파를 활용한 뇌혈류 기능검사"의 사용대상과 기능검사에 대한 근거를 검토하여, 임상현장에서의 적절한 적용 및 활용을 지원하기 위한 정보를 제공하는 것을 목적으로 한다.

평가방법

초음파를 활용한 뇌혈류 기능검사의 평가방법은 평가목적에 고려하여 "초음파를 활용한 뇌혈류 기능검사 소위원회(이하 '소위원회'라 한다)"의 논의를 거쳐 확정하였다. 소위원회는 의료기술재평가위원회에서 결정된 신경과 3인, 신경외과 1인, 총 4인으로 구성하였다. 본 검토에서는 중재기술에 포함하고 있는 세부 검사를 4개(미세기포를 이용한 좌우단락검사, 혈관운동반응성검사, MES 모니터링, 기립경사도 경두개 초음파) 기술로 정의하고 각 세부 검사별로 임상적 적용 대상 및 활용을 확인하기 위해, 교과서 및 임상진료지침을 종합적으로 검토하였다.

평가결과

본 평가에서는 『신경초음파(2021)』, 『신경학』 및 『뇌졸중』 최신판(2024) 교과서와, 국내외 DB 간략 검색을 통해 확인된 총 10편의 관련 임상진료지침 및 전문가 합의문을 검토하였으며, 각 세부 검사별 검토된 내용은 다음과 같다.

미세기포를 이용한 좌우단락검사

『신경초음파(2021)』, 『신경학(2024)』, 『뇌졸중(2024)』 교과서에서는 열린타원구멍(patent foramen ovale, PFO) 등 우좌선트 진단 시 TCD의 유용성을 언급하고 있었다. 미세기포를 이용한 좌우단락검사는 식도경유심초음파검사(transesophageal echocardiography, TEE)에 비해 비침습적이며 시행이 용이한 검사로, TEE 검사가 어려운 삼킴곤란 환자에게도 적용할 수 있다고 기술하고 있다. 임상진료지침에서도 미세기포를 이용한 좌우단락검사가 TEE, 흉벽경유심초음파검사(transthoracic echocardiography, TTE)와 유사한 민감도·특이도(약 92-97%)를 갖는 비침습적 선별검사로 권장한다고 제시하였다. 다만, 해부학적 정보 제공의 한계로 심장초음파를 대체할 수는 없으며 상호보완적인 검사로 활용하는 것이 적절하다고 교과서 및 지침 모두에서 일관되게 제시하고 있다.

경두개 혈관운동반응성 검사

『신경초음파(2021)』, 『뇌졸중(2024)』 교과서에서 경두개 혈관운동반응성 검사는 이산화탄소 반응, 아세타졸아미드 투약 등 다양한 자극을 통해 뇌혈관 예비능(reserve capacity)을 평가하는 도구로, 뇌혈류 자동조절 능력 평가 및 혈류역학적 협착의 진단에 활용된다고 제시되어 있다. 임상진료지침에서도 혈관운동반응성 검사는 경동맥 협착 환자의 허혈성 뇌졸중 발생 및 재발위험도 예측, 뇌혈관 협착/폐색 환자에서 혈역학적 평가, 치료결정(경동맥내막절제술, 스텐트 시술 등)에 참고할 수 있는 유용한 평가지표로 권장하고 있다.

미세색전신호(MES) 모니터링

『신경초음파(2021)』, 『뇌졸중(2024)』 교과서에서는 MES가 색전 감시, 뇌졸중 위험도 평가, 치료효과 판정의 지표로 활용될 수 있는 검사이며, 특히 유증상 경동맥 협착에서 MES 검사의 임상적 유용성이 있다고 제시하고 있다. 다만, 지속적 관찰이 필요하고 검사 실행에 시간이 소요되는 한계가 존재한다고 제시되었다. 임상진료지침에서는 TCD를 통해 순환 중 발생하는 색전의 존재와 빈도를 탐지하여 뇌졸중 위험도와 치료효과를 평가하는 검사로, 경동맥 협착/폐색 환자에서 뇌졸중 위험도 평가, 항혈전제 치료반응 평가, 경동맥내막절제술/스텐트 삽입술, 심장수술 등 시술 전후 색전 위험 감시에 활용 가능한 검사로 권장되고 있다.

기립경사도 경두개 초음파

『신경초음파(2021)』, 『신경학(2024)』 교과서에서 실신 환자의 병태생리 평가를 위해 기립경사검사 시 TCD 활용이 제시되었고, 기립 시 혈압·맥박·중대뇌동맥 혈류 속도의 변화를 관찰하여 신경매개 실신, 기립 저혈압, 체위기립빈맥증후군(postural orthostatic tachycardia syndrome, POTS), 대뇌실신을 감별하는 데 도움을 준다고 제시되었다. 관련 가이드라인 및 국제 합의문에서는 TCD에 대해 기립성 조절장애 및 일과성 의식소실 등 실신 평가 시 기립경사검사와 함께 측정하는 보조적 평가도구 중 하나로 권고하고 있으며 특히, 심인성 가성실신(pseudopsychogenic syncope) 감별진단하는 데 유용하다고 제시하였다.

결론

초음파를 활용한 뇌혈류 기능검사 소위원회는 교과서 및 임상진료지침을 종합적으로 검토한 결과 다음과 같은 의견을 제시하였다.

초음파를 활용한 뇌혈류 기능검사는 TCD 기술을 기반으로 하는 기능검사로, 미세기포를 이용한 좌우단락검사, 경두개 혈관운동반응성검사, 미세색전신호(MES) 모니터링, 기립경사도 경두개 초음파의 세부 검사 방법을 포함하고 있다. 각 세부 검사에 대한 검토 결과는 다음과 같다.

첫째, 미세기포를 이용한 좌우단락검사는 열린타원구멍(PFO) 등 우좌선트를 확인하기 위한 비침습적이고 시행이 용이한 선별검사로서, 식도경유심초음파검사와 유사한 민감도와 특이도를 보이는 것으로 확인되었으며 심장초음파 검사의 한계를 보완하는 상호보완적인 검사로 활용 가치가 있다. 또한, 국내외 교과서 및 진료지침에서 ‘Right-to-Left shunt’ 용어가 표준적으로 사용됨에 따라, 국내 비급여 행위설명에 제시된 국문 용어를 ‘우좌선트검사’로 변경할 필요가 있다고 제안하였다.

둘째, 경두개 혈관운동반응성 검사는 경동맥 협착 및 뇌혈관 폐색 환자에서 혈관 예비능을 평가하여 뇌졸중 발생 및 재발 위험도를 예측하고, 경동맥내막절제술이나 스텐트 삽입술 등 치료방침 결정을 보조하는 지표로 유용하다.

셋째, 미세색전신호(MES) 모니터링은 순환 중 발생하는 색전의 존재와 빈도를 실시간으로 확인할 수 있는 검사로, 경동맥 협착/폐색 환자, 심장성 색전증 위험 환자, 뇌졸중, 수술 전후 환자에서 색전 위험도 평가와 치료효과 감시에 유용한 보조적 검사로 확인되었다.

넷째, 기립경사도 경두개 초음파는 기립 시 혈압, 맥박, 중대뇌동맥 혈류 속도의 변화를 관찰하여 기립경사 검사와 병행하여 평가하는 보조검사로 실신 원인을 파악하는 데 유용하며, 모든 실신 환자에게 필요한 일반적 검사는 아니나 일부 환자군(신경매개실신, 대뇌실신 등)에서 감별진단에 도움을 줄 수 있는 것으로 확인되었다.

또한, TCD 기반의 평가는 검사자 숙련도, 검사 수행 방법, 자극 기법, 해석 기준 등에 따라 결과에 변동성이 발생할 수 있어 검사 수행 및 판독 기준의 프로토콜을 잘 준수하고, 검사의 질 관리가 병행되는 것이 바람직하다고 제안하였다. 더불어, 본 평가는 특정 교과서와 임상진료지침·전문가 합의문을 중심으로 한 근거 검토에 기반한 것으로, 각 세부기술에 대한 심층 문헌고찰을 수행한 평가는 아니라는 점에서 실제 임상에서 적용 가능한 모든 대상질환과 활용범위를 완전히 포괄하지 못한 한계가 있다.

2026년 제1차 재평가전문위원회*(2026. 1. 9.)는 소위원회 검토 결과를 바탕으로 ‘초음파를 활용한 뇌혈류 기능검사’에 대해 논의하였으며, 소위원회 결론을 원안대로 심의·의결하였다.

*「신의료기술평가에 관한 규칙」(보건복지부령 제1098호, 일부개정, 2025.9.7. 시행) 개정으로 재평가전문위원회가 새로 구성되어 2025년 9월부터 운영되고 있다.

주요어

두개경유 초음파, 우좌선트, 혈관운동반응성, 미세색전신호 모니터링, 기립경사도, 안전성, 효과성

Transcranial Doppler, Right-to-left shunt, Vasomotor reactivity, Microembolic signals monitoring, Tilt table test, Safety, Effectiveness

알기 쉬운 의료기술재평가

초음파를 활용한 뇌혈류 기능검사의 종류, 적용대상, 임상적 유용성은 무엇인가요?

질한 및 의료기술

뇌졸중, 일과성 뇌허혈증, 실신 등은 뇌로 가는 혈류나 뇌혈관 기능의 이상과 관련되어 발생할 수 있다. 초음파를 활용한 뇌혈류 기능검사는 탐촉자(probe)가 부착된 헤드셋을 환자의 머리에 고정한 후 뇌혈관 내 혈류의 변화와 기능 상태를 평가하는 비침습적인 검사이다. 이 검사에는 미세기포를 이용한 우좌선티검사, 경두개 혈관운동반응성검사, 미세색전신호 모니터링, 기립경사도 경두개 초음파검사의 4가지 세부 검사가 포함된다. 이 검사는 현재 비급여로 적용되고 있으며, 각 세부 검사는 임상적 필요에 따라 질환의 진단과 치료 방침을 결정하는 데 보조적으로 활용된다.

검토 결과

초음파를 활용한 뇌혈류 기능검사의 임상 현장에서 적절한 적용 및 활용을 지원하기 위한 정보를 제공하기 위해 관련 교과서 및 전문가 합의문을 포함한 임상진료지침 중심으로 검토하였다.

초음파를 활용한 뇌혈류 기능검사는 세부 검사별로 뇌혈류 및 뇌혈관 기능 상태에 대한 임상적 정보를 제공한다. 첫째, 미세기포를 이용한 우좌선티검사는 열린타원구멍 등 우좌선티 확인을 위한 비침습적인 선별검사로 식도경유심초음파검사와 유사한 정확도를 보이며 상호보완적으로 활용 가능하다. 둘째, 경두개 혈관운동반응성검사는 경동맥 협착이나 뇌혈관 협착 환자에서 뇌혈관 예비능을 평가하여 뇌졸중 위험도 예측과 치료방침 결정에 도움을 주는 검사이다. 셋째, 미세색전신호(MES) 모니터링은 순환 중 발생하는 색전을 실시간으로 확인하는 검사로, 뇌졸중 위험 평가 및 치료효과를 추적하는데 유용하다. 넷째, 기립경사도 경두개 초음파는 기립경사검사와 병행하여 기립 시 혈압, 맥박, 중대 뇌동맥 혈류 속도의 변화를 관찰하는 검사로 실신 원인을 감별하는 데 도움을 줄 수 있다.

다만, 검사 결과는 검사자 숙련도, 검사방법, 자극 기법, 판독 기준 등에 따라 차이가 발생할 수 있어 프로토콜을 잘 준수하여 질 관리를 병행하는 것이 중요하다.

1. 평가배경

초음파를 활용한 뇌혈류 기능검사는 두개경유도플러 초음파를 이용한 기능검사로 기립경사도 경두개 초음파, 미세기포를 이용한 좌우단락검사, 경두개 혈관운동반응성검사, 미세색전신호(microembolic signals, MES) 모니터링이 포함되며, 뇌졸중, 일과성 뇌허혈증 등 환자에게 시행된다.

해당 기술은 신의료기술평가를 받은 이력은 없으며, 2016년에 비급여 행위로 등재되었고 국민건강보험 공단의 비급여 보고제도 대상 기술로 관리되고 있다.

동 기술은 수요조사(유관기관 평가 요청)를 통해 재평가 대상으로 발굴하였으며, 관련 검토 절차를 통해 재평가 필요성이 인정됨에 따라 2025년 제5차 의료기술재평가위원회('25.5.14.)에서 평가 대상 기술로 최종 선정되었다. 본 평가는 해당 기술에 대한 최신 근거 및 임상 활용 동향을 종합적으로 검토하여 해당 기술의 임상적 유용성 관련 정보를 제공하고자 한다.

1.1 평가대상 의료기술 개요

1.1.1 개요

두개경유도플러 초음파(transcranial doppler, TCD) 검사는 두개내 주요 혈관의 혈류 속도를 비침습적으로 측정할 수 있는 중요한 진단 도구로, 뇌혈관 질환의 진단과 치료효과 모니터링에 널리 사용되고 있다. TCD 검사는 초음파를 이용해 두개골을 통해 혈류 신호를 포착하고 이를 분석하여 혈관의 협착, 폐색, 그리고 혈류 역학적 변화를 평가한다(정호태 등, 2024). 초음파 검사의 최대 장점은 실시간으로 동·정맥 상태를 알 수 있다는 점이다. 혈관 상태를 직접 보기 위해 시행하는 검사들에 비해 저렴하고, 비침습적이며, 침상 옆에서 쉽게 시행할 수 있고, 반복 검사가 가능하며 감시할 수 있다는 장점이 있다. 특히 두개강 내 혈관의 협착과 결순환을 관찰할 수 있으며, 급성 뇌졸중 환자에서 혈전용해제 투여 후 재관류 여부나 경동맥내막절제술 혹은 스텐트 삽입술 시에 감시할 수 있다. 지주막하 출혈 환자에서 뇌혈관 연축 여부를 판단하고 뇌사를 임상적으로 판단하는 데에도 이용하고 있다(안성환, 2012).

TCD의 기본 검사방법

TCD 검사에서는 다음의 4가지 주요 청각창을 사용한다(대한신경과학회 편, 2017).

(1) 측두경유접근(transtemporal approach): 측두경유창(transtemporal window)은 머리 옆면의 광대뼈공의 머리쪽(cephalad)으로 귀구슬(tragus) 바로 앞쪽 그리고 약간 위쪽에 통상 위치한다. 탐색자의 초음파 방향을 앞쪽으로 향하게 함으로써 중대뇌동맥(middle cerebral artery, MCA)의 M1분절과 M2분절, 경동맥사이편(carotid siphon)의 C1분절, 전대뇌동맥(arterial cerebral artery, ACA)의 A1분절 그리고 전교통동맥(anterior communicating artery)을 검사한다. 이후 초음파 방향을 뒤로 향하게 함으로써 후대뇌동맥(posterior cerebral artery)의 P1분절, 뇌기저동맥(basilar artery)의 윗부분, 후교통동맥(posterior communicating artery)을 검사한다.

(2) 안와경유접근(transorbital approach): 탐색자를 감은 눈의 눈꺼풀에 위치시켜 검사하는 방법인데, 이때 눈의 수정체를 보호하기 위하여 초음파의 파워는 감소시켜야 한다. 눈동맥은 보통 45-50mm 깊이, 경동맥사이편의 C 분절은 60-65mm 깊이에서 측정된다. 70-75mm 깊이에서는 탐색자에서 멀어지는 혈류방향의 C2분절, 탐색자 쪽으로 다가오는 혈류방향의 C4분절을 검사할 수 있다.

(3) 후두하접근(suboccipital approach): 탐색자를 큰구멍(foramen magnum)의 두쪽 경계부분과 제1경추의 가시돌기(spinous process) 사이에 위치시키고 초음파를 콧등을 향하여 검사한다. 검사 깊이를 65mm에서 시작하여 점차 얇게 하면서 척추동맥(vertebral artery)을 따라가면서 검사하게 된다. 뇌기저동맥은 양쪽 척추동맥이 합쳐지는 부분에서 머리쪽으로 추적할 수 있다. 뇌기저동맥의 가장 깊은 부분은 대략 95-125mm 부분에서 측정된다. 척추뇌기저동맥의 혈류방향은 정상적으로는 탐색자에서 멀어지는 방향이다.

(4) 하악하접근(submandibular approach): 두개외내경동맥(extracranial internal carotid artery)의 원위부를 80-85mm까지 추적할 수 있으며, 경동맥박리와 만성내경동맥폐색을 검사하는 데 경동맥초음파와 상호보완적 역할을 기대할 수 있다.

표 1.1 TCD 일반적인 검사

Window	patient position	insonating vessels
Transtemporal	supine	Middle cerebral artery, arterial cerebral artery, posterial cerebral artery
Transorbital	supine	ophthalmic artery, carotid siphon (C4, C2)
Suboccipital	sitting/supine	Vertebral artery, basilar artery
Submandibular	supine	Internal carotid artery, external carotid artery, common carotid artery

출처: 정호태 등, 2024

해석

TCD는 혈관을 직접 관찰하지 않고, 도플러만으로 검사하기 때문에 검사결과 해석을 위해, 음파입사(insonation)의 깊이, 혈류방향, 속도, 박동지수(pulsatility index, PI), 파형분석을 이용하게 된다.

표 1.2 참고치

Window	Vessel	Depth (mm)	Flow direction	Normal MFV (cm/sec)
Temporal	MCA	45~60	Toward	30~80
	ACA	65~75	Away	30~70
	Bifurcation	62~66	Bifurcation	-
	PCA	55~75	P1: Toward P2: Away	20~50
Orbital	OA	40~60	Toward	10~30
	Siphon	60~70	C2: Away C3: Bifurcation C4: Toward	30~70
Suboccipital	VA	55~80	Away	20~55
	BA	80~120	Away	20~55
Submandibular ^{a)}	CCA	-	Away	-
	ECA	-	Away	-
	ICA	-	Away	-

a) 4 MHz probe (continuous wave)- no depth.

MFV, mean flow velocity; MCA, middle cerebral artery; ACA, anterior cerebral artery; PCA, posterior cerebral artery; P1, P1 portion; P2, P2 portion; OA, ophthalmic artery; VA, vertebral artery; BA, basilar artery; CCA, common carotid artery; ECA, external carotid artery; ICA, internal carotid artery

출처: 강건우 등, 2023

1.1.2 초음파를 활용한 뇌혈류 기능검사

1.1.2.1 미세기포를 이용한 좌우단락검사

2 MHz 탐촉자가 부착된 헤드셋을 환자의 머리에 씌우고 양측 중간대뇌동맥(middle cerebral artery, MCA)에 고정한 후, 환자를 바로 눕히고 팔오금정맥에 18게이지 바늘로 주사선을 확보하고 삼방향 정지꼭지(3 way stopcock)를 설치한다. 생리식염수 8cc와 공기 1cc가 들어있는 두 개의 주사기를 삼방향정지꼭지에 연결하여 최소 10회 교대로 미세공기방울을 만든 뒤 이를 팔오금정맥으로 주사하고 환자의 혈액을 소량(1cc) 혼합하여 미세공기방울을 안정화시킨다. 환자가 발살바 수기(Valsalva maneuver)를 수행하여 안정기에 잠복해 있는 우좌선트를 활성화시키고 약 1분 동안 혈류 신호를 모니터링하여 미세색전신호 유무를 확인한다. 공기방울이 혈류 내에서 얼마나 오래 존재하는지를 확인하기 위해 충분한 시간을 두고 모니터링한다. 난원공 개존(Patent foramen ovale, PFO)과 같은 비교적 작은 단락의 경우, 공기방울이 좌측 심방으로 이동하여 뇌혈관에 도달하기까지 보통 15초 이내에 감지되는 경향이 있다. 검사 시작 후 15~30초 이내에 신호가 감지되는 경우 PFO일 가능성이 높다. 이에 반해 폐동정맥기형(pulmonary arteriovenous malformation)은 보통 더 큰 단락으로, 미세공기방울이 뇌로 이동하는 데 시간이 더 걸릴 수 있어, 신호가 더 길게 지속되는 경향이 있다(정호태 등, 2024).

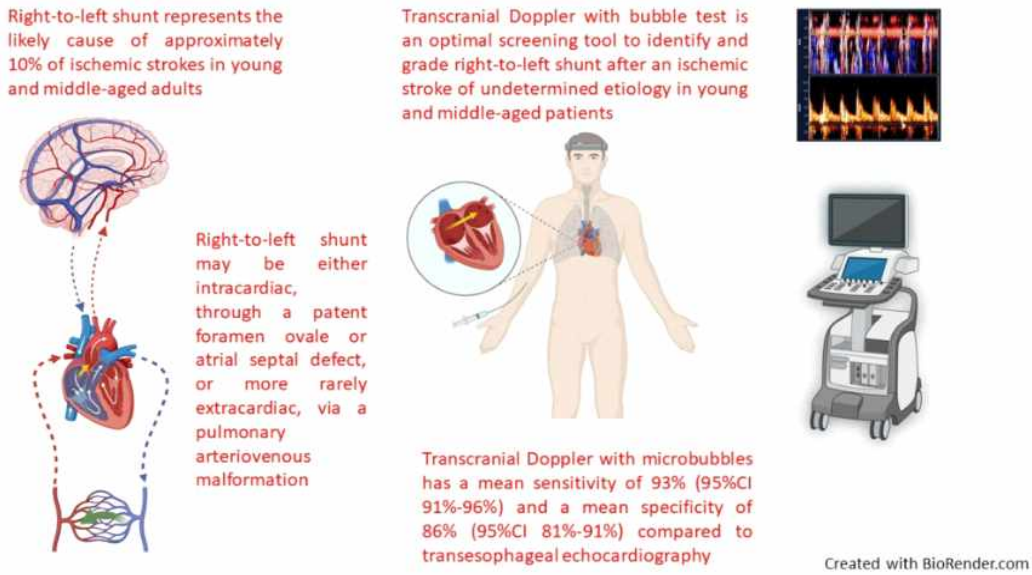


그림 1.1 미세기포를 이용한 TCD 역할(우작성트평가)
(출처: Palazzo et al., 2024)

1.1.2.2 혈관운동반응성 검사

TCD에서 혈관운동반응성검사(vasomotor reactivity test, VMR)은 혈류 공급의 자동조절 능력을 평가하는 척도이다. 기본 원리는 안정 상태에서 TCD 검사를 시작한 후, pCO₂를 상승시켜 혈관 확장을 유발하고 혈류 속도의 증가를 모니터링하는 것이다. pCO₂의 상승은 호흡 정지, 이산화탄소 흡입법, 또는 아세타졸아미드 사용으로 유발할 수 있으며, 특히 호흡 정지법은 가장 간단하지만 피검자의 협조가 필요하고 30초 동안 숨을 참기 어려운 경우도 있다. 호흡 정지법은 환자가 가능한 한 숨을 멈춰 이산화탄소의 자연 증가를 유도하는 방법이다. 일반적으로 5%~9%의 혈류 속도 증가가 정상으로 간주된다(정호태 등, 2024).

$$\text{계산식: VMR (\%)} = \frac{\text{숨을 참은 후 MCA 평균속도} - \text{기저상태 MCA 평균속도}}{\text{기저상태 MCA 평균속도}} \times 100$$

이산화탄소 흡입법은 환자가 일정량의 이산화탄소를 포함한 혼합 기체를 흡입한다. 이산화탄소는 뇌혈관 확장을 유도하여 혈류 속도를 증가시킨다. 일반적으로 2~4%/mmHg의 이산화탄소 증가에 대한 혈류 속도 변화가 정상으로 간주된다.

$$\text{계산식: VMR(\%)} = \frac{\text{hypercapnia 상태에서 MCA 평균속도} - \text{기저상태 MCA 평균속도}}{\text{기저상태 MCA 평균속도}} \times 100$$

혈관 확장제인 아세타졸아미드를 정맥 투여하여 혈류 속도의 변화를 관찰하는 방법으로 아세타졸아미드 투여 후 30%~70%의 혈류 속도 증가가 정상으로 간주된다.

$$\text{계산식: VMR(\%)} = \frac{\text{acetazolamide 후 MCA 평균속도} - \text{기저상태 MCA 평균속도}}{\text{기저상태 MCA 평균속도}} \times 100$$

이산화탄소 흡입 및 아세타졸아미드 사용 시 환자의 기저 질환, 특히 호흡기 및 심혈관계 이상이 있는 경우 주의가 필요하며, 환자에게 절차와 목적에 대한 충분한 설명을 제공하고, 불편함이 없도록 주의한다.

1.1.2.3 미세색전신호(MES) 모니터링

경두개 초음파 검사의 독특한 장점 중 하나는 장시간에 걸쳐 감시가 가능하고, 이는 미세 색전 신호(MES)를 실시간으로 발견할 수 있다는 점이다. 1964년 Austen 등은 개흉술을 받는 환자에서 경동맥 초음파검사 중 도플러 신호 강도가 일시적으로 증가된 것을 처음으로 발견하였다. 1990년 Spencer 등에 의해 MES 연구의 시금석이라고 볼 수 있는 경동맥내막절제술 중의 고강도 일시적 신호(high-intensity transient signals, HITS) 연구가 발표되었다. 그 후 고강도 신호는 경동맥협착이나 심장판막질환과 같은 다양한 병적 상태에서 발견되었는데 이러한 소견은 정상인에서는 거의 나타나지 않는 소견이다. MES는 자발적인(spontaneous) 것과 인공적인(artificial) 것으로 나눌 수 있다. 자발적 MES는 심장이나 죽상동맥벽에서 색전이 날아가서 나타나는 것이고, 인공적 MES는 초음파 반향-대비(echo-contrast) 물질을 정맥 내로 주입했을 때 나타나는 것으로, 심장의 좌·우 단락이나 폐 단락을 발견하기 위해 사용된다. MES는 색전의 표면에 초음파가 반사되면서 야기되는 것으로 그 크기와 구성성분에 따라 신호 강도가 결정된다. MES 검사법은 뇌허혈의 병태생리를 결정할 수 있고, 수술이나 약물 치료의 효과가 있을 환자를 감별하는 데 도움이 되기도 하며 새로운 항혈전제의 치료효과를 평가하는 데 쓰이기도 한다(권형민, 2013).

TCD MES 검사를 수행하기 위해서는 2 MHz 탐촉자(일반적으로 2개)와 헤드셋이 필수 요소이다. 헤드셋은 탐촉자를 환자의 머리에 안정적으로 고정하는 데 사용된다. TCD MES 검사에서 중요한 것은 정확한 측정 위치를 선택하는 것이다. 일반적으로 양쪽 MCA에서 실시하지만 측두창이 불량하거나 병변이 위치하여 검사가 불가능한 경우 뇌바닥동맥(basilar artery, BA)에서 측정 가능하다. 이들 위치에서 탐촉자를 약간씩 움직이고 조정하면서 최적의 혈류 신호를 찾는다. 탐촉자가 최적의 신호를 찾으면, 이를 고정함으로써 각 측정 위치에서 안정적이고 일관된 신호를 얻을 수 있다. MES 검출을 위해서는 일정 시간 동안 지속적인 기록이 필요하다. 일반적으로 20~30분 동안 기록을 유지하며, 이 시간 동안 탐촉자는 고정된 위치에서 지속적으로 혈류 신호를 수집한다. 환자는 검사 중 움직이지 않도록 주의해야 하며, 편안한 자세를 유지한다. 검사 결과는 자동 탐색과 수동 탐색을 통해 확인할 수 있다. 자동 탐색 기능은 신속하고 편리하지만, 수동 탐색이 더 정확한 결과를 확인할 수 있다. 검사자의 수동 탐색을 통해 MES 신호를 더욱 세밀하게 분석하고, 놓칠 수 있는 미세 신호까지 탐지할 수 있다(정호태 등, 2024).

도플러 미세색전신호(MES)의 기본 판별 기준은 1995년 제9차 국제 뇌혈류역학 심포지엄 합의위원회에서 확립되었으며, 현재까지도 MES 판별의 근간으로 사용된다. MES는 단방향, 짧은 지속시간(<300ms)의 신호로 정의되며, 배경 혈류 신호 대비 강도가 3dB 이상 증가하고, 심장주기 내 무작위로 발생하며, 특유의 청각적 신호(“휘파람 소리, 짹짹거림, 딸깍거림”)를 동반한다. 일부 연구에서는 특이도를 높이기 위해 9.0 dB 기준을 적용하기도 한다(Heo, 2024).

1.1.2.4 기립경사도 경두개 초음파 검사

경두개도플러 초음파는 뇌혈류 역학을 직접 평가할 수 있는 방법으로, 특히 기립경사검사와 병행했을 때

실신의 병태생리 및 기전을 파악하는 데 있어 중요한 정보를 제공하고, 뇌혈류의 변화를 이해함으로써 보다 정확한 진단과 맞춤형 치료전략 수립에 도움이 될 수 있다(Cho, 2024).

TCD를 활용한 뇌혈류 측정은 실신이 뇌 저관류(cerebral hypoperfusion)로 인한 것인지 여부를 파악하는 데 도움을 주며, 뇌 자동 조절(cerebral autoregulation) 기능을 평가할 수 있어 자율조절 실패로 인한 실신과 심장성 실신을 감별할 수 있다. TCD는 실신 중 혈류 변화를 지속적이고 정량적으로 모니터링할 수 있기 때문에 실신 시의 혈관 반응의 역동성을 이해하는 데 유용한 도구이다. TCD를 실신 평가 프로토콜에 추가하면, 특히 기존 검사(심전도, 기본 심혈관 검사)로 설명되지 않는 경우 진단 정확도를 향상시킬 수 있다. TCD의 장점은 혈압 변화 없이도 뇌혈류가 감소하는 기립뇌관류저하증후군 (orthostatic cerebral hypoperfusion without systemic hypotension, OCHOS)을 감지할 수 있다(Cho, 2024).



(A) 머리에 TCD 장비를 부착 (B) 기립경사 검사에서 누운(양와위) 상태 동안 심박수, 혈압 및 뇌혈류 모니터링함 (C) 기립경사 검사 중 약 70도 정도로 기울인 상태에서 모니터링 수행

그림 1.2 기립경사도 검사 중의 경두개도플러 초음파 모니터링

(출처: Cho, 2024)

1.1.3 소요장비 현황

초음파를 활용한 뇌혈류 기능검사에 사용되는 소요장비에 대한 국내 식품의약품안전처 허가사항은 다음과 같다.

표 1.3 국내 식품의약품안전처 허가사항

제품명 (모델명)	업체	허가번호 (허가일)	분류번호 (등급)	사용목적(효능·효과)
품목명: 초음파 혈류계				
EMS-9D EXP	뉴로플러스 (주)	수인 21-4294호	A17200.02	초음파도플러 기술을 이용하여 혈류 속도를 비관혈적 또는 관혈적으로 측정하고 혈류장애(혈전, 협착 등)를 측정하거나 그 정도의 평가를 지원하는 초음파 혈류계
EMS-9U1	(주)뉴로포스	수인 21-4090호	A17200.02	초음파도플러 기술을 이용하여 혈류 속도를 비관혈적 또는 관혈적으로 측정하고 혈류장애(혈전, 협착 등)를 측정하거나 그 정도의 평가를 지원하는 기구
품목명: Transcranial Doppler 초음파혈류계 또는 혈류계				
TOC2M NEUROVISION	(주)인석		A17200.02	혈관에 초음파를 쬐어 도플러 효과를 이용해서 혈류량, 혈류 속도를 측정하는 기구
Model 500P Pocket	한림양행	수허 06-1182호	A17200.02	혈관에 자계, 초음파, 레이저 등을 쬐일 때 혈액에 생기는 기전력 등을 검출하여 혈류량, 유속 등을 측정하는 기구

출처: 식품의약품안전처 의료기기 전자민원창구 홈페이지

1.2 평가대상 의료기술의 국내외 보험 및 행위등재 현황

1.2.1 국내 보험등재 현황

건강보험요양급여비용 목록에 초음파를 활용한 뇌혈류 기능검사는 비급여로 등재되어 있다.

표 1.4 건강보험요양급여비용목록 등재 현황

분류 번호	코드	분류	상대가치 점수	추가정보(원)**	
				(의원)	(병원)
제2부 행위 급여 목록					
제2장 검사료					
【진단초음파】					
나-948		혈관			
	EB481	가. 뇌혈류 초음파 Transcranial Doppler Ultrasonography	1,243.54		
		나. 두개외 혈관 도플러 초음파 Extracranial Vascular Doppler Ultrasonography			
	EB482	(1) 경동맥 Carotid Artery	1,061.51		
	EB483	(2) 기타 동맥	557.19		
		다. 사지혈관 도플러 초음파 Extremity Vascular Doppler Ultrasonography			
		(1) 사지-동맥, 정맥 Upper Extremity-Artery, Vein 주: 동정맥류의 혈류 및 협착 측정시는 440.28점을 산정한다	855.24		
		(2) 하지-동맥, 정맥 Lower Extremity-Artery, Vein 주: 하지 정맥류 검사를 실시한 경우 1,521.05점을 산정한다	1,354.37		
	라. 대동맥 도플러 초음파 Aorta Doppler Ultrasonography	824.99			

분류 번호	코드	분류	상대가치 접수	추가정보(원)**	
				(의원)	(병원)
		제3장 영상진단 및 방사선치료료			
		제2절 방사선훈영상진단료			
		【전산화단층영상진단】			
다-245		일반 전산화단층영상진단 Computed Tomography			
		가. 두부 Brain			
	HA451	(1) 조영제를 사용하지 않는 경우 without Contrast Material	889.95		
	HA461	(2) 조영제를 사용하는 경우 [조영제 주입 전·후 촬영 판독 포함] with Contrast Material	1,341.72		
		(3) 특수검사			
	HA511	(가) 이중시기 또는 삼중시기 CT Phase 2 or Phase 3 Dynamic Study CT	1,488.91		
	HA521	(나) 삼차원 CT 3-Dimension CT	1,488.91		
	HA531	(다) CT 혈관조영 CT Angiography	1,488.91		
	HA551	(라) Cine CT Cine CT	1,488.91		
	HA561	(마) 뇌조 CT CT Cisternography	1,488.91		
	HA441	(4) 제한적 CT Limited CT	772.44		
		【자기공명영상진단】			
다-246		자기공명영상진단 Magnetic Resonance Imaging			
		가. 기본검사			
		(1) 뇌 [Brain]			
		(가) 일반			
	HI101	1) 촬영료 등	2,053.65		
	HJ101	2) 판독료	880.14		
		(나) 조영제 주입 전·후 촬영 판독			
	HI201	1) 촬영료 등	2,729.72		
	HJ201	2) 판독료	1,169.88		
		(다) 제한적 MRI(방사선 치료범위 및 위치결정 등)			
	HI401	1) 촬영료 등	1,092.21		
	HJ401	2) 판독료	468.10		
		(라) 3차원자기공명영상을 실시한 경우			
	HI501	1) 촬영료 등	2,887.62		
	HJ501	2) 판독료	1,237.55		
		(7) 혈관[동맥 또는 정맥] [Artery or Vein]			
		(가) 뇌혈관 Brain MRA			
		1) 일반			
	HI135	가) 촬영료 등	2,237.79		
	HJ135	나) 판독료	959.05		
		2) 조영제 주입 전·후 촬영 판독			
	HI235	가) 촬영료 등	2,974.30		
	HJ235	나) 판독료	1,274.71		
		3) 3차원자기공명영상을 실시한 경우			
	HI535	가) 촬영료 등	3,146.75		
	HJ535	나) 판독료	1,348.61		
		나. 특수검사			
	HF101	(1) 확산 Diffusion	1,929.95		
	HF201	주: 기본검사와 동시 실시한 경우에는 1,071.08점을 산정한다			
	HF102	(2) 관류 [3차원자기공명영상 포함] Perfusion	2,957.12		
	HF202	주: 기본검사와 동시 실시한 경우에는 1,667.98점을 산정한다			
	HF103	(3) 분광영상 Spectroscopy	1,938.27		

분류 번호	코드	분류	상대가치 접수	수가정보(원)**	
				(의원)	(병원)
	HF203	주: 기본검사와 동시 실시한 경우에는 1,144.92점을 산정한다			
	HF104	(4) 영화 [기본검사 및 3차원자기공명영상 포함] Cine	4,343.38		
	HF105	(5) Dynamic [기본검사 포함]	3,411.94		
	HF305	주: 3차원자기공명영상을 실시한 경우에는 4,507.72점을 산정한다			
	HF106	(6) 이중조영 [기본검사 포함] Dual contrast	3,779.51		
	HF306	주: 3차원자기공명영상을 실시한 경우에는 4,975.41점을 산정한다			
	HF107	(7) 기능적[기본검사 및 3차원자기공명영상 포함] Functional	4,980.03		
제3절 핵의학영상진단 및 골밀도검사료					
【전산화단층영상진단】					
다-329		단일광자전산화단층촬영 Single Photon Emission Computed Tomography 주: 2. 뇌의 경우 안정상태와 약물부하를 동시에 실시한 경우에는 소정점수를 각각 산정한다. 가. 뇌 단일광자전산화단층촬영 Brain SPECT			
	HC291	(1) 안정상태 Resting	1,579.49		
	HC296	(2) 약물부하 Pharmacological Stress	1,751.76		
제3부. 행위 비급여 목록					
제2장 검사료					
제3절 기능 검사료					
【신경계기능검사】					
너-689		자율신경계이상검사 Autonomic Nervous System Function Test			
	FY891	가. 기립성혈압검사 Orthostatic Blood Pressure Test			
노-714	FZ714	초음파를 활용한 뇌혈류 기능검사	-	-	-
제3장 영상진단 및 방사선 치료료					
제2절 방사선훈수영상진단료					
도-162	HZ162	뇌혈관 정량적 자기공명혈관조영술 [동 행위를 위해 실시 한 MRA 포함]	-	-	-

** 건강보험심사평가원 요양기관포털-심사기준종합서비스-수가정보(2025.9.2. 조회)
출처: 건강보험심사평가원 건강보험 요양급여비용 목록(2025년 1월판)

표 1.5 초음파를 활용한 뇌혈류 기능검사

보험분류번호	노-714	수가(보험EDI)코드	FZ714
관련근거	보건복지부 고시 제2016-188호 (2016.9.30.)	급여여부	비급여
		적용일자	2016-10-01
행위명(한글)	초음파를 활용한 뇌혈류 기능검사		
행위명(영문)	-		
정의 및 적응증	기립경사도 경두개 초음파, 미세기포를 이용한 좌우단락검사, 혈관운동반응성검사 포함 1. 기립경사도 경두개 초음파 - 뇌졸중, 일과성 뇌허혈증, 실신, 두통, 어지럼증 원인 진단 2. 미세기포를 이용한 좌우단락검사 - 뇌졸중, 일과성 뇌허혈증, 난원공 개존 등 좌우단락 유무 확인 3. 혈관운동반응성검사 - 뇌졸중, 일과성뇌허혈증, 심혈관질환, 말초혈관질환, 고혈압, 당뇨병, 고지혈증, 대사증후군, 동맥염 및 전신혈관질환		
실시방법	1. 기립경사도 경두개 초음파 - 뇌혈류 초음파 검사를 우선 시행 후, 체외 탐색자가 부착된 머리띠를 환자 머리에 고정시킨 후 관찰하고자 하는 뇌혈관을 탐색하여 기립경사도 검사를 시행한다. - 기립경사도 검사 중에 발생하는 뇌혈류 속도 저하를 관찰한다. - 모든 기록을 저장 후 판독지 작성한다. 2. 미세기포를 이용한 좌우단락검사 - 뇌혈류 초음파 검사를 우선 시행 후, 체외 탐색자가 부착된 머리띠를 환자 머리에 고정시킨 후 관찰하고자 하는 뇌혈관을 탐색하여 기립경사도 검사를 시행한다. - 환자의 팔요금정맥에 주사 line을 확보 후 3-way를 설치한다. - 생리 식염수에 미세공기방울을 만들기 위해 생리 식염수 9mL 들어 있는 주사기와 공기 1mL 들어 있는 주사기를 준비한다. - 두 주사기를 3-way에 연결해서 최소 10회 정도 교대해서 미세공기방울을 만든 후 정맥으로 주입 후 미세기포 유무를 2분간 관찰한다. - 모든 기록을 저장 후 판독지 작성한다. 3. 혈관운동반응성검사 - 뇌혈류 초음파 검사를 우선 시행 후, 체외 탐색자가 부착된 머리띠를 환자 머리에 고정시킨 후 관찰하고자 하는 뇌혈관을 탐색하여 기립경사도 검사를 시행한다. - 인위적인 조작을 가해 혈액 내 이산화탄소 분압을 상승시키면 상승된 이산화탄소 분압으로 인해 혈관 확장이 발생하고 혈류 속도는 정상적으로 증가하게 되는데 이 과정을 관찰하여 혈관운동반응성을 계산한다. - 이산화탄소 분압 상승은 정주 아세타졸아마이드법, 이산화탄소저류법, 숨참기법을 통하여 유발한다. (정주 아세타졸아마이드법: 아세타졸아마이드를 정맥으로 0-5분에 걸쳐 주사 후 20분간 혈류 속도를 측정, 이산화탄소저류법: 혼합공기(5% CO ₂ +95% room air)를 흡입하면서 호기말 이산화탄소 분압이 항정상태에 이를 때 혈류 속도 증가 정도를 관찰, 숨참기법: 30 초 정도 숨을 참아 혈중 이산화탄소농도를 높이면서 혈류 속도 증가 정도를 관찰) - 모든 기록을 저장 후 판독지 작성한다.		
주사항	-		
세부사항	-		

출처: 건강보험심사평가원 요양기관업무포털-고시항목조회

표 1.6 비급여 진료비용 등의 보고 및 공개에 관한 기준 [별표1] 비급여 보고항목(제5조제1항 관련)

연번	코드	분류			비고
		중분류	소분류	상세분류	
62	FZ7140000	기능검사료 (신경계 기능검사)	초음파를 활용한 뇌혈류 기능검사	-	뇌졸중, 일과성 뇌허혈증 등 환자에게 기립경사도 경두개 초음파, 미세기포를 이용한 좌우단락검사, 경두개 혈관운동반응성검사, MES monitoring을 포함하여 시행하는 검사

출처: 비급여 진료비용 등의 보고 및 공개에 관한 기준(보건복지부 고시 제2025-48호, 2025.3.14, 일부개정)

표 1.7 (참고) 초음파 검사

보험분류번호	나948가	수가(보험EDI)코드	EB481
관련근거	보건복지부 고시 제2016-149호(2016.8.11.)	급여여부	급여
		적용일자	2016-10-01
행위명(한글)	뇌혈류 초음파		
행위명(영문)	Transcranial Doppler Ultrasonography		
정의 및 적응증	<ol style="list-style-type: none"> 1. 뇌졸중 2. 일과성 뇌허혈증 3. 두개강내 동맥 협착 진단 및 추적 검사 4. 실신, 두통 및 어지럼증 원인 진단 5. 경동맥 폐색 및 협착 시 두개강내 뇌혈류 평가 6. 뇌졸혈 후 혈관연축 진단 및 추적 검사 7. 뇌혈류 내 미세색전 진단 8. 두개강내 뇌혈관 재관류 진단 및 촉진 9. 뇌사 판정 보조 진단 도구 10. 심혈관 또는 말초혈관질환 동반 시 죽상동맥경화증 범위 및 연관성 관찰 		
	<ol style="list-style-type: none"> 1. 환자에 대한 의무기록, lab, 검사소견 등을 검토하며 관련 영상이 있다면 활성화 후 검토를 실시한다 2. 담당 의사 및 의뢰 의사와 시행할 초음파 검사의 목적, 방법 등에 대해 협의를 실시한다. 3. 문진 및 이학적 검사를 실시한다. 4. 환자를 반듯하게 눕힌 뒤 체외 탐색자를 광대활위에 놓고 반대측 귀를 향하게 하여 측두창을 통해 내경동맥 원위부, 중대뇌동맥, 전대뇌동맥 및 후대뇌동맥을 검사한다. 각각 혈관은 탐색자 투사 방향 및 각도, 깊이, 혈류의 방향, 파형을 통하여 구분하며 적정간격을 두고 검사를 두 개 이상 저장한다. 5. 체외 탐색자로 안구창을 이용하여 내경동맥 사이편 및 안동맥을 검사한다. 각각 혈관은 탐색자 투사 방향 및 각도, 깊이, 혈류의 방향, 파형을 통하여 구분하며 적정간격을 두고 검사를 두 개 이상 저장한다. 6. 체외 탐색자로 후두하창을 이용하여 양쪽 척추동맥과 기저동맥을 검사한다. 각각 혈관은 탐색자 투사 방향 및 각도, 깊이, 혈류의 방향, 파형을 통하여 구분하며 적정간격을 두고 검사를 두 개 이상 저장한다. 7. 필요하다면 추가적으로 체외 탐색자로 하악하창을 이용하여 두개의 내경동맥 및 총경동맥을 검사한다. 8. 검사를 시행하는 모든 혈관에서 도플러 스펙트럼 파형을 이용 수축기 최고속도, 이완기 최고속도 및 평균속도를 측정한다. 9. 반대쪽으로 이동하여 같은 방법으로 검사를 반복한다. 10. 측정된 수축기 최고속도, 이완기 최고속도 및 평균속도와 계산된 초음파지수 등을 이용하여 혈관 협착 유무를 판단한다. 11. 모든 기록이 적절히 저장되었는지 확인 후 판독지를 작성하며, 담당 의사 및 의뢰 의사와 검사 결과 및 치료 방향에 대해 논의한다. 		
실시방법			
주사항	-		
세부사항	-		

출처: 건강보험심사평가원 요양기관업무포털-고시항목조회

표 1.8 초음파검사 급여기준

내용
초음파 검사는 다음과 같은 경우에 요양급여하며, 이에 해당하지 않는 경우에는 비급여함.

- 다 음 -

가. 급여대상 및 범위

1) 기본, 진단, 특수 초음파

가) 암, 심장질환, **뇌혈관질환**, 희귀질환, 중증난치질환, 결핵 질환(잠복결핵감염 제외)

(1) 「본인일부부담금 산정특례에 관한 기준」에 따른 산정특례 대상자: 해당 산정특례 적용기간 중 산정특례 대상 상병 및 관련 합병증에 대해 실시한 경우

(2) 산정특례 질환이 의심되는 환자: 해당 산정특례 질환이 의심되어 실시한 경우(1회 인정)

나) 신생아 중환자실 환자: 신생아 중환자실 입원기간에 실시한 경우

2) 임신부 초음파

가) 산전진찰을 목적으로 아래와 같이 시행하는 경우에 인정하며, 다태아의 경우 제2태아부터는 소정점수의 50%를 산정함.(나951나(1)'주'항 제외)

- 아 래 -

행위명		인정주수	인정횟수
제1삼분기	일반	임신 13주 이하 - 임신여부 및 자궁 및 부속기의 종합적인 확인을 하는 경우 산정하고, 임신 여부만을 확인하는 경우 '주'항에 따라 산정	2회
	정밀	임신 11-13주	1회
제2,3 삼분기	일반	임신 14-19주, 임신 20~35주, 임신 36주 이후	각1회
	정밀	임신 16주 이후	1회

나) 임신 과정 중 의학적 판단 하에 태아에게 이상이 있거나 이상이 예상되어 상기 산정횟수를 초과하여 시행해야 하는 경우에는 해당 삼분기의 일반 또는 일반의 제한적 초음파로 산정하며('주'항 제외), 입원 중 동일 목적으로 1일 수회 시행하는 경우에도 1일 1회만 산정함.

다) 나951나(1) '주'항을 산정할 수 있는 경우는 아래와 같음.

- 아 래 -

- (1) 태아에게 문제를 초래하는 임부의 질환상태(임신성 당뇨병, 임신성 고혈압 등)
- (2) 태아에게 문제를 초래하는 임부 자궁의 이상(여성생식기종양, 자궁경관무력증, 자궁기형 등)
- (3) 정상 분만이 불가능한 태반의 이상(전치태반, 태반조기박리 등)
- (4) 양수과다증 또는 양수과소증
- (5) 자궁내 태아 성장지연

3) 유도 초음파

상기 1)의 적용을 받는 환자에게 「건강보험 행위 급여·비급여 목록표 및 급여 상대가치점수」 제1편 제2부 제2장(검사료) 또는 제9장(처치 및 수술료 등)에 분류된 행위를 초음파 유도 하에 아래와 같이 실시한 경우 해당 소정점수를 산정함.

- 아 래 -

- 가) 유도초음파(Ⅰ): 흉막천자, 심낭천자, 더글라스와 천자, 양수천자, 배액 시 시술부위 확인
- 나) 유도초음파(Ⅱ): 조직생검, 세침흡인생검, 시술 시 간헐적 유도
- 다) 유도초음파(Ⅲ): 시술 시 지속적 모니터링
- 라) 유도초음파(Ⅳ): 고주파 열치료술, 냉동제거술과 같은 고난이도 시술

나. 산정방법

1) 각 장기별 검사는 해당 장기 및 주변 림프절, 혈관, 연부조직 등을 포함하는 것으로 상기 가.의 적용을 받는 환자

내용

- 에게 서로 인접된 부위에 초음파 검사를 동시에 시행하는 경우 주된 검사는 소정점수의 100%, 제2의 검사는 소정점수의 50%를 산정하며, 최대 150%까지 산정함.
- 2) 다부위 초음파 시행 시 초음파 검사가 필요한 진료의사의 의학적 판단 근거가 검사 전 진료기록부 또는 판독소견서에서 부위별로 확인되어야 함.
- 3) 상기 가. 1) 진단 초음파와 3) 유도 초음파를 동시에 시행한 경우에는 각각의 소정점수를 산정함.
- 4) 상기 가. 1)의 적용을 받는 환자에게 단순초음파를 동일 날, 동일 목적으로 수회 시행하더라도 해당 항목의 소정점수를 1회 산정함.

다. 상기 가.의 규정 이외에 아래와 같은 경우에도 요양급여를 인정함.

- 아 래 -

- 1) 경피적 좌심방이폐색술을 시행한 경우에 관련 고시*에 따라, 임상자료 제출을 위해 심장초음파를 실시한 경우 *「선별급여 지정 및 실시 등에 관한 기준」[별표3]
- 2) 「암관리법」에 의한 완화의료전문기관의 완화의료병동에 입원한 말기암환자에게 유도초음파를 실시한 경우
- 3) 나943다 태아정밀 심초음파는 산전진찰 결과 태아의 심장에 이상소견이 있어 정밀검사를 시행하는 경우 산정하며, 이 경우 다태아는 가.2.가)의 적용을 받음.
- 4) 보조생식술을 위해 초음파를 시행하는 경우
 - 가) 보조생식술 진료시작일에 자궁부속기 및 자궁내막의 상태 등을 보는 경우 나944라(1) 여성생식기 초음파(일반)를 산정함
 - 나) 보조생식술 관련 약제투여 후 난포의 크기 및 수, 자궁내막두께 등을 관찰하는 경우 나940나 단순초음파(II)를 산정함
- 5) 자궁내 태아의 질환 치료를 위한 급여 시술 시(선별급여 포함) 유도초음파를 시행하는 경우 나956라 유도초음파(IV)를 산정함

(고시 제2023-105호, '23.7.1. 시행)

출처: 요양급여의 적용기준 및 방법에 관한 세부사항과 심사지침(2025년 7월판)

1.2.2 국내 이용현황

초음파를 활용한 뇌혈류 기능검사는 비급여 기술로, 실제 사용량에 대한 통계현황은 확인되지 않았다. 건강보험심사평가원 비급여 진료비용 정보에 따르면, 동 기술의 전국 중앙가격은 124,000원, 평균가격은 131,500원(최저 20,000원~최대 500,000원)으로 확인되고 있다.

표 1.9 비교기술 국내 이용현황

구분	2020	2021	2022	2023	2024
혈관-뇌혈류초음파(EB481)					
환자수(명)	38,154	41,048	39,680	47,701	42,299
총사용량(회)	60,264	64,012	59,494	70,730	62,581
진료금액(천원)	5,748,503	6,201,344	5,912,646	7,198,834	6,129,988
일반전산화단층영상진단-두부-특수검사-CT 혈관조영(HA531)					
환자수(명)	85,987	200,674	210,166	259,619	254,661
총사용량(회)	95,275	226,670	236,045	293,151	283,700
진료금액(천원)	12,589,036	30,198,049	31,817,694	40,027,107	36,785,827
자기공명영상진단-기본검사-혈관(동맥 또는 정맥)-뇌혈관-일반-촬영료 등(HI135)					
환자수(명)	586,836	660,160	683,580	687,376	571,511
총사용량(회)	544,002	615,540	633,039	630,726	526,779
진료금액(천원)	112,366,761	128,815,218	135,976,282	138,772,680	111,505,433
자기공명영상진단-기본검사-혈관(동맥 또는 정맥)-뇌혈관-조영제 주입 전·후 촬영 판독-촬영료 등(HI235)					
환자수(명)	123,395	120,216	122,392	136,118	113,785
총사용량(회)	134,148	130,630	133,060	148,601	124,478
진료금액(천원)	37,680,717	37,327,949	38,632,176	44,082,003	34,631,186
자기공명영상진단-기본검사-혈관(동맥 또는 정맥)-뇌혈관-3차원자기공명영상을 실시한 경우-촬영료 등(HI535)					
환자수(명)	24,048	24,681	26,285	23,574	17,275
총사용량(회)	26,028	26,472	27,823	25,037	18,311
진료금액(천원)	7,346,572	7,659,426	8,366,328	7,745,824	5,443,696
특수자기공명영상진단-확산(HF101)					
환자수(명)	202,448	225,423	236,894	275,128	235,429
총사용량(회)	227,190	258,249	269,621	316,106	267,719
진료금액(천원)	37,543,908	42,530,274	45,230,126	54,104,221	43,772,779
심장-경식도 심초음파(EB611)					
환자수(명)	10,226	11,636	16,670	20,477	16,347
총사용량(회)	11,304	12,863	18,480	22,834	18,057
진료금액(천원)	2,585,939	3,475,946	7,481,279	9,428,208	6,968,447
심장-경흉부 심초음파-단순(EB431)					
환자수(명)	31,789	45,036	71,572	74,191	71,913
총사용량(회)	36,813	51,529	81,056	85,435	82,092
진료금액(천원)	3,202,068	4,703,897	7,944,729	8,485,147	7,929,992
심장-경흉부 심초음파-일반(EB432)					
환자수(명)	295,303	426,002	656,088	650,182	645,852
총사용량(회)	355,920	492,684	723,962	719,042	709,910
진료금액(천원)	50,683,388	71,752,398	111,508,680	113,424,074	109,150,261
심장-경흉부 심초음파-전문(EB433)					
환자수(명)	288,616	437,701	900,525	1,079,599	1,092,619
총사용량(회)	343,472	511,740	1,041,055	1,268,296	1,268,673
진료금액(천원)	69,901,479	106,080,765	223,522,018	277,316,382	262,738,118
자율신경계이상검사-기립경사테이블검사(E7281)					
환자수(명)	49,142	61,112	76,016	95,260	105,206
총사용량(회)	51,853	64,410	79,443	99,373	110,197
진료금액(천원)	2,652,969	3,346,379	4,265,367	5,438,973	6,192,880

출처: 보건 의료 빅데이터 개방 시스템_진료행위통계(2025.9. 기준)

표 1.10 관련 질환 환자 수

구분	2020	2021	2022	2023	2024
뇌혈관 질환* (I60~I69)	1,050,577	1,106,191	1,159,666	1,232,415	1,243,114
뇌졸중_뇌출혈_뇌경색* (I60~I64)	607,862	620,342	632,119	653,409	653,275
거미막하출혈(I60)	35,130	35,698	36,258	37,229	37,389
뇌내출혈(I61)	56,539	57,382	57,878	59,638	59,323
기타 비외상성 두개내출혈(I62)	10,703	10,244	10,367	11,333	10,885
뇌경색증(I63)	499,021	508,415	519,533	536,179	537,497
출혈 또는 경색증으로 명시되지 않은 뇌졸중(I64)	21,299	22,996	22,469	24,231	22,257
뇌경색증을 유발하지 않은 뇌전동맥의 폐쇄 및 협착(I65)	113,725	129,197	142,258	161,788	166,287
뇌경색증을 유발하지 않은 대뇌동맥의 폐쇄 및 협착(I66)	45,048	49,572	53,788	58,835	60,178
기타 뇌혈관질환(I67)	302,821	330,904	357,736	391,948	392,071
달리 분류된 질환에서의 뇌혈관장애(I68)	3,972	4,082	3,784	4,371	4,143
뇌혈관질환의 후유증(I69)	42,180	40,489	39,554	38,787	39,201
어지럼증 및 어지럼(R42)	855,608	951,526	979,640	1,015,119	984,348
실신 및 허탈(R55)	106,404	108,891	122,581	148,404	147,053
두통(R51)	876,084	1,124,069	1,136,471	1,096,811	1,066,847
편두통(G43)	546,508	604,763	602,906	588,807	582,029
기타 두통증후군(G44)	558,952	633,183	590,746	560,109	525,575
심방중격결손(Q211)	26,054	30,329	35,281	39,924	41,814

출처: 보건 의료 빅데이터 개방 시스템_3,4단 질병 통계 (2025.9.기준)

* 국민관심질병 통계

1.2.3 국외 보험 및 행위등재 현황

초음파를 활용한 뇌혈류 기능검사의 국외 보험 등재 현황은 미국 CPT 코드, 일본 진료보수점수표에서는 관련된 내용을 다음과 같이 확인하였다.

표 1.11 국외 보험 및 행위 등재 현황

국가	분류	내용
미국	CPT ¹⁾	93886 Transcranial Doppler study of the intracranial arteries; complete study
		93888 Limited study
		▶ (Do not report 93888 in conjunction with 93886, 93892, 93893, 93896, 93897, 93898) ◀
		▶ (93890 has been deleted. To report vasoreactivity study, use 93896) ◀
		93892 emboli detection without intravenous microbubble injection
		93893 venous-arterial shunt detection with intravenous microbubble injection
		▶ (Do not report 93892, 93893 in conjunction with 93886, 93888) ◀
		93896 Vasoreactivity study performed with transcranial Doppler study of intracranial arteries, complete (List separately in addition to code for primary procedure)
		▶ (Use 93896 in conjunction with 93886) ◀
		▶ (Do not report 93896 in conjunction with 93888) ◀
93897 Emboli detection without intravenous microbubble injection performed with transcranial Doppler study of intracranial arteries, complete (List separately in addition to code for primary procedure)		
▶ (Use 93897 in conjunction with 93886) ◀		
▶ (Do not report 93897 in conjunction with 93888) ◀		
93898 Venous-arterial shunt detection with intravenous microbubble injection performed with transcranial Doppler study of intracranial arteries, complete (List separately in addition to code for primary procedure)		

국가	분류	내용
		▶ (Use 93898 in conjunction with 93886) ◀ ▶ (Do not report 93898 in conjunction with 93888) ◀
일본	진료보수 점수표 ²⁾	D215 초음파 검사 4. 도플러법(1일 1회 한정) • 뇌동맥 혈류 속도 연속측정-150점 • 뇌동맥 혈류 속도 매핑법-400점 7. 가산규정: 뇌동맥혈류 속도 연속측정에서 미세색전신호(HITS/MES) 검출 시 150점 추가

CPT, current procedural terminology

출처: 1) American medical association, 2023; 2) 일본 후생성 홈페이지

1.3 질병 특성 및 현존하는 의료기술

1.3.1 뇌졸중

뇌졸중은 크게 출혈뇌졸중(hemorrhagic stroke)과 허혈뇌졸중(ischemic stroke)으로 분류할 수 있다. 출혈뇌졸중은 뇌출혈이라고도 하며, 출혈이 생기는 위치에 따라 뇌실질내 또는 뇌내출혈(parenchymal or intracerebral hemorrhage), 거미막하출혈(subarachnoid hemorrhage), 뇌실내출혈(intraventricular hemorrhage)로 나뉜다. 허혈뇌졸중은 흔히 뇌경색(cerebral infarction)을 의미하지만, 뇌졸중 증상 발현 24시간 이내에 증상이 소실되는 일과성 허혈발작(transient ischemic attack)을 허혈뇌졸중에 포함하기도 한다(대한신경과학회 편, 2017).

표 1.12 뇌졸중 분류

KSR (Korean Stroke Registry) 분류	TOAST 분류
허혈뇌졸중 제자리혈전증(in situ thrombosis) 동맥-동맥색전증(artery to artery embolism) 혈류역학 뇌졸중	허혈뇌졸중 큰동맥죽경화증(large artery atherosclerosis)
심장성색전증	심장성색전증
열공뇌졸중	소혈관질환
일과성 허혈발작	
기타	다른 원인 뇌졸중 원인 불명 뇌졸중 두 가지 이상의 원인 원인 미상 불완전 검사
출혈뇌졸중 뇌내출혈 거미막하출혈 기타	출혈뇌졸중 뇌내출혈 거미막하출혈 뇌실내출혈 경막하출혈

출처: 신경학 3판, 대한신경과학회, 2017

국내 질병관리청에서 보고한 「심뇌혈관질환발생통계(2022)¹⁾」 자료에 의하면, 우리나라의 2022년 뇌졸중 발생 건수는 110,574건이며, 남성 61,988건, 여성 48,586건으로 남자에서 약 1.2배 높았다. 뇌졸중 발생률(건/10만 명당)은 215.7건(남성 242.7건, 여성 188.9건)이었으며, 연령대별로는 80세 이상에서 1,515.7건으로 가장 높으며 연령대가 높을수록 높았다. 뇌졸중 발생 후 30일 내 사망자 분율인 30일 치명률은 7.9%이었으며, 여성(9.1%)이 남성(6.9%)보다 높았고, 80세 이상(12.7%)에서 치명률이 가장 높았다. 1년 치명률은 20.1%(남성 18.5%, 여성 22.1%)이었고, 65세 이상(32.1%)에서 높았다.

뇌는 부위에 따라 각각의 담당 기능이 달라서 특정한 부위가 손상을 입으면 이에 해당하는 특징적인 신경증상이 나타난다. 혈압 등 전신상태와 의식상태를 체크하고, 다양한 신경학적 검사를 통해 뇌졸중의 발생 여부와 손상의 범위, 위치 등을 확인한다(질병관리청 국가건강정보포털, 검색일 2025.9.).

진단방법(대한신경과학회편, 2017)

1) 전산화단층촬영

비조영증강(noncontrast) 전산화단층촬영(computed tomography, CT)은 뇌졸중을 진단할 때 처음 하게 되는 대표적인 검사이다. 대부분의 병원에서 검사가 가능하고, 급성 뇌졸중이 의심되는 환자에서 뇌출혈을 쉽게 감별할 수 있게 하며, 빠른 시간에 안전하게 검사가 가능한 장점이 있다. 뇌혈류가 감소하여 뇌세포와 조직이 손상되면 뇌세포와 뇌조직 내로 물이 유입되는데, 이렇게 유입된 물성분으로 인해 CT에서 음영이 감소하며, 저음영의 정도는 유입된 물의 양과 비례한다. 반면에 뇌출혈에서는 혈중에 단백질이 많이 포함되어 있어 고음영으로 나타난다. 또한 비조영증강 CT는 거미막하출혈의 진단에도 유용하다. 관류 CT(perfusion CT)의 경우, 이미 비가역적으로 손상을 받은 뇌의 허혈조직과 허혈반음영(ischemic penumbra) 부위를 구분하는 데 도움이 된다. 이러한 정보는 혈관재개통치료 여부를 결정하는 데 중요하다. 관류 CT는 조영제를 정맥주사한 후 조영제가 뇌혈관으로 들어와서 나갈 때까지 연속적으로 CT를 촬영하여 영상정보를 얻는다. 관류영상은 대표적으로 뇌혈류(cerebral blood flow, CBF), 뇌혈액량(cerebral blood volume, CBV), 평균통과시간(mean transit time, MTT)의 세 가지 영상을 얻는다. CT 혈관조영술(CT angiography, CTA)은 혈관 협착과 결순환 뿐 아니라 동맥류 진단에도 유용하다. CTA는 MRA보다 혈관 협착을 더 예민하게 진단할 수 있고, 폐색도 더 정확하게 진단할 수 있다. 또한 주변에 있는 조직과 뼈에 대한 정보와 혈관의 석회화된 정보도 얻을 수 있는 장점이 있다.

2) 자기공명영상

자기공명영상(magnetic resonance imaging, MRI)은 우리 몸의 모든 조직에 무수히 많은 수소원자가 자성을 띠고 있는 점에서 기초하고 있다. 외부에서 고주파를 주면 신체의 자성이 90도로 누웠다가, 고주파를 끊으면 에너지를 방출하면서 돌아온다. 이때 돌아오는 에너지 신호를 영상으로 만든 것이 MRI이다. 뇌졸중 환자에서 전형적인 MRI 프로토콜에는 확산강조영상(diffusion-weighted imaging, DWI), T2강조영상(T2-weighted imaging), 액체감쇠역전회복영상(fluid-attenuated inversion recovery, FLAIR), 기울기에코영상 (gradient-echo imaging, GRE), 관류강조영상(perfusion-weighted

1) 2022 심뇌혈관질환 발생통계. 질병관리청

imaging, PWI), MRI 혈관조영술(magnetic resonance angiography, MRA)이 포함된다. CT와 MRI는 모두 뇌영상, 뇌의 관류 및 혈관영상을 얻을 수 있어 유사한 측면이 있으나, 서로 장단점이 있다. CT는 대부분 병원에서 쉽게 촬영이 가능하고, 저렴하며 MRI보다 더 빨리 촬영이 가능하여 혈관재개통치료가 필요한 환자에서 특히 유용하다. 반면, MRI는 급성뇌경색의 진단에 훨씬 정확하고(DWI), 방사선조사에 따른 위험이 없으며, 조영제의 부담이 훨씬 적다. 그러나 심박동조율기가 몸 안에 있으면 금기이고, 뇌동맥클립치료를 받은 환자에서 검사를 못할 수도 있다.

3) 뇌혈관조영술

CTA와 MRA가 도입되면서 카테터를 이용한 고식적 뇌혈관조영술의 필요성은 많이 줄어들었으나, 뇌혈관조영술은 뇌혈관을 가장 정확하게 검사할 수 있는 방법이다. 허혈뇌졸중 환자에서 혈관조영술을 하면 뇌혈관의 이상을 정확하게 알 수 있을 뿐 아니라, 심한 뇌동맥협착이나 폐색 환자에서는 결순환을 알 수 있는 장점도 있다. 또한, 거미막하출혈이 발생하였거나 치료가 필요한 뇌동맥류 환자에서는 혈관조영술이 거의 대부분 필요하다. 최근에는 경동맥내막절제술이나 스텐트, 동맥내혈전제거술이 많이 시행되면서 카테터를 이용한 뇌혈관조영술이 많이 늘어나고 있다. 삼차원혈관조영술이 사용되면서 더 정확한 정보를 얻을 수 있어 사용이 확대될 것으로 전망된다.

1.3.2 실신

실신(syncope)은 뇌혈류감소로 인한 일시적 의식소실을 말하고, 자세를 유지하는 긴장도의 소실로 넘어지는 현상이 동반된다. 실신의 종류에 따라서는 전구증상이 나타나는데, 가벼운 어지럼, 구역, 땀, 위약감, 시력장애를 호소한다. 대개 실신은 전구증상 없이 나타나며, 반사실신의 경우 20초 이상 지속되지 않으나 드물게는 수 분 이상 나타날 수도 있다. 뇌혈류가 6~8초 간 갑자기 중단되거나 혈압이 60mmHg 이하로 떨어지면 의식을 잃을 수 있기 때문에 실신의 기본적인 병태생리는 뇌혈류가 감소할 정도의 혈압 강하이다. 혈압은 심장박출량과 전 말초혈관저항(total peripheral vascular resistance)에 의해 조절된다. 두 혈압조절인자의 상호작용이 배합되어 실신의 병리기전에 기초를 이루고, 혈압조절장애의 원인에 따라 반사실신, 기립저혈압에 의한 실신, 심장성 실신으로 대별된다(대한신경과학회 편, 2017).

실신의 진단은 의식소실과 실신전후의 증상 및 임상 특징을 통해 병력을 청취해야 한다. 많은 실신이 특이 상황에서 유발되므로, 실신 당시의 상황을 재현함으로써 진단에 큰 도움을 얻을 수 있다. 기본적인 신체진찰, 심전도, 혈액검사 등으로도 진단이 확실하지 않을 때 능동기립검사(active standing test)와 기립경사테이블검사를 한다. 능동기립검사는 검사법이 단순하기 때문에 혈압계만으로도 충분히 검사가 가능하며, 수축기혈압이 20~30mmHg 이상, 확장기혈압이 10mmHg 이상 떨어지고, 맥박 수가 상승하지 않으면 비정상적으로 간주한다. 기립경사테이블검사는 30-60분간 60-80도 경사를 준 상태에서 혈압, 맥박, 증상을 기록한다. 이때 양성반응이 나타나지 않으면 이소프로테레놀(isoproterenol)을 1 μ g/분으로 정주하기 시작하여 5 μ g/분까지 30분에 걸쳐 점차 증량하고 반응을 관찰한다. 양성반응이 나타나거나 5 μ g/분까지 올렸으면 검사를 종료한다. 기립경사테이블검사 직후 저혈압이 일어나면 교감신경계 긴장도와 압력수용기의 기능이 부적절한 것을 의미하고, 기립경사테이블검사 후 수 분이 지나서 저혈압이 나타나면 혈관미주신경실신을 의미한다. 최근에는 뇌혈류검사(두개경유도플러)와 기립경사테이블검사를 같이 시행하여 실신이나 기립

증상이 있을 때 뇌혈류의 저하를 관찰한다. 특히 기립뇌관류저하증후군은 혈압이나 맥박의 변화 없이 뇌혈류 속도의 저하만 관찰되기 때문에 기립경사테이블검사만으로는 정상으로 판단하게 되고, 반드시 뇌혈류검사를 같이 하여야 한다. 실신에서도 혈압과 맥박의 감소와 함께 뇌혈류 속도의 감소가 관찰된다(대한신경과학회 편, 2017).

1.3.3 두통

두통은 특별한 원인 없이 발생하는 원발 두통이 대부분이며, 이차 두통은 유병률이 낮다. 세계보건기구의 두통으로 인한 부담에 대한 인구집단연구에서 전 세계 두통의 1년 유병률은 46%였으며, 그 중 편두통(migraine)은 11%, 긴장형두통(tension type headache)은 42%, 그리고 만성매일두통(chronic daily headache)은 3%로 보고되었다. 한국에서는 2009년 두통역학조사에서 편두통은 유병률이 6.1%(여성 9.2%, 남성 2.9%), 추정편두통(probable migraine)은 11.5%(여성 16.8%, 남성 6.0%), 그리고 긴장형두통은 30.8%(여성 29.3%, 남성 32.2%)이었다. 만성매일두통의 유병률은 1.6%로 다른 아시아 국가와 유사하였으며, 만성매일두통의 약 2/3는 만성편두통으로 진단되었다(대한신경과학회 편, 2017).

두통 환자의 대부분은 뇌영상검사와 같은 특별한 검사가 필요하지 않으나 기질적 원인일 가능성이 높은 경우(표 1.14)에는 반드시 CT/MRI와 뇌척수액검사 등을 통한 확인이 필요하다.

표 1.13 기질적 원인질환을 확인해야 하는 경우

전신 증상	<ul style="list-style-type: none"> • 발열, 구토, 체중감소와 동반된 두통 • 암 환자, 면역억제상태 환자에서의 두통
신경계 증상	<ul style="list-style-type: none"> • 신경학적 이상소견이 동반된 두통 • 유두부종이 동반된 두통
급성 발병	<ul style="list-style-type: none"> • 심한 두통이 1분 내로 최고조에 이르는 벼락 두통
발병 나이	<ul style="list-style-type: none"> • 50세 이후에 새로 발생한 두통
임상 양상	<ul style="list-style-type: none"> • 시간의 경과에 따라 점점 심해지는 두통 • 발살바 수기와 유사 상황에서 나타난 두통 • 기립 시 악화되는 두통

출처: 신경학 제3판, 2017

표 1.14 이차두통 감별에 유용한 검사

검사	대상질환
전체 혈구 계산	• 빈혈
적혈구침강속도, C반응단백	• 전신감염, 측두동맥염, 수막염
갑상선기능검사	• 갑상선저하증, 갑상선항진증
심전도	• 심장두통
뇌영상, 뇌혈관영상(동맥, 정맥영상)	• 뇌졸중, 뇌종양, 코인두암
뇌척수액검사(압력, 단백질, 세포 수)	• 수막염, 두개내압 상승, 두개내압 저하
측두동맥생검	• 측두동맥염
단순 X선 촬영	• 급성부비동염, 경부인성두통

출처: 신경학 제3판, 2017

1.3.4 기타

난원공 개존은 일반인의 1/4 정도에서 볼 수 있을 정도로 흔하다. 원인 불명 뇌졸중(cryptogenic stroke) 환자에서 뇌졸중의 한 원인으로 설명된다. 난원공 개존 환자에서 뇌졸중의 위험은 개존된 지름이 클수록 증가하는 것으로 알려졌다. 난원공 개존의 유무를 알기 위해서 조영 증강 TCD (contrast enhanced TCD with saline-air mixture)를 이용한다. 단락의 정도화(shunt grading)를 위해 흔히 사용하는 것은 international consensus criteria (ICC)와 Spencer’s Logarithmic scale (SLS)이 사용된다. ICC의 shower (> 25개 이상) 혹은 curtain type일 경우, SLS에서 grade III 이상의 경우가 경식도 초음파와 비교했을 때 위 양성률을 낮추어 주고, 크고 기능성 우좌 단락의 존재를 시사한다고 할 수 있다. 이것은 뇌졸중의 발생 위험이나 재발과도 관련성이 있다(안성환, 2012).

표 1.15 열린타원구멍 진단 검사(modality) 비교

	TEE	TCD-PFO test
이점	Gold standard	Non-invasive,
	Anatomical data for high risk-PFO including large shunt size, ASA	Cost-effective
	More accurate than TCD to detect the cardiac origin of RLS via PFO	Easily reproducible
	Can also diagnose aortic pathologies and other cardiac entities that can cause stroke (e.g., cardiac mass, myxoma or endocarditis)	Equal or superior sensitivity for RLS (cardiac and non-cardiac origin) detection
	Can additionally detect thrombus presence within a PFO tunnel	
단점	Semi-Invasive	Operator dependent
	Limited in patients with acute ischemic stroke with mental status change, coagulopathy/bleeding tendency, or poor cooperation	No anatomical data including PFO size, ASA, cardio-aortic atherosclerosis or other cardiac pathologies
		Limitation in patients with poor window

출처: Kim et al., 2023

PFO, patent foramen ovale; TEE, transesophageal echocardiography; TCD, transcranial Doppler; ASA, atrial septal aneurysm; RLS, right-to-left shunt.

1.4 관련 의료기술평가

본 검사와 관련된 의료기술평가 보고서 내용은 확인되지 않았다.

1.5 선행연구

1.5.1 문헌고찰

Schenck 등(2025) 연구에서는 동맥류성 거미막하출혈 이후 발생하는 지연성 뇌허혈(delayed cerebral ischemia, DCI) 예측에 있어, TCD 기반 뇌혈류 지표의 진단정확성을 평가하기 위해 체계적문헌고찰을

수행하였다. 총 23편의 연구(환자수 2,371명)가 포함되었으며, TCD 기반 뇌혈류지표에는 혈류 속도(cerebral blood flow velocities 등), 자동조절 능력(cerebral autoregulation), 미세색전신호의 세 범주가 포함되었다. 동적 뇌혈관 자동조절지표가 DCI 예측에 유망한 생체지표로 나타났으나 추가 검증이 필요하고, 미세색전신호는 DCI 예측력이 낮았다.

Zhang 등(2024) 연구에서는 열린타원구멍에 의한 우좌선트 진단에 대한 조영증강 TCD와 조영증강 TTE의 진단적 가치를 비교하고자 체계적문헌고찰을 수행하였다. 총 9편이 포함되었으며, 두 검사 모두 우좌선트 진단에 높은 정확도를 보이는 것으로 제시하였다.

Palazzo 등(2024) 연구에서는 급성 허혈성 뇌졸중 이후 우좌선트의 검출 및 중증도 평가에 있어 TCD 활용에 대한 문헌고찰을 수행하였고, 미세기포를 이용한 TCD 검사는 우좌선트를 비침습적이고 비용이 낮으며 정확하게 확인할 수 있는 검사로 제시하였다.

Mojadidi 등(2014) 연구에서는 우좌선트 진단에 대해 TEE를 참고표준검사로 하여, TCD 검사의 진단정확성을 평가하였다. 총 27편의 연구가 포함되었고, TCD는 민감도 97%, 특이도 93%로 진단정확성이 우수하여 우좌선트 진단에 효과적인 것으로 제시하였다. 정확한 해부학적 정보가 필요한 경우에는 PFO 폐쇄술 시행 전 TEE를 추가로 시행하는 것이 적절하다고 언급하였다.

Heo 등(2024) 연구에서는 총 60편 연구를 토대로 MES의 임상적 의미, 관련 질환, 기술 발전 가능성에 대해 종합로 정리하였다. MES는 경동맥 및 뇌동맥 협착, 심방세동 등 다양한 질환과 관련이 있으며, 뇌졸중 위험 증가, 인지기능 저하, 혈관 내 치료나 비파열성 동맥류 코일 색전술과 같은 시술 관련 합병증을 예측하는 지표로 보고하였다. 또한 MES는 색전 발생을 반영하는 대리지표로 활용되어 시술 중 색전 위험을 평가하는 지표로 활용될 수 있다고 제시하였다.

표 1.16 [자동조절/MES 모니터링] 선행연구 요약

1저자 (연도)	제목
Schenck (2025)	Systematic review and meta-analysis of transcranial doppler biomarkers for the prediction of delayed cerebral ischemia following subarachnoid hemorrhage
연구목적	<ul style="list-style-type: none"> • (목적) TCD 기반 바이오마커의 지연성 뇌허혈(Delayed cerebral ischemia, DCI) 예측 정확도를 체계적으로 검토함 • 핵심질문 - 대상환자: 동맥류성 거미막하출혈(aneurysmal SAH) 환자 - 중재검사: TCD 기반 뇌혈류 지표 <ul style="list-style-type: none"> (1) 혈류 속도(CBFV, MFV, PSV 등) (2) 혈관운동반응성/자율조절(Vasomotor reactivity, autoregulation; THRT, Mxa, Sxa, sCVR 등) (3) 미세색전신호(MES) - 참고기준: DCI의 임상/영상학적 진단 - 의료결과: 진단 정확도
연구방법	<ul style="list-style-type: none"> - 문헌검색: Ovid MEDLINE, Scopus, Web of Science, EMBASE, Cochrane, ClinicalTrials.gov 2000.1-2023.10.) - 선정기준: aSAH 대상, DCI 정의 제시, TCD 검사 수행, 진단성능 data 제시한 연구 - 제외기준: 동물실험, 증례보고, 리뷰, vasospasm만 다룬 연구
연구결과	<ul style="list-style-type: none"> - 최종선택 문헌: 총 23편(대상자수 2,371명) - 혈류 속도 기반 지표: MFV \geq 120 cm/s + Lindegaard ratio $>$3: 민감도 0.86 (95% CI 0.71-0.94), 특이도 0.75 (95% CI 0.56-0.87), NPV 0.91 - 혈관운동반응성/자율조절(VMR/CA): 총 5개 연구 <ul style="list-style-type: none"> • 일과성 과혈류 반응검사(Transient Hyperemic Response Test, THRT): 민감도 0.87, 특이도 0.81, NPV

1저자 (연도)	제목
	0.95
	<ul style="list-style-type: none"> Mxa (Mean Flow index): 민감도 0.67, 특이도 0.75 Sxa (systolic flow index): 민감도 0.81, 특이도 0.76 sCVR (아세타졸라미드 투여 후 평균 혈류 속도(MFV) 최대 백분율 변화 측정) AUC 0.86
결론	<ul style="list-style-type: none"> MES monitoring (2편, 55명): 민감도 0.61 (95% CI 0.40-0.78), 특이도 0.74 (95% CI 0.48-0.90) 동적 자율조절 지표는 DCI 예측을 위한 유망한 바이오마커로 나타났으나, 추가 검증이 필요함 MES는 DCI 예측에 제한적임 연구 간 이질성과 방법론적 비일관성 위험이 크므로, TCD 표준화된 적용방안 마련 필요

출처: Schenck et al., (2025)

AUC, area under the curve; aSAH, aneurysmal subarachnoid hemorrhage; CA, cerebral autoregulation; CBFV, cerebral blood flow velocities; CI, confidence interval; DCI, Delayed cerebral ischemia; MES, microembolic signals; MFV, mean flow velocity; Mxa, mean flow index; NPV, Negative Predictive Value; PSV, peak systolic velocity; Sxa, systolic flow index; sCVR, Static cerebrovascular reactivity; TCD, transcranial Doppler; THRT, Transient Hyperemic Response Test; VMR, vasomotor reactivity

표 1.17 [미세기포를 이용한 우좌선트검사] 선행연구 요약

1저자 (연도)	제목	연구특성	결론
Zhang (2024)	The diagnostic value of contrast-enhanced transcranial Doppler and contrast-enhanced transthoracic echocardiography for right to left shunt in patent foramen ovale: a systematic review and meta-analysis	<ul style="list-style-type: none"> 연구대상: 열린타원구멍(PFO) 환자 중재검사: contrast-enhanced TCD 참고기준: contrast-enhanced TTE 총 9편 선택 	<ul style="list-style-type: none"> c-TCD와 c-TTE 모두 PFO-RLS 진단에서 높은 진단적 가치를 지니며, c-TCD는 c-TTE에 비해 민감도는 다소 높고 특이도는 다소 낮은 것으로 나타남
Palazzo (2024)	Transcranial Doppler With Microbubbles: Screening Test to Detect and Grade Right-to-Left Shunt After an Ischemic Stroke: A Literature Review	<ul style="list-style-type: none"> 선택문헌: 27편 중재검사: 미세기포를 이용한 TCD 검사 참고기준: cTEE 	<ul style="list-style-type: none"> 민감도: 93% (95% CI 91-96%) 특이도: 86% (95% CI 81-91%) 장점: 정확도가 높고, 비침습적이고, 비용효과성이 있으면서, 접근성 및 안전한 기술 제한점: RLS 감지에는 매우 민감하나, 원인, 위치, 심장 구조 이상 여부까지는 알 수 없음
Mojadidi (2014)	Accuracy of Transcranial Doppler for the Diagnosis of Intracardiac Right-to-Left Shunt A Bivariate Meta-Analysis of Prospective Studies	<ul style="list-style-type: none"> 연구대상: 심장내 우좌 단락 환자 중재검사: TCD 참고기준: TEE 총 27편 연구(환자수 1,968) 메타분석 수행 	<ul style="list-style-type: none"> TCD는 우수한 진단 정확도를 가진 신뢰할 수 있는 비침습적 검사로, RLS 진단에 효과적임 TCD는 뇌졸중 진단 과정이나 PFO 폐쇄술을 고려하는 환자에서 활용될 수 있음

CI, confidence interval; PFO, patent foramen ovale; RLS, right to left shunt; TCD, transcranial Doppler; TEE, Transesophageal Echocardiography

표 1.18 [MES monitoring] 선행연구 요약

1저자 (연도)	제목	연구특성	결론
Heo (2024)	Microembolic Signals on Transcranial Doppler Ultrasonography: A	<ul style="list-style-type: none"> 연구목적: MES의 연관질환, 임상적 의미/활용 등에 대해 포괄적인 고찰 수행 	<ul style="list-style-type: none"> (연관질환) MES는 경동맥/뇌동맥 협착 및 심방세동을 비롯한 다양한 질환과 관련 (임상적 의미) ✓ MES 존재는 허혈성 뇌졸중 재발 위험, 기능장애

1저자 (연도)	제목	연구특성	결론
Narrative Review of a Decade of Evidence	<ul style="list-style-type: none"> 문헌검색: PubMed (2014-2024) 검색어: "Microembolic" OR "high-intensity transient" 배제기준: 비임상 연구, 동물 연구, TCD와 무관한 연구, MES 비중점 연구 최종문헌: 60편 선택 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 혈관내치료(EVT) 후 MES 발생은 재발성 허혈 사건과 불량 예후와 관련 ✓ 인지기능 저하, 뇌동맥류 코일색전술 후 합병증과도 관련 ✓ 모야모야병, 심방세동, 압 연관 뇌졸중에서도 MES는 불량 예후의 예측인자 • (임상적 활용) ✓ 색전 surrogate marker: 시술·수술(경동맥내막 절제술, TAVI, 심방세동 절제술 등) 중 색전 위험을 평가하는 지표로 활용 ✓ 치료 효과 모니터링: 항혈소판·항응고 요법 변경 시 MES 소실 여부로 치료 반응 확인 가능 ✓ 연구 활용: 새로운 영상·생화학·유전적 지표(예: hs-CRP, OPG, CXCL16, 유전자 다형성 등)와 연계 평가 • (제한점) ✓ 모든 상황에서 임상적 예후와 직접적 상관이 있는 것은 아님 ✓ 예: 일부 심장시술에서는 MES 수와 신경학적 예후 불일치 ✓ 짧은 모니터링 시간, 숙련도 의존성 등 현실적 제약 존재 	

CXCL16, C-X-C motif chemokine ligand 16; EVT, endovascular treatment; hs-CRP, High-sensitivity C-reactive protein; MES, microembolic signals; OPG, Osteoprotegerin; OR, odds ratio; TAVI, Transcatheter Aortic Valve Implantation; TCD, transcranial Doppler

1.5.2 일차문헌

Wang 등(2025)의 연구는 혈관미주신경성 실신(Vasovagal syncope, VVS)이 의심되는 환자 102명을 대상으로 기립경사검사(Head-up tilt table test, HUTT)와 경두개 초음파검사(Transcranial Doppler, TCD)를 병행한 군과 HUTT 단독검사 간의 진단적 성능을 비교하였다. 단독 HUTT 군에 비해 병용검사는 VVS를 진단하는 민감도가 25.61% 증가, 특이도 10% 감소, 전체 정확도는 7.8% 향상되었다. HUTT와 TCD의 병합은 VVS 환자에서 진단 효율성을 유의하게 향상시킨 것으로 보고하였다.

Sasannejad 등(2024)의 연구는 원인불명 뇌경색(cryptogenic stroke, CS) 환자 110명을 대상으로 TCD (미세기포를 이용한 좌우단락검사)를 시행하여 열린타원구멍(PFO) 진단 성능을 TEE와 비교하여 평가하였다. PFO 진단에 대한 TCD 좌우단락검사의 민감도는 85.4%, 특이도는 88.5%, 양성예측도는 85.4%, Youden 지수는 0.73으로 보고하였다. PFO로 진단된 환자 48명 중 12명은 약물치료를 받았고, 36명은 PFO 폐쇄술을 시행하였다. TCD로 확인되지 않은 7명의 사례 중에는 폐쇄술 적응증이 있는 환자는 없었다. 결론적으로, 원인불명 뇌경색 환자에서 TCD는 TEE와 비교하였을 때 고위험 PFO 환자를 진단하는데 높은 정확도를 보였고, 비침습적 검사로서 CS 환자에서 TEE 확진 및 PFO 폐쇄술 여부를 선별하는 도구로 유용하다고 보고하였다.

Sharma 등(2024)의 연구는 중등도 이상의 성인 뇌정맥혈전증(cerebral venous thrombosis, CVT) 20명을 대상으로, TCD를 이용한 이산화탄소-혈관운동반응성(CO₂-VMR)을 평가하여, 환자예후와의

상관성을 분석하였다. 예후는 퇴원 1개월 시점의 수정 랭킨척도(modified rankin scale, mRS)로 평가하여 양호(mRS≤2), 불량(mRS>2)로 구분하였다. CO₂-VMR은 mRS와 음의 상관관계를 보였으며(Rho = -0.688, p = 0.001), 병변 측 반구(hemisphere)에서 VMR ≥70%인 정상 환자는 불량 예후의 위험이 92% 감소(OR 0.08, 95% CI 0.006-0.636, p = 0.027)하였고, 반대측 반구에서 VMR이 정상인 환자에서 불량 예후 위험은 94% 감소(OR 0.063, 95% CI 0.003-0.569, p = 0.03)하였다. 중등도 이상의 CVT 환자에서 CO₂-VMR 저하는 불량한 예후와 연관되며, 이는 CVT 환자의 예후를 객관적으로 예측하는 지표로 활용될 가능성이 있다.

Keju 등(2018)의 연구에서는 뇌경동맥 협착 환자 54명을 대상으로 TCD를 이용하여 혈관운동반응성을 평가하여, 급성 뇌졸중 간 연관성을 분석하였다. 협착은 3차원 동적 조영증강 자기공명혈관조영술(3D dynamic contrast-enhanced MRA)로 확인하였고, 뇌경색은 확산강조영상(DWI)로 평가하였다. VMR 값은 대조군에 비해 뇌경동맥 협착 환자군에서 유의하게 낮았으며, 대동맥죽상경화 뇌졸중 환자군이 비경색군에 비해 유의하게 낮았다. 새롭게 발병한 소혈관 폐색 뇌졸중 환자에서는 비경색군에 비해 VMR 값이 유의하게 높았다. VMR 감소는 대동맥죽상경화 뇌졸중 발생의 중요한 예후인자이며, 내경동맥 협착 환자에서 수술 전 혈액학적 평가의 참고 지표로 활용될 수 있다고 보고하였다.

2. 평가목적

본 평가는 뇌혈류 및 뇌혈관 기능 상태 평가가 필요한 환자를 대상으로 "초음파를 활용한 뇌혈류 기능검사"의 사용대상과 기능검사에 대한 근거를 검토하여, 임상 현장에서의 적절한 적용 및 활용을 지원하기 위한 정보를 제공하는 것을 목적으로 한다.

1. 개요

초음파를 활용한 뇌혈류 기능검사는 다양한 뇌혈관 질환에서 뇌혈류와 혈관 기능을 평가하는 검사로, 비급여로 등재되어 있다. 본 평가는 해당 기술과 관련한 최신 근거와 임상 활용 현황을 검토하여 관련 정보를 제공하는 것을 목적으로 한다. 구체적인 평가범위 및 방법은 “초음파를 활용한 뇌혈류 기능검사 소위원회(이하 ‘소위원회’라 한다)” 검토에 따라 최종 확정하였다.

1.1 문헌검토

본 평가는 ‘(overview) 체계적문헌고찰’ 방식으로 접근할 경우, 특정 질환군 중심의 제한된 연구만 확인될 가능성이 있어, 동 기술의 임상적 활용 범위나 근거를 충분히 반영하기 어렵다고 판단하였다. 이에, 교과서 및 임상진료지침 중심으로 검토하여, 초음파를 활용한 뇌혈류 기능검사가 다양한 뇌혈관 질환에서 갖는 임상적 의미, 활용 현황을 종합적으로 살펴보았다.

또한, 검토과정에서 건강보험심사평가원의 행위설명과 국민건강보험공단 비급여 보고대상 간 세부검사 범위에 차이가 있음을 확인하였다. 특히, 공단 비급여 보고대상에는 미세색전신호(MES) 모니터링 검사가 포함되어 있었으며, 이에 대한 포함여부를 논의하였다. 검토결과, 미세기포를 이용한 좌우단락검사는 심장 또는 폐의 단락(shunt)을 확인하기 위한 검사인 반면, MES 모니터링은 단락 유무와 관계없이 경동맥 협착이나 혈전 이동 여부를 평가하기 위한 검사로서 목적과 검사방법이 상이하므로 별개의 세부기술로 구분하여 검토하는 것이 적절하다고 판단하였다. 이에 따라, 본 평가에서는 아래의 4개 세부기술을 기반으로 검토를 수행하였다.

표 2.1 문헌검토 개요

구분		내용			
대상 환자(Patients)		뇌혈류 및 뇌혈관 기능 평가가 필요한 환자			
중재검사 (Intervention)		- 초음파를 활용한 뇌혈류 기능검사			
		미세기포를 이용한 좌우단락검사	혈관운동반응성 검사	미세색전신호 모니터링	기립경사도 경두개 초음파
결과변수 (Outcomes)	임상적 안전성	- 검사 관련 부작용 및 이상반응			
	임상적 유효성	- 진단 정확성 - 임상 증상/예후의 관련성 - 임상적 유용성(환자 예후 예측, 치료 효과 판정, 계획 수립 등)			
연구유형(Study Design)		교과서, 임상진료지침			

1.2 문헌검색

1.2.1 교과서

교과서는 신경초음파, 신경학 관련 교과서를 확인하고, 포함 적절성 여부를 소위원회 논의를 통해 확인하였다.

표 2.2 검토 대상 교과서

국내 문헌 검색원	발행연도	발행기관
신경초음파	2021	대한신경초음파학회
초음파검사학 제3판	2024	고려의학
신경학 제4판	2024	대한신경과학회
뇌졸중 제3판	2024	대한뇌졸중학회

1.2.2 임상진료지침

임상진료지침은 주요 가이드라인 데이터베이스 및 신경초음파 관련 전문학회를 확인하고, 포함 적절성 여부를 소위원회 논의를 통해 확인하였다.

표 2.3 임상진료지침 검색원

가이드라인 DB	URL 주소
임상진료지침 정보센터(KoMGI)	https://www.guideline.or.kr/
GIN	https://g-i-n.net/international-guidelines-library/
Guideline Central	https://www.guidelinecentral.com
NICE	https://www.nice.org.uk/guidance
WHO Guidelines	http://www.who.int/publications/guidelines/en/
European Society of Neurosonology and Cerebral Hemodynamics (ESNCH)	https://esnch.org/
American Society of Neuroimaging (ASN)	https://www.asnweb.org
American Institute of Ultrasound in Medicine (AIUM)	https://www.aium.org/
American Society of Neurophysiologic Monitoring (ASNM)	https://asnm.org/
American Stroke Association (ASA)	https://www.stroke.org/en/
European Stroke Organisation (ESO)	https://eso-stroke.org/
World Stroke Organization (WSO)	https://www.world-stroke.org/

1. 교과서 검토 결과

본 평가는 대한신경초음파학회 『신경초음파』, 『초음파검사학』, 대한신경과학회 『신경학』, 대한뇌졸중학회 『뇌졸중』(최신판)에서 다룬 ‘두개경유도플러검사’의 이론적 배경 및 기술적 사항을 바탕으로, 이를 활용한 뇌혈류 기능검사의 임상적 활용 및 적용 분야에 대한 유용성을 검토하였다.

표 3.1 교과서 목록

교과서명	발행연도	발행기관
신경초음파	2021	대한신경초음파학회(성보의학)
초음파검사학 제3판	2024	고려의학
신경학 제4판	2024	대한신경과학회
뇌졸중 제3판	2024	대한뇌졸중학회

1.1 신경초음파 (대한신경초음파학회, 2021)

『신경초음파』 교과서에서는 TCD를 이용한 뇌혈류 기능검사 관련해서 우좌선트 진단, 혈관운동반응성(VMR) 평가, 미세색전신호(MES) 모니터링 등에 활용하여 원인 불명 뇌졸중 및 다양한 뇌혈관 질환 환자의 진단, 위험도 평가, 치료 전략 수립 및 추적 관찰에 유용한 비침습적 검사로 설명되고 있다. 또한, TCD는 실신 환자에서 기립경사검사와 함께 사용하여 실신 감별 진단을 보조하는 데 도움이 된다고 제시하고 있다.

우좌선트(right-to-left shunt) 진단

원인 불명 뇌졸중은 전체 허혈뇌졸중의 약 20~30%를 차지하며, 특히 젊은 환자에서 흔하다. 대다수의 원인불명 뇌졸중은 원인 불명 색전성 뇌졸중(embolic stroke of undetermined source, ESUS)으로 생각되는데, 발작성 심방세동(paroxysmal atrial fibrillation), 대동맥 죽상경화판, 혈액응고이상 외에 우좌선트를 유발하는 열린타원구멍(patent foramen ovale, PFO)이 주요 원인의 하나로 알려졌다. 우좌선트를 일으킬 수 있는 해부학적 구조 변형으로는 심방중격결손(atrial septal defect, ASD), 심실중격결손, 폐동정맥기형, 폐동정맥루 등이 있는데, 이 중에서 PFO는 가장 흔한 심장 기형으로 발견된다.

PFO는 ASD처럼 단락의 양이 많지 않아 임상 증상이 없는 상태로 지나가는 것이 대부분이다. 그러나 최근 역학연구에서 PFO를 가지고 있는 환자들에서 뇌졸중, 편두통, 어지럼증, 인지장애 등의 질환 발생 빈도가 더 높은 것으로 보고하고 있다. 특히, PFO를 통하여 정맥혈과 동맥혈이 섞이게 되면 정맥계에서 생긴 혈전이 폐순환계에서 걸리지 않고 우좌선트를 통해 전신 혈관계로 넘어가서 모순색전증(paradoxical embolism)을 일으킬 수 있다. 그러나 PFO는 일반인에서도 흔히 발견되는 소견이므로 적절한 치료를 결정하기 위해서는 PFO의 병태생리학적 기여도를 확인할 필요가 있다.

• TCD의 유용성

우좌선트는 고전적으로 흉벽경유심초음파검사(transthoracic echocardiography, TTE), 식도경유심초음파검사(transesophageal echocardiography, TEE)를 통해서 진단할 수 있다. TCD는 1991년 Teague와 Sharma가 PFO의 진단방법으로 처음 소개된 이후 후속 연구에서 진단의 민감도와 특이도가 90%를 상회하는 것으로 검증되면서 간단하고 비침습적인 방법으로 현재 임상에서 함께 많이 활용하고 있다. TCD는 우좌선트의 위치나 크기, 동반된 해부학적 이상에 대한 정보를 제공하지 못하는 한계점이 있지만, TEE 검사가 어려운 중증의 뇌졸중 환자나 삼킴 장애 환자에 쉽게 적용할 수 있고, 심장의 단락을 진단하는 데 장점을 가지고 있다. 또한, 발살바 수기를 효과적으로 사용할 수 있다는 것과 다양한 체위에서 반복적으로 시행될 수 있다는 것이 큰 장점이다.

• PFO 검사 해석 및 진단

TCD는 PFO를 진단하는 효율에 있어서 TTE와 TEE와 비슷하거나 우월하다. TCD와 TEE를 비교한 연구에서 두개경유도플러는 민감도 95%, 특이도 93%, 양성예측도 86%, 음성예측도 96%, 정확도 92%로 보고한다. 특히 TCD는 원인불명의 뇌졸중 환자에서 모순색전증이 의심되거나 TTE에서 음성이 나온 젊은 뇌졸중 환자에서 사용 가치가 높다. MES의 양과 활성도로 뇌졸중의 위험도 및 발생 양상을 예측할 수 있으며, PFO를 풍선폐색술로 치료한 후 잔여 우좌선트의 존재, 치료 합병증 감시, 재발 위험성을 추적 관찰하는 도구로 활용할 수 있다(근거수준: class 2b; 권고강도: type B). 우좌선트는 선트양에 기반하여 진단하며 그 기준은 국제협의회기준(2000)이 논의된 바 있으며, 현재는 정확도를 높인 스펜서 로그점수(Spencer's logarithmic scale, 2004)가 제안되어 사용 중이다(표 3.2).

표 3.2 TCD의 우좌선트양 측정기준

등급	국제협의회 기준 ¹⁾	스펜서 로그점수 ²⁾
0	0	0
I	1-20	1~10
II	>20 or "shower" appearance	11~30
III	"curtain" appearance	31~100
IV		100~300
V		>300

출처: 대한신경초음파학회(2021)
 1) Jauss 등 (2000)
 2) Spencer et 등(2004)

심장초음파, TCD 모두 PFO를 진단하고 단락양을 측정하는 데 도움을 주지만, 각 검사의 장단점을 잘 이해해서 활용할 필요가 있다. 특히 TEE는 PFO 구조와 ASA 유무를 파악할 수 있고, 대동맥 죽상경화증,

좌심방이 혈전, 심장기능 이상 등 다른 색전증 위험요소를 체계적으로 점검할 수 있는 장점이 있다. 반면, TCD는 뇌에서 모순색전증의 정량화, 자발적 미세색전증의 모니터링, 동반 뇌혈관질환 유무를 확인할 수 있는 장점이 있다. 따라서 PFO를 가진 환자들에서 전반적인 심장의 구조와 기능을 함께 파악할 필요가 있으며, 심장초음파와 TCD는 상호보완적인 검사로 적용되어야 한다.

우좌선트는 심장 내뿐만 아니라 심장 외에서 발생할 수 있고, 심장 외 우좌선트의 대표적인 질환으로는 폐동정맥루 및 폐동정맥기형이 있다. 폐동정맥기형 환자들의 2.6-25%에서 뇌졸중이 발생하는 것으로 보고된다. PFO와의 감별을 위해서는 TCD에서 미세공기방울을 주입시 MES가 검출되는 시기를 확인할 필요가 있다. 폐동정맥기형에 의해서 유발된 우좌선트는 TCD에서 MES가 지연되어 검출될 때 진단할 수 있으며 스펙터 등급의 순위는 폐동정맥기형에서 유입 동맥(feeding artery)의 직경과 연관성이 높아서 색전치료의 적응증을 판단하는 데 도움을 준다. TTE에서 미세공기방울 주입 후 좌심방에 공기방울이 보이는 시간을 기준으로도 진단할 수 있다. 이 경우 좌심실을 채우는 공기방울의 음영으로 우좌선트양에 대한 등급을 1-4로 정하여 폐동정맥기형의 위험도를 예측하기도 한다. 또한, 폐동정맥기형에서는 발살바 수기에 의한 유도 효과가 약하므로 안정기와 발살바 수기 후 TCD 소견은 유사한 것이 일반적이다. 이렇게 심장주기의 차이, 발살바 수기 효과의 차이가 PFO와 폐동정맥기형을 감별하는 기준으로 사용되고 있으나 두 질환의 우좌선트 상태가 경계선에 위치하여 분류가 어려운 경우도 있고, 두 질환이 동시에 존재하는 경우도 있으므로 해석에 주의가 필요하다.

혈관운동반응성 평가

대뇌의 혈관운동반응성(VMR)은 뇌혈류(CBF)를 일정하게 유지하기 위하여 세동맥이 이완되거나 수축되는 능력을 의미한다.

뇌혈관 질환이라는 임상적 모델에서 VMR의 변화를 관찰할 수 있는 경우는 몇 가지가 있는데 가장 흔한 경우는 만성 경동맥 협착 및 폐색이다. 만성적인 혈관 협착에서는 주로 세동맥의 이완 기능에 이상을 초래하게 되지만 수축 기능은 손상되지 않는 반면, 급성 뇌졸중이나 두부 외상과 같은 경우에는 세동맥의 이완 기능뿐만 아니라 수축 기능에도 동시에 이상이 나타난다. 또한 빠른 시간 안에 혈관의 직경을 넓히게 되는 경동맥내막절제술의 경우, 수술 후 수시간 또는 수일간 일시적으로 발생할 수 있는 과관류증후군(hyperperfusion syndrome)을 들 수 있다. 대뇌 소혈관 질환의 하나인 뇌백질변성에서는 CBF의 저항을 담당하는 미세혈관 벽의 유리초자질체변성(lipohyalinosis)에 의해 혈관운동반응이 떨어질 수 있다.

TCD를 이용한 VMR 측정법은 이산화탄소반응평가법, 혈관예비능검사, 숨참기검사, 폐쇄회로 재호흡법(closed circuit rebreathing method), 반폐쇄회로 재호흡법(semi-closed circuit rebreathing method), 아세타졸아미드법이 소개되고 있다.

CBF와 뇌혈액량 및 산소추출률(oxygen extraction fraction, OEF)을 측정하여 VMR을 계산할 수 있는 가장 직접적인 방법은 양전자방출단층촬영술(positron emission tomography, PET)이지만 임상에서의 적용에 상당한 제약이 뒤따른다. 간접적인 방법으로 대뇌 세동맥을 확장시키는 이산화탄소 흡입법이나 아세타졸아미드 정맥주사법이 비교적 널리 활용되고 있다.

TCD를 이용한 VMR 검사를 보다 폭넓게 임상에 활용하기 위해서는 검사방법이 표준화되어야 한다. 또한

현재는 검사 결과의 정확도에 대한 연구자들과 검사실 간의 검증이 더 필요한 상황이다. VMR은 개인의 혈관상태뿐만 아니라 혈관성 위험인자를 얼마나 가지고 있는냐에 따라 다양한 반응을 보일 수 있다. 현재까지는 경동맥 협착 환자에서 VMR 감소에 대한 연구가 주를 이루는데, VMR 감소 정도는 용량 의존적으로 뇌졸중 발생 위험과 상관관계를 보인다. 이를 근거로 VMR을 경동맥내막절제술 또는 혈관성형술 및 스텐트 삽입술 등의 적극적인 처치를 필요로 하는 고위험군을 선별하는 데에 활용할 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 향후 많은 임상연구를 통해 VMR과 뇌혈관 협착의 정도 또는 뇌졸중 발생과의 연관성에 대한 연구 결과의 축적이 필요하다고 제시하고 있다.

TCD는 편두통의 진단에 이용되지 않으며 임상적 효용에 대해 잘 입증되어 있지 않다. 그러나 TCD를 통해 편두통성 뇌의 특징과 병태생리 및 질병경과를 간접적으로 추정할 수 있으며, 편두통 환자의 혈관반응성 저하 및 뇌혈관 협착의 스크리닝 검사로서 유용하게 사용될 수 있다.

MES 모니터링

두개경유도플러검사의 장점 중 하나는 환자 옆에서 두개내 혈관 상태를 신속하게 검사할 수 있다는 점이다. 초음파는 인체에 미치는 해가 거의 없으므로 장시간에 걸친 뇌혈관 상태 감시가 가능한데, 헤드셋을 사용하여 탐색자를 머리에 고정하면 두개 내 검사 혈관의 생리학적 동적 변화 및 혈관 내 색전신호 발생 여부를 실시간으로 관찰할 수 있다.

미세색전 존재가 뇌경색이나 일과성 허혈발작 발생 위험과 관련 있다는 연구가 발표되면서 MES 감시에 대한 관심이 증가하고 있다. TCD 검사에서 관찰되는 MES는 발견 장소 근위부에서 색전이 생성되었음을 나타내며 뇌혈관에 불안정 죽상경화판이나 혈관박리(arterial dissection) 및 심장내 색전 등이 존재함을 시사한다. MES 존재는 환자 상태에 따라 적극적 약물 치료나 중재시술 및 수술적 치료를 결정하는 근거를 제시하기도 하는데 일반적으로 급성기 유증상 뇌혈관 협착에서 만성기 무증상 협착에 비해 MES 발생 빈도가 훨씬 높다. 또한, MES는 심장성 색전증(cardioembolism)보다는 유증상 경동맥 협착(symptomatic carotid stenosis)에서 빈번하고 열공경색(lacunar infarction)에서는 거의 관찰되지 않는다.

두개 내 협착이 있는 환자는 심장 및 경동맥 질환을 동반하는 경우가 많아 실제 뇌경색 원인을 구별하는데 어려움이 있다. 이때 동시에 서로 다른 혈관에서 MES를 감시하게 되면 원인 색전 구별에 도움이 될 수 있다. 유증상 환자에서 급성기일수록 그리고 두개내 협착이 심할수록 MES가 자주 관찰되며 이는 뇌경색 발생 예측 인자로 고려할 수 있다.

경동맥 협착에서 관찰되는 MES 기전에 대해서는 상반되는 연구결과가 있으며, MES 존재 여부가 경동맥 협착 환자 치료방침 결정에 있어서 영향을 줄 수 있는 인자라는 명확한 근거는 없다. 다만 경동맥내막절제술(carotid endarterectomy, CEA)은 조기 수술의 금기사항이 없다면 허혈증상이 발생한 뒤 2주 이내에 시술하는 경우 더 좋은 예후를 기대할 수 있다. 이는 유증상 경동맥 협착 환자에서 초기에 MES가 더욱 의미 있게 관찰되는 결과와 부합되는 권고사항으로 향후 지속적인 연구가 필요한 부분으로 설명되고 있다.

뇌졸중의 15-30%는 심장질환에 의해 발생한다. 좌심실내 혈전이나 심방세동 등 심장질환을 가진 환자는 색전 발생 위험이 높으며 실제 TCD 감시에서 MES가 다양한 빈도로 관찰된다. TCD 감시를 통한 MES

관찰은 잠재적인 심장성 색전증 위험(인공판막, 감염심내막염, 심방세동, 심근경색, 전극도자절제술, 우좌선트, 관상동맥중재술)을 가진 환자에서 뇌경색 발생 원인 진단에 도움을 줄 수 있다. 현재까지 심장질환과 MES 발생 여부에 대한 대규모 연구가 부족한 실정으로 MES 여부는 심장질환 환자 치료전략 수립 시 필수적인 고려사항이 아니며 추가적인 연구가 필요하다.

동맥박리 환자를 대상으로 한 MES 감시 연구는 대부분 증례보고이거나 적은 수의 환자를 대상으로 시행되었기에 매우 제한적이지만 뇌경색 발생과의 연관성 및 약물 치료 효과 판정 수단으로 사용될 수 있는 가능성이 있다.

치료적 활용 측면에서 뇌경색은 다양한 발생기전을 가지고 있고, 발생기전에 따라 치료전략 및 예후에 차이가 나기 때문에 TCD를 이용한 MES 감시는 치료 전략 수립에도 도움을 줄 수 있다. 일례로 급성 뇌경색에서 적절한 항혈전제 선택 및 반응을 예측하는 지표로 MES 감시를 활용할 수 있는데, 이를 통해 뇌경색 이차 예방을 위한 치료 전략 수립에 도움을 줄 수 있다. 또한, TCD 검사를 통한 지속적인 감시는 스텐트 설치술, CEA, 관상동맥우회로 이식술, 판막수술 전후 발생할 수 있는 뇌졸중 발생 합병증을 줄이는데 도움을 줄 수 있다. 특히, 경동맥스텐트 설치술 시 색전증은 스텐트를 설치할 때 가장 많이 발생하고, 유증상 뇌경색으로 나타날 수 있으므로 TCD를 이용한 세밀한 감시가 필요할 수 있다.

TCD 검사는 실시간 MES 감시를 통하여 급성 뇌경색, 스텐트 설치술, CEA, 심혈관계 수술 전후 뇌졸중 발생 위험도 및 원인을 평가할 수 있다. 그러나 현재까지 MES 검사의 임상적 유용성은 유증상 경동맥 협착증 환자에서만 알려져 있으며, 이외 다른 질환에서의 중요성과 치료적 효용성은 추가 연구가 필요하다. 이는 기존 연구가 대부분 소규모이며 연구 방법 차이에서 기인하는데, 임상적 효용성에 논란이 있으나 MES 감시는 잠재적 이점이 있는 것으로 평가된다.

TCD-기립경사검사

실신 환자에서 TCD를 이용한 기립경사검사는 원인을 찾는 데 유용한 방법이다. 특히, 기립성 어지럼증이나 실신이 발생하는 경우 기립저혈압에 의한 것인지 기립성빈맥증후군에 의한 것인지 감별을 함으로써 치료 방향을 결정하는 데 도움을 줄 수 있다. 또 혈압의 변동 없이 혈류량만 감소하는 대뇌 실신(cerebral syncope)을 진단할 수 있는 장점이 있다.

표 3.3 TCD 기립경사검사 결과에 따른 진단

증상시간		TCD 및 혈압, 맥박 소견
신경매개실신 (혈관미주신경실신)	기립 후 3-45분	실신증상 + 갑작스런 혈압 저하(수축기혈압 20mmHg 또는 이완기혈압 10mmHg 이상 감소) ± 서맥(반응성 빈맥이 없는 경우)
기립저혈압	기립 직후-3분	수축기혈압 20mmHg 또는 이완기혈압 10mmHg 감소 ± 반응성 빈맥(혈관미주신경매개 서맥이 없는 경우)
체위기립빈맥증후군	기립 직후-10분	기립 후 10분 동안, 지속적인 맥박 수 증가>30 bpm or to ≥120 bpm, 저혈압이 동반되지 않은 경우
대뇌실신		≥30% 이상이 혈류 속도 감소, 맥박 수 및 혈압의 유의한 변동이 없는 경우

출처: 대한신경초음파학회(2021)

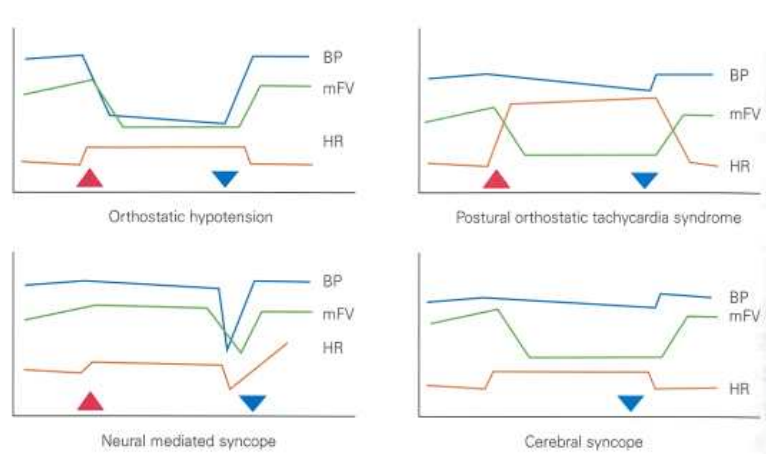


그림 3.1 기립못건담 유형에 따른 TCD-기립경사검사 결과
(출처: 대한신경초음파학회, 2021)

1.2 초음파검사학 제3판(고려의학, 2024)

두개경유도플러검사(TCD)는 도플러 방식의 초음파 영상기기를 통하여 외부에서 직접 머리뼈 내에 위치한 뇌혈관의 혈류를 측정하는 검사이다. 초음파가 잘 투과될 수 있는 적절한 측정 부위(window)를 이용하여 여러 뇌혈관의 혈류 속도, 혈류량, 혈류 방향 등을 직접 관찰함으로써 피검자에게 고통을 주지 않고 간편하게 검사할 수 있다.

본 교과서에서는 검사와 관련한 해부생리, 진단장치, 기본파형 및 정상치 등 검사의 기술적 기본원리에 중점을 두고 설명하고 있다. TCD 검사는 뇌혈류역학적 변화를 평가하는 데 광범위하게 활용되고 있으며, 주요 임상적 적용은 다음과 같이 제시되고 있다.

- 뇌졸중 및 뇌혈관 협착의 발견, **허혈성 혈관장애 검사**
- 두부손상 후 뇌압 증가상태 및 예후 평가
- 머리뼈 내 측부순환 검사
- 거미막밑출혈에서의 혈관연축검사, 편두통 및 각종 두통 평가
- 속목동맥 내피 제거술 및 심장 수술 감시, 뇌사판정, 뇌혈관 기형 진단
- 색전증, 머리뼈 동맥협착증, **어지럼증 평가**
- **혈관운동반응성(VMR)의 평가**
- **션트(shunt)의 확인**
- 기타 영역으로 뇌순환 정지(cerebral circulatory arrest)의 진단

본 평가의 기능검사 관련하여 허혈성 혈관 장애 검사, 어지럼증 평가, VMR 평가, 셉트 확인 목적의 임상적 활용 영역이 제시되었으나, 이에 대한 구체적인 상세내용은 명확히 확인되지 않았다.

그 밖에 두개경유도플러검사의 일반적인 장단점에 대해 다음과 같이 제시하고 있다.

장점으로 ① (안전성) 비침습적 검사로 안전하며, 후유증이 없고 피검자에게 고통 없이 검사할 수 있는 것이 가장 큰 장점으로 제시하고 있으며, ② 검사 시간이 보통 30분 이내로 간단하고, 검사하면서 바로 혈류 속도와 도플러 파형을 보면서 결과 확인이 가능하므로 신속하게 치료하는 데 도움이 된다. ③ 비급여 항목이나 고가의 자기공명영상(MRI), 자기공명혈관조영술(MRA)에 비해 가격이 저렴하고 피검자에게 경제적이다. ④ 장비는 이동이 가능하므로 거동이 불편하거나 인공호흡기를 달고 있는 중환자일 경우 환자의 침상 옆에 기계를 이동해놓고 검사할 수 있다. ⑤ 검사를 반복 측정하여 머리뼈 내 혈관 상태의 변화를 파악할 수 있으며, 장시간 모니터링을 통하여 두개경유도플러 생리를 연구하는 데 중요한 수단이 될 수 있다.

제한점으로는 ① 혈류 속도의 변화가 혈류량의 변화에 의한 것인지, 아니면 혈관 직경의 변화에 의한 것인지를 구분할 수 없다. ② 혈관의 해부학적 구조를 확인할 수 없기 때문에 선천적 변이가 있는 경우 결과 해석이 어려워진다. ③ 머리뼈의 석회화로 초음파가 투과하지 못하는 불량 측두 음향창으로 인해 적절한 검사 결과를 얻지 못할 수 있다. ④ 머리뼈 내 깊숙한 곳에 위치한 혈관을 탐촉자의 위치와 각도, 도플러 파형과 음향, 주변 혈관들과의 관계 등 다분히 경험적인 요소들을 통해 감지해야 하기 때문에 두개경유도플러는 필연적으로 검사자의 기술적 숙달에 의존하는 검사로, 검사자들 사이에 결과의 차이가 크게 나타날 수 있다.

1.3 신경학 제4판(대한신경과학회, 2024)

1950년대 초음파의 도플러 효과를 이용하여 혈류 속도를 측정하는 방법이 제시되었고, 이후 1-2MHz의 저주파 간헐파형을 이용하여 두개내 윌리스고리를 관찰하는 방법을 제시함에 따라 두개경유도플러(TCD)의 개발이 이루어졌다. 이후 TCD에 대한 이해가 증가하고, 기술의 발전을 거치면서 현재는 혈관의 협착과 폐색, 결순환, 혈류내 미세색전신호(MES) 확인에 이용되고 있다. 아울러 우좌셉트(right-to-left shunt)의 발견 및 두통, 실신 환자에서도 TCD는 널리 사용되고 있으며, 급성 뇌경색에서는 초음파혈전용해와 같은 치료 목적으로도 영역을 넓혀가고 있다. 두개경유도플러를 이용한 추가 검사에 대해 다음을 설명하고 있다.

우좌셉트 진단

우좌셉트는 허혈뇌졸중의 원인 중 하나로, TEE 및 TTE를 이용하여 진단해왔다. TCD를 통한 PFO의 진단방법이 소개된 이후 TCD도 임상 영역에서 사용되고 있다. TCD는 PFO의 크기를 직접 측정하거나 동반된 해부학적 정보를 제공할 수 없지만, 비침습적이고 삼킴곤란 환자에서 사용할 수 있으며, 고위험 PFO를 진단하는 민감도와 특이도가 높은 장점이 있다. 또한 심장 외(extra-cardiac) 우좌셉트의 진단도 가능하다.

우좌셉트를 진단하기 위한 TCD 검사는 교반식염수 주입 후 뇌혈관에서 미세색전신호를 검출하는 방식으로

수행된다. MES는 고강도일시적신호(HITS)와 함께 특유의 소리로(click, chirp, and whistle) 인지할 수 있다. TCD에서 발견되는 MES는 대개 그 크기가 작아 증상을 일으키지 않는다. 따라서 TCD 검사를 통한 우좌선트의 발견과 그 임상적 해석에는 명확한 기준이 필요하며, 2000년에 선트량에 근거한 국제합의체기준이 논의된 바가 있고, 이후 2004년 스펜서 등이 강화 M-모드 도플러를 이용하여 새로운 등급체계를 제안하였으며, 현재는 이 스펜서 로그 점수를 주로 임상에서 사용하고 있다. 임상적으로 유의미한 우좌선트는 스펜서 등급 3 이상으로 MES가 31개 이상 관찰되는 경우이다.

TCD-기립경사검사

TCD는 실신 환자에서 원인을 찾는 데 사용될 수 있다. 기립경사검사를 이용하는데, 이를 통해 신경매개실신(neurally mediated syncope), 기립저혈압(orthostatic hypotension), 체위기립빈맥증후군(postural orthostatic tachycardia syndrome, POTS), 대뇌실신(cerebral syncope) 등의 진단이 가능하다.

검사결과의 해석은 기립경사대를 세운 뒤 발생하는 혈압과 맥박, 뇌혈류 속도의 변화를 근거로 이루어지며 유의미한 변화가 없고 증상이 발현되지 않는 경우 정상으로 판독한다. 기립 직후 혈압이 감소할 경우 기립저혈압을 시사하며, 직후에는 정상적인 반응을 보이다가 시간이 어느 정도 지난 이후 갑자기 혈압이 떨어질 경우 신경매개실신을 시사한다. 혈압의 변화 없이 맥박만 증가하여 10분 안에 맥박 수가 30회 이상 혹은 분당 120회 이상으로 증가하는 경우 POTS를 의미하며, 혈압이나 맥박의 유의한 차이 없이 기립 시에 MCA MFV가 30% 이상 떨어질 경우 대뇌 실신을 가리킨다(표 3.3 내용과 동일).

그 외의 혈관반응성검사 및 MES 모니터링에 대한 구체적인 내용은 확인되지 않았다.

1.4 뇌졸중 제3판(대한뇌졸중학회, 2024)

두개경유도플러검사는 두개내 윌리스고리(circle of Willis)에 있는 뇌동맥에서의 두개내 혈류역학(intracranial hemodynamics)을 실시간으로 측정하는 비침습검사이다.

우좌선트 진단

열린타원구멍(PFO)의 진단은 TEE가 가장 좋은 검사로 되어 있으나 TCD를 이용하면 좀 더 쉽게 시행할 수 있고 또 삼키기가 곤란한 환자 등 TEE가 용이하지 않은 경우에는 TCD를 이용하면 PFO 진단을 더 쉽게 시행할 수 있다.

혈관운동반응성검사

TCD는 실시간으로 혈류 속도를 제공할 수 있으므로 대뇌의 관류상태의 빠른 변화를 검사하는 데 매우 유용한 도구로 제시하고 있으며, 혈류에 대한 기능검사는 저탄산혈증(hypocapnia), 고탄산혈증

(hypercapnia), 아세타졸아미드(acetazolamide) 투약, 혈압상승, 혈압감소, 저산소증 등과 같은 다양한 자극을 통하여 시행될 수 있고, 예비능(reserve capacity) 조사가 추가 된다. 뇌혈관 예비능(cerebral vascular reserve)이 보존된 경우 관류가 떨어지면 이에 대한 보상작용으로 대뇌세동맥이 확장되면서 혈류가 유지된다. 혈관운동예비능이 손상이 된 경우에는 세동맥이 이미 최대한 확장되어 있기 때문에 낮은 관류압에서도 고이산화탄소혈증 같은 자극이 오더라도 혈관확장이 더 이상 일어나지 않아서 혈류를 유지하지 못하게 된다. 이렇게 혈관운동예비능을 측정함으로써 혈류역학적으로 의미있는 협착을 판단하는 데 도움을 받을 수 있다고 제시하고 있다.

미세색전신호(MES) 감시

TCD 모니터링 기능은 심장성 색전증뿐 아니라 열린타원구멍의 진단, 경동맥협착증이나 동맥박리에서 동맥-동맥색전증의 진단, 급성뇌경색에서 미세색전신호(MES) 모니터링 뿐 아니라 항혈전제, 항응고제, 경동맥내막절제술 같은 치료선택의 길잡이, 수술 중 혹은 혈관 내 중재시술 중 미세색전이 발생하는 시술의 모니터링 등에서도 이용된다.

MES의 정도는 뇌졸중 위험도를 예측하는 척도로서 유용한 대리지표(surrogate parameter)로 알려져 있으며, 치료효과를 판단할 때도 활용할 수 있다. 그러나 시간 소모가 많으며, 지속적인 관찰이 필요하다는 점은 극복되어야 할 문제다.

표 3.4 교과서 검토 결과 요약표

교과서 (연도)	TCD 기반 뇌혈류 기능검사	대상 질환/ 임상상황	주요내용
신경 초음파 (2021)	우좌선트	원인 불명 뇌졸중, 젊은 뇌졸중, PFO 의심 환자, 폐동정맥류/기형 감별	<ul style="list-style-type: none"> - PFO 진단 민감도·특이도 높음(>90%) - TEE 어려운 중증의 뇌졸중 환자나 삼킴곤란 환자에 유용 - 심장 내/외 선트 감별 가능(자연 MES 등) - 폐동정맥기형 감별: 자연 MES, Valsalva 효과 악함 - VMR 감소는 뇌졸중 발생 위험과의 상관성 있음 - VMR 저하로 고위험군 선별하여, CEA/CAS 등 치료 결정에 도움 - VMR과 뇌혈관 협착 정도, 뇌졸중 위험 간의 연관성 근거 축적 필요 - VMR 검사법은 CO₂ 흡입·재호흡·아세타졸아미드 등 다양한 자극법 이용한 방법 제시. 검사실·연구자 간 변이가 있어 검사 표준화 필요 - 편두통 환자의 혈관반응성 저하 및 뇌혈관 협착의 스크리닝 목적으로 활용 가능 언급
	VMR	만성 경동맥 협착/폐색, 대뇌 소혈관 질환, CEA·CAS 전후 위험 평가	<ul style="list-style-type: none"> - 실시간 색전 모니터링 가능 - 유증상 경동맥협착에서 MES 빈도 ↑(예후 예측 가능) - 잠재적인 심장성 색전증 위험 가진 환자에서 뇌경색 발생 원인 진단에 도움 - 동맥박리 환자에서는 제한적이지만 뇌경색 발생과의 연관성 및 약물치료 효과 판정 가능성 - CEA/CAS 중 색전 발생 감시 - 급성뇌경색에서 치료(항혈전제) 선택 및 반응 예측
	MES 모니터링	경동맥 협착증, 심장성 색전증, 동맥박리, 혈관 내/심장 수술, 급성뇌경색	<ul style="list-style-type: none"> - 혈압·맥박·MFV 동시 관찰 - 실신원인(신경매개실신, 기립저혈압, 체위기립빈맥증후군, 대뇌실신) 감별에 유용
초음파 검사학 제3판 (2024)	TCD 기반 기립경사검사	실신	<ul style="list-style-type: none"> - 임상적 적용에 대해 동 검사 관련 내용(허혈성 혈관장애검사, 어지럼증 평가, VMR, 선트 확인) 제시됨 - 구체적 내용 확인 안 됨
신경학 제4판 (2024)	우좌선트	PFO, 심장 외 우좌선트	<ul style="list-style-type: none"> - 크기 측정이나 해부학적 정보를 제공할 수 없으나, 비침습적이고, 삼킴곤란 환자에게 사용 - 고위험 PFO 진단에 민감도·특이도 높음 - 심장 외 우좌선트 진단 가능
	VMR/ MES 모니터링	뇌혈관 협착/폐색, 미세색전신호 확인	<ul style="list-style-type: none"> - 이용되고 있음 제시, 구체적 내용은 확인되지 않음
	TCD 기립경사검사	실신	<ul style="list-style-type: none"> - 혈압·맥박·MFV 동시 관찰 - 실신원인(신경매개실신, 기립저혈압, 체위기립빈맥증후군, 대뇌실신) 감별에 유용
뇌졸중 제3판 (2024)	우좌선트	PFO 진단	<ul style="list-style-type: none"> - TEE가 표준검사임 - 동 검사는 비침습적이고 시행 용이, TEE 어려운 경우 유용 - PFO 진단 보조 목적
	VMR	뇌졸중 환자에서 혈류역학적 협착 평가	<ul style="list-style-type: none"> - 다양한 자극 통한 뇌혈관 예비능 평가 - 대뇌세동맥 확장 여부로 예비능 평가 - 혈류역학적 의미 있는 협착 판단에 도움
	MES 모니터링	경동맥 협착, 심장성 색전증, CEA/CAS·관상동맥수술 등	<ul style="list-style-type: none"> - 색전 발생 시술 모니터링 - 뇌졸중 위험 예측 대리지표로 활용 - 치료효과 평가 - 지속 관찰 필요 등 현실적 제약 언급

CAS, carotid artery stent; CEA, carotid endarterectomy; MES, microembolic signal; MFV, mean flow velocity; PFO, patent foramen ovale; TCD, transcranial doppler; TEE, transesophageal echocardiography; VMR, vasomotor reactivity

2. 임상진료지침 검토 결과

임상진료지침, 구글, 기타 데이터베이스 등을 활용하여 간략 검색을 통해 관련 지침을 다음과 같이 확인하였다.

표 3.5 임상진료지침 검색결과

연번	발행 연도	제목	다루고 있는 검사영역
1	2016	경도개도플러초음파 표준검사지침 1부. 검사의 시행과 해석 경도개도플러초음파 표준검사지침 2부. 임상적용 및 유용성	①~④
2	2025	2024 EACTS/EACTAIC/EBCP Guidelines on cardiopulmonary bypass in adult cardiac surgery	③
3	2023	AIUM Practice Parameter for the Performance of Transcranial Doppler Ultrasound	①~④
4	2022	ASNMM and ASN joint guidelines for transcranial Doppler ultrasonic monitoring: An update	①~④
5	2021	Recommendations for tilt table testing and other provocative cardiovascular autonomic tests in conditions that may cause transient loss of consciousness	④
6	2020	Practice advisory update summary: Patent foramen ovale and secondary stroke prevention. Report of the Guideline Subcommittee of the American Academy of Neurology	①
7	2019	Latin American Consensus Statement for the Use of Contrast-Enhanced Transcranial Ultrasound as a Diagnostic Test for Detection of Right-to-Left Shunt	①
8	2017	2017 ACC/AHA/HRS Guideline for the Evaluation and Management of Patients With Syncope	④
9	2015	Guidelines for the Echocardiographic Assessment of Atrial Septal Defect and Patent Foramen Ovale: From the American Society of Echocardiography and Society for Cardiac Angiography and Interventions	①
10	2012	Practice Standards for Transcranial Doppler (TCD) Ultrasound. Part II. Clinical Indications and Expected Outcomes	①~④

American Society of Neurophysiologic Monitoring

① 우좌선트(Right-to-left shunt)

② 혈관운동반응성검사(Vasomotor reactivity, VMR)

③ MES monitoring

④ TCD 기립경사검사

2.1 경두개도플러초음파 표준검사지침 1, 2부 (대한신경초음파학회, 2016)

TCD의 올바른 시행과 임상 적용을 위해 발표된 논문과 전문가 의견을 근거로, 검사의 정의, 임상 적응증 및 유용성을 제시하였고, 실시간 혈류역학적인 변화를 모니터링할 수 있는 TCD의 장점을 이용하면 다양한 질환에서 응용할 수 있음을 설명하고 있다. 급성기 뇌경색의 혈전용해술 시 폐쇄된 혈관의 개통 여부, 미세색전을 확인할 수 있고, 혈류학적인 변화의 관찰이 중요한 VMR의 평가, 기립경사검사(head-up tilt table test), 쇄골하동맥도류증후군(subclavian steal syndrome), 여러 가지 시술 시 발생할 수 있는 색전의 감시에 사용할 수 있다.

표 3.6 임상실무에서 TCD를 위한 임상 상태, 적응증, 특정 요구사항

Technique	Condition	Indication/ specific considerations	Specific requirements
Routine	Acute cerebral ischemia	Stenosis/occlusion detection and follow-up Collateral/hemodynamic evaluation	TT/TF/TO/SM insonation
	Intracranial arterial disease	Stenosis detection/follow-up	TT/TF/TO/SM insonation
	SAH	Spasm progression and detection/follow-up	TT/TF, follow-up during 1-2 weeks after attack
	Brain death	Cerebral circulatory arrest	TT/TF/SM insonation
	Sickle cell disease	Children	TT/TF insonation
Monitoring (headframe, dual probe)	Detection of Rt to Lt shunt	Cryptogenic stroke	Bilateral MCA monitoring after IV contrast injection, repeat with Valsalva's maneuvers
	Cerebral embolization	Risk evaluation for active embolization	Counting MES during bilateral MCA monitoring
	Vasomotor reactivity	Blood flow reservoir evaluation in cerebrovascular disease/Risk assessment in ICA stenosis	Stimuli-flow change measurements stimuli-drug, breath change, CO ₂ inhalation method etc
	Thrombolytic therapy	Recanalization/reocclusion of disease vessel	Continuous bilateral MCA monitoring
	CEA/CAS/cardiac surgery	Peri-operative or peri-procedural monitoring	Bilateral MCA monitoring
	Tilt table test	Syncope	Bilateral MCA/Basilar artery monitoring during test

TCD: transcranial Doppler ultrasound, TT: transtemporal, TF: transforaminal, SAH: subarachnoid hemorrhage, TO: transorbital, SM: submandibular, ICA: internal carotid artery siphon, MES: microembolic signal, Rt, right; Lt, left, MCA: middle cerebral artery, CEA: carotid endarterectomy, CAS: carotid artery stent

TCD를 활용한 특수검사에 대한 권고사항은 다음과 같으며, TCD 기립경사검사는 보고되지 않았다.

우좌선트 진단

우좌선트는 정상적인 폐 순환계를 거치지 않는 모순색전(paradoxical embolism)을 일으켜 뇌졸중의 원인이 된다. 대표적인 원인으로 열린타원구멍(PFO), 폐동정맥기형(pulmonary arteriovenous malformation) 등이 있다. 우좌선트의 발견은 TEE가 가장 좋으나, TCD도 TEE에 비교하여 뒤지지 않는다. TCD는 심장내 우좌선트의 위치나 크기에 관한 정보를 제공하지 못하는 것이 단점이나, 삼킴장애가

있어 TEE 검사가 어려운 환자에게도 할 수 있으며, 심장 수준 외 영역에서 셉트를 진단할 수 있는 유일한 방법이라는 장점이 있다. 또한, 경두개도플러의 최대 장점은 보정된 발살바 수기를 사용할 수 있다는 것과 다양한 체위에서 반복적으로 시행될 수 있다는 것이다.

TCD와 TEE의 진단율을 직접 보고한 연구에서는 민감도 92-97%, 특이도 92-93%, 양성예측도 85.7%, 음성예측도 96%, 정확도 92.3%로 보고한 바 있다.

모순색전증(paradoxical embolism)으로 인한 허혈뇌졸중 및 일과성 허혈발작이 의심되는 환자에서 우좌셉트를 규명하기 위해서 경두개도플러-공기방울검사를 시행한다(근거수준: class 2, 권고강도: type B).

경두개도플러검사는 원인불명의 뇌졸중 환자에서 진단적 가치가 높는데 특히 모순색전증이 의심되거나 심장초음파에서 음성이 나온 젊은 뇌졸중 환자에서 사용 가치가 높다. 또한, 색전신호의 양과 활성도로 뇌졸중의 위험도 및 발생 양상을 예측할 수 있으며, 구조적 심장질환이 있는 경우 안전한 스크리닝 도구로 사용할 수 있다. 더구나, 열린타원구멍을 풍선폐색술로 치료한 후 잔여 우좌셉트의 존재나 재발을 추적 관찰하는 도구로서 경두개도플러검사의 필요성이 제안되고 있다(근거수준: class 2b, 권고강도: type B). 이러한 진단적 가치는 풍선폐색술 후 치료 합병증 감시, 셉트 재발의 이차적 원인 감별, 수술 후 최적의 항혈전 치료 방법 선택을 위해서도 활용될 수 있다.

우좌셉트는 편두통 환자의 진단에도 활용될 수 있다(근거수준: class 3b, 권고강도: type C).

혈관운동반응성 검사

혈관운동반응성(VMR)은 혈류 공급의 자동 조절 능력을 판정하는 척도이다. 양전자방출단층촬영술(PET), 단일광자방출컴퓨터단층촬영 (single-photon emission computed tomography, SPECT), 자기공명영상(MRI) 등을 이용해서 측정할 수 있으나, TCD를 이용하면 비교적 간단히 VMR을 평가할 수 있다. 뇌혈관 질환에서 뇌혈관의 비정상적인 반응성을 확인하여 예후 예측과 혈관 시술의 필요성 평가에 도움이 된다. 혈관운동반응성을 평가하는 방법은 다양하나 어떤 것이 가장 적절한지에 대한 연구는 추가로 필요하다.

경두개도플러초음파촬영술은 허혈성 뇌혈관 질환에서 뇌혈관 협착 외에도 측부 순환과 혈역학적 상태를 평가할 수 있다. 특히, 혈관운동반응성검사는 뇌내 혈역학적 상태를 평가할 수 있는 비침습적 방법으로 허혈성 뇌혈관 질환 환자에서 추천된다(근거수준: class 1b, 권고강도: type A).

경두개도플러를 이용한 혈관운동반응성검사는 유의한 뇌혈관 협착이 있는 환자에서 허혈뇌졸중의 발생 또는 재발 위험도를 평가할 수 있다(근거수준: class 1b, 권고강도: type A).

혈관운동반응성은 뇌혈관질환을 가진 환자의 치료 전략을 세우는데도 도움을 준다. 혈관운동반응성의 저하는 향후 허혈뇌졸중 발생의 위험인자로 인지되면서 경동맥협착 환자에서 경동맥내막절제술,

스텐트 설치술 또는 두개강외내 우회로술을 고려할 때 혈관운동반응성 저하 여부를 중요한 판단 지표로 삼기도 한다(근거수준: class 3a, 권고강도: type C).

MES 모니터링

TCD 검사에서 혈액 속에 짧은 고강도 일시적 신호음(HITS)이 나타나면, 이는 혈관 내 미세색전을 의미한다. 이는 심한 경동맥 협착, 인공판막, 심근경색, 심방세동, 우좌선트 환자 등에서 검출될 수 있다. MES 모니터링을 통해 뇌졸중 위험도 및 치료효과 평가, 원인의 진단 및 색전 위험성이 높은 스텐트 설치술이나 수술 중 감시 등에 이용할 수 있다.

허혈성 뇌혈관질환을 가진 환자들은 뇌혈류 내 색전 현상을 진단하고 위치를 추적하며 중증도를 평가하기 위해 경두개도플러검사를 시행한다(근거수준: class 2a, 권고강도: type B).

경두개도플러를 이용한 색전증의 진단은 치료 전략 수립에도 도움을 준다. 색전의 존재가 뇌졸중 발생 및 재발과 유의한 상관성을 보인 보고들은 색전이 진단된 경우 조기에 중재시술을 고려하고, 약물 치료의 반응을 예측하는 지표로 활용될 수 있을 것으로 제안하였고, 이는 3가지 대규모 임상연구(CARESS, CLAIR, ACES)에서 평가된 바 있다. 결과적으로 유의한 뇌혈관협착을 가진 환자들에서 색전의 존재는 조기에 중재시술을 고려할 수 있는 지표로 판단할 수 있는 것으로 제안된다(근거수준: class 1b, 권고강도: type A).

한편, 경두개도플러검사를 통한 지속적인 색전 감시는 스텐트 설치술, 경동맥내막절제술, 관상동맥우회로 이식술, 판막수술 전후 뇌졸중의 합병증을 줄이는 데 도움을 줄 수 있다(근거수준: class 2b, 권고강도: type B). 특히, 경동맥스텐트 설치술 시 색전증은 스텐트를 설치할 때 가장 많이 발생하고, 증상성의 뇌경색으로 나타날 수 있어서 세밀한 감시 및 주의가 필요한 것으로 제안된다.

근거수준 (Diagnosis)

1a	Systematic review (with homogeneity) of Level 1 diagnostic studies; or a clinical decision rule with 1b studies from different clinical centers.
1b	Validating cohort study with good reference standards; or clinical decision rule tested within one clinical center
1c	Absolute SpPins And SnNouts (An Absolute SpPin is a diagnostic finding whose Specificity is so high that a Positive result rules-in the diagnosis. An Absolute SnNout is a diagnostic finding whose Sensitivity is so high that a Negative result rules-out the diagnosis).
2a	Systematic review (with homogeneity) of Level >2 diagnostic studies
2b	Exploratory cohort study with good reference standards; clinical decision rule after derivation, or validated only on split-sample or databases
3a	Systematic review (with homogeneity) of 3b and better studies
3b	Non-consecutive study; or without consistently applied reference standards
4	Case-control study, poor or non-independent reference standard
5	Expert opinion without explicit critical appraisal, or based on physiology, bench research or "first principles"

권고강도

Type A	Strong positive recommendation, based on class I evidence or overwhelming class II evidence.
Type B	Positive recommendation, based on class II evidence
Type C	Positive recommendation, based on strong consensus of class III evidence
Type D	Negative recommendation, based on inconclusive or conflicting class II evidence
Type E	Negative recommendation, based on evidence of ineffectiveness or lack of efficacy, based on class II or class I evidence

2.2 EACTS/EACTAIC/EBCP Guidelines on cardiopulmonary bypass in adult cardiac surgery (2025)

유럽심장흉부외과학회, 유럽심장흉부마취·중환자의학회 및 유럽심혈관계외순환위원회가 공동 개발한 가이드라인에서는 TCD에 대해 다음과 같이 기술하고 있다.

TCD 모니터링은 심폐우회(cardiopulmonary bypass, CPB) 하 심장 수술을 받는 환자에서 중대뇌동맥(MCA)을 조사(insonation)하여 뇌혈류의 속도와 방향을 측정하고, 고강도 일시신호(HITS)를 탐지하는 데 사용한다. 이는 뇌혈류 감소의 기계적 원인이나 반구 간 혈류 비대칭(hemispheric flow asymmetry)을 확인하는 데 도움을 줄 수 있으며, 대동맥 수술 시 선택적 순행성 관류(selective antegrade perfusion) 전략을 지원할 수 있다. 그러나 이 기술은 특수 장비의 필요성, 숙련된 기술자의 전문성 요구, 음향 창을 찾는 데 따른 기술적 어려움, 고강도 일시신호와 실제 수술 중 색전 사건 또는 신경학적 예후 간의 연관성에 대한 근거가 불충분 등 여러 한계로 인해 심장수술에서 표준기술로 권장되지는 않는다. 또한, 심장수술에서 뇌 자동조절(cerebral autoregulation)과 신경학적 예후 평가에 있어 TCD 역할을 명확히 규명하기 위한 추가 연구가 필요하다고 언급하고 있다.

선택적 뇌관류(selective cerebral perfusion)를 받는 환자에서 뇌혈류를 측정하는 TCD 사용은 고려될 수 있다고 제시하였다(근거수준: level C, 권고등급: class IIb).

대동맥궁(aortic arch surgery) 수술 중 선택적 뇌관류(Antegrade cerebral perfusion) 과정에서 뇌동맥의 혈류 존재 여부를 확인하는 데 사용할 수 있다. 또한 미세색전(cerebral microemboli)을 탐지하고 뇌혈류 자율조절능(cerebral autoregulation)의 개인별 한계를 평가하여 적절한 뇌혈류역학적 관리를 가능하게 한다고 제시하고 있다.

대동맥궁 수술 시에 뇌관류의 개별화된 관리 및 수술 중 또는 심부저체온순환장치(Deep Hypothermic Circulatory Arrest, DHCA) 중 색전 탐지를 위해 경두개도플러초음파의 사용을 고려할 수 있다(근거수준: C, 권고등급: IIb).

근거수준	
A	Data derived from multiple randomized clinical trials or meta-analyses
B	Data derived from a single randomized clinical trial or from large non-randomized studies
C	The consensus of expert opinion and/or small studies, retrospective studies and registries
권고등급	
I	Is recommended/is indicated
IIa	should be considered
IIb	May be considered
III	Is not recommended

2.3 AIUM Practice Parameter for the Performance of Transcranial Doppler Ultrasound (2023)

미국초음파의학회에서 경두개도플러검사의 수행 지침(practice parameter)을 규정하고 있으며, 성인 및 소아에서의 임상적 적응증 중 본 평가에서 다루고 있는 세부 검사영역이 포함되어 있음을 확인하였다. 다만, 동 자료에서는 세부적인 권고등급은 제시하지 않았다.

표 3.7 TCD 검사의 임상적 적응증

A. 성인 및 소아 공통
• 겸상적혈구병 환자의 뇌졸중 위험 평가
• 두개내 대동맥 협착 또는 폐색의 진단 및 추적 관찰(급성 뇌졸중 환자에서 혈전 용해 치료 모니터링 및 증강 포함)
• 뇌혈관병증(cerebral vasculopathy) 진단
• 자발성 또는 외상성 지주막하출혈 환자에서 혈관 연속 탐지 및 모니터링
• 두개내 혈류의 측부순환 평가(중재 후 포함)
• 순환 중인 뇌 미세색전(MES) 또는 고강도일시신호(HITS) 검출
• 심장 내 우좌단락(right-to-left shunt) 검출
• 뇌혈관운동반응성(cerebral vasomotor reactivity, VMR) 평가
• 뇌사(brain death)의 임상 진단을 보조하기 위함
• 수술 중 또는 시술 전후 모니터링-혈전, 색전, 저관류, 과관류 검출
• 동정맥 기형(arteriovenous malformation)의 시술 전후 평가
• 두개내 동맥류의 확인 및 추적
• 체위성 현훈(vertigo) 평가
B. 소아 추가 적응증
• 두개내압 상승 및 수두증(hydrocephalus) 평가
• 저산소-허혈성 뇌병증(hypoxic-ischemic encephalopathy) 평가
• 경막정맥동(dural venous sinus)의 개존 여부 평가

2.4 ASNM and ASN joint guidelines for transcranial doppler ultrasonic monitoring: An update (2022)

미국신경생리감시장학회와 신경영상학회가 공동 개발한 TCD 신경 모니터링(neuromonitoring) 임상 가이드라인에서는 TCD 신경모니터링을 수술 및 중환자 관리 중 뇌혈류, 색전 감시를 위한 임상 기술로, circle of Willis 기능 평가, 뇌혈류 저관류/과관류 감지(근거수준: class III, 권고등급: type C), 뇌 색전 탐지(근거수준: class II and III, 권고등급: type B), 혈관반응성 평가 및 자율조절 모니터링(근거수준: class III, 권고등급: type D)에 있어 임상적으로 확립된 모니터링 수단으로 권고하고 있다.

* 해당 문헌 내, 근거수준 및 권고등급에 대한 구체적인 방법론적 기준은 별도로 제시되지 않음

2.5 Recommendations for tilt table testing and other provocative cardiovascular autonomic tests in conditions that may cause transient loss of consciousness (2021)

유럽 자율신경학회연맹, 미국 자율신경학회, 유럽신경학회가 공동으로 낸 국제 전문가 합의문에서는 기립경사도검사 중 TCD 모니터링은 뇌혈류 속도의 변화를 관찰하여 실신의 병태생리를 규명하는 데 의미가 있다. 현재까지는 기립성 조절장애(orthostatic intolerance) 또는 일과성 의식소실(transient loss of consciousness)의 감별진단에는 유용성이 떨어지는 반면, 심인성 가성실신(psychogenic pseudosyncope)을 진단하는 데 보조하는 검사로 제안되었다. 아울러, 추가검사는 환자의 필요에 맞게 사용할 것을 권고하고 있으며, 기립경사검사 프로토콜과 함께 추가검사에 대한 권고사항은 <표 3.19>와 같다. TCD 검사는 기립성 조절장애 및 기립성 저혈압, 혈관미주신경성 실신 등 평가할 때 기립경사검사(tilt table test)와 함께 측정할 수 있는 추가검사 중 하나로 제시되고 있다.

표 3.8 기립경사도 검사 적응증별 프로토콜 및 추가 검사

tilt-table test 적응증	Duration of tilt	약물 유발	추가 검사 (additional measurement)
기립성 조절장애 - classic OH - POTS - Delayed OH - Vasovagal presyncope	at least 10min - 3min - 10min - Up to 40min - Up to 45min	Not recommended	Optional Video, EEG, Respiratory, TCD, Catecholamines
일과성 의식소실 - reflex syncope - PPS	Up to 45min	Optional	Optional Video, EEG, Respiratory, NIRS, TCD

OH, orthostatic hypotension; POTS, postural orthostatic tachycardia syndrome; PPS, psychogenic pseudosyncope; TCD, transcranial Doppler; EEG, Electroencephalography; NIRS, nearinfrared spectroscopy

2.6 Practice advisory update summary: Patent foramen ovale and secondary stroke prevention (2020)

미국신경학회(American Academy of Neurology, AAN)의 열린타원구멍(PFO) 관련 뇌졸중 환자에 대한 임상 권고문(practice advisory) 업데이트 내용 중 PFO 평가에서 TCD의 역할과 임상적 사용에 대한 권고사항은 다음과 같이 확인되었다.

TCD는 TEE와 유사한 민감도와 특이도를 가지나, 기타 심장성 색전 원인(cardioembolic sources)을 배제하지 못하고, 선트가 심장 내(intracardiac) 인지 해부학적 형태(크기, 위치를 확인할 수 없다는 한계점이 있어, 정확한 진단을 위해서는 TTE와 TEE가 필요하다고 설명되고 있다.

PFO 폐쇄술을 고려하는 환자에서 우좌선트를 평가하는 선별검사로 미세기포를 이용한 TCD 검사(TCD agitated saline contrast)는 사용할 수 있으나, 이는 다른 심장성 색전의 기전을 배제하고, 우좌선트가 심장 내이고 심방중격을 통한 것임을 확인하기 위해 필요한 심장초음파(TTE 및 TEE) 검사를 대체하지는 못한다(level C).

권고등급 (Screening, Dignosis, Prognosis)

A	Must (not) test, counsel, monitor
B	Should (not) test, counsel, monitor
C	May test, counsel, monitor, educate May choose not to test, counsel, monitor

2.7 Latin American Consensus Statement for the Use of Contrast-Enhanced Transcranial Ultrasound as a Diagnostic Test for the Detection of Right-to-Left shunt (2019)

세계신경학회(World Federation of Neurology) 신경초음파연구그룹의 라틴 아메리카 신경초음파 전문가 합의문에서는 조영증강 두개경유초음파(contrast-enhanced TCD)를 이용한 우좌선트검사의 프로토콜 및 해석 지침을 제시하고 있다. TEE가 심장성 우좌선트 진단의 표준검사로 간주되며, 조영증강 TCD 검사는 우좌선트 확인을 위한 대체 검사법으로 높은 민감도와 특이도를 가진 매우 우수한 선별검사로 확립되어 있다. TCD의 장점은 환자 편의성이 높고, 발살바 조작 등 유발검사와 결합할 수 있어 실시간 모니터링을 통해 색전현상을 직접 관찰할 수 있다는 장점이 있다. 이를 통해 선트 크기의 정량적 평가가 가능하여 진단의 기능적 의미를 강화할 수 있으므로 TCD와 TEE는 우좌선트 평가에 있어 상호보완적인 검사기법으로 간주될 수 있다.

원인불명의 뇌졸중 환자에서 우좌선트가 진단되면 색전의 직접적 근원을 알지 못하더라도 모순색전증(paradoxical embolism) 가능성이 증가하게 되므로, 임상적 맥락을 개별적으로 세심하게 평가하는 것이 중요하다. PFO 환자 치료 전략을 결정할 때 환자의 정보, 신경영상 소견, 해부학적 정보, TCD 기능적 특성을 종합적으로 고려하여 적합한 치료전략을 개별화하여야 한다고 권장한다.

중대뇌동맥(MCA)에서 미세기포가 지연되어 검출되는 경우(>10 sec 또는 >10 cardiac cycles)는 폐동정맥기형과 같이 모세혈관을 통과해 색전이 이동할 수 있는 폐내 우좌선트의 존재를 시사할 수 있다. 그러나 실제 임상에서는 심장 내 선트에서 기인한 경우와 폐내 선트에서 기인한 경우 사이에 미세색전 출현 시간의 상당한 중복이 존재함에 따라 미세기포 출현시간만으로 단락 위치를 신뢰성 있게 구분하기 어렵다. 지연시간은 선트의 크기와 혈류 강도에 더 큰 영향을 받는다. TCD나 TEE 검사는 우좌선트 위치를 추정하는 데 도움을 줄 수 있지만 선트의 정확한 위치를 확정적으로 판단하기 어려우므로, 관찰 결과 간에 차이가 클 경우 폐순환 조영을 추가로 시행하는 것이 권장된다.

2.8 ACC/AHA/HRS Guideline for the Evaluation and Management of patients with syncope (2017)

미국심장학회(American College of Cardiology), 미국심장협회(American Heart Association), 심장리듬학회(Heart Rhythm Society)가 공동으로 제정한 '실신 환자의 평가 및 관리'에 대한 가이드라인에서는 실신 평가의 진단 도구로서 TCD에 대한 구체적인 권고사항은 확인되지 않았다. 단, 가성 실신(psychogenic pseudosyncope) 진단 관련하여 경두개도플러(TCD) 및 EEG 모니터링을 동반하거나, 동반하지 않은 기립경사도 검사가 가성실신 진단에 도움이 될 수 있다고 언급하고 있다.

또한, 신경학적 및 영상진단 권고사항 관련하여 TCD가 직접 언급되고 있지는 않았으나 실신 진단에 있어 EEG, CT, MRI, 경동맥 초음파 등 신경학적 검사의 진단 효율이 낮고 비용효과성이 떨어지므로 루틴으로 사용하는 것은 권고하지 않는다고(권고등급: III-No Benefit, 근거수준: B-NR)고 제시하였고, 단, 기립경사도 검사 중에 EEG(뇌파)와 혈액학적 파라미터를 동시에 모니터링 하는 것은 실신, 가성실신, 간질을 감별하는 데 유용할 수 있다(근거수준: C-LD, 권고등급: IIa)고 명시하고 있다.

근거수준	
A	High-quality evidence from more than 1 RCT Meta-analysis of high-quality RCTs One or more RCTs corroborated by high-quality registry studies
B-R	Moderate-quality evidence from 1 or more RCTs Meta-analyses of moderate-quality RCTs
B-NR	Moderate-quality evidence from 1 or more well-designed well-executed nonrandomized studies, observational studies or registry studies Meta-analyses of such studies
C-LD	Randomized or nonrandomized observational or registry studies with limitations of design or execution Meta-analyses of such studies
C-EO	Physiological or mechanistic studies in human subjects Consensus of expert opinion based on clinical experience
권고등급	
I	strong (benefit >>> risk)
IIa	moderate (benefit >> risk)
IIb	weak (benefit ≥ risk)
III-No Benefit	moderate (benefit=risk)
III-Harm	strong (risk)>benefit)

2.9 Guidelines for the Echocardiographic Assessment of Atrial Septal Defect and Patent Foramen Ovale: From the American Society of Echocardiography and Society for Cardiac Angiography and Interventions (2015)

미국심장초음파학회 주도로 수행된 다학회 합의 기반의 심방중격결손(ASD)/열린타원구멍(PFO) 평가를 위한 심초음파 가이드라인에서는 TTE, TEE와 같은 심장초음파 중심으로 권고하고 있으며, TCD 검사는 PFO 탐지를 위한 대체(alternative) 영상기법으로 제시되었다. TCD의 장점은 TEE에 비해 환자가 편안하며, 셉트 크기의 반정량적 평가가 가능하고, 심장 외 셉트와 심장내 셉트 모두를 확인할 수 있다.

그러나 선트의 해부학적 위치를 명확히 제시하지 못하는 한계점이 있어, 조영증강 심초음파(contrast echocardiography)와 상호보완적인 검사로 활용될 수 있다.

2.10 Practice standards for Transcranial Doppler(TCD) Ultrasound. Part II. Clinical indications and expected outcomes (2012)

미국신경초음파학회(American Society of Neuroimaging, ASN)에서 제시한 TCD 임상 표준 가이드라인에서는 TCD 검사의 임상적 적응증 및 예상결과(expected outcomes), 관련 권고사항을 제시하였다. 임상적 적응증 중 본 평가검사와 관련된 내용은 다음과 같이 확인하였다.

표 3.9 TCD 검사의 확립된 임상적 적응증 및 예상결과

Broad Indication	Specific Indications	Expected Outcomes
Ischemic stroke or TIA	Symptomatic patient at any time window who underwent carotid duplex scanning	경동맥 초음파는 근위부 내경동맥(ICA) 협착 $\geq 50\%$ 유병률이 낮기 때문에 전체 허혈성 사건의 약 15-25%만 설명할 수 있음. TCD는 두개내 협착·폐색 질환, 색전현상, 단락, 혈관운동반응성 저하 여부를 확인함으로써 뇌졸중 기전 파악을 보다 정교하게 할 수 있는 장점이 있음
Ischemic stroke or TIA	Patients with undetermined stroke mechanism, recurrent TIAs, artery-to-artery versus cardiac source of embolism, suspected arterial dissections	TCD는 뇌 색전을 실시간으로 탐지하고, 위치를 특정, 정량화하는 데 있어 표준검사임. 미세색전 활동을 탐지하고 그 발생 원인(동맥 vs. 심장)을 국소화하며, 환자 증상의 혈관성 원인을 확인하는 데 있어 이와 같은 공간적, 시간적 해상도를 제공하는 다른 검사는 없음
Ischemic stroke or TIA	Patients with suspected paradoxical embolism with negative echocardiography	TCD는 우좌단락의 존재 여부를 확인하는 민감도 측면에서 심장초음파와 동등하거나 우수함. 이는 발살바 조작을 TCD에서 가장 효과적으로 시행할 수 있고, TCD를 통해 심장 외 단락도 간접적으로 탐지할 수 있기 때문임
Ischemic stroke or TIA	Follow-up	TCD는 직접적인 혈류 속도 측정, 측부순환 확인, 혈관운동반응성(VMR) 평가를 통해 두개강 내외 협착의 악화 또는 호전을 확인할 수 있는 저비용의 비침습적 추적검사임
Asymptomatic or symptomatic carotid artery stenosis or occlusion	Patients who have the internal carotid artery (ICA) stenosis or occlusion on carotid duplex or angiography	TTCD는 다양한 정도의 내경동맥(ICA) 협착 또는 완전 폐색 상황에서 최초 또는 재발 뇌졸중 위험이 가장 높은 환자를 선별하는 데 도움을 줄 수 있음. 동맥-동맥 색전과 혈관운동반응성(VMR) 저하가 TCD에서 확인되는 경우 동일한 정도의 ICA 협착을 가진 환자라도 TCD 소견이 정상인 환자에 비해 뇌졸중 위험이 3-4배 높은 것으로 나타남

TCD, transcranial doppler; VMR, vasomotor reactivity; ICA, internal carotid artery; TIA, transient Ischemic attack

우좌선트검사, 혈관운동반응성 평가, 미세색전신호 모니터링에 대해 다음과 같이 설명하고 있다.

우좌선트 검사

모순색전증(paradoxical embolism)으로 기인한 허혈성 뇌졸중 또는 일과성 허혈발작이 의심되는 경우에는 우좌선트의 여부를 확인하기 위해 미세기포를 이용한 TCD 'bubble test' 검사를 시행할 수 있다(근거수준: Class II, 권고강도: Type B).

TCD는 우좌선트를 탐지하는 데 있어 TTE나 TEE보다 동등하거나 우수한 것으로 보고되었다. 우좌선트의 정도를 정량화하기 위한 기준이 개발되어 있으며, 이는 스펙트럼 분석 혹은 Power-motion mode (PMD) display mode 상에서 미세색전신호(MES)의 개수를 이용해 검증되었다. TCD의 주요 장점은 환자가 보정된 발살바 수기(Valsalva maneuver)를 수행할 수 있고, 검사 중 여러 자세를 바꿔가며 반복 측정이 가능하다는 장점이 다.

혈관운동반응성 평가

TCD 검사는 혈관운동반응성 평가를 포함할 수 있다(근거수준: class II, 권고강도: type B).

이 비침습적인 검사는 자발적인 30초간의 숨참기(breath-holding)을 통해 고탄산혈증(hypercapnia)을 유발하고, TCD로 이 자연적 혈관확장 자극에 대한 혈류 속도 반응을 측정하는 방식으로 MRI 기준으로 타당화 되었으며, 1992년 이 검사가 처음 소개된 이후 합병증 보고는 없었다. TCD 혈관운동반응성 검사는 경동맥 협착이나 폐색이 있는 환자 중 첫 발병 또는 재발성 뇌졸중의 고위험군을 식별할 수 있다. 이는 MR 관류 영상, Diamox-SPECT, 관류 CT와 같은 추가 검사가 필요할 수 있으나 이는 비용이 높고, vasoactive 약제(Diamox)의 장기 지속 효과로 인한 합병증 위험이 있는 반면, TCD 검사는 안전하고 저비용의 표준화된 진단기준이 마련된 bedside 검사로 혈관운동반응성을 평가할 수 있는 장점이 있다. 혈관운동반응성이 감소되거나 소진된 경우 뇌졸중 위험요인으로 확립되었으며, 이 소견은 무증상 경동맥 협착 환자에서 경동맥내막절제술(CEA) 또는 스텐트 시술을 고려하게 하거나, 약물치료에 반응하지 않는 반복적 혈액학적 뇌졸중 또는 일과성 허혈발작 환자에서 두개외-두개내 우회술을 고려하게 할 수 있다. 또한 최근 연구에서 뇌혈관 반응성 감소가 협착이 있는 쪽 반구의 인지기능 저하와 관련될 수 있음이 제시되었고, 이 결과는 무증상 경동맥 협착 환자 중 일부 군에서 외과적 치료를 보다 포괄적으로 고려할 수 있는 근거로서 의미가 있다.

MES 모니터링

허혈성 뇌졸중, 일과성 허혈발작 또는 무증상성 고등급(high-grade) 내경동맥 협착 환자에서 뇌 색전을 탐지하고, 국소화(localize), 정량화하기 위해 TCD 모니터링을 시행할 수 있다(근거수준: Class II, 권고강도: Type B).

이 정보는 증상성 및 무증상성 두개외 또는 두개내 대혈관 질환 모두에서 진단 확립이나 치료전략 변경에 유용하다.

근거수준

Class I	Evidence provided by one or more well-designed, randomized controlled clinical trial
Class II	Evidence provided by one or more well-designed, clinical studies (eg, case control, cohort studies)
Class III	Evidence provided by one or more expert opinions, nonrandomized historic controls, or case reports

권고강도

Type A	Strong positive recommendation, based on class I evidence or overwhelming class II evidence when circumstances preclude randomized clinical trials
Type B	Positive recommendation, based on class II evidence
Type C	Positive recommendation, based on strong consensus of class III evidence
Type D	Negative recommendation, based on inconclusive or conflicting class II evidence
Type E	Negative recommendation, based on evidence of ineffectiveness or lack of efficacy, based on class II or class I evidence

표 3.10 임상진료지침_결과 요약표

학회	진료지침명 (연도)	TCD 기반 뇌혈류 기능검사				대상질환/ 임상상황	권고사항/주요내용	권고등급 (근거수준)
		① 우좌 선트 (micro- bubble)	② VMR	③ MES monitoring	④ tilt table + TCD			
대한신경초음파 학회	TCD 표준검사지침 (2016)	○			(구체적 사항 확인 안됨)	모순색전증(paradoxical embolism)이 의심되는 허혈성 뇌졸중 및 일과성 허혈발작(TIA)	<ul style="list-style-type: none"> 우좌선트여부 확인하는 데 진단 도구로 TCD-공기방울검사 권장 	B (II)
						원인불명의 뇌졸중(특히, 젊은 연령)에서 모순색전증이 의심되는 경우	<ul style="list-style-type: none"> 심초음파(TEE/TTE)에서 음성임에도 모순색전증이 의심되는 환자에서 진단적 가치를 가짐 뇌졸중의 위험도 및 발생 양상을 예측, 구조적 심장질환이 있는 경우 선별도구로 사용 	B (2b)
						PFO 폐색술(closure) 치료 환자	<ul style="list-style-type: none"> PFO 폐색술 후 잔여 또는 재발 우좌선트 여부 추적 관찰하는 데 TCD 필요성 제안 	B (2b)
						편두통 환자	<ul style="list-style-type: none"> 진단에도 활용 가능 	C (3b)
						허혈성 뇌혈관 질환	<ul style="list-style-type: none"> 뇌내 혈액학적 상태를 평가하는 데 추천 	A (1b)
						뇌혈관 협착 환자	<ul style="list-style-type: none"> 허혈뇌졸중의 발생 또는 재발 위험도 평가 	A (1b)
						경동맥협착 환자 등 뇌혈관 질환	<ul style="list-style-type: none"> 경동맥내막절제술, 스텐트 삽입술, 두개강외내 우회로술 등 치료결정에 활용 	C (3a)
						허혈성 뇌질환 질환	<ul style="list-style-type: none"> 뇌혈류 내 색전 현상 진단, 추적하고 중증도 평가하는 데 권장 	B (IIa)
						뇌혈관 협착 환자	<ul style="list-style-type: none"> 조기에 중재시술을 고려할 수 있는 지표로 제안 	A (1b)
						경동맥스텐트술, 경동맥내막절제술, 심장수술(CABG, 판막수술 등)	<ul style="list-style-type: none"> 수술 전후 TCD를 통한 지속적인 색전 감시는 뇌졸중 합병증을 줄이는 데 도움이 될 수 있음 	B (IIb)
EACTS/ EACTAIC/ EBCP	성인 심장수술에 관한 가이드라인 (2024)	○	○	○	○	심폐우회 심장수술 중 선택적 뇌관류 시	<ul style="list-style-type: none"> 뇌혈류 측정하여 미세색전 탐지, 개인별 뇌혈류 자율조절능 평가에 활용 TCD를 심폐우회 심장수술 중 선택적 상황(특히 대동맥궁 수술 및 선택적 뇌관류 시)에서 고려 가능한 보조적 모니터링 도구로 제시 표준기술로는 권장되지 않으며, 신경학적 예후 개선 효과에 대한 근거 축적 필요 	IIb (C)

학회	진료지침명 (연도)	TCD 기반 뇌혈류 기능검사				대상질환/ 임상상황	권고사항/주요내용	권고등급 (근거수준)
		① 우좌 선트 (micro- bubble)	② VMR	③ MES monitoring	④ tilt table + TCD			
AIUM	TCD 수행 지침 (2023)	○	○	○	○	TCD의 임상적 적응증에 포함 • 순환중인 뇌 미세색전 또는 고강도 일시신호 검출 • 심장 내 우좌선트 확인 • 뇌혈관 운동반응성 평가 • 체위성 현훈 평가	-	
ASNМ/ASN	TCD 모니터링 가이드라인(2022)		○	○		TCD 신경모니터링은 수술 및 중환자 관리 중 뇌혈류 변화 및 색전 감시를 위한 임상적 기술로 - 뇌 색전 탐지, 뇌혈관운동반응성 및 CBF(cerebral blood flow) 자율조절 평가에 권장	II-III (B, D)	
EFAS/ AAS/ EAN	기립경사도검사 및 기타 자율신경 유발검사의 표준화된 적용을 위한 전문가 합의문(2021)				○	기립성 조절장애 등 실신 • 기립성 조절장애, 일과성 의식소실 감별진단에는 유용성이 낮으며 심인성 가성실신 진단 보조검사로 제안 • 기립성 조절장애 및 일과성 의식소실 등 실신 평가 시 기립경사도검사와 함께 측정할 수 있는 추가검사 option으로 제시됨	-	
AAN	PFO 관련 뇌졸중 2차 예방 임상 권고문 (2020)	○				열린타원구멍(PFO), PFO 관련 허혈성 뇌졸중 • 미세기포를 이용한 TCD 는 우좌선트평가를 위한 비침습적 선별검사로 사용할 수 있으나, 심방중격 단락 여부 확인 및 다른 심장성 색전 원인 배제에는 한계가 있음 • TCD는 TEE/TTE를 대체할 수 없으며, 보조적 평가 도구로 활용 가능	- (C)	
WFN-NSRG (라틴 아메리카 신경초음파연구 그룹)	우좌선트 진단에 c-TCD 사용의 전문가 합의문(2019)	○				원인불명의 뇌졸중(cryptogenic stroke), 우좌선트 의심 환자, 심장내/폐내 단락 평가 필요시 • c-TCD는 우좌선트 진단에 높은 민감도 및 특이도를 가진 선별검사로 확립 • TEE는 표준검사, 두 검사는 상호보완적 역할 • PFO 환자 치료 결정 시 TEE, cTCD 영상소견 종합해 개별화 권장	-	
ACC/ AHA/ HRS	실신 환자의 평가 및 관리 가이드라인 (2017)				○	실신 환자 • TCD에 대한 구체적 권고사항 없음 • 가성실신 진단 시 TCD, EEG를 동반하거나, 또는 동반하지 않은 기립경사검사(tilt-table test)가 도움이 될 수 있다고 언급됨 • 기립경사검사 중 EEG와 혈액학적 파라미터를 동시 모니터링은 실신, 가성실신, 간질 감별에 유용	- IIa (C-LD)	

학회	진료지침명 (연도)	TCD 기반 뇌혈류 기능검사				대상질환/ 임상상황	권고사항/주요내용	권고등급 (근거수준)
		① 우좌 션트 (micro- bubble)	② VMR	③ MES monitoring	④ tilt table + TCD			
ASE/SCAI	심방중격결손/열린 타원구멍 평가를 위한 심초음파 가이드라인(2015)	○				심방중격결손(ASD), 열린타원구멍(PFO) 평가 및 션트 진단 필요 환자	<ul style="list-style-type: none"> TCD는 열린타원구멍(PFO) 검출을 위한 대체 영상기법으로 제시 조영 심초음파(contrast-echocardiography)와 상호보완적으로 활용 	-
			○			경동맥 협착/폐색 환자에서 뇌졸중 고위험군 식별	<ul style="list-style-type: none"> TCD 검사는 비침습적, 저비용의 bedside 검사로, 혈관운동반응성 평가할 수 있음 혈관반응성 저하시 뇌졸중 위험 증가, 무증상 경동맥 협착 환자에서 CEA/스텐트 또는 우회술 치료결정에 	B (II)
ASN	TCD 임상 표준 가이드라인(2012)	○				허혈성 뇌졸중 또는 일과성 허혈발작 의심 환자	<ul style="list-style-type: none"> 우좌션트의 여부를 확인하기 위해 미세기포를 이용한 TCD 검사 시행할 수 있음 TTE나 TEE보다 동등하거나 우수 	B (II)
				○		허혈성 뇌졸중, 일과성 허혈발작 또는 무증상성 고등급(high-grade) 내경동맥 협착 환자	<ul style="list-style-type: none"> 뇌 색전을 탐지하고, 국소화, 정량화하기 위해 TCD 모니터링을 시행할 수 있음 	B (II)

ASD, Atrial Septal Defect; CABG, Coronary Artery Bypass Graft surgery; CBF, cerebral blood flow; CEA, Carotid Endarterectomy; PFO, patent foramen ovale; TCD, transcranial Doppler; TEE, Transesophageal Echocardiography; TIA, transient ischemic attack; TTE, Transthoracic Echocardiography; VMR, vasomotor reactivity;

AIUM, American Institute of Ultrasound in Medicine(미국초음파의학회); ASN, American Society of Neurophysiologic Monitoring(미국신경생리감시학회); ASN, American Society of Neuroimaging (미국신경영상학회); EFAS, European Federation of Autonomic Societies(유럽자율신경학회연맹); AAS, American Autonomic Society (미국자율신경학회); EAN, European Academy of Neurology(유럽신경학회); AAN, American Academy of Neurology(미국신경학회); WFN, World Federation of Neurology(세계신경학회); NSRG, Neurosonology Research Group(신경초음파연구그룹); ACC, American College of Cardiology(미국심장학회); AHA, American Heart Association(미국심장협회); HRS, Heart Rhythm Society(심장리듬학회); EACTS, European Association for Cardio-Thoracic Surgery/EACTAIC, European Association of Cardiothoracic Anaesthesiology and Intensive Care/EBCP, European Board of Cardiovascular Perfusion(유럽심장흉부외과학회/유럽심장-흉부마취-중환자의학회/유럽심혈관계외순환위원회); ASE, American Society of Echocardiography(미국심장초음파학회); SCAI, Society for Cardiac Angiography and Interventions(심혈관 조영술 및 중재학회)

1. 평가결과 요약

초음파를 활용한 뇌혈류 기능검사는 두개경유도플러(transcranial doppler, TCD)를 이용한 특수검사로 미세기포를 이용한 좌우단락검사, 경두개 혈관운동반응성검사, MES monitoring, 기립경사도 경두개 초음파가 포함되며, 뇌졸중, 일과성 뇌허혈증 등 환자에게 시행된다. 동 기술은 신의료기술평가 없이 비급여로 등재된 기술로, 국민건강보험공단의 비급여 보고제도 대상 항목이며 유관기관 요청에 따라 재평가 대상으로 발굴하였다. 2025년 제5차 의료기술재평가위원회(2025.5.16.)에서 재평가 대상으로 선정되었다.

동 평가는 초음파를 활용한 뇌혈류 기능검사의 임상적 의미, 활용 영역을 파악하기 위해 교과서 및 임상진료지침 중심으로 검토하였다. 본 평가에서는 『신경초음파(2021)』, 『신경학』 및 『뇌졸중』 최신판(2024) 교과서와, 국내외 DB 간략검색을 통해 확인된 총 10편의 관련 임상진료지침 및 전문가 합의문을 검토하였으며, 각 세부 검사별 검토된 내용은 다음과 같다.

미세기포를 이용한 좌우단락검사

『신경초음파(2021)』, 『신경학(2024)』, 『뇌졸중(2024)』 교과서에서는 열린타원구멍(patent foramen ovale, PFO) 등 우좌선트 진단 시 TCD의 유용성을 언급하고 있었다. 미세기포를 이용한 좌우단락검사는 식도경유심초음파검사(transesophageal echocardiography, TEE)에 비해 비침습적이며 시행이 용이한 검사로, TEE 검사가 어려운 삼킴곤란 환자에게도 적용할 수 있다고 기술하고 있다. 임상진료지침에서도 미세기포를 이용한 좌우단락검사는 TEE, 흉벽경유심초음파검사(transthoracic echocardiography, TTE)와 유사한 민감도·특이도(약 92-97%)를 가지는 비침습적 선별검사로 권장한다고 제시하였다. 다만, 해부학적 정보 제공의 한계로 심장초음파를 대체할 수는 없으며 상호보완적인 검사로 활용하는 것이 적절하다고 교과서 및 지침 모두에서 일관되게 제시하고 있다.

경두개 혈관운동반응성 검사

『신경초음파(2021)』, 『뇌졸중(2024)』 교과서에서 경두개 혈관운동반응성검사는 이산화탄소 반응, 아세타졸아미드 투약 등 다양한 자극을 통해 뇌혈관 예비능(reserve capacity)을 평가하는 도구로, 뇌혈류 자동조절 능력 평가 및 혈류역학적 협착의 진단에 활용된다고 제시되어 있다. 임상진료지침에서도 혈관운동반응성 검사는 경동맥 협착 환자의 허혈성 뇌졸중 발생 및 재발위험도 예측, 뇌혈관 협착/폐쇄 환자에서 혈역학적 평가, 치료결정(경동맥내막절제술, 스텐트 시술 등)에 참고할 수 있는 유용한 평가지표로 권장하고 있다.

미세색전신호(MES) 모니터링

『신경초음파(2021)』, 『뇌졸중(2024)』 교과서에서는 MES가 색전 감시, 뇌졸중 위험도 평가, 치료효과 판정의 지표로 활용될 수 있는 검사이며, 특히 유증상 경동맥 협착에서 MES 검사의 임상적 유용성이 있다고 제시하고 있다. 다만, 지속적 관찰이 필요하고 검사 실행에 시간이 소요되는 한계가 존재한다고 제시되었다. 임상진료지침에서는 TCD를 통해 순환 중 발생하는 색전의 존재와 빈도를 탐지하여 뇌졸중 위험도와 치료효과를 평가하는 검사로, 경동맥 협착/폐색 환자에서 뇌졸중 위험도 평가, 항혈전제 치료반응 평가, 경동맥내막절제술(CEA)/ 스텐트 삽입술(CAS), 심장수술 등 시술 전후 색전 위험 감시에 활용 가능한 검사로 권장되고 있다.

기립경사도 경두개 초음파

『신경초음파(2021)』, 『신경학(2024)』 교과서에서 실신 환자의 병태생리 평가를 위해 기립경사검사 시 TCD 활용이 제시되었고, 기립 시 혈압·맥박·중대뇌동맥 혈류 속도의 변화를 관찰하여 신경매개실신, 기립 저혈압, 체위기립빈맥증후군(postural orthostatic tachycardia syndrome, POTS), 대뇌실신을 감별하는 데 도움을 준다고 제시되었다. 관련 가이드라인 및 국제 합의문에서는 TCD에 대해 기립성 조절장애 및 일과성 의식소실 등 실신 평가 시 기립경사검사와 함께 측정하는 보조적 평가도구 중 하나로 권고하고 있으며 특히, 심인성 가성실신(pseudopsychogenic syncope) 감별·진단하는 데 유용하다고 제시하였다.

2. 결론

초음파를 활용한 뇌혈류 기능검사 소위원회는 교과서 및 임상진료지침을 종합적으로 검토한 결과 다음과 같은 의견을 제시하였다.

초음파를 활용한 뇌혈류 기능검사는 TCD 기술을 기반으로 하는 기능검사로, 미세기포를 이용한 좌우단락검사, 경두개 혈관운동반응성검사, 미세색전신호(MES) 모니터링, 기립경사도 경두개 초음파의 세부 검사 방법을 포함하고 있다. 각 세부 검사에 대한 검토 결과는 다음과 같다.

첫째, 미세기포를 이용한 좌우단락검사는 열린타원구멍(PFO) 등 우좌선평트를 확인하기 위한 비침습적이고 시행이 용이한 선별검사로서, 식도경유심초음파검사와 유사한 민감도와 특이도를 보이는 것으로 확인되었으며 심장초음파 검사의 한계를 보완하는 상호보완적인 검사로 활용 가치가 있다. 또한, 국내외 교과서 및 진료지침에서 ‘Right-to-Left shunt’ 용어가 표준적으로 사용됨에 따라, 국내 비급여 행위설명에 제시된 국문 용어를 ‘우좌선평트검사’로 변경할 필요가 있다고 제언하였다.

둘째, 경두개 혈관운동반응성 검사는 경동맥 협착 및 뇌혈관 폐색 환자에서 혈관 예비능을 평가하여 뇌졸중 발생 및 재발 위험도를 예측하고, 경동맥내막절제술이나 스텐트 삽입술 등 치료방침 결정을 보조하는 지표로 유용하다.

셋째, 미세색전신호(MES) 모니터링은 순환 중 발생하는 색전의 존재와 빈도를 실시간으로 확인할 수 있는 검사로, 경동맥 협착/폐색 환자, 심장성 색전증 위험 환자, 뇌졸중, 수술 전후 환자에서 색전 위험도 평가와 치료효과 감시에 유용한 보조적 검사로 확인되었다.

넷째, 기립경사도 경두개 초음파는 기립 시 혈압, 맥박, 중대뇌동맥 혈류 속도의 변화를 관찰하여 기립경사 검사와 병행하여 평가하는 보조검사로 실신 원인을 파악하는 데 유용하며, 모든 실신 환자에게 필요한 일반적 검사는 아니나 일부 환자군(신경매개실신, 대뇌실신 등)에서 감별진단에 도움을 줄 수 있는 것으로 확인되었다.

또한 TCD 기반의 평가는 검사자 숙련도, 검사수행 방법, 자극 기법, 해석 기준 등에 따라 결과에 변동성이 발생할 수 있어 검사 수행 및 판독 기준의 프로토콜을 잘 준수하고, 검사의 질 관리가 병행되는 것이 바람직하다고 제언하였다.

더불어 본 평가는 특정 교과서와 임상진료지침·전문가 합의문을 중심으로 한 근거 검토에 기반한 것으로, 각 세부기술에 대한 심층 문헌고찰을 수행한 평가는 아니라는 점에서 실제 임상에서 적용 가능한 모든 대상 질환과 활용범위를 완전히 포괄하지 못한 한계가 있다.

2026년 제1차 재평가전문위원회*(2026. 1. 9.)는 소위원회 검토 결과를 바탕으로 ‘초음파를 활용한 뇌혈류 기능검사’에 대해 논의하였으며, 소위원회 결론을 원안대로 심의·의결하였다.

*「신의료기술평가에 관한 규칙」(보건복지부령 제1098호, 일부개정, 2025.9.7. 시행) 개정으로 재평가전문위원회가 새로 구성되어 2025년 9월부터 운영되고 있다.



1. 강건우, 이의정, 이현경, 이은선, 임양희, 한형태. 뇌혈류초음파검사에서의 주의사항 및 제안. Korean Journal of Clinical Laboratory Science. 2023;55:219-226.
2. 건강보험심사평가원. 건강보험요양급여비용. 2025년 1월판.
3. 건강보험심사평가원. 요양급여의 적용기준 및 방법에 관한 세부사항과 심사지침. 2025년 7월판
4. 건강보험심사평가원. 요양기관업무포털. 2025. Available from: <https://biz.hira.or.kr/index.do?sso=ok>.
5. 건강보험심사평가원. 보건의료빅데이터개방시스템 홈페이지. Available from: <https://opendata.hira.or.kr/home.do>.
6. 국민건강보험공단. 비급여 정보 포털. Available from: <https://www.nhis.or.kr/nbinfo/index.do>
7. 권형민. 미세 색전 신호에 대한 경두개 도플러 감시의 임상 적용. Journal of Neurosonology. 2013;5:13-18.
8. 김동역 등. 신경학. 3판. 대한신경과학회; 2017.
9. 대한신경과학회. 신경학. 4판. 군자출판사; 2024.
10. 대한신경초음파학회. 신경초음파. (주)제이피앤씨; 2021.
11. 최선영 등. 초음파검사학 3판. 고려의학; 2024.
12. 대한뇌졸중학회. 뇌졸중 3판. 범문에듀케이션; 2024.
13. 보건복지부 질병관리청. 2022 심뇌혈관질환 발생통계.
14. 식품의약품안전처 의료기기정보포털 [인터넷]. 알기 쉬운 의료기기; URL: <https://udiportal.mfds.go.kr/>
15. 안성환. 두개경유 도플러 초음파검사의 임상적 적용. Journal of Neurosonology 2012;4:13-16.
16. 이종윤, 유서욱, 이성익 등. 경두개도플러초음파 표준검사지침 1부. 검사의 시행과 해석. Journal of Neurosonology 2016;8(1):1-13.
17. 정근화, 서우근, 박종무 등. 경두개도플러초음파 표준검사지침 2부. 임상적용 및 유용성. Journal of Neurosonology 2016;8(1):14-29.
18. 정호태, 전수나, 한솔. 경두개 도플러 초음파 검사 지침서. Korean Journal of Clinical Laboratory Science. 2024;56:277-287.
19. American medical association. CPT 2023. Professional edition.
20. Alexandrov A, Sloan MA, Tegeler CH, Newell DN, Lumsden A et al. Practice Standards for Transcranial Doppler (TCD) Ultrasound. Part II. Clinical Indications and Expected Outcomes. J Neuroimaging 2012;22:215-224.
21. AIUM practice parameter for the performance of transcranial doppler ultrasound. J Ultrasound Med 2023;42:E33-E41
22. Cho BH. The Pathophysiology of Syncope and the Role of Transcranial Doppler in its Diagnostic Evaluation. J Neurosonol Neuroimag 2024;16(2):51-62.

23. Heo JN. Microembolic Signals on Transcranial Doppler Ultrasonography: A Narrative Review of a Decade of Evidence. *J Neurosonol Neuroimag* 2024;16(2):63-70.
24. Keju J, Zhong L, Ni X, Cao H et al. Cerebral vasomotor reactivity predicts the development of acute stroke in patients with internal carotid artery stenosis. *Neurol Neurochir Pol.* 2018 May-Jun;52(3):374-378.
25. Kim SM, Park JY, Ha SH, Kim BJ. The role of transcranial doppler in patients with cryptogenic stroke. *J Neurosonol Neuroimag* 2023;15(2):75-85.
26. Messe S, Gronseth GS, Kent DM, Kizer JR et al. Practice advisory update summary: Patent foramen ovale and secondary stroke prevention. Report of the Guideline Subcommittee of the American Academy of Neurology. *Neurology* 2020;94: 876-885.
27. Mojadidi MK, Roberts SC, Winoker JS, Romero J. et al. Accuracy of Transcranial Doppler for the Diagnosis of Intracardiac Right-to-Left Shunt A Bivariate Meta-Analysis of Prospective Studies. *J Am Coll Cardiol Img.* 2014;7:236-50.
28. Palazzo P, Heldner MR, Nasr N, Alexandrov AV. Transcranial Doppler With Microbubbles: Screening Test to Detect and Grade Right-to-Left Shunt After an Ischemic Stroke: A Literature Review. *Stroke.* 2024;55:2932-2941.
29. Razumovsky A, Jahangiri RF, Balzer J, Alexandrov AV. ASNM and ASN joint guidelines for transcranial Doppler ultrasonic monitoring: An update. *J Neuroimaging.* 2022;32:781-797.
30. Schenck H, van Craenenroek C, van Kuijk S, Gommer E, Veldeman M, et al. Systematic review and meta-analysis of transcranial doppler biomarkers for the prediction of delayed cerebral ischemia following subarachnoid hemorrhage. *Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism* 2025;45(6):1031-1047.
31. Sasannejad P, Khosravani F et al. Transcranial Doppler as a Primary Screening Tool for Detecting Right-to-Left Shunt in Cryptogenic Stroke Patients? *Brain and Behavior*, 2024; 14:e70144
32. Sharma P, Muthuchellappan R et al. Carbon dioxide induced cerebral vasomotor reactivity in moderate-to-severe cerebral venous thrombosis patients and its impact on prognosis: A transcranial doppler-based prospective exploratory study. *J Clin Neurosci.* 2024;128:110779
33. Shen W-K, Sheldon RS, Benditt DG, Cohen MI, Forman DE, Goldberger ZD, Grubb BP, Hamdan MH, Krahn AD, Link MS, Olshansky B, Raj SR, Sandhu RK, Sorajja D, Sun BC, Yancy CW. 2017 ACC/AHA/HRS guideline for the evaluation and management of patients with syncope: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines and the Heart Rhythm Society. *Circulation.* 2017;136:e60-e122.
34. Silverstry FE, Cohen MS, Armby LB, Burkule NJ et al. Guidelines for the Echocardiographic Assessment of Atrial Septal Defect and Patent Foramen Ovale: From the American Society of Echocardiography and Society for Cardiac Angiography and Interventions. *J Am Soc Echocardiogr* 2015;28:910-58.
35. Thijs R, Brignole M et al. Recommendations for tilt table testing and other provocative cardiovascular autonomic tests in conditions that may cause transient loss of consciousness: Consensus statement of the European Federation of Autonomic Societies (EFAS) endorsed by the American Autonomic Society (AAS) and the European Academy of Neurology (EAN). *Autonomic Neuroscience: Basic and Clinical* 233. 2021;101792.
36. Wang J, Li H, Cao L. Diagnostic efficacy of transcranial Doppler combined with upright tilt test in vasovagal syncope. *Journal of Neurology* 2025;272:412.
37. Wahba A, Kunst G, de Somer F, Agerup Kildahl H, Milne B, Kjellberg G et al. 2024 EACTS/EACTAIC/EBCP Guidelines on cardiopulmonary bypass in adult cardiac surgery. *Interdiscip CardioVasc Thorac Surg* 2025; doi:10.1093/icvts/ivaf002.

38. Zetola VF, Lange MC, Scavasine VC et al. Latin American Consensus Statement for the Use of Contrast-Enhanced Transcranial Ultrasound as a Diagnostic Test for Detection of Right-to-Left Shunt. *Cerebrovasc Dis* 2019;48:99-108.
39. Zhang D, Jiang L, Chen YN, Pan MF. The diagnostic value of contrast-enhanced transcranial Doppler and contrast-enhanced transthoracic echocardiography for right to left shunt in patent foramen ovale: a systematic review and meta-analysis. *Front. Neurol.* 2024;15:1447964.

1. 위원회 운영

초음파를 활용한 뇌혈류 기능검사 항목의 재평가를 위해 기존 의료기술재평가위원회(19명) 및 관련 법령 개정에 따라 새로 구성된 재평가전문위원회(20명)가 총 2회 개최되었다.

*「신의료기술평가에 관한 규칙」(보건복지부령 제1098호, 일부개정, 2025.9.7. 시행) 개정으로 재평가전문위원회가 새로 구성되어 2025년 9월부터 운영됨.

1.1 2025년 제5차 의료기술재평가위원회

- 회의일시: 2025년 5월 16일
- 회의내용: 재평가 방법 및 소위원회 구성 안 심의

1.2 2026년 제1차 재평가전문위원회

1.2.1 재평가전문위원회

- 회의일시: 2026년 1월 9일
- 회의내용: 결론검토 및 최종심의

2. 소위원회

‘초음파를 활용한 뇌혈류 기능검사’ 소위원회는 의료기술재평가자문단 명단에서 무작위 과정을 통하여 선정된 각 분야 전문의 신경과 3인, 신경외과 1인, 총 4인으로 구성하였다. 소위원회 활동 현황은 다음과 같다.

2.1 제1차 소위원회

- 회의일시: 2025년 10월 2일
- 회의내용: 평가계획 및 방법 논의

2.2 제2차 소위원회

- 회의일시: 2025년 11월 20일
- 회의내용: 검토 내용 논의

2.3 제3차 소위원회

- 회의일시: 2025년 11월 27-30일(서면 검토)
- 회의내용: 결론 검토

3. 검색결과

3.1 국외 데이터베이스

3.1.1 Ovid MEDLINE® 1946 to 현재까지

(검색일: 2025.10.27.)

구분	연번	검색어	검색결과(건)	
중재	TCD	1	exp Ultrasonography, Doppler, Transcranial/ or Ultrasonography, Doppler, Transcranial.mp.	8,459
		2	transcranial doppler.mp.	10,070
		3	OR/1-2	13,158
		4	limit 3 to (guideline or practice guideline)	19
		5	관련연구	3

3.1.2 그 외 DB

(검색일: 2025. 10. 23.-24.)

검색원	검색사이트 주소	연번	검색어	검색결과 (관련건수/전체)
임상진료지침 정보센터 (KoMGI)	https://www.guideline.or.kr/	1	초음파	0/7
대한신경과학 회	https://thejcn.com/	1	transcranial doppler	0/41
대한신경초음 파학회	https://www.j-nn.org/	1	transcranial doppler	2/35
GIN	https://g-i-n.net/international-guidelines-library/	1	transcranial doppler	0/0
		2	tilt table	0/0
		3	right to left shunt	0/0
		4	vasomotor reactivity	0/0
		5	microembolic signal	0/0
Guideline Central	https://www.guidelinecentral.com/guidelines/	1	transcranial doppler	1/33 [†]
		2	"tilt table"*	1/3
		3	"right to left shunt"*	1/2 [†]
		4	vasomotor reactivity	0/19
		5	microembolic signal	1/1
		total	3	

검색원	검색사이트 주소	연번	검색어	검색결과 (관련건수/전체)
NICE (UK Guidelines)	https://www.nice.org.uk/guidance	1	transcranial doppler	0/5
		2	tilt table	0/4
		3	right to left shunt	0/10
		4	vasomotor reactivity	0/0
		5	microembolic signal	0/0
WHO Guidelines	http://www.who.int/publications/guidelines/en/	1	transcranial doppler	0/0
		2	tilt table	0/0
		3	right to left shunt	0/0
		4	vasomotor reactivity	0/0
		5	microembolic signal	0/0
ESNCH	https://esnch.org/	1	transcranial doppler	0/4
ASN	https://www.asnweb.org		로그인 필요(구독)	X
AIUM	https://www.aium.org/		로그인 필요(구독)	X
ASNM	https://asnm.org/	1	transcranial doppler	1
Trip database	https://www.tripdatabase.com/	1	transcranial doppler	3/20

ESNCH, European Society of Neurosonology and Cerebral Hemodynamics

ASN, American Society of Neuroimaging

AIUM, American Institute of Ultrasound in Medicine

ASNM, American Society of Neurophysiologic Monitoring

* 구검색 수행

† 관련문헌 중복

