

2024
대한부정맥학회

부정맥 진료지침

II KCPs



대한부정맥학회
Korean Heart Rhythm Society

■ 격려사

대한민국의 경제 문화 분화의 비약적인 발전과 함께 의학 분야도 눈부신 발전을 이루어내고 있습니다. 그 중에서도 심장 순환기학 분야의 발전은 전 인류의 소망인 장수를 책임지는 중추 역할을 하고 있습니다. 부정맥 분야는 질병과 병원으로 인식되었던 과거에서 이제는 모든 사람의 삶의 유지 뿐만 아니라 삶의 질에 밀접하게 관련 있다는 것이 대중에게도 널리 알려지고 있습니다. 부정맥 질환은 심장 돌연사 뿐만 아니라 심부전 그리고 뇌경색 발생과도 밀접하게 관련이 있어서 부정맥의 치료와 예방은 매우 중요합니다.



부정맥 분야의 발전은 부정맥 관련 기계 기술의 발전과 시술 방식의 발전에 따라 21세기에 들어서 비약적인 발전을 하였습니다. 대한민국이 당면한 고령화 인구 구조변화와 사회 인식의 변화에 따라 부정맥 분야에 대한 관심과 투자가 증가하고 있습니다. 삶의 질을 위해서는 반드시 필요한 분야로 인정을 받고 있습니다.

사회적 국가적 요구사항에 따라 대한부정맥학회에서 2024년에 부정맥 진료지침을 발간하기로 하였습니다. 진료지침 작업은 매우 힘든 과정의 작업입니다. 더구나 부정맥 전 분야를 망라하여 국내 진료지침의 초석을 다지고자 하는 회원 여러분의 열정과 노력에 감동하였습니다. 성정훈 교수(차의대)께서 위원장을 맡아서 15 분의 간사 및 63 분의 집필위원들과 함께 힘든 여정을 이끌어 주셨습니다.

2024 부정맥 진료지침 발간 파트는 아래의 내용으로 구성되어 있습니다.

- 심방세동 일반 치료 진료지침
- 심방세동 시술적 치료 진료지침
- 심방세동 NOAC 치료 진료지침
- 상심실성 빈맥 진료지침
- 서맥, Cardiac pacing 및 CRT 진료지침
- 실신 진료지침
- 심실성 부정맥 및 돌연 심장사 진료지침

대한부정맥학회의 진료지침은 2024년이 기점이 되어 국내의 진료의 질적향상 뿐만 아니라 해외에서도 인정받는 선도적인 지침으로 거듭나기를 기대합니다.

다시 한번 성정훈 위원장을 비롯해서 집필에 참여하신 모든 분들과 물심양면 지원을 아끼지 않으신 차태준 이사장님께 심심한 감사를 보냅니다.

2024년 대한부정맥학회장 **허 준**

■ 격려사



의료 지식의 급격한 양적, 질적인 발전에 따라서 임상에 임하는 의료진들이 인지하고 적용해야 하는 임상 근거들이 그 어느 시기보다도 빠르게 증가하고 있습니다. 또한 부정맥 분야의 진료는 많은 의료진들이 고민하고, 전문가에게 자주 의뢰하는 분야의 하나로 생각됩니다. 다른 의학의 많은 분야와 마찬가지로 부정맥 분야의 질환들도 외국의 진료지침을 그대로 따라서 진료하기에는 국내의 실제 임상상황과 부합되지 않을 수 있다는 우려가 있어 왔습니다.

환자가 크게 증가하고 있는 심방세동의 경우, 대한부정맥학회는 2018년 국내외의 진료지침 및 근거들을 종합하여 심방세동 치료 가이드라인을 발간하였으며, 이후로도 빠르고도 지속적으로 발전하는 새로운 근거들을 정리하여 2021년 심방세동 진료지침을 개정 발간한 바가 있습니다. 대한부정맥학회에서 새롭게 발표되거나 보완되는 진료지침에 따라서 임상 진료를 하시는 의료진이 더욱 확신을 갖고, 보다 표준화된 양질의 진료에 임할 수 있기를 기대합니다.

2024년에는 부정맥 진료지침들을 각각의 분야로 서로 다른 시기에 진료지침을 국한하여 발간하기보다는, 일선의 의료진들이 많이 고민하는 부정맥 분야의 질환들을 보다 포괄적으로 정리하여 진료지침을 발간하는 것이 보다 도움이 될 수 있으리라는 기대를 가지고 총 7 파트의 분야로 나누어 부정맥 진료의 전반적인 진료지침들을 정리하였습니다. 심방세동의 일반 치료 진료지침, 심방세동 시술적 치료 진료지침, 심방세동 NOAC 치료 진료지침, 상심실성 빈맥 진료지침, 서맥, Cardiac pacing 및 CRT 진료지침, 실신 진료지침, 심실성 부정맥 및 돌연 심장사 진료지침 등으로 나누어 각각 진료지침을 정리하여 동시에 발간하도록 하였습니다.

진료와 연구, 교육으로 바쁘신 중에도 80 여 명의 굴지의 부정맥 교수진들이 집필위원, 편집위원, 책임위원, 간사, 및 감수를 맡아 주셨으며, 그 동안 새롭게 변화하는 연구들과 임상 경험에 따른 성과를 조사하고 평가하여 본 진료지침이 발간될 수 있도록 수고를 아끼지 않으신 노력에 대하여 깊은 감사의 말씀을 드립니다. 또한 이 모든 진료지침들이 발간될 수 있도록 노력해주신 차의과대학 성정훈 진료지침위원회 위원장님께 특별한 감사를 드립니다.

2023년 대한부정맥학회장 **이명용**

■ 발간사

인구의 노령화로 인해서 부정맥질환이 증가하고 있고, 부정맥 질환의 치료는 오랜 임상경험이 있는 임상가들도 약물치료, 선택가능한 약제, 약제의 부작용, 중재적 치료의 선택시점, 중재시술 방법 등의 결정에 있어서 고민해야 할 사항 등이 많습니다. 그리고 매년 새롭게 나오는 기구들과 그것을 이용한 새로운 치료법들이 많이 있어서, 새로운 진료지침의 발간이 필요한 시점이었습니다.



부정맥분야의 진료지침은 미국, 유럽, 아시아의 각 학회에서 빠르게 개정판이 나오고 있어서, 우리나라도 우리의 실정에 맞는 쉽고, 우리나라 환자들의 치료에 도움이 되는 우리의 진료지침 발간이 절실한 상태였습니다.

대한부정맥학회는 2018 년 심방세동, 심실빈맥절제술, 실신 등에 대한 진료지침서를 발간하였고, 2021년 심방세동 진료지침, 2022년 심방세동 환자에서 비타민 K 비의존성 경구용 항응고제 (NOAC) 사용지침 등을 그동안 발간하였습니다.

2023 년 대한부정맥학회에서 기존의 진료지침위원회를 확장하고 재정비하여, 성정훈 위원장님을 비롯해 86명의 부정맥분야 전문가들이 참여하여 전체 부정맥 분야를 포함하는 진료지침을 발간하게 되었습니다.

이 진료지침이 처음에 부정맥 환자를 마주치게 되는 일차의료인에서부터 중재적 시술을 하는 중재시술 전문가들에까지 도움이 되는 지침서가 될 것을 확신합니다.

본 진료지침서의 발간을 위해서 노력해주신 진료지침위원회 교수님들의 노고에 특별한 감사를 드립니다.

대한부정맥학회 이사장 **차태준**

■ 인사말



부정맥질환은 많은 사람들에게 영향을 미치고 있으며, 이를 관리하는 것은 중요한 의료 과제입니다. 저희가 이 책자를 만들게 된 이유는 환자들과 의료진 모두에게 최신 정보와 가이드라인을 제공하여 부정맥질환을 효과적으로 관리하고 치료하는 데 도움을 주기 위함입니다.

이 책자는 부정맥 진단부터 치료까지의 과정을 상세히 다루고 있으며, 최신 연구 결과와 전문가들의 권고사항을 반영하고 있습니다. 여기 수록된 정보를 통해 환자들은 자신의 건강을 더 잘 관리할 수 있을 것이며, 의료진들도 최상의 치료를 제공하는 데 도움이 될 것입니다.

저희 편집진은 이 책자를 만들며 많은 노력과 최고의 전문성을 발휘했습니다. 이를 통해 부정맥환자 치료에 품질 높은 정보를 전달할 수 있게 되어 기쁘게 생각합니다. 더불어 아직은 부족한 점이 많지만 향후 우리나라 실정에 더욱 부합하는 부정맥진료지침 개발에 초석이 되길 기대해 봅니다.

마지막으로, 이 책자가 부정맥질환 치료에 많은 도움이 되길 바라며, 또한 이렇게 처음 겪어보는 어수선한 의료 상황에서도 묵묵히 이 모든 진료지침들이 발간될 수 있도록 노력해 주신 부정맥학회 진료지침 위원님들께 머리 숙여 감사를 드리고, 아낌없는 후원을 주신 차태준 이사장님께도 깊은 감사를 드립니다.

감사합니다.

2024 KHRS 부정맥 진료지침 위원장 **성정훈**

■ 진료지침위원회 집필진 및 대한부정맥학회 임원진

위 원 장

성정훈 차의과학대학교

간 사

김문현 연세대학교

박형섭 계명대학교

양필성 차의과학대학교

감수 위원

김남호 원광대학교

박희남 연세대학교

정보영 연세대학교

김대혁 인하대학교

오세일 서울대학교

최기준 울산대학교

김중운 연세대학교

오용석 가톨릭대학교

최의근 서울대학교

김 준 울산대학교

온영근 성균관대학교

최종일 고려대학교

남기병 울산대학교

이문형 연세대학교

한성욱 강심내과

박상원 부천세종병원

임홍의 한림대학교

황교승 아주대학교

박형욱 전남대학교

장성원 가톨릭대학교

책임 위원

김성환 가톨릭대학교

박승정 성균관대학교

오일영 서울대학교

김진배 경희대학교

박준범 이화여자대학교

윤남식 전남대학교

김태훈 연세대학교

심재민 고려대학교

이기홍 전남대학교

박경민 성균관대학교

안민수 연세대 원주의과대학

이영수 대구가톨릭대학교

편집 위원

김대훈 연세대학교

유희태 연세대학교

천광진 강원대학교

김동민 단국대학교

이정명 삼육서울병원

황유미 가톨릭대학교

김윤기 고려대학교

이지현 서울대학교

박영준 연세대 원주의과대학

조민수 울산대학교

■ 진료지침위원회 집필진 및 대한부정맥학회 임원진

집필 위원

강기운	중앙대학교	박예민	가천대학교	이성수	순천향대학교
고점석	원광대학교	박운정	경북대학교	이소령	서울대학교
곽혜빈	성균관대학교	박제욱	연세대학교	이주원	서울대학교
권창희	건국대학교	박종성	동아대학교	이찬희	영남대학교
권희진	충남대학교	박진규	한양대학교	임성일	고신대학교
김민	충북대학교	반지은	부천세종병원	임우현	서울대학교
김민수	동강병원	백용수	인하대학교	정래영	전북대학교
김민수	충남대학교	변경민	중앙대학교	진무년	이화여자대학교
김성수	조선대학교	송미경	서울대학교	차명진	울산대학교
김유리	전남대학교	신동금	한림대학교	최형오	순천향대학교
김주연	성균관대학교	신승용	고려대학교	황종민	계명대학교
김태석	가톨릭대학교	안진희	부산대학교	황진경	중앙보훈병원
노승영	고려대학교	유가인	경상대학교		
문희선	연세대학교	이대인	고려대학교		

대한부정맥학회 임원진

허준	성균관의대 (회장 2024년)	한성욱	강심내과 (홍보이사)
차태준	고신의대 (이사장)	이기홍	전남의대 (의료정보(홈페이지)이사)
오세일	서울의대 (부회장)	온영근	성균관의대 (간행이사)
오일영	서울의대 (총무이사)	최의근	서울의대 (연구이사)
박형욱	전남의대 (재무이사)	김성환	가톨릭의대 (Ablation, 보험이사)
이영수	대구가톨릭의대 (재무이사)	심재민	고려의대 (Device, 보험이사)
최종일	고려의대 (학술대회 학술이사)	김진배	경희의대 (검사, 상대가치평가, 정책이사)
박형섭	계명대의대 (Virtual Symposium 학술이사)	박상원	부천세종병원 (검사, 상대가치평가, 정책이사)
김태훈	연세의대 (Virtual Live Symposium 학술이사)	장성원	가톨릭의대 (약제, 정책이사)

김 준	울산의대 (개원의, 교육이사)	성정훈	차의대 (진료지침이사)
진은선	경희의대 (수련의 및 Fellow, 교육이사)	박예민	가천의대 (Korean JuniorRhythm)
정보영	연세의대 (국제교류이사)	최기준	울산의대 (임원추천위원회 위원장)
박승정	성균관의대 (Allied Professional)	이명용	단국의대 (부정맥중재시술전문의 자격심사위원장)
엄재선	연세의대 (소아-선천성심장병이사)	오용석	가톨릭의대 (국제봉사위원회)
남기병	울산의대 (감사)	김남호	원광의대 (윤리위원회)
황교승	아주의대 (감사)	한상진	한림의대 (급사위원회)

도움 주신 대한부정맥학회 사무국 이슬기 선생님, 김효정 선생님께 감사드립니다.

■ 총 목차

■ (II) 권 목차

- 격려사 (2024년 대한부정맥학회장 허 준) __ iii
(2023년 대한부정맥학회장 이명용) __ iv
- 발간사 (대한부정맥학회 이사장 차태준) __ v
- 인사말 (2024 KHRS 부정맥 진료지침 위원장 성정훈) __ vi
- 진료지침위원회 집필진 및 대한부정맥학회 임원진 __ vii

PART 5 서맥, Cardiac pacing 및 CRT 진료지침

1. 전문	3
2. 서론	5
3. 서맥과 전도 장애 환자의 평가	13
4. 서맥/전도 장애 환자에서 심조율	29
5. 생리적 심조율	43
6. 대체 심조율 전략 및 위치	89
7. 전문특수 상황에서의 적응증	94
8. 심장내전기장치 이식 시술 후 관리에 대한 특별 고려사항	112
9. 심조율과 심장재동기화치료의 합병증	118
10. 관리 고려사항	122
11. 심박동기 및 심장재동기화치료에서 환자중심치료 및 공동의사결정	132
12. 요약	134
REFERENCES	143
찾아보기	179

PART 6 실신 진료지침

1. 전문	183
2. 서론	185
3. 실신의 정의, 분류 및 역학	186
4. 일시적 의식 소실/실신의 초기평가와 진단	189
5. 실신 환자의 위험도 평가와 응급실에서의 관리	193
6. 실신의 진단 검사 방법	196
7. 다양한 실신의 병태 생리와 치료	204
8. 특수한 환자군에서의 실신	231
9. 결론	238
REFERENCES	239
찾아보기	250

PART 7 심실성 부정맥 및 돌연 심장사 진료지침

1. 서론	253
2. 정의	255
3. 돌연 심장사	258
4. 심실 부정맥의 급성기 처치	263
5. 임상 질환에 따른 진단과 진료	272
6. 핵심 내용	333
REFERENCES	335
찾아보기	363

- 공통 용어집 __ 365

■ 총 목차

■ (I) 권 목차

- 격려사 (2024년 대한부정맥학회장 허 준) __ iii
(2023년 대한부정맥학회장 이명용) __ iv
- 발간사 (대한부정맥학회 이사장 차태준) __ v
- 인사말 (2024 KHRS 부정맥 진료지침 위원장 성정훈) __ vi
- 진료지침위원회 집필진 및 대한부정맥학회 임원진 __ vii

PART 1 심방세동 일반 치료 진료지침

1. 전문	3
2. 서론	4
3. 심방세동의 정의 및 진단	5
4. 심방세동의 빈도와 유병률	7
5. 심방세동의 질환, 사망, 의료부담	10
6. 심방세동의 분류, 양적평가 및 진행	11
7. 심방세동 환자의 선별검사	15
8. 심방세동의 진단적 접근	19
9. 심방세동의 통합적 관리	21
10. ABC pathway	26
11. 특수 임상 상황 환자군에서 ABC pathway 치료 지침	78
12. 심방세동의 예방	103
13. 심방빈맥사건/잠복성 심방세동 (AHRE/subclinical AF)의 역학, 임상적 의미, 관리	104
14. 중요메시지	107
REFERENCES	109
찾아보기	158

PART 2 심방세동 시술적 치료 진료지침

1. 서론	161
2. 심방세동의 정의, 기전, 카테터 절제술의 근거	163
3. 심방세동의 교정 가능한 위험인자와 카테터 절제술에 대한 영향	168
4. 심방세동 카테터 절제술의 적응증	173
5. 심방세동 카테터 절제술의 전략 및 목표점	177
6. 심방세동 카테터 절제술의 기술 및 도구	195
7. 안전성을 극대화하기 위한 카테터 절제술의 기술적 측면과 항응고 요법	201
8. 심방세동 카테터 절제술 후 추적 관찰 시 고려할 점들	210
9. 심방세동 카테터 절제술의 결과 및 효과	223
10. 심방세동 카테터 절제술의 합병증	234
11. 수술 및 하이브리드 심방세동 절제술	255
12. 결론	258
REFERENCES	259
찾아보기	309

PART 3 심방세동 NOAC 치료 진료지침

1. 서론	313
2. NOAC의 적응증과 용량	314
3. NOAC을 사용하는 환자의 약제 시작 및 추적 관찰 계획	321
4. NOAC의 약동학과 약제 간 상호작용	339
5. NOAC의 혈청 농도 측정: 기술적인 접근, 적응증, 주의할 점	341
6. NOAC 복용 중 출혈의 대처	344
7. 응급 수술이 필요한 환자	351
8. 침습적 시술, 수술, 카테터 절제술이 계획되어 있는 환자	353
9. 관상동맥질환이 동반된 심방세동 환자	359
10. NOAC 치료 환자의 심장율동전환	364
11. NOAC 복용 중 급성 뇌졸중이 발생한 심방세동 환자	367
12. 특정상황에서의 NOAC	373
13. 비타민 K 길항제의 용량 조정 최적화	383
14. 결론	384
REFERENCES	385
찾아보기	400

PART 4 상심실성 빈맥 진료지침

1. 전문	403
2. 서론	404
3. 정의 및 분류	405
4. 기전	408
5. 관련 해부학적 구조	410
6. 유병률과 임상양상	415
7. 초기 평가	418
8. 빈맥의 감별 진단	420
9. 정확한 진단이 되기 전 급성기 치료	432
10. 상심실성 빈맥의 세부 유형	438
11. 선천성 심장질환을 가진 성인 환자에서의 상심실성 빈맥	480
12. 특수상황에서 상심실성 빈맥	485
13. 결론 및 요약	494
REFERENCES	495
찾아보기	519

5 PART

서맥, Cardiac pacing 및 CRT 진료지침

1. 전문	3	4.2.1.4 발작성 방실 차단	34
2. 서론	5	4.2.2 박동기 모드 및 알고리즘 선택	34
2.1 역학	5	4.3 방실 차단 외의 전도장애에서 심조율	36
2.2 질환의 자연경과	5	4.3.1 심조율의 적응증	36
2.3 심박동기 치료의 대상인 서맥의 병태생리와 분류	6	4.3.1.1 각차단 및 설명할 수 없는 실신	36
2.4 심조율의 유형과 모드	9	4.3.1.2 교대로 발생하는 각차단	36
2.4.1 심내막 심박동기	9	4.3.2 박동기 모드 및 알고리즘 선택	37
2.4.2 심외막 심박동기	10	4.4 반사성 실신에서 심조율	37
2.4.3 심장재동기화치료	10	4.4.1 심조율의 적응증	39
2.4.4 대체 조율법 (심장전도계 조율, 무전극선 심박동기)	10	4.4.2 심박동기 모드와 알고리즘 선택	40
2.4.4.1 심장전도계 조율	10	4.5 의심되는 (증명되지 않은) 서맥에 대한 심조율	40
2.4.4.2 무전극선 심박동기	10	4.5.1 재발성의 설명되지 않는 실신	41
2.4.5 조율 방식	11	4.5.2 재발성 낙상	41
2.4.6 속도 반응형 조율	11	5. 생리적 심조율	43
3. 서맥과 전도 장애 환자의 평가	13	5.1 전기적 비동기화로 인한 심근증의 역학, 병태생리, 탐지와 생리적 심조율의 이론적 근거	43
3.1 병력과 이학적 검사	13	5.2 생리적 심조율의 적응증	44
3.2 심전도	16	5.2.1 우심실 조율량이 많은 경우 (> 20~40 %) 심조율	44
3.3 비침습적 평가	16	5.2.1.1 생리적 심조율(CPP)의 중요성 및 선택	44
3.3.1 활동심전도	16	5.2.1.2 히스다발조율 vs 우심실조율	45
3.3.2 운동부하검사	17	5.2.1.3 좌각영역조율 vs 우심실조율	46
3.3.3 영상 검사	18	5.2.1.4 심장재동기화치료 vs 우심실조율	47
3.3.4 실험실 검사	21	5.2.2 우심실 조율량이 많지 않은 경우 (< 20~40 %) 심조율	48
3.3.5 유전자 검사	21	5.2.3 심장수술시 좌심실 전극선 삽입	50
3.3.6 수면 평가	23	5.3 심부전 환자에서 생리적 심조율의 적응증	52
3.3.7 기립경사 검사	24	5.3.1 좌각차단, 동리듬, QRS 150 ms 이상, NYHA I-IV의 증상이 있는 경우	52
3.4 침습적 평가	26	5.3.2 좌각차단, 동리듬, QRS 120-149 ms, NYHA II-IV의 증상이 있는 경우	54
3.4.1 이식형 감시	26	5.3.3 비좌각차단, 동리듬, QRS 150 ms 이상, NYHA II-IV의 증상이 있는 경우	55
3.4.2 심장 전기생리학 검사	26	5.3.4 비좌각차단, 동리듬, QRS 150 ms 미만, NYHA I-IV의 증상이 있는 경우	56
4. 서맥/전도 장애 환자에서 심조율	29	5.3.5 우심실 조율 부담이 많은 조율 유발성 심근병증	57
4.1 동기성 부전 환자에서 심조율	29	5.3.6 기대여명이 1년 미만인 경우	58
4.1.1 동기성 부전에서 심조율의 적응증	29	5.4 심방세동 환자에서 생리적 심조율의 적응증	59
4.1.2 박동기 모드 및 알고리즘 선택	30	5.5 시술 전 평가와 준비	62
4.2 방실 차단에서 심조율	33	5.5.1 시술 전 검사에 대한 권고사항	62
4.2.1 방실 차단에서 심조율의 적응증	33		
4.2.1.1 1도 방실 차단	33		
4.2.1.2 제1형 2도 방실 차단	33		
4.2.1.3 제2형 2도 방실 차단, 고도 방실 차단, 3도 방실 차단	34		

5.5.2 생리적 심조율 반응과 관련된 예측 요인에 대한 평가	65	7.4.4.3 전신 순환 우심실	105
5.5.3 공동 의사결정	66	7.4.4.4. 폐순환 우심실의 기능 부전과 우각차단	106
5.6 시술 술기	67	7.5 비대성 심근병증 환자에서 심조율과 심장재동기화치료	107
5.6.1 심장재동기화치료(CRT)를 위한 기타 도구 및 기술	69	7.6 회귀 질환에서 심조율과 심장재동기화치료	108
5.6.1.1 다점 조율, 다부위 조율, 및 4극성 전극선	69	7.6.1 긴 QT 증후군	108
5.6.1.2 적응형 알고리즘	70	7.6.2 신경근육 질환	109
5.6.1.3 좌심실 심외막 조율	70	7.6.3 라민 A/C 변이에 의한 확장성 심근병증	109
5.6.1.4 좌심실 심내막 조율	70	7.6.4 미토콘드리아 세포병증	110
5.6.1.5 좌심실 반흔 부위(Scar)	70	7.6.5 사르코이드증	110
5.7 생리적 심조율(CPP) 후 추적관찰 및 관리	79	7.7 임신부에서 심조율	111
5.7.1 추적관찰에 대한 권고사항	79	8. 심장내전기장치 이식 시술 후 관리에 대한 특별 고려사항	112
5.7.1.1 추적검사	80	8.1 일반적 고려사항	112
5.7.1.2 심장재동기화치료(CRT) 전문 클리닉의 중요성	82	8.2 예방적 항생제	112
5.7.2 생리적 심조율(CPP)의 최적화에 대한 권고사항	83	8.3 시술 환경 및 피부 소독	113
5.7.3 교체나 업그레이드를 고려하는 경우에 대한 권고사항	85	8.4 시술 전 항응고제/항혈소판제 조정	113
5.7.4 생리적 심조율에 대한 반응이 좋지 않을 때 문제 해결에 대한 권고사항	86	8.5 전극선 삽입 경로	114
5.7.5 전도계 조율, 심장재동기화치료, 심외막조율을 언제 고려해야 하는지에 대한 권고사항	87	8.6 전극선	115
8.7 전극선의 위치	115	8.8 심조율 발생기 삽입 부위	116
6. 대체 심조율 전략 및 위치	89	9. 심조율과 심장재동기화치료의 합병증	118
6.1 중격 조율	90	9.1 합병증 발생률	118
6.2 히스다발조율	90	9.2 전극선 관련 합병증	119
6.3 좌각영역조율	90	9.3 혈중	120
6.4 무전극선 조율	92	9.4 감염	120
7. 전문특수 상황에서의 적응증	94	9.5 삼첨판 폐쇄부전	120
7.1 급성심근경색 환자에서 심조율	94	9.6 기타 합병증	121
7.2 심장수술, 심장이식 후의 심조율	95	10. 관리 고려사항	122
7.2.1 관상동맥우회 수술과 판막 수술 후의 심조율	95	10.1 심장내전기장치를 이식한 환자의 자기공명영상	122
7.2.2 심장이식 후의 심조율	96	10.2 심박동기 환자의 방사선 치료	125
7.2.3 삼첨판막 수술 후의 심조율	96	10.3 임시 심조율	126
7.3 경피적 대동맥판막 삽입술 후의 심조율	98	10.4 심장삽입전기장치 환자의 수술 전후 관리	128
7.4 선천성 심질환에서 심조율과 심장재동기화치료	101	10.5 심장내전기장치와 스포츠 활동	129
7.4.1 동기능 부전과 서맥-빈맥 증후군	102	10.6 심조율이 더 이상 필요하지 않을 경우	129
7.4.2 선천성 방실 차단	103	10.7 심장내전기장치의 추적관찰	130
7.4.3 수술후 방실 차단	103	11. 심박동기 및 심장재동기화치료에서 환자중심치료 및 공동의사결정	132
7.4.4 심장재동기화치료	104	12. 요약	134
7.4.4.1 전신 순환 좌심실	105	REFERENCES	143
7.4.4.2 단심실	105	찾아보기	179

대한부정맥학회 [심조율 및 심장재동기화치료] 진료지침서는 기존 관련분야의 과학적 증거들을 요약 검토하고 평가한 후, 서맥 및 심부전 등으로 심조율이 필요한 환자에게 최적의 치료 및 관리 전략을 제안하여, 의료인 및 보건의료 전문가를 돕는 것을 목표로 작성되었다.

1958 년, 최초로 인체내에 삽입 가능한 심박동기 (pacemaker)가 개발되어 서맥성 부정맥 환자치료에 사용되기 시작하였다. 이후 급격한 기술발전에 힘입어, 1985 년에는 박동기 기능을 포함한 삽입형 제세동기 (implantable cardioverter-defibrillator, ICD)가 시판되어, 심실 부정맥 및 돌연 심장사 환자의 생존율을 현저히 향상시키게 되었다. 1994 년에 이르러서는, 심부전 (특히 좌각차단이 동반된 심부전) 환자의 비약물적 치료 방법으로, 양심실을 조율 (biventricular pacing, BVP)하는 심장재동기화치료 (cardiac resynchronization therapy, CRT or BVP-CRT)가 도입되었다. 2003년에는 CRT에 ICD 기능이 안전하게 포함되어 사용될 수 있음을 보여주는 MIRACLE-ICD연구가 발표되었다. 또한 COMPANION (2004년), CARE-HF (2005년)와 같은 임상연구를 통하여, 심장재동기화치료가 사망률 및 심부전관련 재입원 발생률을 유의하게 감소시킬 수 있음을 확인하게 되었다. 특히, 2013년에는 무전극선 심박동기 (leadless pacemaker)가 처음으로 환자치료에 사용되어 전극선 (lead) 관련 불편감과 합병증이 해결되기 시작하였다. 한편, 2000년대 초반부터 본격화된 히스다발조율 (His bundle pacing, HBP)과 2017년부터 시작된 좌각영역조율 (left bundle branch area pacing, LBBAP)을 이용한 심장전도계 조율 (conduction system pacing, CSP)은 보다 생리적인 심실조율을 가능하게 하여, 심조율 유발 심근병증의 치료와 예방에 큰 역할을 하게 되었다. 최근 들어, CSP와 CRT를 함께 아우르는 생리적 심조율 (cardiac physiologic pacing, CPP)개념이 대두되었다. 또한, HBP과 LBBAP 치료를 CRT에 접목시킨 HOT-CRT와 LOT-CRT로 심부전 치료 성적을 더욱 끌어올리고자 하는 노력들이 활발하게 진행되고 있다. 이 외에도 심박동기, 제세동기, 심장재동기화 기기의 진단기능이

눈부시게 발전하였다. 그리하여, 원격 감시 (remote monitoring) 기능을 통한 부정맥 및 심부전 발생의 조기 발견과 상태 변화를 감시를 보다 용이하게 할 수 있게 되었다.

이와 같은 급격한 발전으로 말미암아, 심박동기의 종류, 기능, 시술 방법, 최적화 프로 그래밍 및 추적 관리 등, 심박동기의 분야는 매우 복잡하게 변화 되었다. 따라서 이를 환자 치료와 관리에 적절하게 사용하기 위해서는, 기존의 임상 데이터에 기반한 객관적이고 과학적인 임상지침의 개발이 필요하게 되었다.

그리하여, 대한부정맥학회는 부정맥 전문의들을 주축으로 진료지침 위원회를 구성하게 되었다. 그동안 진료지침 위원회에서는 다양한 종류의 심조율 및 이러한 치료를 필요로 하는 여러 질환에 대하여, 기존에 출판된 여러 연구 자료 (진단, 치료 절차 및 위험-이익 등)들을 폭넓게 수집, 검토, 비판적 평가를 수행하였다. 기존 증거 자료를 요약하고, 특정한 치료 및 관리 옵션의 증거 수준과 권고의 강도는 미리 정의된 척도에 따라 가중치를 부여하고 등급을 매겨 제시하였다. 대부분의 연구 자료는 미국과 유럽을 비롯한 해외에서 얻어진 것이지만, 국내에서 진행된 연구 자료도 가능한 많이 반영하고자 하였다.

이해 상충으로 인한 왜곡이나 잠재적인 편향을 방지하고자 작성자 및 검토자간 여러 차례 교차 검토를 시행하였으며, 여러 단계의 외부 검토도 진행하였다. 향후, 진료지침은 대한부정맥학회지와 대한심장학회지에 투고하여 출판할 예정이며, 관련 분야의 지속적인 발전에 발맞추어 정기적인 업데이트를 진행할 예정이다. 특히, 향후 국내 연구자료가 증가하게 될수록 반영 비율을 높여, 실제 국내 환자의 치료와 관리에 보다 직접적인 증거들은 제시할 예정이다.

마지막으로, 진료지침서와 그 추천사항은 의료인과 보건의료 전문가들이 일상의 환자 진료와 치료 시에 보다 합리적이고 과학적인 의사결정을 용이하게 하도록 도움을 주고자 하는 것이지만, 개별 환자 치료의 최종적인 결정은 환자 및 보호자와 담당 전문가가 함께 논의 후 결정해야 하며 그에 최종 책임이 있음을 다시 한번 명확히 하고자 한다.

서론

2.1 역학

많은 국가에서 심박동기 삽입술의 유병률과 발생률은 잘 알려져 있지 않지만, 유럽에서는 대규모 관찰 연구와 데이터 분석을 통해 일부 추정치가 발표되었다. 유럽 내에서도 국가별로 심박동기 삽입률에 상당한 차이가 있으며, 이는 100 만 명당 25 건 미만에서부터 100 만 명당 1,000 건 이상까지 다양하다.¹⁾ 이러한 차이는 특정 국가에서 심박동기 삽입치료가 과소 혹은 과잉으로 이루어지거나, 사회 인구학적 특성 및 병리학적 상태의 변화에 기인할 수 있다. 국내 박동기 삽입률은 2021년 기준 100 만 명당 73.6 명이며, 아시아 내 다른 국가인 일본은 364 명으로 한국보다 약 5 배 높으며 중국은 63.3 명으로 한국보다 약간 낮다.²⁾ 기대 수명의 증가와 인구의 고령화로 인해 심박동기 삽입은 지속적으로 증가하고 있으며,³⁻⁹⁾ 세계적으로 심박동기 삽입을 받는 환자수는 꾸준히 증가하여 연간 약 100 만 명에 달할 것으로 추정된다.³⁾ 심장 전도 시스템의 퇴화 및 세포 간 전도의 변화는 심장 병리 또는 비 심장 질환의 징후일 수 있으며 고령 환자에서 가장 흔하게 나타난다. 따라서 대부분의 심박동기가 필요한 서맥은 노인에게서 관찰되며, 심박동기 삽입술의 80 % 이상이 65 세 이상의 환자에게 시행되고 있다.

2.2 질환의 자연경과

고도 방실 차단 (High degree atrioventricular block) 및 동결절 기능 장애 (Sinus node dysfunction)는 영구 심박동기 치료의 가장 일반적인 적응증이다. 보존적 치료 (즉, 비 심박동기 치료)를 받은 고도 방실차단 환자의 생존율은 심박동기 치료를 받은 환자에 비해 현저히 낮다.¹⁰⁾¹¹⁾ 반면 동결절 기능 장애는 경과를 예측하기 어렵고, 심박동기 치료가 예

후를 개선한다는 명확한 증거도 없다.¹²⁾¹³⁾ 그러나 심박동기 치료의 주목적은 기대 수명의 개선 뿐만 아니라 환자의 삶의 질 향상에 있으며, 다수의 연구에서 심박동기 치료를 받은 환자들의 삶의 질이 개선된 것으로 나타났다.¹⁴⁻¹⁷⁾

2.3 심박동기 치료의 대상인 서맥의 병태생리와 분류

다양한 전도 장애의 정의는 부록 표 1에 정리되어 있다. 생리적 서맥은 오랜 기간 훈련한 운동선수, 젊은 사람, 수면 중 등 특정 상황에 대한 생리적 반응으로 발생할 수 있다. 병적 서맥은 내인성 및 외인성 원인으로 분류할 수 있는데, 고령 및 노화와 관련된 퇴행성 변화는 전도 시스템의 전기 자극 시작 및 전파에 변화를 일으키는 주요 내인성 원인이다. 또한 유전적 돌연변이 역시 전도 장애와 관련이 있으며, 심방 심근병증은 상심실 빈맥, 동기능 저하 및 방실 결절의 질환을 유발할 수 있다.¹⁸⁾¹⁹⁾

부록 표 1. 동결절, 방실 접합부 및 심실내 전도 장애의 정의

동결절 (Sinus node)	- 동서맥: 동 맥박 속도 < 60 bpm. - 동정지: 2초 이상 동성 P파가 없는 경우(3초 이상의 동정지는 생리적 환경에서 매우 드물) 동정지는 동정지 또는 동 출구 차단 (sinus exit block)으로 인한 결과일 수 있음. - 빈맥-서맥 증후군 (tachycardia-bradycardia syndrome) : 심방의 빈맥성 부정맥과 서맥 (심방 및 심실 모두)이 발작적으로 번갈아가면서 발생함. 심방의 빈맥성 부정맥은 동결절의 억제와 관련이 있을 수 있음. 또한 빈맥이 동결절의 자동성 억제 및 빈맥 종료 시의 일시적인 동정지 현상과 연관됨.
방실 접합부 (Atrioventricular junction)	1도: 전도가 1:1로 이루어지며 PR 간격이 200 ms 이상 2도: 전도가 이루어지지만 1:1이 유지되지 못함. 모비츠 1형 또는 Wenkebach형: PR 간격의 점진적인 연장을 보이다 발생하는 P 파의 전도 차단 전도 차단 전후에 최소 두 개의 이상의 연속적인 전도성 P 파 (즉, 3:2 Atrioventricular block, 방실차단)이 존재하여야 PR의 변화 (연장) 여부를 확인할 수 있으며, 전도 차단 이후의 PR 간격은 항상 짧아짐. 모비츠 유형 II: PR 간격이 일정한 소견을 보이다 발생하는 P 파의 전도 차단. 전도 차단 전후에 최소 두 개의 이상의 연속적인 전도성 P 파 (즉, 3 : 2 Atrioventricular block, 방실차단)이 존재하여야 PR의 변화 유무를 확인할 수 있으며, 전도 차단 전후로 PR 간격은 항상 일정함. PP 간격이 일정함 (느려지지 않음) 2:1: 일정한 속도 P 파의 모든 두 번째 박동이 전도되지 않는 경우. 진행형 (Advanced) 또는 고도형 (High-degree) : ≥ 2 회 연속된 P 파가 심실로 전도되지 않음. 그러나 일부 심실 전도의 증거가 있는 경우. 3도: 심실 전도의 증거가 없는 경우.

심실내 전도장애
(Intraventricular
conduction
disturbance)

우각차단

완전 우각차단 (Advanced RBBB)

1. 가변 QRS 축을 가진 QRS ≥ 120 ms (inferoposterior 이나 superoanterior fascicular block 이 있는 경우 극심한 (extreme) 우측 또는 좌측 편위가 나타날 수 있음.
2. 수평면: V1 및 일반적으로 V2 에서 R 파의 slurring 이 있는 rsR; 또한 일반적으로 약간 눌러 있습니다.
V1의 ST 및 V1_V2 및 때때로 V3 의 비대칭 negative T 파. V4_V6의 qR, slurring 포함을 동반합니다.
3. 정면면: R 에서 slurring 이 있는 aVR 의 QR, I에서 negative T 파 및 qR, 일반적으로 slurring 이 있는 aVL 가 있는 aVL.

부분 우각차단 (Partial RBBB)

1. QRS 폭 < 120 ms.
2. Horizontal plane: V1의 rSr0 소견. r0 은 넓지 않고 다양한 전압을 가질 수 있음
3. Frontal plane: aVR 에서 wide 하지 않은 terminal 'r' 이, I 과 V6 에서 's' 가 확인됨

좌각차단

완전 좌각차단 (advanced LBBB)

1. QRS 폭 ≥ 120 ms.
2. 다음 유도 중 2 개 이상에서 QRS 의 중간 1/3 에 notch 또는 slurring 이 있음: V1, V2, V5, V6, I, 및 aVL - V5_V6 에서 R의 지연된 peak 가 60 ms 이상으로 연장됨.
3. 일반적으로 ST segment 는 QRS 극성과 반대이며, 특히 최소 140 ms 이상이며 빠르게 반대 극성의 비대칭 T 파가 뒤따름.
4. 수평면: V1 에서 작은 'r' 과 함께 ST 가 약간 상승하고 positive 의 비대칭 T 파가 있는 QS 또는 rS
그리고 negative 의 비대칭 T 파를 가진 V6 의 독특한 R 파. QRS 가 140 ms 미만인 경우, V6 의 T 파가 positive 일 수 있음.
5. 정면면: 종종 negative 의 비대칭 T 파, 약간의 ST depression 이 있는 I 및 aVL의 특징적인 R 파, 그리고 일반적으로 positive T 파를 가진 aVR 의 QS.
6. QRS 축은 가변적임.

부분 좌각차단 (partial LBBB)

1. QRS 폭 < 120 ms, I, aVL 및 V6 에서 single R 소견
2. V6 의 재분극은 수반되는 병리 중격 탈분극의 정도에 따라 positive 또는 flat/negative 일 수 있음.

비특이적 심실 내 전도 지연 (Non-specific intraventricular conduction delay) (성인):

QRS 폭이 110 ms를 초과하는 경우, RBBB 또는 LBBB 모양 기준이 존재하지 않음.

Superoanterior hemiblock (Left anterior fascicular block)

1. 좌측 QRS 축이 -45° 에서 -75° 사이.
2. 수평면: I 및 aVL 의 qR; II, III 및 aVF 의 rS, S3 가 S2 보다 크고, R2 가 3 보다 크며 때때로 aVR 에서 terminal r 소견
3. 정면면: V6 까지는 S, V6 의 ID T 가 aVL 의 IDT 보다 작고, aVL 의 IDT 가 ≥ 50 ms 인 경우.
4. QRS 폭 < 120 ms 이지만 isolated case 의 경우는 QRS 가 100 ms 이하일 수 있음.
5. 진행된 경우, 중간 말단 slurring 이 I 및 aVL 에 존재함.

Inferoposterior hemiblock (left posterior fascicular block)

1. QRS 축이 오른쪽으로 크게 편향됨 ($+90^{\circ}$ 에서 $+140^{\circ}$ 사이)
2. rS 는 I 및 aVL 에서, qR 은 II, III 및 aVF 에서 보임
3. QRS 폭 < 120 ms.
4. aVF 및 V6 에서 IDT > 50 ms, aVL에서 IDT < 50 ms.
5. II, III, aVF 에서 중간 말단 slurring 이 있는 경우 (부분적 우각차단이 없는 경우).

LBBB = left bundle branch block; RBBB = right bundle branch block; IDT = intrinsicoid deflection time.

서맥의 가역적 원인과 비가역적 원인을 구별하는 것이 중요하다. 서맥의 가역적 원인으로는 약물 부작용, 심근경색, 독성 노출, 감염, 수술, 전해질 장애 등이 있다. 비가역적 병리학적 원인의 경우, 증상의 유무와 심각성이 영구적인 심박동기 치료를 고려하는 데 필수적인 역할을 한다. 반면 증상과 기전이 일치하지 않는 경우에는 치료를 결정하는데 많은 고민을 필요로 한다.

일반적으로 심박동기 치료 대상자는 지속성 서맥 환자와 간헐적 [심전도 (ECG) 기록 유무에 관계없이] 서맥 환자로 구분할 수 있다. 지속성 서맥은 일반적으로 동결절 조직 또는 방실 전도 체계의 내재적 질환을 나타내는 반면, 간헐성 서맥은 그림 1에 설명된 것처럼 다양한 내인성 및 외인성 병리학적 과정의 결과일 수 있다.²⁰⁻²³⁾

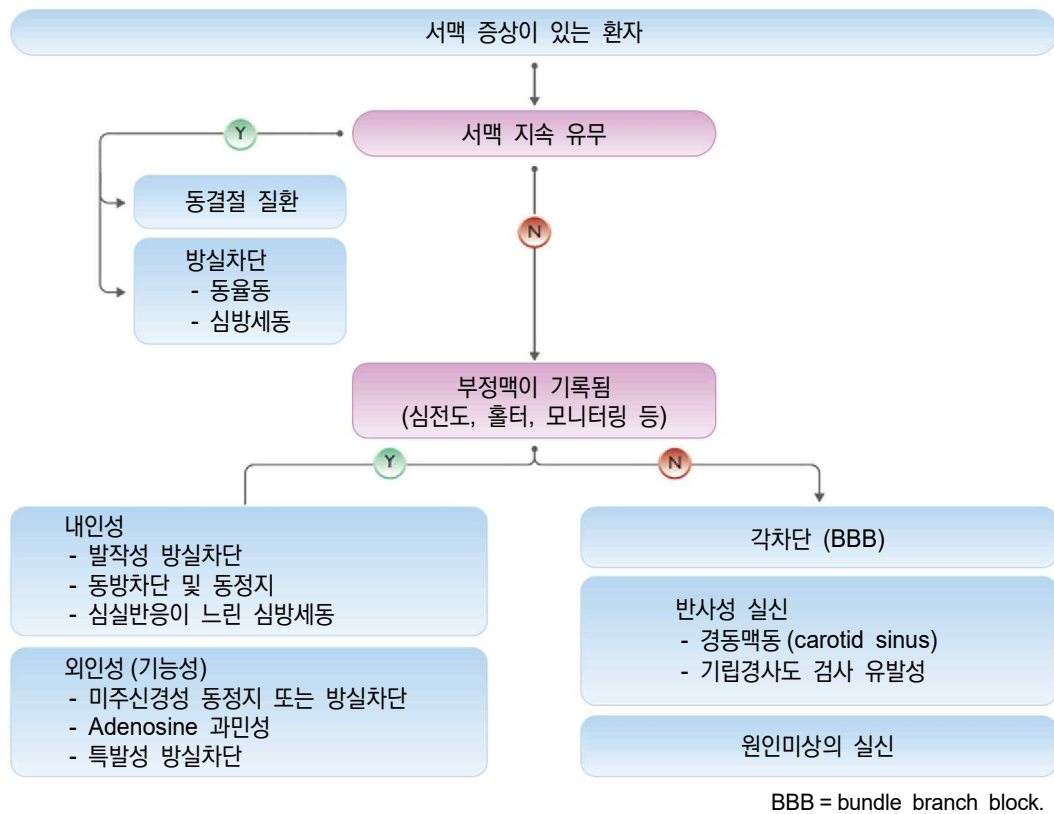


그림 1. 서맥성 부정맥의 분류

Brignole의 논문 [Eur Heart J 2018;39:1883-948]으로 부터 수정한 그림임

2.4 심조율의 유형과 모드

2.4.1 심내막 심박동기 (endocardial pacing)

심내막 전극 기반 심박동기는 일반적으로 가슴 부위에 배치되는 심조율 발생기 (generator)와 심근에 이식되어 심장 활동을 감지하고 치료적 심장 자극을 제공할 수 있는 경정맥 전극선 (Transvenous lead[s])으로 구성된다. 1960년대에 경정맥형 심박동기가 도입된 이후 주요 기술 발전으로 그 효능과 안전성이 향상되었으며, 일반적으로 경정맥형 심박동기 삽입술은 위험도가 낮은 시술로 간주된다. 하지만 장치 및 시술 관련 합병증 및 기기 오작동에서 자유로울 수는 없다. 심박동기 삽입술에 대한 실질적 팁과 시술 방법에 대한 내용은 최근 발표된 전문가 합의문서 (expert consensus statement)에 잘 정리되어 있다.²⁴⁾

2.4.2 심외막 심박동기 (epicardial pacing)

특정 임상적 상황에서는 심외 조율 시스템을 삽입해야 하는데, 일반적으로 선천적 기형으로 심장으로 연결되는 정맥이 없거나, 중격 결손과 같은 단락 (intracardiac shunt)이 있는 환자, 반복되는 심박동기 감염, 정맥 폐쇄, 그리고 개심 심장 수술과 함께 심박동기 수술을 하는 경우 등이 포함된다. 심외막 전극은 현재 다양한 (최소 침습적) 개흉술 또는 흉강경 및 로봇 기술을 사용하여 이식되고 있다.

2.4.3 심장재동기화치료 (Cardiac resynchronization therapy, CRT)

심장의 비동기화 (dyssynchrony)는 심실의 전기적 및 기계적 활성화 시간의 차이로 인해 발생하게 되는데, 그로 인해 심기능이 저하될 수 있다. 심장재동기화치료는 심박출량을 증가시키기 위해 전기기계적 심장 비동기화를 교정하는 양심실 조율을 제공하는데, 여러 임상시험에서 CRT는 좌심실 박출률 (LVEF)이 감소한 특정 환자 그룹에서 상당한 이환율 및 사망률 개선 효과가 있는 것으로 나타났다.²⁵⁻²⁹⁾ 최근에는 양심실 조율뿐 아니라 심장전도계 조율 (Conduction system pacing, CSP)을 통한 심장재동기화치료가 시도되고 있으며, 초기 데이터에서 좋은 예후를 보이며 주목받고 있으나, 장기 예후에 대한 연구가 아직 더 필요하다.³⁰⁾

2.4.4 대체 조율법 (심장전도계 조율, 무전극선 심박동기)

2.4.4.1 심장전도계 조율 (Conduction system pacing)

심장전도계 조율 (CSP)은 우심실(RV) 조율과 비교하여 심장 전도계를 조율하여 심실을 보다 생리적으로 동시에 전기적으로 활성화시키는 방법으로, 히스다발 조율 (His bundle pacing, HBP) 및 좌각영역 조율 (Left bundle branch area pacing, LBBAP)이 대표적이다. 최근에는 심장전도계 조율과 심장재동기화치료를 묶어서 생리적 심조율 (Cardiac physiologic pacing, CPP)라고도 부른다.

2.4.4.2 무전극선 심박동기 (Leadless pacing)

소형화된 심장 내 무전극선 심박동기가 최근 도입되었는데, 이러한 장치는 대퇴 정맥을 통해 경피적으로 삽입되고 맞춤형 카테터 기반 전달 시스템을 사용하여 우심실 벽에 직접 이식된다. 1세대 무전극선 심박동기는 효과적인 단심실형 조율 치료 (VVI)를 제공하는 것

으로 보고되고 있다.³¹⁻³³⁾ 그러나 배터리 고갈 시 무전극선 심박동기의 회수에 대한 잠재적 어려움은 한계로 인식되고 있다. 또한 아직 무전극선 심박동기와 경정맥형 심박동기의 임상 결과를 비교한 무작위 대조 연구는 없다. 최근에는 양방형 (Dual chamber) 무전극선 심박동기에 대한 초기 타당성 연구가 발표되었고 향후 사용 확대가 기대되고 있다.³⁴⁾

2.4.5 조율 방식 (Pacing modes)

심박동기 치료의 기술 발전으로 인해 다양한 조율 방식이 등장하였다. 심박동기는 심장의 고유한 전기 활동을 감지하여 심장 박동수와 심실 박동 순서를 복원할 수 있다. 단일 전극선 심방 감지/조율, 단일 전극선 심실 감지/조율, 우심실 (RV)의 조율과 심방과 심실을 모두 감지하는 단일 전극선, 우심방 (RA)과 우심실을 감지하고 조율하는 이중 전극선 시스템 등 다양한 방식으로 서맥을 치료할 수 있다.

일반적인 조율 방식은 부록 표 2에 잘 정리되어 있다. 전도 장애가 있는 경우 최적의 조율 방식을 선택하는 것은 기저 질환, 심박동기 치료가 기저 질환에 미치는 영향, 선택한 조율 양식의 잠재적 유해 효과에 따라 결정된다.

부록 표 2. 조율 방식

방식	박동기 기능
VOO/DOO	고정된 심박수로 단일심실 또는 심방-심실 이중조율
VVI (R)	단일심실 조율 및 감지 본인 전도에 의해 억제
AAI (R)	단일심방 조율 및 감지 본인 전도에 의해 억제
DDD (R)	심방-심실 이중조율 및 감지 본인 전도에 의해 억제
VDD (R)	단일심실 조율과 심방 심실 감지 본인 전도에 의해 억제
VVIRV/DDDRV	VVI(R) or DDD(R) 박동기 기능을 가지며 여러 부위 심실 조율 및 감지 (i.e. 심장재동기화치료이거나 한 심실에서 1곳 이상 조율)

2.4.6 속도 반응형 조율 (Rate-responsive pacing)

동결절은 다양한 운동 및 부하 (예: 신체 운동, 감정, 자세 변화, 발열)에 의한 신진대사 요구에 비례하여 심박수를 조절하게 된다. 속도 반응형 조율 체계는 신체 움직임/가속도,

미세 환기, 심장 내 임피던스 또는 기타 신체적/정신적 스트레스 지표 등을 감지하여 정서적 또는 신체적 활동 중에 적절한 보상 심박수를 생성하려고 노력하게 되므로, 특히나 심박수 변동부전 (chronotropic incompetence) 의 경우에 적절한 조율 방법이다.⁵¹⁻⁵⁷⁾ 이중 감지 속도 반응형 조율 (예: 가속도계 감지 및 호흡량 감지)도 일부 환자에서 사용될 수 있다.⁵⁸⁾ 일반적으로 사용되는 속도 반응형 조율법의 센서에 대한 간략한 개요는 부록 표 3에 정리되어 있다.

부록 표 3. 속도 반응형 조율 센서들의 종류

센서의 기능	기전	장점	단점
활동 감지	가속도계 (accelerometer)	반응속도가 빠름 모든 기기에 가능	• 대사요구량 반영 불가능 • 정지자세에서 작동불가
호흡량 감지	박동기 표면과 전극선 간의 impedance 측정	대사요구량과 비례도 높음 정지자세에서 작동	• 자세 및 호흡패턴과 운동의 종류에 영향 받음 • 무산소 운동에서 적절한 작동 불가 • 인공호흡치료 환자, 폐질환 환자, 소아환자에서는 사용 불가능
심근수축 감지	우심실전극선을 통한 우심실 impedance 측정	대사요구량에 비례도 적절함 정지자세에서 작동	• 심근조직의 특성에 영향을 받음 • 심실전극선이 필요

서맥과 전도 장애 환자의 평가

3.1 병력과 이학적 검사

서맥과 전도 장애가 의심되거나 증상이 확인된 환자에게 세심하게 병력을 청취하고 진찰하는 것이 중요하다. 특히, 최근 진료지침에서는 초기 평가부터 심장 영상학적 평가를 통해서 구조적 심장 질환 동반 여부를 판별하는 것을 강조하고 있다.³⁵⁾³⁶⁾ (그림 2)

또한, 가족력 여부, 심혈관 질환 발생 위험도 및 심혈관 질환 동반 유무가 서맥을 발생시킬 수도 있으므로 세심한 병력 청취 또한 중요하다. 특히, 병력 청취 동안 서맥과 전도 장애를 시사하는 증상의 빈도, 중증도 및 지속 시간 등을 확인하는 것이 치료 시기를 결정함에 있어서도 중요하다. 추가적으로 신체적 활동, 정서적인 긴장, 자세 변화, 약물 치료 (표 1) 및 전형적인 유발 요인 (소변, 대변, 기침, 오랫동안 서있기 및 면도) 등이 발생하는 동안 맥박수를 확인하여 서맥과 전도 장애와의 연관성을 확인해야 한다.³⁷⁾³⁸⁾ 진행성 전도 장애가 젊은 환자에게 발생한 경우에는 심근병증 유무 및 가족력을 확인하는 것이 중요할 수 있다. 구조적 심질환 혹은 전신 질환에서 발생한 서맥과 전도 장애는 증상과 질환의 연관성을 확인하는 것이 중요하다. (표 1)

서맥과 전도 장애로 인한 증상은 청진이나 심전도 검사를 통해 반드시 확인해야 하며 심실 조기 박동과 같은 다른 부정맥들과 구별해야 한다. 자율 신경 조절 장애가 있는 경우, 환자가 일어설 때 맥박과 혈압의 변화를 관찰함으로써 일차적인 서맥과 전도 장애 질환을 구분할 수 있다. 40 세 이상의 환자에서 짝 끼는 옷깃, 면도, 혹은 고개 돌림으로 인해 발생하는 전실신 (presyncope)이나 실신 증상이 있는 경우, 경동맥동 증후군 (carotid sinus syndrome)을 의심할 수 있다.³⁹⁾⁴⁰⁾ 이 경우, 경동맥동 마시지 검사가 도움이 될 수 있으며, 경동맥동 증후군의 진단을 위해서는 이 검사를 통해 증상이 자발적으로 재발하는 것을 확인해야 한다. 이는 반사 신경에 의한 자발적 실신으로 간주된다.⁴¹⁾⁴²⁾

표 1. 서맥과 전도 장애를 일으킬 수 있는 약물

	동서맥	방실 차단
Beta-blockers	+	+
항고혈압 약물		
Non-dihydropyridine calcium channel blockers	+	+
Methyldopa	+	-
Clonidine	+	-
항부정맥 약물		
Amiodarone	+	+
Dronedarone	+	+
Sotalol	+	+
Flecainide	+	+
Propafenone	+	+
Procainamide	-	+
Disopyramide	+	+
Adenosine	+	+
Digoxin	+	+
Ivabradine	+	-
정신/신경계 약물 (Psychoactive and neuroactive drugs)		
Donepezil	+	+
Lithium	+	+
Opioid analgesics	+	-
Phenothiazine	+	+
Phenytoin	+	+
Selective serotonin reuptake inhibitors	-	+
Tricyclic antidepressants	-	+
Carbamazepine	+	+
기타		
Muscle relaxants	+	-
Cannabis	+	-
Propofol	+	-
Ticagrelor	+	+
High-dose corticosteroids	+	-
Chloroquine	-	+
H ₂ antagonists	+	+
Proton pump inhibitors	+	-

	동서맥	방실 차단
항암제		
Arsenic trioxide	+	+
Bortezomib	+	+
Capecitabine	+	-
Cisplatin	+	-
Cyclophosphamide	+	+
Doxorubicin	+	-
Epirubicin	+	-
5-fluorouracil	+	+
Ifosfamide	+	-
Interleukin-2	+	-
Methotrexate	+	-
Mitoxantrone	+	+
Paclitaxel	+	-
Rituximab	+	+
Thalidomide	+	+
Anthracycline	-	+
Taxane	-	+

서맥/전도 장애가 의심되는 증상 있는 환자의 초기 평가

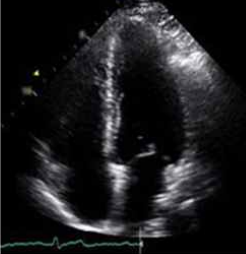
증상 및 병력 청취	자가 진찰 혹은 와치	진찰 및 심전도 확인	심장 영상학적 평가
 심혈관 위험도 가족력 약물 복용력			

그림 2. 서맥/전도 장애가 의심되는 증상 있는 환자의 초기평가

3.2 심전도

병력 청취 및 진찰과 함께 서맥과 전도 장애가 의심되거나 확인된 환자의 경우 심전도 검사는 1차적 평가에서 필수적이다. 증상이 나타날 때 시행한 12 유도심전도 또는 리듬 기록지는 서맥과 전도장애 질환을 확인하는데 필수적이다. 12 유도 심전도는 리듬 변화, 맥박수, 특징 및 중증도를 평가하는데 매우 유용하다. 추가적으로, 심전도는 좌심실 비대, Q 파, QRS 폭이나 모양, 그리고 QT 간격 등을 통해서 구조적 심질환 또는 전신적 질환에 대한 정보를 제공하고, 증상이 있는 환자들에서 향후 발생할 수 있는 부작용이나 위험 요소를 예측하는데 도움을 준다.⁴³⁻⁴⁵⁾

3.3 비침습적 평가

3.3.1 활동심전도

증상 발생시 심박수 감수는 주로 전도계 질환과 관련이 있다. 이 경우 증상과 심장 리듬 이상 간의 연관성을 확인하기 위해서는 장기간 활동심전도 (ambulatory ECG) 감시가 필요하다. 이러한 방법은 전도계의 일차적 질환, 미주신경계나 신경심장계, 또는 반사성 기전에 의한 방실차단과 같은 방실전도장애를 감지할 수 있다.⁴⁶⁾⁴⁷⁾ 활동심전도 감시는 다양한 방법이 있다.⁴⁸⁾ (표 2) 이들 방법의 선택은 증상의 특징과 발생 빈도에 따라 달라진다.⁴⁹⁾ (표 3)

표 2. 활동심전도 감시의 종류

방법	정의	적응증
홀터 심전도	일상 활동 중 지속적으로 12유도 심전도 중 3 가지 전극을 기록	• 증상의 빈도가 24-72 시간 이내에 기록될 만큼 충분한 경우
사건발생 기록기	홀터 심전도 방식 중 하나로 증상 발생에 의해 사건발생 기록이 활성화된 후 일정한 기간에 선택된 부분만 기록	• 간헐적으로 발생한 부정맥을 기록 • 기능 저하 증상이 있는 환자에서 제한적으로 사용
외부형 사건기록기	- 환자에 의한 혹은 자동적으로 활성화된 사건을 지정된 기간 동안 단일 혹은 최대 3 가지 전극 심전도로 기록 - 감시 기간 동안 환자는 지속적으로 사건 기록기를 착용해야 함	환자의 증상 발생 빈도가 24 주 내에 있는 경우에 유용

방법	정의	적응증
패치형 심전도 감시	• 선이나 와이어가 없으며, 흉벽 혹은 흉골에 부착되며, 밀접하게 위치한 전극에서 심전도를 기록 • 14 일 이내 장기간 기록 • 환자 혹은 자동 활성화되며, 활성화 이전, 중간, 그리고 이후의 기록을 제공	몇 주마다 발생하는 부정맥 감지에 유용
스마트폰 애플리케이션	• 상업적으로 이용한 스마트폰 기반 체계 • 기계에 따라 환자의 증상 발생 시 맥박 기록지를 기록	• 장기간 감시에 유용 • 환자의 기계 다루는 능력에 의존
스마트워치	• 상업적으로 이용한 스마트워치 기반 체계 • 환자 증상 발생 시 맥박 기록지를 기록	• 심방세동 감시에 유용 • 환자의 기계 다루는 능력에 의존
활동 원격측정 감시	연속적인 심전도 혹은 24 시간 사건기록 저장을 무선 및 실시간으로 서비스센터로 전송 (일반적으로 부정맥이 감지되면 의사에게 전달)	즉각적인 부정맥 사건의 등록 혹은 전용 서비스센터에서 관리가 필요한 경우 유용

표 3. 증상의 빈도에 따른 활동 심전도 감시 방법의 선택

증상의 빈도	
매일	24 시간 홀터 심전도/병원내 활동 원격측정 감시
매 24-72시간	24-48-72 시간 홀터 심전도
매주	7 일 홀터 심전도/외부형 사건기록기/외부형 패치형 심전도 감시
매월	외부형 사건기록기/외부형 패치형 심전도 감시/휴대용 심전도 기록기 (스마트폰 애플리케이션 혹은 스마트워치)
월 1회 미만	삽입형 사건기록기

활동심전도 감시 권고안

권고안	권고등급	근거수준
활동심전도 감시는 서맥이 의심되는 경우 환자의 증상과의 연관성을 확인하기 위해 권장된다.	I	A

3.3.2 운동부하검사

운동부하검사는 운동 중이나 운동 직후 서맥이 의심되는 환자에게 유용할 수 있다. 운동 중 서맥이 발생할 경우 일반적으로 심장 원인으로 인한 것이며, 운동 후에 서맥이 발생하는 경우는 대개 반사성 반응에 의한 것이다.

운동부하검사는 신체 활동 시 대사 요구량이 증가할 때 적절한 심박수 증가가 이루어지지 않는 심박수변동 부전 환자의 진단에 사용될 수 있다.⁴⁹⁾⁵⁰⁾ 심박수변동 부전의 보편적인 정의는 예상되는 심박수 예비력의 80 %에 도달하지 못하는 것이다. 심박수 예비력은 연령 예측 최대 심박수 (200-연령)와 안정시 심박수의 차이로 계산된다. 그러나 일부 약물 치료나 동반질환 역시 운동 불능을 유발할 수 있으므로 운동부하검사를 통한 심박수변동 부전의 진단이 어려울 수 있다.

운동 관련 증상을 가진 환자들 중에서는 방실차단이 기저 원인이 될 수 있다. 빈맥 관련 운동-유발 2도 및 완전 방실차단은 방실차단의 부위가 방실결절 원위부에 위치하며 이는 영구적인 방실차단으로 진행이 예측되는 소견이다.⁵¹⁻⁵³⁾ 이러한 환자들은 대체로 안정 상태의 심전도에서 심실전도 이상을 보이지만, 일부의 경우에는 정상적인 심전도를 보이기도 한다.⁵⁴⁾ 운동부하검사는 전도계 질환의 위치가 불확실한 경우에 이를 확인하는데 도움이 될 수 있다.

드물게, 운동으로 유발된 전도 이상은 심근허혈 또는 관상동맥경련으로 인한 것이며, 운동부하검사로 증상을 재현할 수 있다.⁵⁵⁾⁵⁶⁾

운동과 관련된 증상이 없는 환자에게는 운동부하검사를 일괄적으로 권장하지는 않으나, 일부 환자에서는 유용할 수 있으며, 전도장애 부위가 명확하지 않은 경우 방실결절과 방실결절 하부의 히스속 이하 전도시스템 장애를 구분하기 위해 도움이 될 수 있다.

운동부하 검사 권고안

권고안	권고등급	근거수준
운동 중 또는 운동 직후 서맥 의심 증상이 있는 환자에게 운동부하검사가 권장된다.	I	C
심박수변동 부전이 의심되는 환자에서 운동부하검사를 고려해야 한다.	IIa	B
심실내 전도장애 혹은 방실결절 차단 부위가 명확하지 않은 경우, 방실결절 하부 부위 차단 여부를 확인하기 위해 운동부하검사를 고려할 수 있다.	IIb	C

3.3.3 영상 검사

서맥 증상이 의심되거나 확인된 경우, 심장의 구조적 이상 여부를 평가하기 위한 심장 영상 검사가 권장되며, 좌심실의 수축 기능을 평가하고, 전도 장애의 잠재적이며 가역적인 원인을 진단하는 데 중요하다. (표 4)

표 4. 서맥의 내인적 및 외인적 원인

	동성 서맥 혹은 동기능 장애	방실접합부 장애
내인적		
특발성 (노화, 변성)	+	+
경색/허혈	+	+
심근병증	+	+
유전적 질환	+	+
침습성 질환		
사르코이드증 (Sarcoidosis)	+	+
아밀로이드증 (Amyloidosis)	+	+
혈색소증	+	+
콜라겐 혈관 질환		
류마티스 관절염	+	+
경화성 피부염	+	+
전신 홍반성 루푸스	+	+
저장 질환 (Storage diseases)		
신경근육 질환		
감염성 질환		
심내막염 (판막주위 농양)	-	+
샤가스병 (Chagas disease)	+	+
심근염	-	+
라임병 (Lyme disease)	-	+
디프테리아	-	+
톡소포자충증	-	+
선천성 심질환	+	+
심장 수술		
관상동맥우회술	+	+
판막 수술 (경피적 대동맥 판막 치환술 포함)	+	+
Maze 수술	+	-
심장이식	+	+
방사선 치료	+	+
의도적 혹은 특발성 방실차단	-	+
동빈맥 절제술	+	-

	동성 서맥 혹은 동기능 장애	방실접합부 장애
외인적		
육체 훈련 (스포츠)	+	+
미주신경 반사	+	+
약물 효과	+	+
특발성 발작성 방실차단	-	+
전해질 장애		
저칼륨혈증	+	+
고칼륨혈증	+	+
고칼슘혈증	+	+
고마그네슘혈증	+	+
대사 장애		
갑상선기능 저하증	+	+
식욕부진증	+	+
저산소증	+	+
산증	+	+
저체온증	+	+
신경학적 질환		
두개내압 증가	+	+
중추신경계 종양	+	+
측두엽 뇌전증	+	+
수면무호흡증	+	+

위의 요인들을 평가하기 위해 가장 흔히 사용되는 영상 검사는 심초음파 검사이다. 심초음파 검사는 혈액학적으로 불안정한 상황에서도 시행될 수 있다. 관상동맥 질환이 의심되는 환자의 경우 관상동맥 전산화단층촬영 (CT), 관상동맥조영술, 또는 부하 영상 검사가 권장된다.⁵⁷⁾ 심장 자기공명영상 (CMR) 및 핵의학 영상 검사는 조직의 특성 (염증, 섬유화/반흔)에 대한 정보를 제공하며, 젊은 환자에서 전도 이상과 관련된 특정 원인이 의심될 때 심박동기 삽입 전에 반드시 고려되어야 한다. 가돌리늄 후기 조영증강 (Late gadolinium contrast enhanced, LGE) 및 T2 심장자기공명영상 기술은 전도장애의 특정 원인 (예: 사르코이드증과 심근염)을 진단하는데 도움이 된다. LGE 심장 자기공명영상 검사는 부정맥 사건을 경험한 환자들의 치료 결정에 도움이 된다. 넓은 LGE 영역 (반흔/섬유화)의 존재는 심실 부정맥의 위험을 증가시키며, 이는 삽입형 제세동기(ICD)의 필요성을 평가하는 데에 사용될 수 있다.⁵⁸⁻⁶⁰⁾ T2 심장 자기공명영상 sequence는 일시적인

전도장애의 원인 중 하나인 심근 염증 (부종과 과도한 혈류)을 감지하는 데 적합하고 영구적인 심박동기 삽입 여부를 판단하는데 도움이 될 수 있다.⁶¹⁾ 양전자 방출 단층 촬영 (Position emission tomography: PET)은 심장 자기공명 또는 전산화단층촬영과 결합하여 침습성 심근병증 (예: 사르코이드증)의 염증 활성 상태를 진단하는 데 도움이 된다.⁶²⁻⁶⁴⁾

영상 검사 권고안

권고안	권고등급	근거수준
증상을 동반한 서맥이 확인되거나 의심되는 경우 구조적 심장 질환의 존재 평가, 좌심실 수축 기능 평가, 그리고 전도장애의 잠재적 원인을 진단하는데 심장 영상 검사가 권장된다.	I	C
60 세 미만 환자에서 전도장애로 인해 심박동기 삽입이 필요한 경우 특정 심근 병태 생리 (사르코이드증 등)를 평가하기 위해 추가적인 심장영상 검사 (심장 자기공명영상, 전산화단층촬영, 혹은 양전자 방출 단층촬영)를 고려한다.	IIa	C

3.3.4 실험실 검사

심박동기 삽입을 위한 시술 전 계획의 일부로서, 전체 혈구 수, 프로트롬빈시간, 부분 혈장응고 시간, 신기능 및 전해질 측정을 포함한 실험실 검사가 필요하다. 서맥 또는 방실 차단은 다른 의학적 상태의 결과로 발생할 수 있다. (표 4) 이러한 이차 반응이 의심될 때, 실험실 검사는 갑상선 기능 이상, 라임 병의 항체 검사, 심내막염, 혈중 칼륨 및 칼슘 농도, 디지탈리스 (digoxin) 농도 등을 평가한다.⁶⁴⁻⁶⁹⁾

실험실 검사 권고안

권고안	권고등급	근거수준
심박동기 삽입 전, 서맥의 가역적 원인에 대한 의심이 있는 환자에게는 특정 실험실 검사가 권장된다. (예: 갑상선 기능, 라임 역가, 디지탈리스 혈중 농도, 혈중 칼륨, 칼슘 및 pH)	I	C

3.3.5 유전자 검사

대부분의 심장 전도장애는 노화나 기저 구조적 심질환에 의해 발생하는 심장 전도계의 구조적 변화로 인해 발생한다. 심장 전도장애와 관련된 유전성 심질환을 일으키는 유전자들이 확인되었다.³⁸⁾⁷⁰⁾⁷¹⁾ 이러한 유전적 변이는 독립적인 심장 전도 장애, 심근병증, 선천성 심장 이상 또는 심장 외적 질환과 관련된 다양한 이상들과 연관이 있다. 대부분의 유전적으로 매개된 심장 전도 장애는 상염색체 우성 유전방식을 따른다. (표 5)³⁸⁾⁷⁰⁾

표 5. 서맥의 유전적 요인

유전자 이름	유전방식	심방 표현형	전도질환	심실 표현형	추가 표현형
이온 통로					
HCN4	상염색체 우성	동성 서맥		LVNC, 브루가다 증후군	
SCN5A	상염색체 우성/ 상염색체 열성	동방차단, 심방세동, 심방정지	진행성 심장전도계 질환, 방실차단	긴 QT 증후군 3형, 브루가다 증후군, 확장성 심근병증	
SCN10A	상염색체 우성	심방세동?		브루가다 증후군?	
SCN1B	상염색체 우성		각차단	브루가다 증후군	
KCNJ2	상염색체 우성			긴 QT 증후군 7형(ATS), 짧은 QT 증후군, 브루가다 증후군	주기성 마비, 이형적 특징
CACNA1D	상염색체 우성	동성 서맥			선천성 난청
KCNK17	상염색체 우성		진행성 심장전도계 질환, 방실차단, 각차단		
TRPM4	상염색체 우성		진행성 심장전도계 질환, 방실차단, 각차단		
POPDC1	상염색체 열성		방실차단		사지근 이영양증
POPDC2[99]	상염색체 열성		방실차단		
근형질 세망의 칼슘 처리 단백질					
RYR2	상염색체 우성	동성 서맥		카테콜라민성 다형 심실빈맥, 부정맥성 우심실 형성이상증	
CASQ2	상염색체 열성	동성 서맥		카테콜라민성 다형 심실빈맥	
Gap junction 채널					
GJA5	상염색체 우성		진행성 심장전도계 질환, 방실차단, 각차단		
심장 호르몬					
NPPA	상염색체 우성	심방정지, 양심방확장			
전사 인자					
TBX5	상염색체 우성	심방중격결손, 심방세동	방실차단	심실중격결손	손 기형 (심장-손증후군)
핵막 성분					
LMNA	상염색체 우성	동성 서맥	진행성 심장전도계 질환, 방실차단	확장성 심근병증	근이영양증 및 Hutchinson-Gilford progeria syndrome을 포함한 laminopathies
Membrane adaptor protein					
ANK2	상염색체 우성	동성 서맥	진행성 심장전도계 질환	긴 QT 증후군 4형	
근질 단백질					
MYH6	상염색체 우성	동성 서맥, 심방세동, 심방중격결손		비후성 심근병증, 확장성 심근병증	
MYH6		동성 서맥, 심방세동		비후성 심근병증, 확장성 심근병증	

ATS = Andersen-Tawil syndrome; LVNC = left ventricular non-compaction

진행성 심장전도계 질환 (progressive cardiac conduction disease: PCCD)은 구조적으로 정상 심장을 가진 50 세 미만에서 설명되지 않는 전도 이상이 있는 경우 진단될 수 있으며, 특히 PCCD 가족력이 있는 경우에 해당된다.⁷²⁾ PCCD 와 관련된 대표적인 유전자로는 단독 형태의 경우 SCN5A 및 TRPM4 가 있으며, 심부전과 관련된 PCCD 의 경우에는 LMNA 가 있다.

PCCD의 진단은 환자의 병력, 가족력 및 12 유도 심전도를 포함한 정보를 바탕으로 한다. 선천성 심질환 그리고/혹은 심근병증의 가능성이 있는 경우에는 심장 영상 검사를 시행해야 한다. 젊은 나이에 발생하는 PCCD, 구조적 심질환과 독립적으로 또는 동반되어 나타나는 경우, 특히 전도장애 및 심박동기 삽입 또는 급성 사망의 가족력이 있는 경우에는 PCCD 유전자 검사를 고려해야 한다.⁷²⁾

PCCD 환자에서 원인 유전자 돌연변이가 확인된 경우 가족 구성원과 친척들에 대한 유전자 돌연변이 검사를 고려해야 한다. 무증상 어린이의 경우 심장 전도 질환의 연령 의존적 특성과 불완전한 침투로 인해 이러한 검사는 연기될 수 있다.³⁸⁾ 그러나 확인된 돌연변이의 위험에 따라 개별적으로 평가되어야 한다. PCCD 관련 돌연변이가 확인되었으나 무증상인 가족 구성원은 심장 전도 질환 관련 증상의 발생, 심장 전도장애의 악화 및 심부전 시작에 대해 정기적인 추적 관찰을 받아야 한다.

유전자 검사 권고안

권고안	권고등급	근거수준
진행성 심장 전도 질환이 조기에 발병한 (< 50 세) 환자의 경우 유전자 검사를 고려한다.	Ila	C
처음으로 확인된 환자에서 심장 전도 질환의 임상 표현형을 설명하는 병인성 유전변이가 확인된 후 가족 구성에 대한 유전자 검사를 고려한다.	Ila	C

3.3.6 수면 평가

야간에 발생하는 서맥은 일반인에서도 흔히 나타난다. 대부분의 경우 이러한 현상은 생리적 현상이며, 미주신경계에 의해 무증상적으로 발생한다. 따라서 이러한 상황에서는 대부분 치료나 검사가 필요하지 않을 수 있다.⁷³⁻⁷⁵⁾

폐쇄성 수면무호흡증 환자들에서 무호흡 기간 중에 수면 관련 서맥 (동기능과 전도계 관련)의 유병률이 높다. 폐쇄성 수면무호흡증으로 인한 저산소혈증은 미주 신경을 항진시키고 서맥성 부정맥을 유발시킨다.⁷⁶⁾⁷⁷⁾ 수면 관련 서맥 (보통 연장된 동정지)의 또 다른 드문 기전에는 무호흡과 관련 없는, 수면 중 빠른 안구 운동 수면 (rapid eye movement

sleep, REM sleep) 관련 서맥이 있으며 수면다원검사로 진단할 수 있다. 문헌에서 언급된 대부분의 사례는 심박동기 치료를 받았으나, 이에 대한 명확한 근거는 부족하며 이러한 환자들을 어떻게 치료해야 하는지에 대한 일치된 의견이 매우 적다.⁷⁸⁾ 연속 양압 호흡기압 (CPAP) 치료를 통해 폐쇄성 수면무호흡증 관련 증상을 완화시키고 심혈관 결과를 개선할 수 있다. 적절한 치료는 서맥 발생을 72~89 % 감소시키고, 장기간 추적 관찰했을 때 증상을 동반한 서맥이 발생할 가능성이 낮았다. 따라서 무증상의 야간 발생 서맥이나 심장 전도 질환을 가진 환자들은 폐쇄성 수면무호흡증에 대한 평가를 받아야 한다. 만약 폐쇄성 수면무호흡증이 진단된다면, 연속 양압 호흡기압 치료와 체중 감량을 통해 수면 중 발생하는 서맥 개선 효과를 가져올 수 있고, 영구적인 심박동기 삽입을 피할 수 있다. 폐쇄성 수면무호흡증을 진단받았거나 의심이 되는 환자에서 증상을 동반한 서맥이 수면과 관련이 없는 경우에는 서맥과 관련된 위험과 심박동기 삽입을 통한 이점을 신중하게 평가해야 한다.

수면 평가 권고안

권고안	권고등급	근거수준
폐쇄성 수면무호흡증 증상이 있는 환자에서 수면 중 심한 서맥 혹은 진행된 방실차단이 있다면 폐쇄성 수면무호흡증 진단 검사가 권장된다.	I	C

3.3.7 기립경사 검사 (Tilt testing)

초기 평가에서 반사성 실신이 의심되지만 확진되지 않은 경우 기립경사검사를 고려한다.³⁵⁾⁷⁹⁾ 기립경사검사의 목표는 반사성 실신의 특징적 패턴과 증상을 재현하는 것이다.

기립경사대 검사의 방법은 다음과 같이 진행하는 것을 권장한다.³⁵⁾

- 환자는 검사 전 2-4 시간 동안 금식해야 한다.
- 경사대를 기울이기 전, 정맥주사가 없는 경우 5분 이상, 정맥 주사가 있는 경우에는 20분 이상, 바로누운자세로 있어야 한다.
- 기울기 각도는 60 도에서 70 도 사이여야 한다.
- 수동 기울기 단계는 최소 20 분 이상에서 최대 45 분까지 지속되어야 한다.
- 수동 단계에서 음성 반응이 나오면 약물 유도를 위해 설하 니트로글리세린 (sublingual nitroglycerin) 또는 정맥 이소프로테레놀 (intravenous isoproterenol)을 사용할 수 있다. 약물 단계의 지속 시간은 15-20 분이다.
- 니트로글리세린 검사의 경우 고정 용량인 300-400 microgram을 바른 자세 상태에서

혀 아래로 투여한다.

- 정맥 이소프로테레놀 검사의 경우 분당 1 mg 투여 속도로 시작해서 분당 3 mg 까지 증량시켜 기저치보다 심박수가 20-25 % 증가하도록 한다.
- 검사는 의식이 완전히 소실되거나 검사 절차가 완료될 때까지 진행한다.
- 기립경사대는 하나의 특별한 사항이 요구된다. 즉, 수평으로 되돌리는 시간은 15 초 미만으로 짧아야 한다. 그렇지 않다면 급격하게 진행된 무수축 시간이 길어질 수 있다.

정상 기립경사검사 결과의 경우는 다음과 같다. 혈압이 변화하지 않거나 10 % 이하로 약간 증가하는 경우 환자가 첫 자세로 기울어질 때까지 심박수는 10 % 미만으로 증가한다.

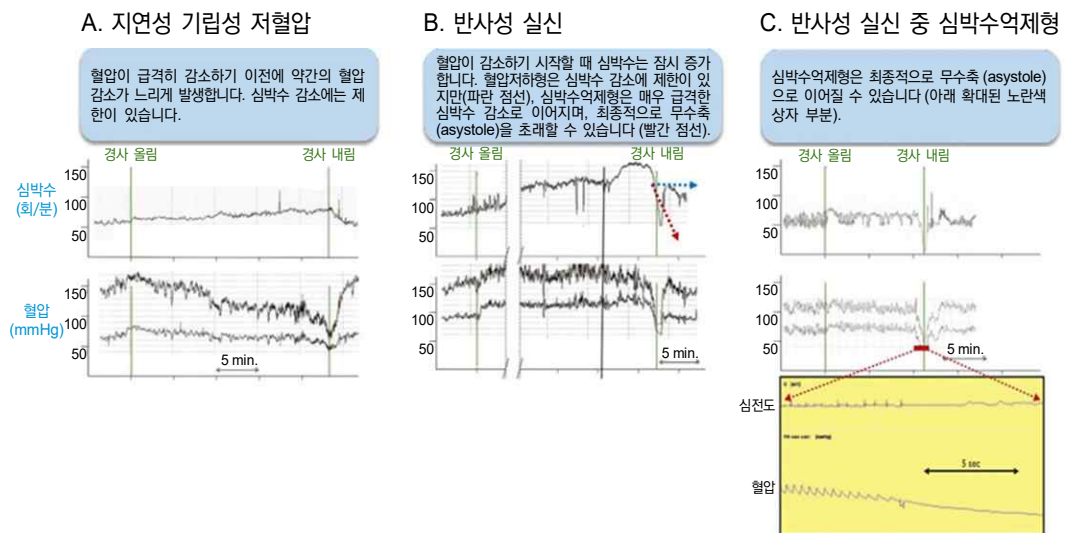


그림 3. 반사성 실신의 기립경사검사 패턴

기립경사검사에 대한 심박수억제형 양성 반응은 높은 확률로 무수축성 자발적 실신을 예측하며, 이 반응이 관찰된다면 심박동기 치료를 고려할 수 있다. 또한, 혈압저하형 양성 반응 또는 심박수억제형과 혈압저하형의 혼합 반응, 또는 음성 반응의 경우라도 자발적 실신 기간 동안 무수축 발생을 완전히 배제할 수 없다.³⁵⁾

기립경사검사 권고안

권고안	권고등급	근거수준
재발성 반사성 실신이 의심되는 환자에서 기립경사검사를 고려한다.	IIa	B

3.4 침습적 평가

3.4.1 이식형 감시 (Implantable monitoring)

월 1회 미만으로 드물게 발생하는 서맥 환자들은 장기간의 심전도 감시가 필요하다. 이러한 환자들에서 이식형 사건기록기 (implantable loop recorder)는 이상적인 진단 도구이다. 이는 최대 3년 동안 감시 할 수 있으며 환자의 적극적인 참여가 필요하지 않기 때문이다. (표 1) 설명 불가능한 실신의 초기 검사 후 월 1회 미만으로 증상이 흔치 않는 경우, 여러 연구에서 일반적인 감시 방법과 비교하여 이식형 사건기록기의 높은 효능을 입증하였다. 이식형 사건 기록기를 통해 진단된 많은 증상은 주로 서맥과 연관성이었다. 이식형 사건기록기와 활동심전도 감시의 진단적 역할과 적응증에 대한 자세한 내용은 “실신의 진단 및 치료에 대한 대한부정맥학회 진료지침”을 참고하면 된다.³⁵⁾

이식형 사건기록기 권고안

권고안	권고등급	근거수준
월 1회 미만으로 발생하는, 원인 불명의 실신 또는 서맥으로 인한 다른 증상이 의심되고, 종합적인 평가에서 원인이 확인되지 않는다면 이식형 사건기록기를 통한 장기적 감시가 권장된다.	I	A

3.4.2 심장 전기생리학 검사

비침습적인 심전도 기술의 발전으로 심장 전기생리학 검사의 필요성이 감소했다. 심장 전기생리학 검사는 일반적으로 서맥이 의심되지만 비침습적 검사로 확인이 되지 않는 경우 실신에 대한 부가적인 평가 검사로 사용된다. (그림 4)

서맥 평가 맥락에서 심장 전기생리학 검사의 목표는 비정상적인 동결절 기능 또는 심장 전도 장애의 해부학적 위치를 식별하는 것이다. 이 검사를 통해 동결절 기능이나 심장 전도 장애 부위 (방실결절 내부 또는 방실결절 원위부 이후의 히스다발-푸르킨에 체계)를 확인할 수 있다. 실신과 동서맥이 있는 환자에서, 분당 50 회 미만의 동서맥 혹은 동방차단이 있는 경우, 서맥 관련 실신 검사 전 진단 확률이 증가한다. 관찰 연구에 따르면 실신 시 동방 결절의 회복 시간의 연장과 심장 조율이 증상에 미치는 영향이 있다는 것이 알려졌다.⁸⁰⁾⁸¹⁾

실신 증상이 있는 환자 중 이섬유속차단 (bifascicular block)이 있는 경우, 약물 부하 (ajmaline, procainamide, flecainide or disopyramide) 없이 히스다발-심실 간격이 70 ms 이상이거나 약물 부하 후 히스다발-심실 간격이 100 ms 이상, 또는 심방 조율 및 약물 부하로 2도/3도 방실차단이 유발되는 경우 방실차단 발생의 위험도가 높은 것으로 확인되었다.⁸²⁻⁸⁹⁾

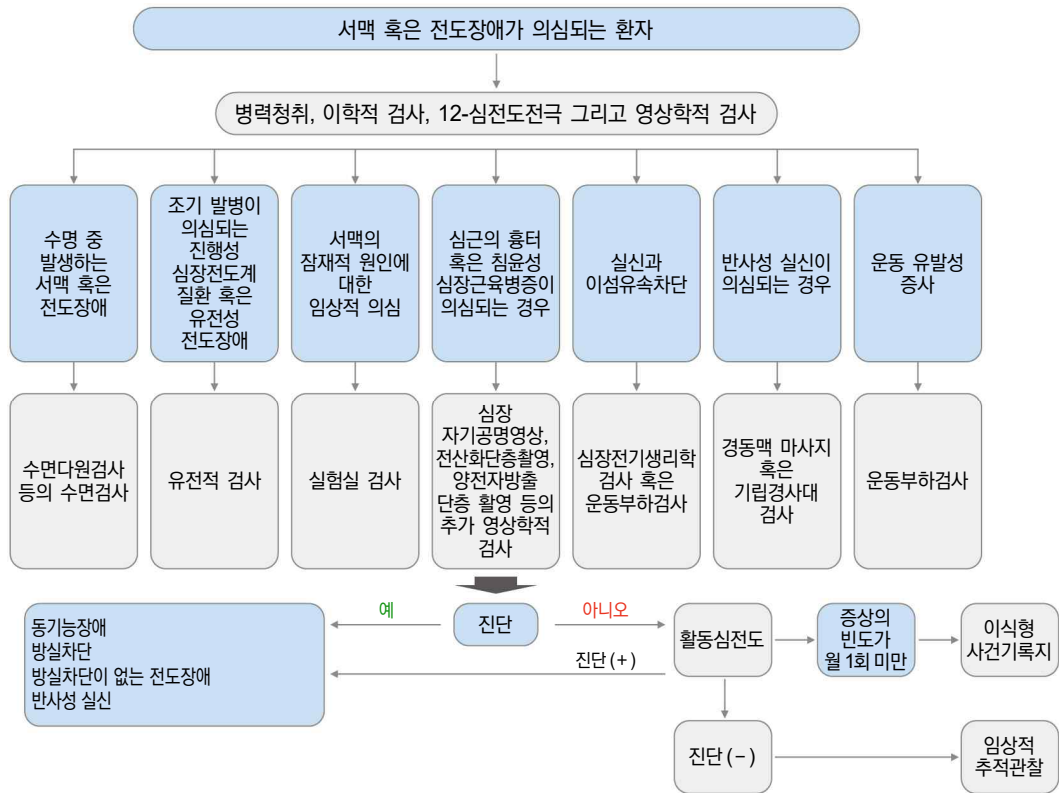


그림 4. 서맥 혹은 전도장애의 평가 알고리즘

심장 전기생리학 검사의 실신 진단의 효과는 동서맥, 이점유속차단, 그리고 빈맥이 의심되는 환자에서 가장 높았고 심전도 이상, 구조적 심질환, 두근거림이 없는 환자에서는 가장 낮았다. 따라서 전도장애 (예: 심전도 이상, 각차단, 허혈성 심질환, 또는 심근경색 연관된 심근병증)의 가능성이 높은 실신 환자에서, 심장 전기생리학 검사는 이식형 사건 기록기보다 적절할 수 있다. 반면에, 구조적 심질환이나 심전도 이상의 확률이 낮은 경우에는 심장 전기생리학 검사 대신 삽입형 사건 기록기가 선호된다.

또한 심장 전기생리학 검사는 실신 관련된 사건이 생명을 위협할 가능성이 높은 경우 즉각적인 진단이 필요하기 때문에 도움이 될 수 있다. 그러나 심장 전기생리학 검사 결과가 음성이라도 부정맥에 의한 실신을 배제할 수 없으며 추가 평가를 필요로 한다. 심장 전기생리학 검사 결과가 음성인 환자 중 약 1/3 에서 이식형 사건기록기를 삽입 후 추적 관찰했을 때 방실차단의 발생이 확인되었다.⁹⁰⁾

심장전기생리학 검사 권고안

권고안	권고등급	근거수준
이섬유속차단과 실신이 있는 환자의 경우, 비침습적 평가 후에도 실신의 원인이 불명확하거나, 심각성 때문에 즉시 심조율 결정이 필요한 경우 (특히 노인 및 취약 환자), 심장 전기생리학 검사를 고려한다.	IIa	B
동서맥과 실신이 있는 환자의 경우, 비침습적 평가에서 실신과 서맥의 연관성이 나타나지 않으면 심장 전기생리학 검사를 고려할 수 있다.	IIb	B

서맥/전도 장애 환자에서 심조율

4.1 동기능 부전 환자에서 심조율

동기능 부전은 동서맥, 동결절 차단, 동결절 정지에서부터 빈맥-서맥 증후군에 이르기까지 광범위한 범위의 동결절 기능 장애로 구성된다.⁹¹⁾⁹²⁾ 동기능 부전에서 영구형 심박동기 삽입의 가장 중요한 결정인자는 환자의 증상의 유무이다.

4.1.1 동기능 부전에서 심조율의 적응증

일반적으로 무증상 동기능 부전에 대한 심조율은, 방실차단을 위한 심조율과 달리 생존에 영향을 미치지 않는 것으로 알려져 있다. 심조율이 서맥성 부정맥으로 인한 사망에 미치는 영향은 심박동기 도입 초기의 연구에서 확인되었다.⁹³⁻⁹⁵⁾ 증상을 동반한 동기능 부전 환자에서 심조율, 테오필린 투약, 치료하지 않은 세 가지 그룹을 비교한 무작위 대조군 연구에서 실신과 심부전의 발생은 심조율 그룹에서 더 낮았으나 사망에는 유의한 차이가 없었다. 따라서 동기능 부전에서는 서맥으로 인한 증상이 있는 경우만 영구적 심조율을 고려한다.⁹⁶⁾ 증상은 휴식 중이나 운동 중에 나타날 수 있고 빈맥 사건이 끝날 때 나타날 수도 있다. 증상의 범위는 가벼운 피로부터 어지럼증, 전실신 (presyncope)에서 실신에 이르기까지 다양하다. 실신은 동기능 부전의 일반적 증상이며 동기능 부전으로 심박동기를 받는 환자의 50 %에서 보고되었다.⁹⁷⁾

동기능 부전의 경우 빈맥-서맥 또는 심방 빈맥에 동반하여 증상을 나타낼 수 있다. 빈맥-서맥 증후군은 동기능 부전 변형 중 가장 흔한 형태이며 동결절 조직과 심방 심근의 진행성 및 노화 관련 퇴행성 섬유화가 특징이다. 이 경우 서맥성 부정맥은 심방세동을 포함한 다양한 심방 빈맥 부정맥과 관련이 있다.⁹²⁾ 일반적으로 심방 빈맥 부정맥의 종료시에 동정지 또는 수축의 일시 정지 형태를 보인다. 이는 동기능 부전에서 동방 차단으로

인한 심방 일시 정지 또는 심방 빈맥 후의 고박동 억제 (overdrive suppression)로 인한 것일 수 있다.⁹⁸⁾ 심박수 조절 목적으로 처방하는 약물이 서맥성 부정맥을 악화시킬 수 있으므로 심방 부정맥의 치료에 때때로 심박동기가 필요할 수 있다. 심방세동과 같은 심방 빈맥 부정맥의 카테터 절제술이 심박수 조절 약물 투약을 대체하는 치료로 제안되었지만⁹⁹⁾¹⁰⁰⁾ 무작위 임상 연구에서 약물을 대신한 카테터 절제술이 심조율과 비교했을 때 서맥성 증상과 관련하여 열등하지 않은지 여부를 보여주는 데이터는 없다.¹⁰¹⁾

증상이 있는 서맥성 부정맥이 일시적, 가역적 또는 치료 가능한 상태와 연관되어 있을 경우에는 관련 요인의 교정을 우선으로 하며 영구적 심조율의 적응은 되지 않는다. 또한 생리적 서맥과 영구적 심조율이 필요한 병적 서맥을 구별하는 것은 임상적으로 중요하다. 예를 들어, 운동 선수에서 휴식시 40-50 회/분 또는 수면시 30 회/분의 동서맥은 생리적인 현상으로 이 경우 심조율이 필요하지 않다.

높은 비율의 심실 조율이 예상되는, 좌심실 박출률 저하 환자의 경우, 심장재동기화 치료 또는 생리적 심조율 시행을 고려할 수 있다.

4.1.2 박동기 모드 및 알고리즘 선택

연구들을 통해 동기능 부전 환자에서 심방-심실 이중조율 [DDD(R)] 모드가 단일 심실 조율 모드 [VVI(R)]에 비해 심방세동의 발생을 감소시키며, 일부 뇌졸중 발생 위험을 줄일 수 있다는 것을 보여주었다.¹⁰²⁾¹⁰³⁾ DDD(R)은 동기능부전 환자의 4분의 1에서 발생할 수 있는 심박동기 증후군의 위험을 감소시킨다.¹⁰⁴⁾¹⁰⁵⁾ 이는 일반적인 경우 동기능 부전에서 VVI(R)에 대비해 심방-심실 이중조율의 이점에 대한 근거를 제공한다.¹⁰⁶⁾ 그러나, 기능적으로 제한되거나 기대 수명이 매우 짧은 고령의 환자에서 간헐적 동정지가 있을 경우, VVI(R) 조율 대비 DDD(R) 조율의 임상적 이점은 제한적일 수 있으며, DDD(R)에 필요한 심방 전극선과 관련된 합병증 위험을 상승시킬 수 있다. DDD(R) 심박동기로 치료된 동기능 부전 환자의 경우, 방실 간격을 최적화하고 특정 알고리즘을 사용하여 우심실 조율을 최소화하고 심방세동의 위험을 감소시킬 수 있다.¹⁰⁷⁾ DDD(R)은 VVI(R)보다 우수한 것으로 밝혀졌으며, 과거에 사용된 심방 단일 조율 [AAI(R)]보다 더 안전하고 효과적임이 입증되었다.¹⁰⁸⁾¹⁰⁹⁾ 특히, 동기능 부전 환자에서 AAI(R)과 DDD(R)를 비교한 덴마크 다기관 무작위 임상 연구 (DANPACE)에 따르면 DDD(R) 조율과 AAI(R) 조율간 모든 원인의 사망률에 차이가 없었다.⁹⁷⁾ 또한 매년 환자의 0.6-1.9%에서 발생하는 방실차단 및 발작성 심방세동의 증가 그리고 AAI(R)로 인한 심박동기 재시술 위험이 2배 증가하는 것을 발견했다. 이러한 결과는 동기능 부전 환자에서 AAI(R) 조율이 아닌 DDD(R) 조율의 적용을 뒷받침한다.

이러한 연구 결과들을 바탕으로, 동기능부전에서 우선적으로 고려되는 조율 모드는 DDD(R) 모드이다. (그림 5) 동기능 부전 환자에서 불필요한 우심실 조율은 가능한 피해야 한다. 특히 수축 기능이 저하되거나 경계선으로 저하된 경우 심방세동 및 심부전의 악화를 유발할 수 있기 때문이다.¹⁰⁷⁾¹¹⁰⁾ 이는 방실 간격 (atrioventricular interval)의 조정이나 우심실 조율을 최소화하기 위한 특정 알고리즘을 사용하여 달성할 수 있다. 긴 방실 전도 (예, long PR interval)가 있는 환자에서 우심실 조율을 피하기 위해 과도하게 긴 방실 간격 (AV delay)을 설정하는 것은 이완기 승모판 역류를 유발하여 환자의 증상 및/또는 심방세동을 일으킬 수 있다.¹⁰⁷⁾¹¹¹⁾¹¹²⁾

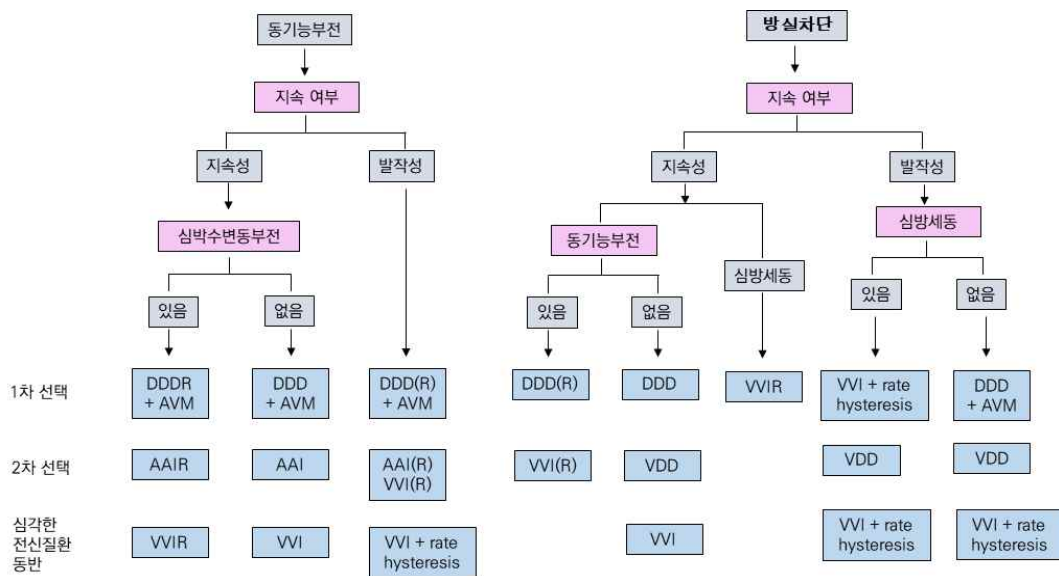


그림 5. 동기능부전 및 방실차단에서 심조율 모드의 선택

동기능 부전에서는 심실 조율을 최소화하기 위한 알고리즘이 종종 사용된다.¹⁰³⁾¹¹³⁾ 정상적인 심실 기능을 가진 환자에서 우심실 조율을 최소화하기 위한 알고리즘이 기존 DDD 조율에 비해 심방세동 발생률, 모든 원인의 입원 및 모든 원인의 사망률과 같은 예후 지표에서 뚜렷한 개선을 보이지 않았지만,¹¹⁴⁾ 불필요한 우심실 조율을 줄이며, 이는 장기적으로 박동기의 사용 기간을 연장시킬 수 있다.¹¹³⁾¹¹⁴⁾ 일부 제조회사별 알고리즘은 심실 조율을 최소화하는 데 더 효과적일 수 있지만 심방과 심실 사이의 비동기화를 초래할 수 있는 단점이 있다.¹¹⁵⁾¹¹⁶⁾ 또한 동정지 상황에서 심실 조율을 최소화하도록 설계된 알고리즘은 드물게 생명을 위협하는 심실 부정맥을 일으킬 수 있다.¹¹⁷⁻¹²⁰⁾ 이러한 알고리즘에 대한 직접적인 비교는 지금까지 시행된 바가 없지만 무작위 시험의 메타 분석은 특

정 알고리즘이 임상 결과를 개선하는 데 명확한 우위를 보여주지 않았다.¹¹⁴⁾¹²¹⁾

심방세동을 방지하기 위한 조율 알고리즘의 역할은 논란의 대상이 되어 왔다. 심방 과조율 (overdrive pacing), 심방 조기 박동에 대응하는 심방 조율, 운동에 대응하는 조율 및 모드 변경후 조율 (post-mode-switch pacing)과 같은 심방세동을 방지 또는 억제하기 위한 일련의 알고리즘의 역할에 대한 연구가 이루어졌으나 임상적 이득을 입증하지 못했다.¹²²⁾¹²³⁾ 이후, 심방 빈맥을 동리듬으로 전환시키기 위해, 심방 빈맥이 시작될 때, 심방에 항빈맥 조율 (antitachycardia pacing, ATP)을 가하는 알고리즘을 사용하여, 심방 빈맥의 부담 (burden)을 줄이고, 영구/지속성 심방세동으로의 진행을 줄이고자 하는 연구가 진행되었다.¹²⁴⁾ 그러나, 심실빈맥 치료에 사용되는 방식의 ATP를, 심방에 적용하여 진행된 연구에서는, 심방세동의 빈도 감소나 예방에 이점이 없는 것으로 나타났다.¹²⁵⁾ 하지만, 새로운 형태의 ATP를 사용한 무작위 임상연구에서는, 영구 심방세동으로의 진행을 감소시키는 효과가 확인되었다.¹²⁴⁾¹²⁶⁾ 선천 심질환에 동반되는 심방 부정맥에서는 심방 ATP와 함께 DDD(R) 심박동기의 사용이 고려될 수 있다.

동결절 기능 장애에서의 조율에 대한 권고안

권고안	권고등급	근거수준
동기능 부전에서 DDD모드 심박동기를 가진 경우, 프로그래밍을 통해 불필요한 심실 조율을 최소화하는 것이 권장된다.	I	A
동기능 부전에서 심박동기는 증상이 분명하게 서맥에 기인할 때 권장된다.	I	B
빈맥-서맥 형태의 동기능부전을 가진 증상이 있는 환자에서 빈맥의 전극도자절제술이 우선 고려되지 않을 때, 심박동기가 권장된다.	I	B
운동 중 심박수변동부전을 보이고 명확한 증상이 있는 환자의 경우 속도 반응 조율 (rate-responsive pacing) 과 함께 DDD 모드를 고려한다.	IIa	B
심방세동 전극도자절제술은 임상 상황을 고려하여 심방세동 관련 서맥 또는 심방세동 전환 후 증상이 있는 동정지 환자에게 심박동기를 피하는 전략으로 고려한다.	IIa	C
동기능 부전의 빈맥-서맥 변형 환자에서 심방 ATP 의 프로그래밍을 고려할 수 있다.	IIb	B
실신이 있는 환자의 경우, 동정지로 인한 무증상 일시정지가 6 초 초과 기록될 때 심장 박동이 반복적인 실신을 감소시키는 것으로 간주될 수 있다.	IIb	C
동기능 부전에서 증상이 서맥 때문일 가능성이 있는 경우, 증거가 확정적이지 않더라도 심박동기를 고려할 수 있다.	IIb	C
무증상이거나 교정 및 예방이 가능한 일시적인 원인으로 인한 동기능 부전 관련된 서맥 부정맥 환자에게는 심박동기가 권장되지 않는다.	III	C

4.2 방실 차단에서 심조율

방실 차단 치료는 증상의 개선과 실신 및 급성심장사를 예방하는 것을 목표로 한다. 1도 방실 차단은 대체로 무증상이며, 실신과 어지럼증은 주로 고도 또는 완전 방실 차단에서 발작적인 형태로 관찰된다. 심부전 증상은 주로 영구적인 서맥이 있는 만성 방실 차단에서 보이지만, PR 간격이 매우 연장된 1도 방실 차단에서도 관찰될 수 있다. 일반적으로 방실 차단은 고령에서 더 흔하며 이 경우 피로, 운동 불내성 및 심부전의 발현이 과소 평가될 수 있다. 인지 기능의 저하는 종종 추측에 불과하여 심박동기의 이식 후 개선될 가능성은 낮고 예측하기 어렵다. 치료되지 않은 방실 차단 환자의 사망은 낮은 심박출량에 따른 심부전의 의한 것뿐만 아니라 장기적인 수축부전 또는 서맥 유발 심실 빈맥에 의한 급성심장사로 인한 것일 수 있다. 방실 차단에서 조율 관련 무작위임상연구가 진행된 바는 없었지만, 조율이 실신의 재발을 방지하고 생존을 향상시킨다는 것은 여러 관찰 연구에서 분명히 밝혀졌다.¹¹⁾¹²⁷⁾

4.2.1 방실 차단에서 심조율의 적응증

4.2.1.1 1도 방실 차단

1도 방실 차단은 일반적으로 구조적인 심질환이 없는 경우 예후가 좋으며, 고도의 차단으로 진행되는 것은 흔하지 않다.¹²⁸⁾ 심박동기에 대한 적응은 증상과 방실 차단과의 상관 관계가 명확할 때로 제한한다. 특히 운동 중 PR 간격이 300 ms 이상으로 연장될 경우 심박동기 증후군과 유사한 증상을 유발할 수 있으나 심박동기가 증상을 개선한다는 증거는 근거는 약하다.¹²⁹⁾ 증상과 명확한 상관 관계가 없는 경우 일반적으로 심박동기의 적응이 되지 않는다.

4.2.1.2 제1형 2도 방실 차단 (Mobitz 유형 I 또는 Wenckebach)

제1형 2도 방실 차단 치료에 있어 증상의 유무 외에도 더 높은 수준의 방실 차단으로 진행될 위험성이 고려되어야 한다. 방실결절 상방 부위의 차단은 양성의 경과를 보이며, Mobitz 유형 II 또는 더 높은 수준의 방실 차단으로 진행될 위험은 낮다. 하지만, 일부 후향적 소규모 연구에 따르면, 이 유형의 방실 차단을 가진 45 세 이상 환자에서 심박동기 치료 없이 장기간 관찰 시 사망 위험이 증가하였다.¹²⁹⁾¹³⁰⁾ 방실결절 하방 부위의 차단은 완전 방실 차단, 실신, 급성 심장사의 위험을 가지고 있으며, 증상이 없는 경우에도 심박동기를 고려할 수 있다.¹³¹⁾¹³²⁾

4.2.1.3 제2형 2도 방실 차단 (Mobitz 유형 II), 고도 방실 차단, 3도 방실 차단

중증 증상의 발생 위험 또는 더 심각하거나 완전한 방실 차단으로 진행할 가능성이 있기 때문에, 가역적인 원인이 없는 경우라면 환자의 증상이 없는 경우에도 심박동기 치료를 받아야 한다. 2:1 방실 차단이 발견된 무증상 환자의 경우, 심박동기에 대한 결정은 방실결절 상방 부위의 차단과 방실결절 하방 부위의 차단을 구별하는 것이 중요하다. 이러한 구별은 방실 차단 전의 PR 간격 또는 PP 간격 연장, 방실 전도에 대한 운동의 효과 및 전기생리학검사 등을 참고하여 이루어진다.

4.2.1.4 발작성 방실 차단

실신 및 급성 심장사의 위험성과 영구적 방실 차단으로의 잠재적 진행 가능성 때문에, 발작성 방실 차단에서 심박동기에 대한 적응증은 영구적 방실 차단과 동일하다. 가역적인 원인을 배제하고 심박동기가 필요하지 않을 수 있는 방실 차단을 감별하는 것이 중요하다. 전기생리학검사로 확인된 방실결절 하방 부위의 차단, 심방, 심실 조기 박동으로 시작되는 방실 차단, 심박수 증가 (빈맥 의존적 방실 차단) 또는 심박수 감소 (서맥 의존적 방실 차단)로 유발되는 방실 차단 등은 모두 방실결절 하방 부위의 방실 차단을 시사한다.¹³³⁾

4.2.2 박동기 모드 및 알고리즘 선택

방실 차단 환자에서 DDD(R) 조율과 VVI(R) 조율의 결과를 비교한 대규모 무작위 연구에 따르면 사망, 삶의 질, 뇌졸중 및 심방세동의 발생에 있어 DDD(R) 조율이 VVI(R) 조율 대비 우월성을 보여주지 못했다.¹⁰²⁾¹³⁴⁾ 그러나 DDD(R) 조율은 방실 차단을 가진 환자의 약 25 %에서 발생할 수 있는 심박동기 증후군을 방지하는 데에는 VVI(R) 조율보다 좋은 결과를 보였다. 심박동기 증후군은 삶의 질 감소와 관련이 있으며 노쇠, 고령, 낮은 기대 수명과 같은 특별한 상황이 아니라면, DDD(R) 조율로의 업그레이드를 고려해야 한다. 나아가 단일 우심실 조율은 일부 환자에서 유해할 수 있으며 심방과 심실의 동기화가 유지되는 경우에도 좌심실 기능장애와 심부전을 초래할 수 있다.¹³⁵⁾ 조율 유발 심근병증은 우심실 조율 2-4 년 후 환자의 10-20 %에서 발생하며,¹³⁶⁾¹³⁷⁾ 20 %를 넘는 우심실 조율 빈도와 관련이 있다.¹³⁷⁾¹³⁸⁾ 그러나 안전한 정도의 우심실 조율 비율이나 유해한 우심실 조율 비율의 기준에 대한 근거를 뒷받침하는 데이터는 없다. 별개로, DDD(R) 조율은 VVI(R) 조율에 비해 운동 능력 향상과 관련을 보였다.¹³⁹⁾ 또 다른 DDD(R) 조율 심박동기의 고려사항으로는 심방세동의 진단이 있다. 조율 유발 심근병증을 예방하기 위한 전략으로 심장재동기화치료 또는 생리적 심조율을 고려할 수 있다.

심방세동이 있는 경우, 심실 심박수가 느리고 심실 리듬이 규칙적인 경우 방실 차단을

의심해야 한다. 장시간 모니터링하는 동안 긴 심실 일시 정지가 감지될 수 있다.¹⁴⁰⁾ 심방세동과 영구적 방실 차단이 있으나 증상이 없는 환자의 경우 심박동기 치료 결정에 요구되는 최소 정지 기간 (minimal ventricular pause)에 대한 기준은 없다. 잠재적으로 가역적인 원인이 없는 경우 서맥 또는 증상과 관련된 방실 차단으로 인한 부적절한 심박수변동 반응은 심박동기에 대한 적응증이다. 증상이 없는 경우에도 중증 또는 방실결절 하방의 차단이라면 심박동기에 대한 적응증이다. 서맥 및 중증 또는 방실결절 하방의 차단으로 인한 증상이 없는 경우 심박동기는 유익하지 않을 가능성이 높으며 적응되지 않는다. 심방세동 환자의 경우, 고정 속도 조율에 비해 속도 반응형 조율이 운동 수행, 일상 활동 개선, 호흡 곤란, 가슴 통증 및 두근거림 감소, 삶의 질 향상과 관련이 있어 속도 반응형 조율이 우선적으로 고려되어야 한다. 고정 속도 VVI 조율은 활동이 매우 제한된 고령의 좌식 환자에게만 적용된다. 일반적으로, 심방의 수축 상실로 인해 발생하는 심박출량 감소를 보상하기 위해, 최소 조율 속도는 동율동의 환자보다 높게 설정한다. (예: 70 bpm)

빠른 심실 박동을 제어하기 위해 방실 접합부 (atrioventricular junction, AVJ) 절제술을 받는 심방세동 환자의 경우 방실 접합부 절제술과 우심실 조율이 증상과 삶의 질을 향상시킨다는 근거가 있다.¹⁴¹⁾ 약물적 심박수 제어와 비교하여 방실 접합부 절제 및 심장재동기화치료는 심부전으로 인한 사망 위험, 심부전으로 인한 입원 위험 또는 심부전 악화 위험을 62 % 감소시켰고, 영구적 심방세동 및 좁은 QRS 폭을 가진 노인 환자에서 심방세동의 특정 증상을 36 % 개선했다.¹⁴²⁾ 이에 대한 내용은 심방세동 세션을 참고할 수 있을 것이다.

방실 차단에서의 조율에 대한 권고안

권고안	권고등급	근거수준
영구적, 발작성 3도 또는 2도 II형, 방실결절 하방의 2:1 또는 고도 방실 차단을 가진 동리듬 환자에서 증상에 관계없이 심박동기를 권장한다.	I	C
영구적, 발작성 제3도 또는 고도 방실 차단을 가진 심방 부정맥 (심방세동과 같은) 환자에서 증상에 관계없이 심박동기를 권장한다.	I	C
심박동기가 필요한 영구 심방세동 환자의 경우 속도 반응 기능이 있는 심실 조율을 권장한다.	I	C
전기생리학 검사를 통해 증상을 동반하거나 히스속 이하 레벨의 2도 제1형 방실 차단이 확인되면 심박동기를 고려한다.	IIa	C
방실 차단 환자의 경우 심박동기 증후군을 피하고 삶의 질을 향상시키기 위해 단일 심실 조율 보다 심방-심실 이중 조율을 고려한다.	IIa	A
심박동기 증후군과 유사한 증상을 가진 1도 방실 차단 (PR 300 ms 이상) 환자에서 증상과 방실 차단의 관련성이 명확 하다면 심박동기를 고려한다.	IIa	C
교정 및 예방이 가능한 일시적인 원인으로 인한 방실 차단에서는 심박동기가 고려하지 않는다.	III	C

4.3 방실 차단 외의 전도장애에서 심조율

히스다발-푸르킨에 시스템의 전도 지연이나 차단으로 인해 1:1 방실 전도가 되지 않거나 QRS 이상이 생긴 경우로 각차단, 섬유속 차단, 비특이적 심실내 전도지연이 포함된다. 섬유속 차단과 각 차단은 증상과 거의 관련이 없지만, 이러한 차단의 존재는 근본적인 구조적 심질환의 감별이 필요하다. 치료의 필요성은 간헐적인 서맥과 관련된 증상의 존재 여부에 따라 결정한다.

4.3.1 심조율의 적응증

4.3.1.1 각차단 및 설명할 수 없는 실신

심기능이 보존된 환자에서 실신은 급성심장사와 관련이 없지만, 심부전에 동반된 각차단, 심근경색 병력, 좌심실 수축 기능 저하 환자에서는 실신이 전체 사망과 높은 연관성이 있다.¹⁴³⁻¹⁴⁵⁾ 실제로 좌심실 수축율이 저하된 환자에서 실신은 사망의 위험 인자이다.¹⁴⁶⁾ 좌심실 박출률이 35 % 미만인 환자에서 각차단이 동반되어 있을 경우 급성 심장사를 예방을 위해 삽입형 제세동기 또는 또는 제세동 기능을 가진 심장재동기화치료가 권장된다.³⁶⁾

전기생리학 검사에서 히스-푸르킨에 시스템 하방의 방실 차단이 확인될 경우, 이는 높은 민감도와 양성 예측률을 가지며, 환자에게 심박동기를 이식할 경우 전기생리학 검사 결과가 음성인 환자에 비해 실신 재발이 감소한다고 보고되었다.⁸⁶⁾ 설명할 수 없는 실신과 이섬유속 차단이 있는 환자에서 전기생리학 검사는 간헐적이거나 임박한 고도 방실 차단을 예측하는 데 민감하지만, 전기생리학 검사 결과가 음성이라 하더라도 간헐적 방실 차단을 완전히 배제할 수는 없다. 실제로 전기생리학 검사 결과가 음성인 환자의 절반 이상에서 이식형 사건기록기를 통해 간헐적이거나 지속적인 방실 차단이 확인되었다. 따라서, 설명할 수 없는 반복적인 실신과 이섬유속 차단이 있는 일부 환자에서는 경험적인 심박동기 이식을 고려할 수 있으며, 이러한 결정은 환자별 위험-이익 평가를 바탕으로 이루어져야 한다.¹⁴⁷⁾

4.3.1.2 교대로 발생하는 각차단

교대로 발생하는 각차단은 연속적인 심전도에서 세 개의 섬유속 모두가 차단되는 명확한 심전도 증거가 있는 경우로 정의한다. 예를 들어, 연속적인 심전도에서 좌각차단 및 우각차단이 교대로 나타나거나, 우각차단이 있는 환자에서 좌전섬유속 차단과 좌후섬유

속 차단이 추가적으로 교대로 나타나는 경우이다. 이러한 소견은 방실결절 이하 부위의 질환을 의미하며 방실 차단으로의 진행을 시사한다. 따라서 증상이 없는 경우라도 교대 각차단이 확인된다면 즉시 심박동기 치료를 고려해야 한다.

각차단이 있는 환자에서의 심조율에 대한 권고안

권고안	권고등급	근거수준
설명할 수 없는 실신 및 이점유속 차단이 있고, HV 간격이 70 ms 이상, 점진적 심방 조율 동안 2도 또는 3도 히스다발 이하 차단, 또는 악리학적 검사에서 비정상적인 반응이 있는 경우 심박동기의 적응증이다.	I	B
교대 각차단이 있을 경우 심박동기의 적응증이다.	I	C
설명할 수 없는 실신 및 이점유속 차단이 있을 경우 전기생리학 검사 없이 심박동기를 고려할 수 있다. (노쇠하거나 고령인 환자에서 실신이 반복되는 경우)	IIIb	B
무증상 각차단 또는 이점유속 차단은 심박동기가 고려되지 않는다.	III	B

4.3.2 박동기 모드 및 알고리즘 선택

서맥이 간헐적으로 있는 경우는 심조율이 짧은 기간 동안만 필요할 수 있다. 이러한 상황에서 서맥 예방한다는 이점과, 지속적인 심조율로 인한 심부전이 발생할 수 있다는 단점을 함께 고려해야 한다. 이득이 되는 적절한 조율을 달성하기 위해 최소 심박수 설정을 낮추거나 방실 간격 조절, 방실 히스테리시스 (hysteresis) 그리고 불필요한 우심실 조율을 줄이기 위한 특정 알고리즘의 사용이 도움이 될 수 있다.¹⁰⁷⁾¹¹⁰⁾

동리듬 환자에게는, DDD 모드가 우선 고려된다. 이 환자군에서 DDD는 VVI 조율에 비해 비록 생존율에서는 차이가 없지만 증상과 삶의 질 향상에서 우수하다. 따라서 간헐적인 서맥이 있는 고령 또는 허약 환자의 경우 DDD의 합병증 위험과 비용 증가를 고려하여 조율 모드를 개별적으로 결정한다.

4.4 반사성 실신에서 심조율

무수축이 반사성 실신의 주된 양상인 경우 영구형 심박동기가 효과적일 수 있다. 기저 심전도가 정상인 실신 환자에 대한 임상평가의 목표는 증상과 서맥 사이의 관련성을 확인하는 것이다. 심조율의 효과는 임상환경에 따라 다르며, 심조율이 효과적이라는 것이 항상 필요하다는 것을 의미하지는 않는다. 반사성 실신 환자에서 심조율은 최후의 수단이 되어야 하며, 일부 제한적으로 선별된 환자 [즉, > 40세 (대부분 > 60세), 부상 위험이 높

저혈압 감수성이 있는 환자는 심조율 외에 저혈압 감수성을 상쇄하기 위한 조치 (예, 신체 맞압력 조작법 [counter-pressure techniques], 저혈압 약물의 중단/감소, 플루드로콜티손 또는 미도드린 투여)가 필요하다.

4.4.1 심조율의 적응증

고도로 선별된 반사성 실신 (예를 들어, 경동맥동 마사지나 기립경사검사에서 유발되거나 모니터링 시스템에 기록되어 무수축이 증명된 > 40 세 중증 재발성 예측 불가능한 실신) 환자에서 심조율이 권고된다. 심박수 억제 우세형 경동맥동 증후군 (경동맥동 마사지를 할 때 > 3 초의 무수축성 심정지와 자발성 실신) 및 > 40 세 중증 재발성 예측 불가능한 실신 환자에서 실신 재발을 줄이기 위해 DDD 심조율이 권고된다.¹⁵¹⁻¹⁵⁸⁾

기립경사검사 유발 무수축성 미주신경성 실신 환자와 관련된 임상 연구가 있다. SPAIN 연구는 > 40 세의 중증 재발성 (평생동안 5 회 이상) 실신 및 심박수 억제형 기립경사검사 반응 (분당 < 40 회로 > 10 초 지속되거나 > 3 초의 무수축)을 보이는 46 명의 환자를 대상으로 수행된 다기관 무작위 연구였다.¹⁵⁷⁾ 24개월의 추적 기간 동안, DDD 심박동기로 치료받은 경우 4 명 (9 %)에서 실신이 재발하였지만, 프로그램이 꺼진 가짜 (sham) 심박동기를 받은 경우 21 명 (46 %)에서 실신이 재발하였다. 한 성향 점수 매칭 연구에서는¹⁵⁹⁾ 5 년간 실신이 없었던 비율이 심조율군에서 81 %, 성향 일치 대조군 환자에서 53 % 였다. 마지막으로, BioSync CLS 연구는 심조율 대상을 선정하기 위한 기립경사검사의 유용성을 조사한 다기관 무작위 연구였다.¹⁵⁸⁾ 과거 두 번 이상 예측 불가능한 중증 반사성 실신이나 > 3초 무수축 심정지를 보인 기립경사 유발 실신이 있었던 ≥ 40세의 환자들을 활성(63 명) 또는 비활성 (64 명) 양방향 심박동기 삽입을 받도록 무작위 배정하였다. 이 연구는 11.2개월의 추적 후, 대조군 (34명, 53 %)에 비해 적은 수의 심조율군 환자 (10 명, 16 %)에서 실신이 발생하였다. 이 결과들은 기립경사검사를 심조율이 필요한 반사성 실신 환자 선별에 포함시켜야 함을 뒷받침한다.

위 연구 결과들을 토대로, > 3초의 무수축성 기립경사 반응을 보이는 > 40세의 환자에서 심박동기 치료는 class IIb에서 class I 적응증으로 상향조정 되었다. 그림 7은 심박동기 치료가 권고되는 적응증을 요약하였다.

마지막으로, 심박수 억제형 반사가 증명되지 않은 경우는 심조율의 적응증이 아니다.¹⁶⁰⁾¹⁶¹⁾

4.4.2. 심박동기 모드와 알고리즘 선택

아데노신 민감성 실신의 임상 양상을 보이는 환자에서 DDD 모드가 재발성 실신을 줄일 수 있다는 일부 증거가 있다.³⁵⁾ 아데노신 (adenosine triphosphate) 20 mg을 정맥 주사할 경우 > 10 초의 고도 방실 차단이 유발되며, 설명되지 않는 비예측성 실신이 있는 선별된 80 대 환자를 대상으로 한 소규모의 다기관 연구에서, DDD 모드 활성화군의 2 년 실신 재발률은 23 %로 대조군 69 %에 비해 현저하게 낮았다.¹⁶²⁾

비록 증거가 미약하지만, DDD 조율은 혈압 강하를 막고 증상 재발을 예방하기 위해 단방향 우심실 조율에 비해 임상 현장에서 널리 선호된다. 기립경사 유발 미주신경성 실신 환자에서, DDD 조율은 박동기가 심박수의 급격한 감소를 감지하면 빠르게 DDD를 제공하는 심박수 감소 반응 기능과 함께 널리 사용되었다. DDD 폐쇄 루프 자극과 기존 DDD 간의 비교는 두 개의 소규모 연구에서 교차 설계를 통해 수행되었는데, 반복적 기립경사 검사를 하는 급성 환경¹⁶³⁾에서나 18 개월의 추적 기간¹⁶⁴⁾ 모두에서 폐쇄 루프 자극에서 실신 재발이 적은 것으로 나타났다. 그러나 공식적인 대규모 연구가 수행되기 전까지 심박동 조율 모드 (예를 들어 심박수 감소 반응을 사용하는 DDD 또는 폐쇄 루프 자극을 사용하는 DDD)와 프로그래밍 선택에 대한 권고 사항은 제공될 수 없다.

반사성 실신에서 심조율의 권고안

권고안	권고등급	근거수준
중증의 예측 불가능한 재발성 실신이 있는 40 세 이상 환자에서 재발성 실신을 줄이기 위해 양방향 심박동기가 권장된다. • 자발적으로 증명된 동정지나 방실차단에 의한 3 초 이상의 유증상 무수축 또는 6 초 이상의 무증상 무수축; 또는 • 심박수억제형 경동맥동 증후군; 또는 • 기립경사검사시 발생한 무수축성 실신	I	A
아데노신 민감성 실신의 임상 양상을 보이는 환자에서 재발성 실신을 줄이기 위해 양방향 심조율을 고려할 수 있다.	IIb	B
심박수 억제형 반사가 증명되지 않은 경우는 심조율의 적응증이 아니다.	III	B

4.5 의심되는 (증명되지 않은) 서맥에 대한 심조율

일반적인 검사에서 설명되지 않는 재발성 실신이나 낙상의 경우 경험적인 심조율을 하기 보다는 자발성 재발을 기록하기 위한 시도로 이식형 사건기록기를 고려해야 한다.³⁵⁾

4.5.1 재발성의 설명되지 않는 실신

검사를 완전히 마쳤음에도 설명되지 않는 실신이 있고 전도 장애가 없는 환자의 경우, 일부 소규모 연구¹⁶⁴⁾¹⁶⁵⁾가 보여준 부정적인 결과들은 심조율이 효과적이지 못할 것이라는 충분한 증거를 제공한다. 따라서 진단이 내려질 때까지 심조율은 권장되지 않는다. (그림 7)

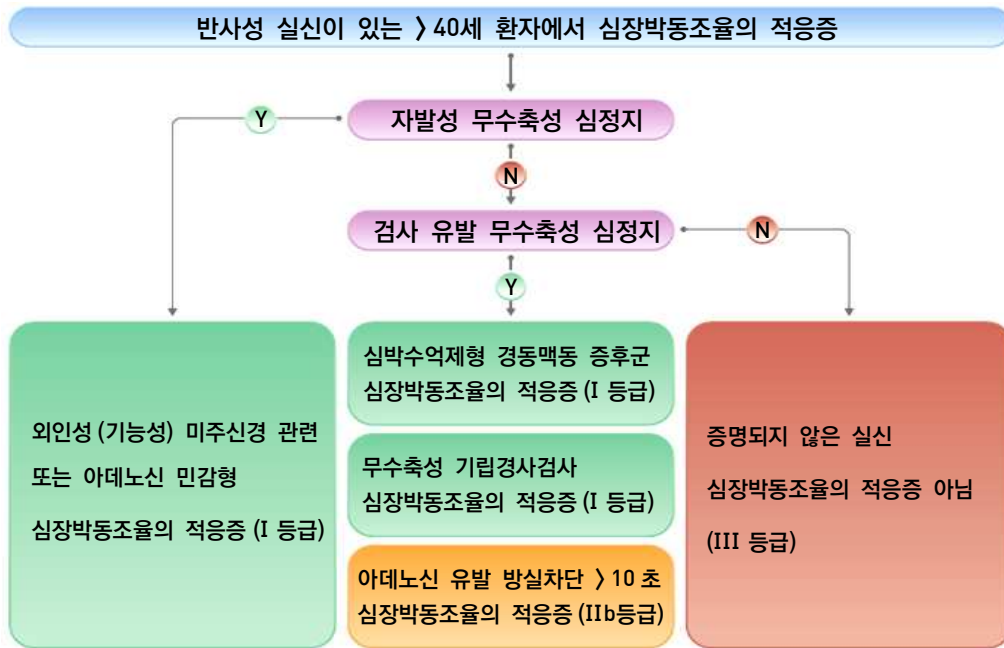


그림 7. 반사성 실신이 있는 > 40 세 환자에서 심장박동 조율의 적응증 요약

중요: 자발성 무수축성 심정지는 유증상인 경우 > 3 초 또는 무증상인 경우 > 6 초를 의미한다.
Brignole의 논문 [Eur Heart J 2018;39:1883-948] 으로 부터 수정한 그림임

4.5.2 재발성 낙상

설명되지 않는 낙상의 15-20 %는 실신에 의한 것일 수도 있으며, 이 중 일부는 서맥성 부정맥일 가능성이 있다. 낙상하는 노인에서 흔히 발생하는 역행성 기억상실증은 사건에 대한 잘못된 해석을 초래할 수 있다.³⁵⁾ 설명되지 않는 낙상의 관리는 설명되지 않는 실신의 관리와 동일해야 한다. 한 무작위 이중 맹검 시험에서,¹⁶⁶⁾ 원인 불명의 낙상 환자에서, 경동맥동 과민증으로 실신이 유발되지 않는 경우에는, 심조율이 실신 재발 방지에 효과가 없었다.

서맥에 의한 것으로 의심되나 증명되지 않은 실신에서 심조율의 권고안

권고안	권고등급	근거수준
원인미상의 재발성 낙상 환자는 설명되지 않는 실신과 동일하게 간주하여 검사 진행을 고려한다.	IIa	C
다른 증명된 적응증이 없는 설명되지 않는 낙상 환자에게 심조율은 권고되지 않는다.	III	B
동기능 부전이나 전도장애의 증거가 없는 설명되지 않는 실신 환자에게 심조율은 권고되지 않는다.	III	C

생리적 심조율

(Cardiac Physiologic Pacing; CPP)

5.1 전기적 비동기화로 인한 심근증의 역학, 병태생리, 탐지와 생리적 심조율의 이론적 근거

우심실 침부 조율 및 좌각차단 시에는 전기적으로 가장 늦게 활성화되는 좌심실 심근 구획이 가장 늦게 수축하게 된다. 이러한 양심실의 비동기화된 전기적 활성화는 기계적으로 비동기화된 심근 수축을 야기하게 되고 이를 심실의 비동기화라고 부른다.¹⁶⁷⁾¹⁶⁸⁾

이러한 전기-기계적 비동기화로 인한 혈액역학적 결과로서 좌심실 수축 기능 및 심장의 이완 기능 저하가 발생할 수 있으며 장기적으로는 구조적 재형성 (adverse remodeling) 을 야기할 수 있다. 결론적으로 장기적인 우심실 침부 조율 환자나 좌각차단을 가진 환자에서 이러한 비동기화로 인해 심부전 증상 및 좌심실 박출량의 저하를 보이는 심근병증이 발생할 수 있다. 전기-기계적 비동기화 이외에도 심근 관류 및 체액성/세포성/분자 수준의 변화가 이러한 심근병증과 관련될 수 있다고 알려져 있다.¹⁶⁹⁾¹⁷⁰⁾

박동기 조율에 의한 심근병증의 빈도는 해당 심근병증에 대한 정의 및 추적관찰 기간의 차이로 인해 5.9 %에서 39 %까지 그 보고가 다양하며 관련된 위험인자로써는 나이, 전기-기계적 비동기화의 정도, 우심실 조율 비율, 기능적 승모판막 역류 및 기저 좌심실 기능부전 등이 알려져 있다.¹³⁷⁾¹⁷¹⁻¹⁷³⁾ 실제 발생률 및 병태생리에 대해서는 아직 불명확한 부분이 있으나 이를 예방하기 위한 방법으로 우심실 조율 빈도를 낮추기 위한 조율 알고리즘의 적용이나 심근병증의 위험도가 높은 환자에서 생리적 심조율을 적용하는 방법 등이 알려져 있다.¹⁷⁴⁻¹⁷⁸⁾⁹⁻¹³⁾ 또한 이러한 심근병증은 생리적 심조율에 의해 개선될 수 있는 것으로 알려져 있어 이를 탐지하기 위한 노력이 필요하다.¹⁷⁹⁻¹⁸³⁾

심부전 예방을 위한 생리적 심조율에 대한 지침안 중 전기적 비동기화로 인한 심근병증의 탐지에 대한 권고안¹⁶⁸⁾

권고안	권고등급	근거수준
우심실 조율 비중이 높고 심박동기 프로그램 조정으로 더 이상 그 비중을 낮출 수 없는 환자에서 전기적 비동기화에 의한 심근병증을 조기 진단하기 위한 주기적인 심실 기능 평가가 권장된다.	I	B

5.2 생리적 심조율의 적응증

5.2.1 우심실 조율량이 많은 경우 (> 20~40 %) 심조율

5.2.1.1 생리적 심조율 (CPP)의 중요성 및 선택

심실 조율이 많이 요구되는 환자는 심실 조율의 빈도가 적은 환자에 비해, 조율 방식 선택에 더욱 중대한 영향을 받는다. 또한, 조율 방식이 끼치는 영향은 심박동기 삽입 전 좌심실 박출률에 따라서도 달라진다. 좌심실 박출률이 36 %~50 %인 환자의 경우, 심실 조율량이 상당히 많을 때 생리적 심조율 (CPP) (예; 심장재동기화치료 CRT, 히스다발 조율 HBP 및 좌각영역조율 (LBBAP)이 좌심실 박출률을 보존하거나 개선할 가능성이 가장 높다. 정상 좌심실 박출률을 가진 환자 중 어떤 환자가 우심실 조율량으로 인해 조율유발 심근병증이 발생할지에 대해서는 아직 명확하지 않으므로, 정상 좌심실 박출률을 가진 환자에서 심실 조율량이 상당히 요구될 때 조율유발심근병증을 예방하기 위해 생리적 심조율을 선택하는 것은 용인될 수 있다. 주된 생리적 심조율은 히스다발조율이며, 히스다발전극의 역치 상승 발생률이 높기 때문에 “백업 (backup)” 전극을 삽입하는 것이 합리적이다.

2018년 ACC/AHA/HRS 서맥 진료 지침에 따라¹⁸⁴⁾ 심실 조율이 상당히 빈번할 것으로 예상되는 중등도의 좌심실 박출률 저하 (LVEF 35 %~50 %) 환자를 대상으로 생리적 심조율 (CRT와 HBP)과 우심실조율 (RVP)을 비교하는 체계적 문헌고찰이 수행되었다.¹⁸⁵⁾²⁾ 이 문헌고찰에서는 심장재동기화치료 (CRT)와 우심실조율 (RVP)를 비교한 3건의 무작위 또는 교차 연구가 포함되었는데 (총 n=335), 심실 조율이 상당히 필요한 좌심실 박출률 감소 환자는 심장재동기화치료 (CRT) 또는 히스다발조율 (HBP) 을 함으로써 조율유발심근병증을 피할 수 있음을 확인했다.¹⁸⁵⁾ 좌심실 박출 기능이 감소 (EF≤50 %)하고 심실 조율량이 많을 것으로 예상되는 환자를 대상으로 진행된 BLOCK HF 연구에서는¹³⁸⁾ 무작위 위로 심장재동기화치료 (CRT)에 배정된 환자군에서 심부전으로 인한 입원이 더 적었다.

그러나 BLOCK HF 연구의 일부 환자는 좌심실 박출률이 35 % 이하였기 때문에, 위에서 언급한 체계적 문헌고찰에 포함되지 않았다. 또한 해당 문헌고찰을 수행할 당시에는 좌각 영역조율 (LBBAP)도 흔히 시행되지 않았다는 한계가 있다.

히스다발조율 (HBP) 좌각영역조율 (LBBAP)은 QRS 폭을 줄이고 심실 동기화 (ventricular synchrony)를 보존할 수 있으며, 기존 근거에 따르면 상당히 많은 심실조율이 필요한 좌심실 박출률 감소 환자에게 도움이 될 수 있다. 히스다발조율 (HBP)에 비해 좌각영역조율 (LBBAP)은 삽입 성공률이 더 높으며, 좌각영역조율 (LBBAP) 전극선은 중기적으로 우수한 안전성과 전기적 특성을 보인다.¹⁸⁶⁻¹⁸⁸ 최근 장기 관찰 데이터가 등장하고 있으며 무작위 배정 연구 데이터는 방실차단과 좌심실 박출률 저하 환자로 제한되어 있다. 전향적 관찰 코호트에서¹⁸⁹⁻¹⁹¹ 심장재동기화치료 (CRT)의 대상이 되지만 좌각영역조율 (LBBAP)을 받은 환자의 경우, 좌심실 박출률을 포함한 심초음파 측정값이 기준치보다 개선되었다. 또한, 기존 CRT와 비교했을 때 초기 및 중기 심초음파 및 기능적 결과가 좌각영역조율 (LBBAP)이 더 좋은 것으로 나타났다.¹⁹² 최근 후향적 연구에 따르면 좌각영역조율 (LBBAP)은 우심실조율 (RVP)와 비교했을 때 심방세동 발생률을 감소시키는 것으로 나타났다.¹⁹³ 좌각영역조율 (LBBAP)의 합병증 (예, 중격 천공), 중격 깊숙히 박힌 전극선의 제거 (extraction), 우심실 활성화 (RV activation) 지연으로 인한 장기적 결과 등 장기 관찰 데이터가 부족한 것은 우려 사항이다.

심방-심실 이중조율 (Dual chamber) 및 단심실 (VVI)형 삽입형 제세동기 임상시험연구 (DAVID) 등이 발표된 이후 만성적인 우심실조율 (chronic RVP)의 해로운 영향은 잘 알려져 있다.¹¹⁰⁾¹³⁵⁾¹³⁷⁾¹⁷³ 조율유발심근병증을 피하기 위해 생리적심조율은 동기화된 심실 수축 (synchronous ventricular contraction)을 보존하고 임상 결과를 개선하는데 성공적이었다.

5.2.1.2 히스다발조율 (His-bundle pacing; HBP) vs 우심실조율 (Right ventricular pacing; RVP)

많은 소규모 관찰 연구에서 히스다발조율 (HBP)과 우심실조율 (RVP)을 비교했다. 고도방실차단, QRS 폭 120 ms 미만, 그리고 좌심실 박출률 $\geq 40\%$ 인 34 명의 환자 중 우심실중격조율 (RV septal pacing)시에 HBP에 비해 좌심실 박출률이 약간 낮아졌다 ($p=.005$).¹⁹⁴ 조율 비율이 40 %를 초과한 192명의 환자에서, 히스다발조율 (HBP) 집단 (2%)이 우심실조율 (RVP) 집단 (15 %)에 비해 심부전으로 인한 입원이 더 적었다 ($p=.02$).¹⁹⁵ 심박동기 이식을 위해 의뢰된 정상 좌심실 박출률을 가진 환자 192 명 중 심실 조율 비율이 40 %를 초과하는 하위 그룹에서 우심실조율 (RVP) 집단 (53 %)이 히스

다발조율 (HBP) 집단 (28 %)보다 사망 및 심부전으로 인한 입원이 유의하게 더 많았다 (위험비 hazard ratio [HR] 2.1; $p=.02$).¹⁹⁶⁾ 자매병원에서 우심실조율 (RVP)을 받은 442명의 유사한 환자와 비교하여 히스다발조율 (HBP)을 받은 332명의 환자에서 모든 원인사망, 심부전으로 인한 입원, 양심실조율 (Biventricular pacing, BVP) 업그레이드의 복합 평가변수 발생률은 우심실조율 (RVP) 집단 (32 %)에 비하여 히스다발조율 (HBP) 집단 (25 %)에서 유의하게 낮았다 (HR 0.71; $p=.02$).¹⁷⁵⁾ 20 %를 초과하는 심실 조율이 요구되는 정상 또는 경한 심실 박출률을 보이는 2349명을 대상으로 한 메타분석에서 히스다발조율 (HBP) 또는 양심실 조율 재동기화치료 (BVP-CRT)가 우심실조율 (RVP)보다 모든 원인 사망과 심부전으로 인한 입원의 감소와 관련이 있었다. 양심실 조율 재동기화 치료 (BVP-CRT)와 히스다발조율 (HBP) 사이에는 유의미한 차이가 없었다.¹⁹⁷⁾ 히스다발조율 (HBP)은 숙련된 시술자라도 시술 성공률이 매우 다양하게 (80 %-100 %) 보고되는 등 우심실조율 (RVP) 보다 기술적인 어려움이 있다.¹⁷⁵⁾¹⁹⁴⁻¹⁹⁶⁾

5.2.1.3 좌각영역조율 (left bundle branch area pacing; LBBAP) vs 우심실조율 (Right ventricular pacing; RVP)

서맥 적응증으로 좌각영역조율 (LBBAP) (321 명) 또는 우심실조율 (RVP) (382 명) 시술을 받은 703 명의 환자를(평균 기저 LVEF 58 %) 포함한 관찰 등록 연구¹⁷⁶⁾에서, 1차 복합결과 (모든 원인사망, 심부전으로 인한 입원, 양심실조율 재동기화 치료로의 업그레이드) 발생률은 좌각영역조율 (LBBAP) (10.0 %)가 우심실조율 (RVP) (23.3 %) 대비 유의하게 낮았는데 (HR 0.46; $p<.001$), 이는 주로 심실조율부담이 20%를 초과하는 환자들에서 뚜렷했다. 좌각영역조율 (LBBAP) 또는 우심실조율 (RVP) 방법으로 심박동기 이식술을 받은 방실차단 환자 (LVEF>50 %)를 대상으로 한 연구¹⁹⁸⁾에서 좌각영역조율 (LBBAP)을 받은 환자는 우심실조율 (RVP)을 받은 환자보다 심부전으로 인한 입원 및 양심실 조율 (Biventricular pacing)로의 업그레이드가 유의하게 낮았는데 (2.6 % vs. 10.8 %; $p < .001$), 심실조율이 40 %를 초과하는 환자에서 결과의 차이가 주도되었다. 우심실조율 (RVP) 또는 좌각영역조율 (LBBAP)을 받은 70 명의 환자를 대상으로 한 후향적 연구¹⁹⁹⁾에서, 좌각영역조율 (LBBAP) 그룹에서 심방세동 및 심부전으로 인한 입원의 발생률이 더 낮았다. 최근의 후향적 분석¹⁹³⁾에서도 좌각영역조율 (LBBAP)이 우심실조율 (RVP)에 비해 심방세동 발생률을 낮추는 것으로 나타났다.

5.2.1.4 심장재동기화치료 (Cardiac resynchronization therapy; CRT) vs 우심실조율 (Right ventricular pacing; RVP)

50 명의 환자와²⁰⁰⁾ 149 명의 환자를²⁰¹⁾ 대상으로 한 2건의 연구에서 정상 좌심실 박출률을 가진 환자를 추적관찰한 결과, 양심실 조율 (BVP)이 우심실조율 (RVP)과 비교 했을 때 장기추적기간 동안 좌심실 박출률 보존 및 리모델링 방지와 좋은 연관성을 보였다. 심실 조율이 적어도 80 % 이상으로 예상되는 환자 108명을 양심실 조율 (BVP, n=50)과 우심실조율 (RVP, n=58)로 무작위 배정한 PRVENT-HF 연구에서²⁰²⁾ 대상자의 기저시점 좌심실 박출률은 정상에 가까웠다 (Biventricular pacing LVEF 57.5 %±11.8 %, RVP 54.9 % ± 12.9 %). 이 연구는 우심실 조율에 비해 양심실 조율(BVP)의 이점을 보여주지는 못했지만 해로움 역시 관찰되지 않았다.

장기적인 결과에 관한 데이터는 부족하지만, 대부분의 연구에서 우심실조율 (RVP)에 비하여 히스다발조율 (HBP) 시술에서 재시술 (revision)의 빈도가 상대적으로 높았다. 이는 허용 범위를 초과하는 조율 역치의 상승 (high capture threshold), 전극 이탈 (dislodgment), 조율 실패, 과감지 (over sensing)에 기인한다. 히스다발조율 (HBP) 시술 성공 후 중기적으로 약 5 %~7 %의 재시술이 보고된다.¹⁹⁶⁾²⁰³⁾²⁰⁴⁾ 그러므로 히스다발조율 (HBP)에서는 심실 조율이 중요한 경우(예, 심조율 의존성) “예비(backup)” 심실 조율 전극선을 넣는 것이 합리적이다.¹⁷⁷⁾ 단기 및 중기 결과에 따르면 LBBAP의 전극선 안정성과 재시술 위험은 기존 우심실조율 (RVP)과 유사하다.¹⁷⁶⁾

우심실 조율량이 많은 경우 권고안

권고안	권고등급	근거수준
상당히 많은 심실 조율이 필요할 것으로 예상되고, 좌심실박출률이 36 % ~ 50 %로 저하된, 영구 심조율이 필요한 환자의 경우 생리적 심조율 (CPP) 이 조율유발심근병증의 위험을 줄이는데 합리적이다.	Ila	B
상당히 많은 심실 조율이 필요할 것으로 예상되는 정상적인 좌심실박출률 환자의 경우 조율유발심근병증의 위험을 줄이기 위해 생리적 심조율 (CPP) 이 합리적일 수 있다.	Ilb	B
히스다발조율 (HBP) 심박동기 이식을 받는 심실 조율 의존 환자의 경우, 높은 조율 역치 (high pacing capture thresholds), 전극선 이탈 (lead dislodgement), 조율 실패 (loss of capture), 또는 과민감지 (oversensing) 위험을 완화하기 위해 추가 백업 전극 배치가 합리적일 수 있다.	Ilb	C

5.2.2 우심실 조율량이 많지 않은 경우 (< 20~40 %) 심조율

심실 조율량이 많지 않은 환자는 상당한 양의 심실 조율이 필요한 환자에 비해 선택한 박동 조율 방법에 따른 임상적 영향이 더 적다. 따라서 정상 또는 경미하게 저하된 좌심실 박출률을 가진 환자에게는 생리적 심조율 (CPP) 뿐만 아니라 우심실 조율을 최소화하는 우심실 전극선 (RVP) 시술도 허용된다. 양심실 조율 (BVP)을 사용한 심장재동기화치료 (BVP-CRT)는 심실 조율량이 많이 필요하지 않고 좌심실 박출률 (LVEF) 이 정상인 환자에게는 큰 이점이 없다.¹⁷⁵⁾¹⁷⁶⁾¹⁹⁴⁻¹⁹⁶⁾²⁰⁵⁾

최초 심박동기 삽입 적응증이 있는 광범위한 환자 집단을 대상으로 한 관찰 비교 연구에서, QRS 간격이 정상이고 좌심실 박출률 (LVEF)이 36 %~50 %이고 심실 조율이 최소로 예상되는 환자는 모집단의 40 % 미만을 차지하였다.¹⁷⁵⁾¹⁷⁶⁾¹⁸⁶⁾¹⁸⁸⁾¹⁹⁵⁾¹⁹⁶⁾ 생리적 심조율 (CPP) 그룹의 QRS 간격이 더 좁음에도 불구하고, 조율량이 최소로 기대되는 대상자들에게서는 생리적 심조율 (CPP) 과 우심실 조율 (RVP) 사이에 임상 결과(사망률 또는 심부전으로 인한 입원)의 유의미한 차이를 보이지는 않았다. ANSWER 연구에서 기존의 전통적인 우심실 전극선으로 조율을 최소화하는 것의 이점을 입증한바 있다.¹¹³⁾¹²¹⁾

현재까지 사망률과 심부전으로 인한 입원 그리고 조율유발심근병증의 감소 측면에서 생리적 심조율 (CPP) 의 임상적 이점은 상당히 많은 조율이 필요한 환자에서만 관찰되었다.¹⁷⁵⁾¹⁸⁶⁾¹⁸⁸⁾¹⁹⁵⁾¹⁹⁶⁾¹⁹⁸⁾ 어떤 환자가 이식 당시에 최소 우심실조율 (RVP) 이 요구되었다가 향후 상당한 조율이 필요한 상태로 진행될지 예측하기 어렵다. 따라서 시간이 지남에 따라 우심실 조율 (RVP) 이 증가할 수 있다고 의심되는 경우에 생리적 심조율 (CPP) 을 고려할 수 있다. 생리적 심조율 (CPP)의 안전성을 확립하기 위한 후속 임상 데이터가 나오고 있다.¹⁷⁵⁾¹⁷⁶⁾ 하지만 장기적인 임상 결과와 안전성을 확립하려면 다기관을 추가 연구가 요구된다.

이미 기존의 심박동기의 적응이 되지만 상당량의 심실 조율은 요구되지 않는 (<20 % ~40 %) 일부 환자에서도 생리적 심조율 (CPP)의 이점이 있을 것으로 보인다. 좌심실 박출률 (LVEF)이 36 %~50 % 사이의 좌심실 기능 장애가 있으며 좌각차단 (LBBB)을 보이는 환자는 생리적 심조율 (CPP)의 혜택을 받을 수 있다. 3 개의 비교적 큰 관찰연구와¹⁷⁶⁾¹⁹¹⁾²⁰⁶⁾ 여러 소규모 코호트 연구에서¹⁸²⁾¹⁸⁹⁾²⁰⁷⁻²⁰⁹⁾ 생리적 심조율 (CPP)이 증상과 좌심실 박출률 (LVEF)을 크게 개선할 수 있는 것으로 나타났다.

632 명의 환자를 대상으로 한 전향적 관찰연구에서¹⁸⁶⁾ 좌각영역조율 (LBBAP)은 98 % 성공했고, 2년간의 추적 기간 동안 안정적인 조율 파라미터를 보였으며, 기저 QRS 간격이 120 ms를 초과한 환자의 좌심실 박출률 (LVEF)이 개선된 것으로 나타났다 (48 % to 58 %; $p < .001$). 서맥의 적응으로 심박동기를 이식받은 703 명의 관찰연구에서¹⁷⁶⁾ 좌각영

역조율 (LBBAP) (n=321)과 우심실조율 (RVP) (n=382)의 예후를 비교했다. 1차복합결과 지표 (모든 원인으로 인한 사망률, 심부전으로 인한 입원 또는 양심실조율 재동기화치료로의 업그レード)는 우심실조율 (RVP)에 비해 좌각영역조율 (LBBAP)에서 상당히 낮았다 (10.0 % vs 23.3 %; $p < .001$). 심실 조율 비율이 20 %를 초과하는 환자 중 좌각영역조율 (LBBAP)은 우심실조율 (RVP)에 비해 1차 결과지표에서 훨씬 더 큰 감소와 관련이 있었다 (8.4 % vs 26.1 %; $p < .001$). 좌각영역조율 (LBBAP)은 또한 사망률 (7.8 % vs 15 %; $p=.03$) 및 심부전으로 인한 입원 (3.7 % vs 10.5 %; $p=.004$)의 상당한 감소와 관련이 있었다. 그러나 2,533 명의 환자를 대상으로 한 MELOS (The Multicentre European Left Bundle Branch Area Pacing Outcomes Study) 연구에서²⁰⁶⁾ 좌각영역조율 (LBBAP) 전극선 삽입의 학습 곡선에서 좌각영역조율 (LBBAP) 전극선 관련 합병증 발생률이 8.3 %에 달했으며, 좌심실 천공이 3.7 % 포함되었다. 좌심실 천공은 일반적으로 시술 중에 전극 위치를 변경하여 해결된다. 합병증으로는, 조율 역치 (capture threshold) 상승 0.7 %, 전극선 이탈 (lead dislodgement) 1.5 %, 급성흉통 (acute chest pain) 1 %, 급성 관상동맥 증후군 (acute coronary syndrome) 0.4 %, 좌심실 지연 천공 (delayed perforation to the LV) 0.1 %, 전극선 나선의 엉킴/손상 (trapped/damaged helix) 0.4 %가 발생했다. 이러한 데이터는 좌각영역조율 (LBBAP) 전극선의 장기적인 안전성에 대한 지속적인 감시의 필요성을 뒷받침한다.

상당량의 심실 조율이 요구되지 않는 환자에서는 좌심실 박출률의 악화가 관찰되지 않는다. 여러 연구에서 조율유발심근병증 (LVEF<40 % 또는 심장재동기화치료로의 업그레이드로 정의)이 시술 전 낮은 좌심실 박출률 그리고 우심실 조율이 20 % 초과하는 환자에서 발생한다고 보고했다.¹⁷³⁾²¹⁰⁾ 기저 심기능이 정상인 환자 108 명을 대상으로 한 무작위 PREVENT-HF 연구에서는²⁰²⁾ 우심실조율 (RVP)에 비해 양심실 조율 (BVP)을 사용한 심장재동기화치료 (BVP-CRT)의 이점도 없었지만, 해로움도 보이지 않았다. 추가적인 좌심실 전극 삽입은 더 긴 시술 시간, 더 높은 시술관련 합병증 (예, 정맥 폐쇄 및 감염), 그리고 전극선 제거술이 필요한 경우 추가적인 위험 증가와 관련이 있다.²¹¹⁻²¹³⁾ 조율유발심근병증의 발생률은 수년간의 추적 관찰 후에도 낮다. 그리고 기저 좌심실 박출률이 낮고 우심실조율 (RVP) 비율이 높을 때 조율유발심근병증의 발생률이 높기 때문에, 좌심실 박출률이 보존되어 있고 우심실조율 (RVP)이 적은 환자에서는 심장재동기화치료 (CRT)의 뚜렷한 이점이 없다는 것이 합의된 권장 사항이다.

우심실 조율량이 많지 않은 경우 권고안

권고안	권고등급	근거수준
상당한 심실조율이 필요하지 않을 것으로 예상되는 좌심실 박출률 (LVEF) > 35 %의 영구 조율 적응증이 있는 환자의 경우 전통적인 우심실 전극선 배치를 선택하고 우심실조율 (RVP)을 최소화하는 것이 합리적이다.	IIa	B
상당한 심실 조율이 필요하지 않을 것으로 예상되는 좌심실 박출률 (LVEF) 36~50 %의 영구 조율 적응증이 있는 환자의 경우 히스다발조율 (HBP) 또는 좌각영역조율 (LBBAP)을 이용한 생리적심조율 (CPP)이 우심실 조율 (RVP)의 대안으로 고려할 수 있다.	IIb	C
상당한 심실 조율이 필요하지 않을 것으로 예상되는 좌심실 박출률 (LVEF) 36~50 % 및 좌각차단 (LBBB)의 영구 조율 적응증이 있는 환자의 경우 잠재적인 증상과 좌심실 박출률의 개선을 위해 생리적심조율 (CPP)을 고려할 수 있다.	IIb	C
상당한 심실 조율이 필요하지 않을 것으로 예상되는 정상 좌심실 박출률 (LVEF)로 영구 조율을 받고 있는 환자의 경우 좌각영역조율 (LBBAP) 전극선이 우심실 조율 (RVP) 전극선의 대안으로 고려할 수 있다.	IIb	C
상당한 심실 조율이 필요하지 않을 것으로 예상되는 정상 좌심실 박출률 (LVEF) 환자의 경우, 양심실 조율 (Biventricular pacing, BVP)을 사용하는 심장재동기화 치료 (CRT)는 적응이 되지 않는다.	III	B

5.2.3 심장수술시 좌심실 전극선 삽입

좌심실의 후외측 또는 측벽에 심외막 전극선 (epicardial lead)을 삽입하는 것은 심장 수술 시에 시행할 수도 있고, 또는 일반적으로 미니 개흉술이나 최소 침습 흉강경 접근법을 통해 독립된 시술로 시행할 수도 있다. 수술용 심외막 좌심실 전극선 (epicardial LV lead) 또는 경정맥 관상정맥동 전극선 (transvenous coronary sinus lead)을 사용하여 심장 재동기화치료 (CRT)를 받은 환자를 대상으로 한 대규모 관찰연구에서 평균 5.1년의 추적 기간동안 생존율과 좌심실박출률의 개선이 동등했다.²¹⁴⁾ 수술적으로 배치된 좌심실 전극선과 경피적 관상정맥동 전극선을 비교한 소규모 무작위 배정 연구결과,²¹⁵⁾²¹⁶⁾ 좌심실 기능과 좌심실 크기에서 동등한 결과를 보여주었다. 더욱이, 적절한 관상정맥동의 후외측 (posterolateral) 또는 측면 (lateral) 가지 (branch)가 없는 경우 외과적으로 배치된 전극선이 관상정맥동 전극선보다 우월할 수 있다. 시술 전 컴퓨터단층촬영 (CT) 이미지에서 부적절한 관상정맥동 해부학적 구조를 가진 것으로 판단된 환자를 대상으로 한 소규모 무작위 연구에서²¹⁷⁾, 수술적으로 배치된 심외막 전극선에 배정된 환자는, 관상정맥동 후방정맥 (posterior vein)이나 대심장정맥 (great cardiac vein)에 배치한 환자과 비교하여, 심폐운동기능검사에서 NYHA 등급, 좌심실박출률 (LVEF), 좌심실용적, 그리고 최대산소 섭취량 (VO₂ max)이 개선되었다. 따라서 수술적으로 배치된 심외막 좌심실 전극선은 기

존심장재동기화치료 (CRT)의 대안이자, 심장 수술시에 실행 가능한 옵션이다. 심조율 발생기 (pacemaker generator)에 연결되지 않은 심외막 좌심실 전극선 (epicardial LV lead)은 자기공명영상촬영 (MRI)이 불가능하게 할 수 있다는 점은 고려해야 한다.

RESCUE 연구에서²¹⁸⁾, 좌심실 박출율 (LVEF)이 35 % 이하이고 NYHA 등급 3 또는 4이며 QRS 폭이 120 ms를 초과하거나 또는 심초음파에서 비동기화 (dyssynchrony)를 보이는 관상동맥우회이식 (CABG) 수술을 받은 178 명의 환자를 대상으로, CABG를 받을 때 동시에 심외막 심장재동기화치료 (CRT) 시술과 관상동맥우회이식 (CABG) 수술만 받은 군으로 무작위 배정되었다. 평균 55개월의 추적 기간동안, 심장재동기화치료 (CRT)를 동시에 받은 관상동맥우회이식 (CABG) 수술에 무작위 배정된 환자군은 모든 원인으로 인한 사망률 (HR 0.43; $p=.012$)과 병원 재입원율 (9.9 % vs 28.7 %; $p=.001$)이 감소했다. CABG와 동시에 심외막 CRT를 받은 23 명의 환자를 대상으로 한 연구²¹⁹⁾에서, 3 개월 기간의 교차방식으로 심장재동기화치료 (CRT)를 켜거나 끄도록 프로그래밍하게 무작위 배정하였는데, 심장재동기화치료 (CRT)가 켜져 있는 동안 좌심실박출률, 좌심실용적, 승모판역류, NYHA등급, 6 분 도보거리의 의미 있는 개선이 보였다. 마지막으로, 이전에 경정맥 시스템을 갖고 있는데, 심장 수술을 받을 때 심외막 전극선 삽입을 같이 받고 심장재동기화치료 (CRT)로 업그레이드한 18 명의 환자를 대상으로 한 후향적 분석에서 NYHA 등급의 개선이 있었다.²²⁰⁾ 이러한 연구들은 향후 심장재동기화치료 (CRT)가 필요할 가능성이 있는 환자가 심장 수술을 받게 될 때 영구 심외막 좌심실 조율 전극선을 넣을 것을 지지한다.

심실 조율이 필요할 가능성이 높지만 심장재동기화치료 (CRT)의 적응증이 없는 환자의 경우 우심실 심첨부 조율 (RV apical pacing)으로 인한 조율유발심근병증 발생의 잠재적 위험에 노출될 수 있다는 우려가 남아 있다. 이러한 위험은 심장 수술 시에 영구 심외막 좌심실 전극선을 배치할 수 있는 기회를 활용하면 피할 수 있다. 심장 수술시 배치된 심외막 전극선은 시간이 지나도 우수한 내구성과 안정적인 전극 성능 파라미터를 유지하는 것으로 나타났다.²¹⁸⁾

심장수술시 좌심실 유도 삽입에 대한 권고안

권고안	권고등급	근거수준
향후 심장재동기화치료 (CRT)가 필요할 가능성이 있는 심장 수술을 받는 환자의 경우 수술 중 영구 심외막 좌심실 전극선 (epicardial LV lead)을 이식 배치하는 것이 유용할 수 있다.	IIb	B
상당히 많은 심실 조율이 필요할 가능성이 있는 심장 수술을 받는 환자의 경우, 조율유발심근병증의 위험을 잠재적으로 줄이기 위해 수술 중 영구 심외막 좌심실 전극선 (epicardial LV lead)을 이식 배치하는 것을 고려할 수 있다.	IIb	C

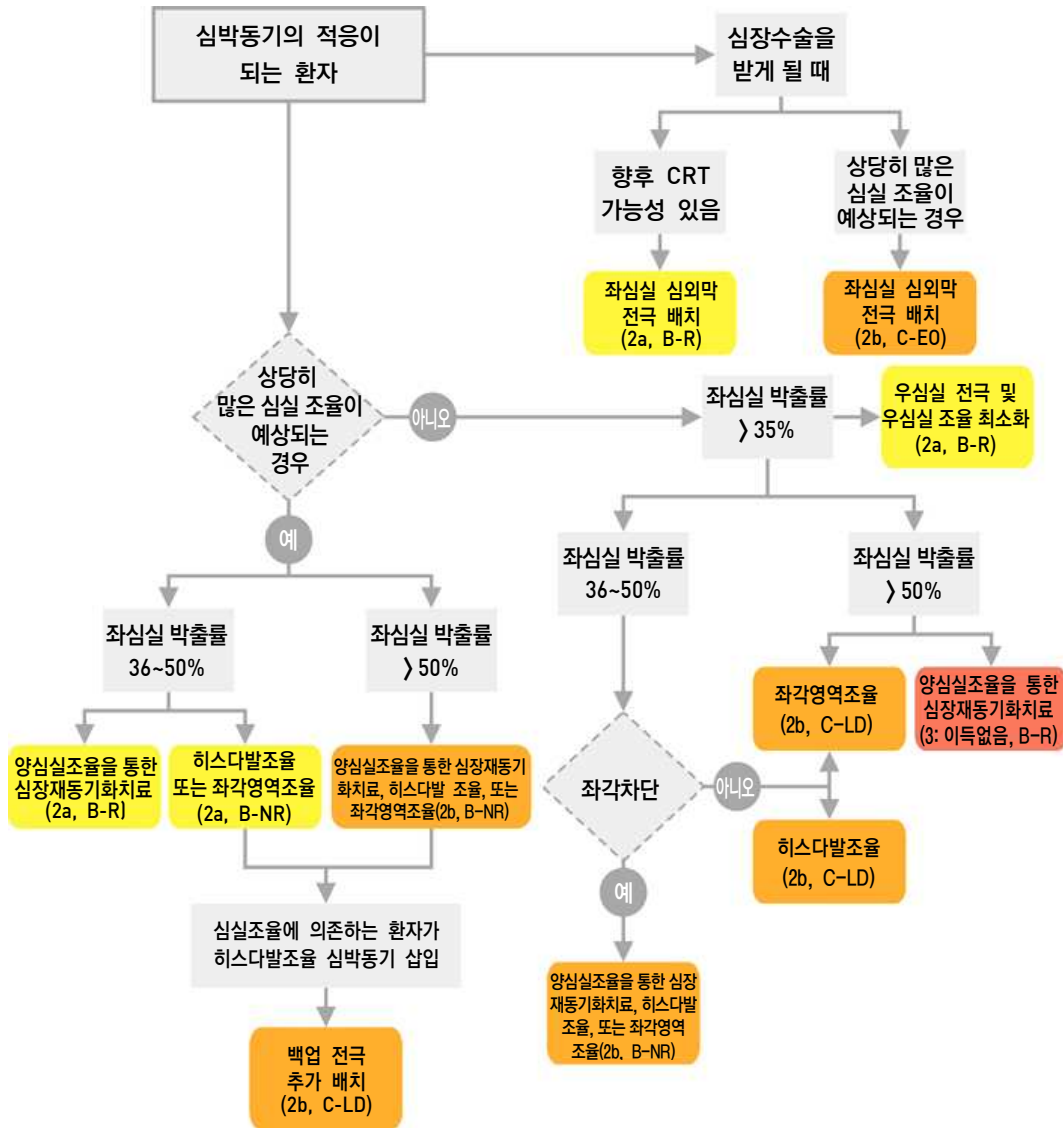


그림 8. 서맥 적응에 대한 심박동기 이식을 받는 환자의 조율 전략을 위한 알고리즘

5.3 심부전 환자에서 생리적 심조율의 적응증

5.3.1 좌각차단, 동리듬, QRS 150 ms 이상, NYHA I-IV의 증상이 있는 경우

심부전 진료지침에 따른 적절한 약물 치료에도 불구하고 좌심실 박출률이 35 % 이하이고 동율동이며, QRS 간격이 150 ms 이상인 좌각차단이 있는 심부전 환자들은 심부전의

진행 및 심장 사건의 고위험군에 해당한다. 이런 환자들은 양심실 조율 재동기화 치료 (BVP-CRT)를 삽입한 경우 기능 상태 및 삶의 질 및 사망률에서 상당한 개선이 있다.²²¹⁻²²³⁾ 하지만 NYHA class I의 증상이 없는 환자에서 양심실 조율 재동기화 치료 (BVP-CRT)를 삽입한 경우에는 임상적 근거가 미흡하며²²⁴⁾, 미국 부정맥 진료지침에서는 좌심실 박출률이 30 % 미만의 경우 IIb 로 권고되고 있다.¹⁶⁸⁾

최근에 심장전도계 조율 (CSP)에 관한 연구에서 히스다발조율 (HBP) 및 좌각영역조율 (LBBAP)은 좌각 차단을 교정하여 심부전을 개선시키는 효과가 있음을 보여주고 있어 양심실 조율 재동기화 치료 (BVP-CRT)의 대안으로 고려될 수 있다.²²⁵⁻²²⁹⁾ 또한, 좌심실 박출률이 36-50 %의 박출률 정도 감소 심부전 환자에게서도 생리적 심조율 (CPP)의 유용성에 대해서 일부 증거가 있었다.²³⁰⁾²³¹⁾ 다만 히스다발조율 (HBP)시 전극선의 R파의 크기가 작거나 심방의 과도 감지로 인하여, 심실 빈맥과 상심실성 빈맥의 구별이 힘들 수 있어, 빈맥 구별에 사용해서는 안된다.

좌각차단, 동리듬, QRS 150 ms 이상, NYHA I-IV의 증상이 있는 경우 권고안

권고안	권고등급	근거수준
대한심부전학회 진료지침에 따른 적절한 약물 치료에도 불구하고 NYHA II-IV의 증상이 있고, 좌심실 박출률이 35 % 이하이며, 동리듬, 좌각차단, QRS 간격 150 ms 이상인 심부전 환자에서, 양심실 조율 재동기화 치료 (BiV-CRT)는 심부전의 증상과 합병증, 사망률을 감소시키기 위해 추천한다.	I	A
대한심부전학회 진료지침에 따른 적절한 약물 치료에도 불구하고 NYHA II-IV의 증상이 있고, 좌심실 박출률이 35 % 이하이며, 동리듬, 좌각차단, QRS 간격 150 ms 이상인 심부전 환자에서 양심실 조율 재동기화 치료 (BiV-CRT)가 효과적이지 못할 경우 심장 전도계 조율 (Conduction system pacing, CSP)하는 것이 합리적이다.	IIa	C
대한심부전학회 진료지침에 따른 적절한 약물 치료에 NYHA I의 증상이 없는 좌심실 박출률이 30 % 이하, 동리듬, 좌각차단, QRS 폭 150 ms 이상인 심부전 환자에서 양심실 조율 재동기화 치료 (BiV-CRT)는 심부전의 악화와 좌심실 리모델링을 줄이기 위해 고려해볼 수 있다.	IIb	B
대한심부전학회 진료지침에 따른 적절한 약물 치료에도 불구하고 NYHA II-IV의 증상이 있고, 좌심실 박출률이 36-50 % 이하, 동리듬, 좌각차단, QRS 폭이 150 ms 이상인 심부전 환자에서 생리적 심조율 (Cardiac physiologic pacing, CPP)은 좌심실 박출률의 유지 및 호전을 위해 고려해볼 수 있다.	IIb	C
대한심부전학회 진료지침에 따른 적절한 약물 치료에도 불구하고 NYHA II-IV의 증상이 있고, 좌심실 박출률이 35 % 이하, 동리듬, 좌각차단, QRS 폭이 150 ms 이상인 심부전 환자에서 심장 전도계 조율 (Conduction system pacing, CSP)은 양심실 조율 재동기화 치료 (BiV-CRT)의 대안으로 고려될 수 있다.	IIb	C

5.3.2 좌각차단, 동리듬, QRS 120-149 ms, NYHA II-IV의 증상이 있는 경우

양심실 조율 재동기화 치료 (BVP-CRT)의 QRS 간격에 따른 메타분석에서 QRS 폭이 150 ms 이하일 때 효과가 적다는 것을 보였다.²³²⁾²³³⁾ 따라서 적절한 약물 치료에도 불구하고 좌심실 박출률이 35 % 이하인 심부전 환자에서 좌각차단, 동율동, NYHA II-IV의 증상이 있는 경우, QRS 120-149 ms 인 경우, 심장관련 사건과 사망률을 줄이고 좌심실 박출률을 개선하기 위해 양심실 조율 재동기화 치료 (BVP-CRT)를 삽입하는 것은 Class IIa 로 권고등급을 낮추고 있다. (Class I → Class IIa)

여성의 경우 남성보다 양심실 조율 재동기화 치료 (BVP-CRT)의 효과가 좋은 것으로 알려져 있으며, QRS 120-149 ms 인 경우에도 적용된다. 이러한 성별에 따른 양심실 조율 재동기화 치료 (BVP-CRT)의 효과의 차이는 인체 계측학적 차이, 특히 좌심실 크기와 연관된 것으로 보인다. 따라서 미국 부정맥 가이드라인에서는 여성의 경우에는 QRS 폭이 120-149ms 이더라도 class I 으로 권고등급을 높여서 추천하고 있다.¹⁶⁸⁾

QRS 폭에 따른 메타분석에서 QRS 폭이 150 ms 이하일 때 전체적인 혜택이 적다는 것을 보여주며, 특히 QRS 폭이 120-129 ms 환자에 대한 근거는 매우 제한적이다.²³⁴⁾ 따라서, 유럽 부정맥 진료지침에서는 QRS 간격이 130 ms 이하의 경우에는 양심실 조율 재동기화 치료 (BVP-CRT)를 권장하지 않는다. (Class III)¹⁷⁷⁾ 또한 QRS 120-149 ms인 환자에 대한 심장전도계 조율 (CSP)의 근거는 아직까지는 제한적이어서 양심실 조율 재동기화 치료 (BVP-CRT)를 대체하는 치료로 권장하지 않는다.

좌각차단, 동리듬, QRS 120-149 ms, NYHA II-IV의 증상이 있는 경우 권고안

권고안	권고등급	근거수준
대한심부전학회 진료지침에 따른 다른 적절한 약물 치료에도 불구하고 NYHA II-IV 증상, 좌심실 박출률이 35 % 이하, 동리듬, 좌각차단, QRS 폭 120-149 ms 인 여성 환자에서, 심장관련 사건과 사망률을 줄이고 좌심실 박출률을 개선하기 위해 양심실 조율 재동기화 치료 (BiV-CRT)의 삽입을 추천한다.	I	A
대한심부전학회 진료지침에 따른 다른 적절한 약물 치료에도 NYHA II-IV의 증상, 좌심실 박출률이 35 % 이하, 동리듬, 좌각차단, QRS 폭 120-149 ms 인 심부전환자에서 심장관련 이벤트와 사망률을 줄이고 좌심실 박출률을 개선하기 위해 양심실 조율 재동기화 치료 (BiV-CRT)를 삽입하는 것이 합리적이다.	IIa	B

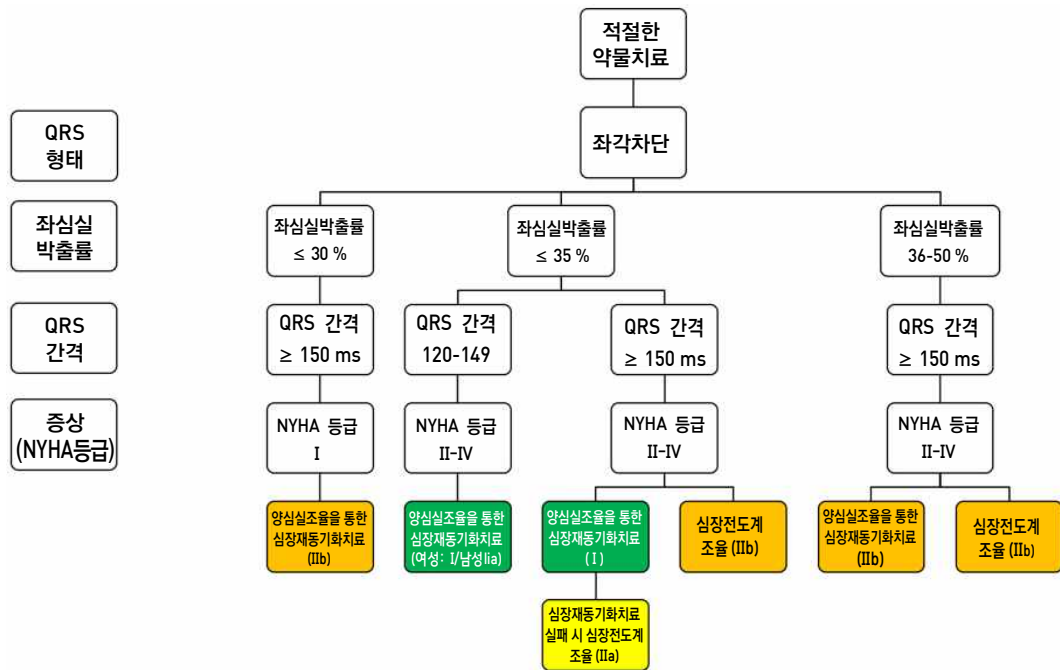


그림 9. 좌각 차단이 있는 심부전 환자에서 생리적 심조율의 추천 알고리즘

5.3.3 비좌각차단, 동리듬, QRS 150 ms 이상, NYHA II-IV의 증상이 있는 경우

심부전 환자에서 비좌각차단의 비율은 좌각차단의 비율에 비해서 낮다. 스페인에서 행해진 한 연구에서는 30 %가 좌각 차단을 보였으며, 7.6 %가 우각차단, 8.4 %가 심실 내 전도 지연 (Intraventricular conduction delay, IVCD)을 보였다.²³⁵⁾ 좌각차단을 가진 환자에 비해서, 비좌각차단을 가지고 있는 심부전 환자들의 4 년 후 추적 관찰에서 사망률이 29 % 이상 증가하였으며, 그 중 좌심실 박출률이 30 % 미만인 경우에 위험 비율이 더욱 높았다.²³⁶⁾

양심실 조율 재동기화 치료 (BVP-CRT)의 대규모 연구에서 비좌각차단 환자들은 많이 포함되지 않아 결과가 제한적이다. 하지만 QRS 간격에 따른 메타분석에서는 QRS 지속시간이 150 ms 이상인 경우, 비좌각차단 환자이더라도 양심실조율 재동기화 치료 (BVP-CRT)에 의한 사망률 및 심부전으로 인한 입원이 유의미하게 감소하였으며, 이는 NYHA class II인 환자보다 NYHA class III-IV의 증상이 있는 환자에서 더 효과적이었다.²³²⁾

비좌각차단 심부전 환자에 있어 심장전도계 조율 (CSP)에 관한 대규모 메타분석이나 무작위 대조군 연구는 아직 부족하다. 39 명의 우각차단 심부전 환자에서 히스다발조율

(HBP)을 시행한 한 연구에서는 15 개월의 추적 관찰을 통해 QRS 폭 및 좌심실 박출률, NYHA class 증상 호전을 보여주었다.²³⁷⁾ 또한 비좌각차단을 가진 103 명의 심부전 환자에서 좌각영역조율 (LBBAP)을 시행하였을 때 QRS 간격 및 좌심실 박출률, NYHA class 증상 호전을 보여주었다.¹⁹⁰⁾ 양심실 조율 재동기화 치료 (BVP-CRT)를 삽입할 때, 관상정맥동에 전극 삽입에 실패하거나 양심실 조율 재동기화 치료 (BVP-CRT)에 잘 반응하지 않았던 환자에게 좌각영역조율 (LBBAP)을 시행하였을 때 QRS 폭 및 좌심실 박출률의 호전소견을 보여주었다.²²⁸⁾

비좌각차단, 동리듬, QRS 150 ms 이상, NYHA II-IV의 증상이 있는 경우 권고안

권고안	권고등급	근거수준
대한심부전학회 진료지침에 따른 적절한 약물 치료에도 불구하고 NYHA III-IV의 증상이 있고, 좌심실 박출률이 35 % 이하이며, 동리듬, 비좌각차단, QRS 폭 150 ms 이상의 심부전 환자에서 양심실 조율 재동기화 치료 (BiV-CRT)는 심부전의 증상과 심장 리모델링, 좌심실 박출률을 개선시킬 수 있다.	IIa	A
대한심부전학회 진료지침에 따른 적절한 약물 치료에도 불구하고, NYHA II-IV의 증상, 좌심실 박출률이 35 % 이하, 동리듬, 비좌각차단, QRS 폭 150 ms 이상인 심부전환자에서, 생리적 심조율 (Cardiac physiologic pacing, CPP)은 사망률 및 심부전으로 인한 입원 좌심실 박출률 및 심부전의 증상의 개선을 위해 고려해볼 수 있다.	IIb	B
대한심부전학회 진료지침에 따른 적절한 약물 치료에도 불구하고 NYHA II-IV의 증상, 좌심실 박출률이 35 % 이하, 동리듬, 비좌각차단, QRS 폭 150 ms 이상인 심부전 환자에서 양심실 조율 재동기화 치료 (BiV-CRT)가 효과적이지 못한 경우 심장 전도계 조율 (Conduction system pacing, CSP)을 고려해볼 수 있다.	IIb	B

5.3.4 비좌각차단, 동리듬, QRS 150 ms 미만, NYHA I-IV의 증상이 있는 경우

비좌각차단을 가진 환자에서 QRS 폭이 150 ms 이하에서 NYHA class III-IV의 경우 생리적 심조율의 잠재적인 효과에서 대해서는 근거가 매우 제한적이다. 또한 QRS 120 ms 이하의 경우 또는 NYHA class I-II 의 경우 양심실조율 재동기화 치료 (BVP-CRT)의 효과는 없었다.²³⁴⁾ QRS 폭이 비교적 짧은 비좌각차단의 경우 내재된 심근 질환이나 좌심실 활성화 지연 부분이 다양하기 때문에 단순한 양심실조율 재동기화 치료 (BVP-CRT)로 교정이 어렵다.

비좌각차단, 동리듬, QRS 150 ms 미만, NYHA II-IV의 증상이 있는 경우 권고안

권고안	권고등급	근거수준
대한심부전학회 진료지침에 따른 적절한 약물 치료에도 불구하고 NYHA III-IV의 증상, 좌심실 박출률이 35 % 이하, 동리듬, QRS 폭 120-149 ms인 심부전 환자에서 생리적 심조율 (Cardiac physiologic pacing, CPP)의 효과는 저명하지 않다.	IIb	B(CRT) C(CSP)
대한심부전학회 진료지침에 따른 적절한 약물 치료에도 불구하고 NYHA II-IV의 증상이 있고, 좌심실 박출률이 35 % 이하, 동리듬, QRS 폭 120 ms 이하인 경우, 양심실 조율 재동기화 치료 (BiV-CRT)은 추천하지 않는다.	III	B
대한심부전학회 진료지침에 따른 적절한 약물 치료에 NYHA I-II 의 증상, 좌심실 박출률이 35 % 이하, 동리듬, 비좌각차단, QRS 폭 150 ms 이상인 심부전 환자에서 양심실 조율 재동기화 치료 (BiV-CRT)은 추천하지 않는다.	III	B

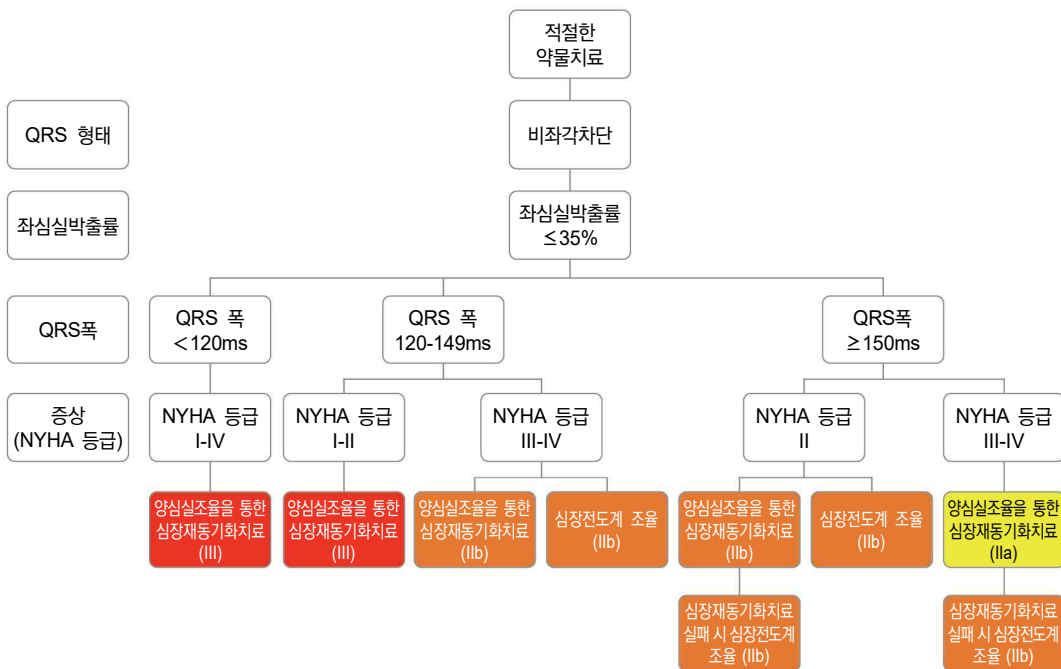


그림 10. 좌각차단이 없는 심부전 환자에서 생리적 심조율의 추천 알고리즘

5.3.5 우심실 조율 부담이 많은 조율 유발성 심근병증

지속적인 우심실 조율은 몇몇 환자들에게서 조율유발 심근병증을 유발할 수 있다. 조율 유발 심근병증을 한마디로 정의하기는 힘들지만, 대부분의 연구에서는 (1) 우심실 조율이 전에 좌심실 박출률이 50 % 이상의 환자에서 10 % 이상의 좌심실 박출률 감소를 보인

경우 (2) 조율 부담이 20 % 이상인 경우 (3) 조율이외에 다른 좌심실 박출률 감소를 유발할 수 있는 다른 원인을 배제한 경우로 정의하고 있다.²³⁸⁾ 메타 분석에서는 생리적 심조율을 시행하였을 때, 대부분의 환자에서 가역적인 좌심실 박출률의 현저한 회복 및 심부전 증상 개선이 있었다.¹⁸⁰⁾ 따라서, 유럽 부정맥학회 진료지침에서는 좌심실 박출률이 35 % 이하로 떨어진 환자에서 양심실 조율 재동기화 치료 (BVP-CRT)를 권하고 있다.¹⁷⁷⁾ 최근 업데이트된 미국 부정맥 진료지침에서는 조율유발 심근병증 환자에게 심장전도계 조율 (CSP)로 재시술 (Revision) 하는 것이 Class IIa로 추가하였다.¹⁶⁸⁾

우심실 조율 부담이 많은 조율 유발성 심근병증에 대한 권고안		
권고안	권고등급	근거수준
심실 조율 부담이 많은 심박동기 환자에서 좌심실 기능의 저하 및 심부전의 증상이 악화된 경우, 양심실조율 재동기화 치료 (BVP-CRT)를 권장한다.	I	B
심실 조율 부담이 많은 심박동기 환자에서 좌심실 기능의 저하 및 심부전의 증상이 악화된 경우, 심장전도계 조율 (CSP)로 재시술로써 고려한다.	IIa	B

5.3.6 기대여명이 1년 미만인 경우

2022년 미국 심부전 학회 진료지침에서는 기대 여명이 1년 미만이라면 기기 치료보다는 약물 치료를 권하고 있지만, 그에 관한 연구는 없다.²³⁹⁾ 2023년 미국 부정맥학회 진료지침에서는 심부전 증상을 완화하기 위한 생리적 심조율의 이식은 환자의 예후, 환자의 가치관, 잠재적인 혜택 및 시술 위험을 고려한 공동의 의사 결정 과정 (shared decision making)으로 결정하는 것을 권유한다.⁵⁾

기대여명이 1년 미만인 경우에 대한 권고안		
권고안	권고등급	근거수준
기대여명이 1년 미만인 경우 생리적 심조율 (CPP)을 삽입하는 것은 시술 위험에 반해서 삶의 질 향상에 도움이 되는 공동 의사 결정 과정 (Shared decision making)을 권장한다.	I	C

5.4 심방세동 환자에서 생리적 심조율의 적응증

초기 심장재동기화치료 (CRT) 연구에서 심방세동 환자에 대한 데이터는 부족했지만, 후속 연구에서 심방세동 환자에게도 이점이 있는 것으로 나타났다. 심방세동이 있는 경우에도 심장재동기화치료 (CRT)를 고려해야 하며, 치료 효과를 극대화하기 위해서는 거의 100 %에 가까운 양심실 조율 비율을 유지하는 것이 중요하다

치료에 반응하는 않는 심방세동으로 방실 결절절제술을 받는 좌심실 박출률이 50 % 이하인 환자는 심장재동기화치료, 히스다발 심장조율, 좌각영역 조율로 예후를 개선할 수 있다. 치료에 반응하지 않는 심방세동 환자들이 받는 방실결절 절제술 (AV junctional ablation, AVJA)과 관련하여, 히스다발조율 (HBP) 및 좌각영역조율 (LBBAP)에 대한 연구는 주로 후향적 또는 전향적 관찰연구로 진행되었다. 이 중 한 개의 전향적 무작위 교차 연구²⁴⁰⁾에서 히스다발조율 (HBP)이 양심실조율 재동기화치료 (BVP-CRT)보다 좌심실 박출률을 증가시키는 것으로 나타났다. 이에 따라, 생리적 심조율 (CPP)의 효과를 평가하기 위한 추가적인 무작위 연구가 필요하다. 심방세동 환자들에 대한 생리적 심조율 (CPP) 적응증은 다음과 같다. (그림 11)

우심실첨부 조율과 우심실조율 예방 알고리즘의 효과에 관한 무작위 연구¹²⁶⁾²⁴¹⁾에서 높은 우심실조율 (RVP)이 심방세동의 부담과 진행 위험을 증가시킬 수 있음이 알려졌다. 우심실 첨부 조율이 심방세동 위험을 증가시키는 정확한 병리학적 기전은 아직 명확히 밝혀지지 않았지만, 심실 비동기화로 인한 좌심방의 압력과 크기 증가, 그리고 유두근의 비동기화로 인한 승모판 역류 증가가 관련 있을 것으로 추정된다.

여러 무작위연구에서 치료에 반응하지 않는 심방세동으로 방실결절절제술을 받는 좌심실 박출률이 50 % 이하인 환자에서 심장재동기화치료 (CRT)가 약물치료¹⁴²⁾나 우심실조율 (RVP)¹⁴²⁾²⁴²⁻²⁴⁵⁾에 비해 더 좋은 결과를 보여주었다. APAF-CRT 연구¹⁴²⁾에서 영구적 심방세동과 좁은 QRS 간격을 가진 102 명의 심부전 환자들을 방실결절절제술 (AVJA)과 심장재동기화치료 (CRT) 혹은 약물을 통한 심박수 조절로 무작위 배정하였다. 방실결절절제술 (AVJA)과 심장재동기화치료 (CRT)를 받은 그룹에서 심부전 및 입원을 감소와 삶의 질 향상이 관찰되었다. 다른 무작위연구²⁴²⁾²⁴³⁾에서 심부전 증상을 보이는 심방세동 환자들이 방실결절절제술 (AVJA)과 심장재동기화치료 (CRT)를 받았을 때 전통적인 우심실 조율 (RVP) 보다 심부전 증상 감소, 삶의 질 및 운동능력 향상이 나타났다. PAVE 연구²⁴⁴⁾에서 184 명의 빠른 심실 반응을 보이는 심방세동 환자를 방실결절절제술과 심장재동기화치료 (CRT) 혹은 방실결절절제술과 우심실조율 (RVP)로 무작위배정하였다. 6 개월 후 심장재동기화치료 그룹의 좌심실 박출률 (46 ± 13 %)은 우심실조율 (RVP) 그룹 (41 ± 13 %) 보다 현저하게 향상되었다. 또 다른 무작위 전향적 연구²⁴⁵⁾에서 치료에 반

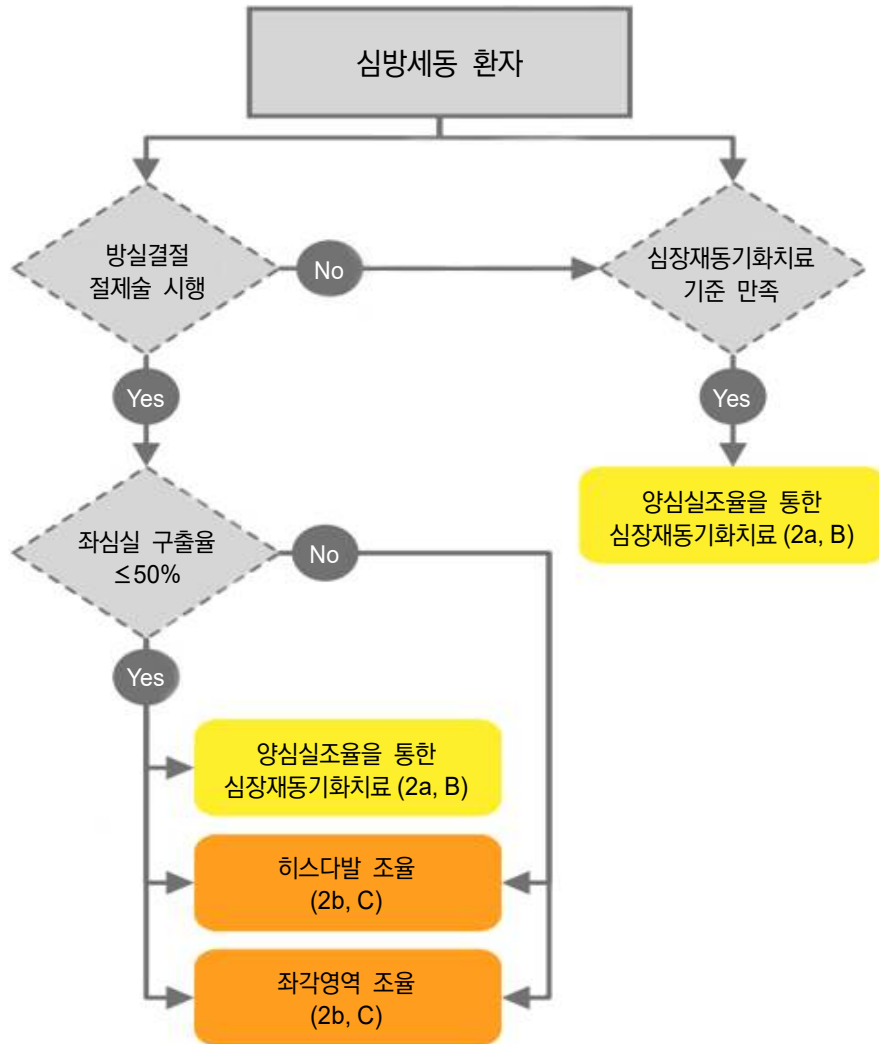


그림 11. 심방세동 환자에서 생리적 심장박동 조율의 추천 알고리즘

응하지 않는 심방세동 환자들을 대상으로 방실결절절제술 (AVJA)과 심장재동기화치료 (CRT) 또는 우심실 조율 (RVP)을 비교하였다. 우심실조율 (RVP) 그룹은 좌심방 용적과 좌심실 질량의 증가 및 좌심실 박출량의 감소를 보였다. APAF-CRT의 사망률 비교 연구²⁴⁶⁾는 심부전으로 입원 경험이 있는 133 명의 영구적 심방세동 및 좁은 QRS 폭을 가진 환자들을 대상으로 하였다. 이 연구에서 방실결절절제술 (AVJA)과 심장재동기화치료 (CRT)를 받은 환자들은 약물 치료만 받은 환자들에 비해 사망률이 낮았다.

두 개의 메타분석 연구²⁴⁷⁾²⁴⁸⁾에 따르면 심방세동을 가진 환자는 동리듬환자에 비해 재동기화치료를 받았을 때, 삶의 질, 6 분 보행검사 및 좌심실 박출률 면에서 유사한 개선을

보였다. RAFT 연구의 하위 그룹 분석²⁴⁹⁾에서는 영구적 심방세동 환자에게 심장재동기화 치료가 이식형 제세동기 치료에 비하여 추가적인 이점을 입증하지 못했지만, 1/3의 환자들만이 양심실조율 비율 95 % 이상을 유지했다는 한계점이 있다. 국립 심혈관 데이터 레지스트리에 등록된 9,000 명의 환자들을 대상으로 한 임상현장 관찰 분석 (real-world observational analysis)²⁵⁰⁾에서 심방세동 환자들에게 심장재동기화치료-제세동기 (CRT-D)는 이식형제세동기 (ICD) 치료에 비해 모든 원인에 의한 사망률, 모든 원인에 의한 병원 재입원률 및 심부전으로 인한 재입원을 줄였고, 이러한 효과는 좌각차단과 QRS 폭이 150 ms 이상인 환자에서 두드러졌다.

여러 후향적 관찰 연구²⁵¹⁻²⁵⁵⁾에서 방실결절절제술 (AVJA)을 받는 환자에서 히스다발조율 (HBP)은 가능성을 보여주었다. 히스다발조율 (HBP)은 95 %의 성공률을 보였으며,²⁵³⁾ 좌심실 박출률 및 NYHA 등급의 개선 및 안정적인 히스다발 조율 역치 (Capture threshold)를 유지하였다.²⁵²⁾²⁵³⁾ 그러나 다른 연구²⁵⁴⁾에서 15 명의 환자 중 7 명에서 히스다발 역치가 갑자기 상승하는 것이 관찰되었다. 좌심실 박출률이 35 % 이상이고 방실 차단으로 영구적 조율이 필요한 환자들을 대상으로 한 8 개의 메타연구에서 심장재동기화치료 (CRT)나 히스다발조율 (HBP)을 우심실조율 (RVP)과 비교하였을 때 좌심실 박출률은 향상되었지만, 사망률에는 차이가 없었다. 임상적 이득은 빠른 심실 박동수를 가진 영구적 심방세동 환자에서 방실결절 절제술 (AVJA)을 시행할 때에 한정된다. 전향적 무작위 교차 임상시험인 ALTERNATIVE-AF 연구²⁴⁰⁾에서 좁은 QRS 폭을 가진 심방세동 및 심부전을 가진 환자 50 명을 대상으로 한 히스다발조율 (HBP)은 심장재동기화치료 (CRT)에 비해 좌심실 박출률에서 통계적으로 유의미한 개선을 보였다.

좌각영역조율 (LBBAP)과 방실결절 절제술 (AVJA) 환자들의 결과에 대한 데이터는 아직 제한적이다. 좌각영역조율 (LBBAP)의 타당성과 효과를 분석한 한 전향적 관찰연구²⁵⁶⁾에서 4명의 환자가 방실결절 절제술을 받았다. 단일 기관의 후향적 코호트 연구²⁵⁵⁾에서 이식형 제세동기 시술 및 방실결절 절제술 (AVJA)과 히스다발 조율 (HBP) 또는 좌각영역 조율 (LBBAP)을 받은 환자는 방실결절 절제술 (AVJA)을 받지 않은 환자에 비해 심부전으로 인한 입원 및 사망이 낮았다. 여러 전향적 연구²⁵⁷⁾²⁵⁸⁾에서 방실결절 절제술을 받는 환자에서 좌각영역조율 (LBBAP)은 높은 성공률과 안정적인 전극선 수치를 나타냈다. 방실결절 절제술을 받은 98 명의 환자 (48 명의 히스다발 조율 HBP, 50 명의 좌각영역 조율 LBBAP)를 대상으로 한 연구²⁵⁹⁾에서 생리적 심조율 (CPP) 좌심실 박출률의 유지 또는 향상을 보여주었으며, 좌각영역조율 (LBBAP)은 히스다발조율 (HBP)에 비해 높은 시술 성공률과 낮은 전극선 관련 합병증을 보여주었다. 히스다발조율 (HBP)에 비해 좌각영역조율 (LBBAP)의 전극선 위치가 방실결절에서 더 멀어 방실결절 절제술을 시행하기 용이하며, 중장기적으로 전극 성능이 안정적이다. 좌각영역조율 (LBBAP)과 방실결절 절제

술을 받은 환자의 결과를 평가하기 위해 무작위 전향적 연구가 필요하다.

우심실 침부 조율은 심방세동의 발생 및 진행 (Progression)의 위험을 증가시킨다. 대규모 전향적 연구¹⁰⁷⁾에서 심박동기가 필요한 동기능 부전 환자들에게 방실 간격 (AV delay) 120~180 ms을 설정한 전속도 조절 조율은 99 %의 우심실조율 (RVP) 및 12.7 %의 심방세동 진행이 관찰되었다. 우심실 (RVP) 조율 예방 알고리즘 그룹은 낮은 우심실조율 (RVP) (9.1 %) 및 심방세동 진행 (7.9 %)을 보여주었다. 두 개의 관찰연구²⁶⁰⁾²⁶¹⁾에서 히스다발조율 (HBP)은 우심실조율 (RVP)에 비해 심방세동 발생률이 낮았지만, 심방세동 진행에는 차이가 없었다. 좌각영역조율 (LBBAP)과 우심실조율 (RVP)을 비교하였을 때 좌각영역조율 (LBBAP)은 우심실조율 (RVP)에 비해 새롭게 발생하는 심방세동의 위험을 낮추었고,²⁶¹⁾ 이러한 효과는 우심실조율 (RVP)이 20 % 이상인 환자에서 관찰되었다.²⁶¹⁾

심방세동 환자에서 생리적 심조율의 적응증에 대한 권고안		
권고안	권고등급	근거수준
치료에 반응하는 않는 심방세동으로 방실결절 절제술 (AVJA)을 받는 환자 중 좌심실 박출률이 50 % 이하인 경우 심장재동기화치료 (CRT)를 통한 양심실 조율은 심부전으로 인한 입원 및 사망률을 감소시키고, 역구조적 재형성을 촉진하고, 삶의 질 및 기능적 능력, 좌심실 박출률을 향상시킨다.	IIa	B
심장재동기화치료 (CRT)의 기준을 만족하는 심방세동 환자의 경우, 심장재동기화치료를 통한 양심실 조율은 삶의 질, 기능적 능력, 좌심실 박출률을 개선하는데 도움이 될 수 있다.	IIa	B
방실결절 절제술 (AVJA)을 받는 심방세동 환자에서 히스다발조율 (HBP)과 또는 백업 심실 전극선의 사용은 좌심실 박출률을 개선 또는 유지와, 운동 기능을 증가하는데 도움이 될 수 있다.	IIb	C
방실결절 절제술 (AVJA)을 받는 환자에서 좌각영역조율 (LBBAP) 전극선을 삽입하는 것을 고려할 수 있다.	IIb	C
심실 조율의 부담이 높은 환자에서 심방세동의 위험을 감소하기 위해 히스다발조율 (HBP) 또는 좌각영역조율 (LBBAP)을 고려할 수 있다.	IIb	C

5.5 시술 전 평가와 준비

5.5.1 시술 전 검사에 대한 권고사항

성공적이고 안전한 시술은 사전 준비에 달려 있다. 시술 전 예방적 항생제, 시술실 무균 상태 유지, 시술 전후 적절한 항혈전 치료 관리가 필요하다. 이 섹션에서는 기기 선택과 시술의 계획에 영향을 줄 수 있는 시술 전 검사에 중점을 둔다. 안정시 심전도는 심장삽입 전기장치 시술을 고려중인 환자의 초기 평가에 가장 중요하다. 안정시 심전도는 서맥성 부정맥을 비교적 쉽게 진단할 수 있으며, Q 파, QT 연장, 좌심실 비대, 낮은 QRS 전압

등과 같은 잠재적 구조적 질환을 진단하는데 도움을 준다. 있다. 다양한 이동형 감시 장치를 통하여 일시적인 심장 차단 또는 일시적인 부정맥을 진단할 수 있다.

구조적 심질환이 의심되는 환자의 경우 시술 전 영상 촬영은 좌심실 기능을 파악하고, 잠재적으로 치료 가능한 상태인지를 확인하는데 유용하다. 관상동맥 컴퓨터 단층촬영 혈관 조영술, 심장 자기공명단층촬영과 후기 가돌리늄 조영 (LGE), 심초음파와 같은 비침습적 검사를 통해 병리를 파악하고, 예후를 평가할 수 있다. 실험실 검사와 유전자 검사는 계획 및 예후 측면에 도움이 될 수 있으나 즉각적인 기기 선택에 도움이 되지 않는다.

심장삽입전기장치 삽입은 환자 중심의 접근이 필요하다. 영구적인 장치를 삽입하는 과정은 다양한 기술, 장치 선택 및 잠재적 결과를 포함하며, 이는 임상가와 환자 간의 협력적인 관계를 필요로 한다. 심장삽입전기장치 시술에 관한 선택사항, 위험, 이점 및 대안에 대해 자세한 논의가 공동 의사결정의 과정으로 필요하다. 고령 및 허약함 같은 위험 요소 및 동반 질환은 특정 환자에서 고려되어야 한다. 공동 의사결정을 위한 온라인 도구 및 기타 자료 사용은 환자 결과를 개선할 수 있다. 시술 전 테스트 및 공동 의사결정에 대한 과정을 정리한 알고리즘은 그림 12에 있다.

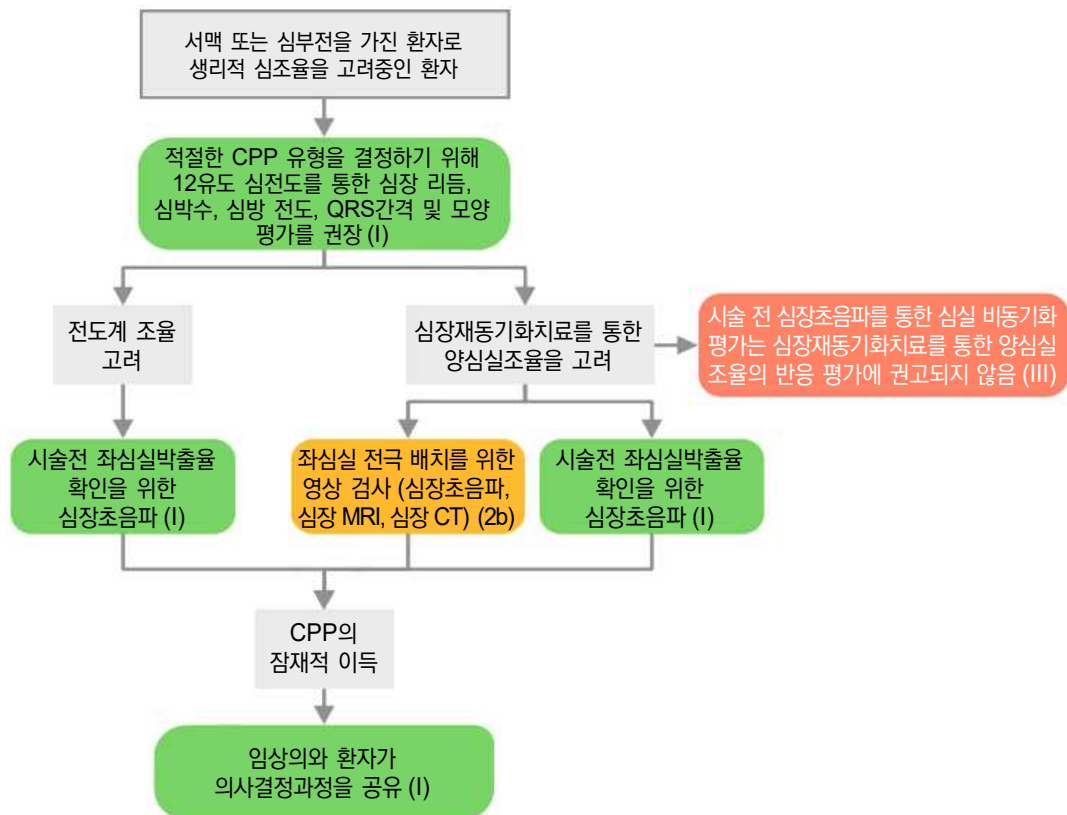


그림 12. 시술 전 평가 및 준비

생리적 심조율 (CPP)은 보다 생리적인 심실 활성화 및 전기역학적 비동기화 교정을 목표로 한다.²⁶²⁻²⁶⁴⁾ 12유도 심전도를 통한 QRS 폭 및 모양 평가는 전기적 비동기화 평가에서 가장 오래된 도구이며, 심장재동기화치료 대상 환자 선정에 있어 표준으로 남아 있다. 심전도의 여러 한계가 보고되었는데, 이는 좌각차단의 다양한 정의, 측정 방법론의 차이, 전기적 및 기계적 비동기화 간의 상관관계를 조사하려는 시험의 결과가 일관성이 없게 나왔기 때문이다.²⁶⁵⁻²⁷³⁾ 그럼에도 불구하고, 현재 권고 사항을 확립한 무작위 연구의 결과는 QRS 폭에 기반하여 심장재동기화치료기 삽입을 하였을 때 얻은 이점을 기반으로 한다.²²²⁾²²³⁾²⁷⁴⁻²⁷⁶⁾ 이러한 무작위 연구들의 메타 분석 결과는 넓은 QRS 폭을 가진 환자들에게 일관된 심장재동기화치료의 이점을 보여주었다. 이러한 연구들의 후속 사후 분석은 QRS 폭과 모양을 목표로 하여, 좌각차단 모양을 가진 환자들에서 가장 큰 이점이 달성되었음을 보여주었다.²¹¹⁾²⁷⁷⁻²⁸⁵⁾ QRS 폭 또는 모양 중 어느 것이 더 중요한지에 대한 논쟁은 계속되고 있다.²⁸⁶⁾ 추가 연구들은 PR 간격 지속 시간이 심장재동기화 반응을 구분하는데 유용할 수 있음을 보여주었다.²⁸⁷⁾ 비침습적 심전도 매핑이나 벡터심전도와 같은 더 정교한 심전도 기술들도 결과를 예측하는 데 사용되었다.²⁸⁸⁻²⁹¹⁾ 심장재동기화치료기 삽입 전 심전도 모니터링에서의 부정맥 비율 평가는 추적 관찰 중 낮은 양심실조율로 인해 감소된 심장재동기화치료 효과를 식별할 수 있다.²⁹²⁾ 이식 전후 넓은 조율 QRS 폭은 조율유발 심부전을 예측하는 것으로 보고되었다.¹³⁷⁾²⁹³⁾ 좌각차단 패턴에 대한 자세한 평가는 진정한 각차단과 구조적 심질환으로 인한 심실내 전도지연을 구별하는 데 도움이 될 수 있다.²⁹⁴⁻²⁹⁶⁾

생리적 심조율 박동기 삽입을 고려 중인 환자들에게는 적절한 치료를 위해 삽입 전 심장 영상 검사가 권장된다. 심초음파는 구조적 심질환의 존재를 평가하고 좌심실 박출률을 확인하기 위한 첫 번째 선택 영상 검사이다. 현재 좌심실박출률은 환자에게 권장되는 심장 박동조율 치료를 결정하는데 있어 핵심 요소이다. 특히 심장재동기화치료의 경우, 대규모 무작위 임상 시험에서 얻은 임상 증거는 일반적으로 좌심실 박출률에 기반을 둔다.²⁷⁴⁻²⁷⁶⁾

심근병증을 가진 환자들의 경우, 심장 자기공명영상 및 핵 영상 검사도 좌심실 수축 기능을 평가하는데 사용될 수 있지만, 특히 삽입 전 좌심실 기능 장애의 원인, 허혈 및 심근 흉터의 존재, 그리고 전도 장애의 잠재적 원인을 평가하는데 도움이 된다.

심장재동기화치료에 적합하다고 판단되는 환자들에서의 기계적 비동기화는 대부분 좌심실의 후외측 벽의 지연된 활성화로 특징지어진다. 따라서, 이 구역을 좌심실 전극선을 위치시킬 목표지역으로 한다. 가장 늦게 활성화되는 지역에 대한 개인별 변이가 크며, 또한 반흔의 존재 및 위치에 따라 심장재동기화치료의 효과에 영향을 줄 수 있다. 세 개의 무작위 연구²⁹⁷⁻²⁹⁹⁾에서는 심장 초음파를 사용하여 시술 전 방사형 변형 (Radial strain) 영상을 통해 반흔이 없으면서 가장 늦게 활성화되는 지역을 목표로 좌심실 전극선을 배치하

는 접근법이 심장재동기화치료 후 임상 결과를 개선시켰다고 보고했다. 그러나 이 결과들은 모든 영상 검사에 일관되게 관찰되지 않았다.³⁰⁰⁾³⁰¹⁾

심장재동기화치료의 임상적 효과는 환자마다 상당히 다르다. 많은 환자들이 심장재동기화치료 후 상당한 개선을 경험하지만, 이 치료법에서 거의 또는 전혀 효과를 보지 못하는 상당한 수의 환자들이 있다. 좌심실 비동기화가 심장재동기화치료에 적용 가능한 기질로 간주되어 왔기 때문에, 여러 좌심실 비동기화에 대한 심초음파 매개변수들이 전향적으로 평가되었다. 이러한 관찰 연구들, 대부분 단일 기관 연구들은 좌심실 비동기화의 존재가 심장재동기화치료 후 역모델링 또는 임상 반응 개선과 관련이 있다는 것을 보여주었다. 그러나 이러한 결과들은 더 큰 다기관 전향적 연구에서 확인되지 않았다.³⁰²⁾³⁰³⁾ 이러한 연구에서 심실 비동기화에 대한 심초음파 측정은 심장재동기화치료에 대한 반응을 예측하는데 있어서 보통의 정확도만을 보여주었으며, 이는 좌심실 비동기화에 대한 심초음파 매개변수가 심장재동기화치료에서의 임상 결정을 위해 충분히 정확하지 않다는 것을 시사한다. 이후, 많은 다른 심장 영상 기법들이 관찰 연구에서 연구되어 심장재동기화치료 반응과 관련된 다양한 새로운 비동기화 변수들을 만들었으나, 이러한 변수들은 전향적으로 확인되어야 한다. 따라서 현재 시점에서는 진료지침을 넘어서 심장재동기화치료 환자 선정을 개선하기 위해 추천될 수 있는 충분한 예측력을 가진 좌심실 기계적 비동기화 측정 방법은 없으며, 심전도가 심장재동기화치료에서 환자 선정을 위한 표준으로 남아 있다.

시술 전 검사에 대한 권고안

권고안	권고등급	근거수준
생리적 심조율 (CPP)을 고려 중인 환자의 경우, 12 유도 심전도는 심장 리듬, 심박수, 심방 전도, QRS 간격 및 모양을 평가하여 적절한 생리적 심조율 (CPP) 유형을 결정하기 위해 권장된다.	I	A
생리적 심조율 (CPP) 예정인 환자의 경우 시술 전 좌심실 박출율을 평가하기 위한 심초음파 검사가 권장된다.	I	A(CRT) C(HBP, LBBAP)
심장재동기화치료 (CRT) 필요한 환자에서 영상 검사 (심초음파, 심장 MRI, CT)는 적절한 좌심실 전극선 위치 선정을 위해 고려할 수 있다.	IIb	C
심장재동기화치료 (CRT)를 고려중인 환자에서 시술 전 심초음파를 통한 심실 비동기화 평가는 심장재동기화치료를 이용한 양심실 조율의 반응을 평가하는데 유용하지 않다.	III	A

5.5.2 생리적 심조율 반응과 관련된 예측 요인에 대한 평가

조율유발 심근병증의 위험을 가진 환자를 식별할 수 있는 몇 가지 요소가 있지만, 많은 환자들은 부정적인 결과 없이 고부하의 우심실 조율을 견딜 수 있다. 높은 위험을 가진

사람들을 식별하는 것은 여전히 어렵다. 현재의 히스다발조율 (HBP) 및 좌각영역조율 (LBBAP) 연구들³⁰⁴⁾³⁰⁵⁾은 실행 가능성과 안전성을 입증하였지만, 환자 선정을 결정하는데 크게 기여하지 않았다. 대부분의 연구는 적은 환자를 포함하고, 연구 대상 환자는 임상에서 보는 것보다 일반적으로 젊으며, 인종, 성별 및 동반 질환에 대한 데이터가 부족하다. 연구된 환자군은 다양한 임상 프로파일 (예: 조율 적응증 및 위험 요소)을 가진 환자들을 포함하지만 대부분 연구에서 대조군이 없다는 한계가 있다.

심장재동기화치료 후 역모델링과 관련된 요인들은 여성 성별, 비허혈성 병인, 좌각차단³⁰⁶⁾이다. 그러나 히스다발 조율 (HBP) 및 좌각영역 조율 (LBBAP)에 관한 연구는 대부분 후향적, 관찰적, 단일 센터 또는 다기관 연구로 제한되며 환자 선택 및 치료에서의 잠재적 편향과 같은 내재적 한계가 있다.¹⁹¹⁾ 임상적 이득과 위험은 체계적으로 검토되지 않았으며, 임상 결과에 대한 구체적인 보고도 다양하여 명확한 권장 사항을 판단하기 어렵다. 히스다발조율 (HBP) 및 좌각영역조율 (LBBAP)이 실패한 환자에 관한 정보도 일반적으로 제공되지 않는다. 여성 및 인종에 대한 데이터 역시 제한적이다.

5.5.3 공동 의사결정

공동 의사결정이 이루어지기 위해서는 다음과 같은 기준이 충족되어야 한다: (1) 임상 의와 환자의 참여, (2) 참여자 간의 정보 교환, (3) 선호하는 치료에 대한 합의, (4) 사용될 치료에 대한 동의³⁰⁷⁾

공동 의사결정은 심조율로부터 혜택을 받을 수 있는 환자들의 치료에 중요한 부분이다. 환자가 생리적 심조율로부터 혜택을 받을 수 있다는 결정이 내려지면, 임상 의는 환자와 공동 의사결정의 원칙을 적용하는 대화를 나누어야 한다. 시술의 위험과 이점에 대한 정보만 제공하고 환자가 결정을 내리도록 하는 것은 공동 의사결정이 아니다.³⁰⁸⁾ 오히려, 시술에 대한 임상적 적응증, 환자의 공존 질환, 취약성 및 전반적인 예후를 기반으로 한 환자의 위험과 이점에 대한 신중한 고려, 환자의 치료 목표와 선호에 대한 정보가 포함되어야 한다. 또한 심장재동기화치료 대비 생리적 심조율에 대한 근거와 이러한 심조율 방식이 배터리 수명과 단기 및 장기 합병증에 미칠 수 있는 잠재적 영향, 그리고 잠재적으로 적용 가능한 미래의 전극선 관리 문제와 배터리 소진 후에 고려해야 할 사항들에 대해서도 논의가 이루어져야 한다.¹⁸⁵⁾³⁰⁹⁻³¹¹⁾ 계획된 시술이 실패할 경우 선택한 생리적 심조율 전략 이외의 다른 생리적 심조율 옵션이 대안으로 고려될 경우에도 다양한 생리적 심조율 옵션에 대한 대화가 이루어져야 한다. 환자와 이러한 대화를 나누는 것은 쉽지 않을 수 있다. 임상 의는 완전히 투명하게 정보를 제공하는 것과 복잡한 정보로 환자를 과부하시켜 결정을 내리기 어렵게 하는 것 사이에서 균형을 맞추어야 한다. 그런 다음 최선의 가능한

근거와 환자의 건강 목표, 선호도 및 가치에 대한 이해를 바탕으로 권고가 이루어진다. 중재적 치료의 위험에 대한 환자의 선호도, 인식 및 수용이 다양하며, 질병 경과 중에 변할 수 있다는 점을 기억하는 것이 중요하다.

5.6 시술 술기

양심실 조율은 여러 진료 지침에서 널리 언급하고 있는 확립된 방식이지만, 성공적인 관상정맥동 접근, 최적의 관상정맥동 분지 선정, 심장재동기화 효과를 극대화할 수 있는 최상의 조율 전략 결정 등 이 기술을 최적화하는데 있어서 여러 넘어야 하는 과제가 있다. 히스다발조율 (HBP)에서 직면한 과제는 전도 시스템 내의 작은 영역을 목표로 하는 전극선 및 전달 시스템의 최적화, 장기적인 안전성 달성, 안전적이고 내구성 있는 조율 역치값 확보 등이었다. 최근에는 전도시스템 내에서 더 말단 쪽에 위치한 좌각영역을 표적으로 하는 좌각영역조율 (LBBAP)이 부상하고 있지만, 적절한 환자 선택, 시술 중 성공의 정의, 전극선 안전성 및 안전성과 관련된 장기적 결과에 대한 더 많은 데이터가 필요하다. 이 섹션에서는 그림 13에 요약된 바와 같이 각 기법을 사용한 성공적인 시술을 위한 최소 기준과 초기 접근이 실패할 경우 대체 전략에 대한 권장 사항을 다룬다.

양심실 조율에서 전극선 위치는 심장재동기화치료 (CRT) 효과에 일관되게 중요한 요소이다.³¹² 횡격막 신경 자극없이 적절한 조율 역치값을 허용하는 위치 중 좌심실 활성이 가장 늦게 되는 영역이 최적의 혈액학적 반응을 달성하기 좋은 위치로 알려져 있다.

양심실 조율을 통한 심장재동기화치료의 도구와 술기에 대한 권고안		
권고안	권고등급	근거수준
심장재동기화치료 (CRT)를 시행하는 환자에서 전극선 안전성 및 낮은 캡처 역치 달성하고, 횡격막 신경 조율을 피하기 위해, 또한, 전극선 위치재조정의 필요성을 낮추기 위해 4 극 좌심실 전극선이 추천된다.	I	B
심장재동기화치료 (CRT)를 시행하는 환자에서, 가장 좁은 QRS 폭을 달성하기 위한 전극선 위치선정과 프로그래밍은 환자 좌심실 구조 및 기능 향상에 이득이 된다.	IIa	B
심장재동기화치료 (CRT)를 시행하는 환자에서, 좌심실 전극선을 비심첨부 (non-apical position)에 위치시키는 것은 심장재동기화치료의 임상적, 구조적 반응을 향상시키기 위해 합리적인 고려이다.	IIb	C
심장재동기화치료 (CRT)를 시행하는 환자에서, 좌심실 전극선을 늦은 심실 활성을 보이는 곳에 위치시키는 것을 심장재동기화치료 반응 향상을 위해 고려해볼 수 있다.	IIb	C

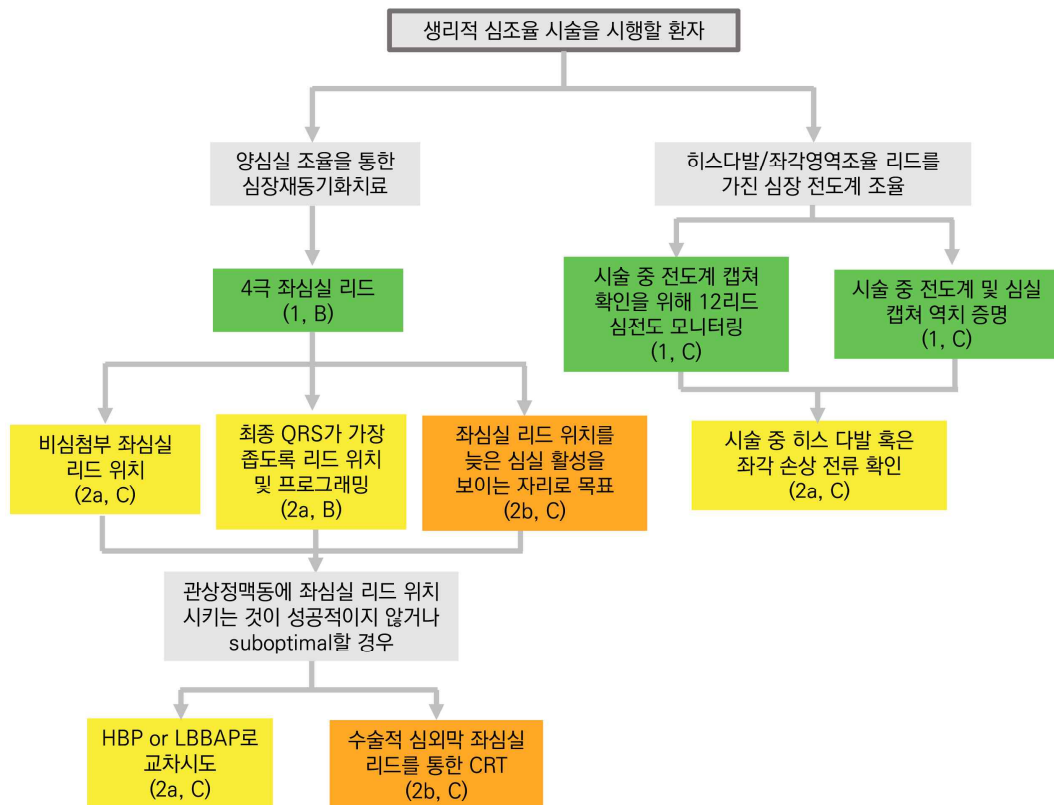


그림 13. 시술 술기

대규모 RCT에서 양극성 전극선에 비해 4극성 좌심실 전극선을 사용하면 수술 중, 수술 후 합병증이 감소된다고 보고하였고 관찰연구에서도 일관된 결과를 보고하였다.³¹³⁻³¹⁵⁾ 4 극성 전극선은 양극성 전극선에 비해 시술 시 원위 정맥 위치가 더 용이하고 조율 역치 값 및 임피던스가 더 낮으며, 횡격막 신경 자극을 피하기 위해 벡터를 전환할 수 있어 전극선을 재위치시킬 필요성이 더 적다.³¹⁴⁾³¹⁶⁾

소규모 관찰 연구에서 심전도 및 심초음파 관련 변수를 활용하여 심실간 박동 지연을 최적화하고 가장 좁은 QRS 폭을 달성한 경우 혈액학적 반응이 개선되었다.³¹⁷⁾ 다기관, 전향적, 관찰연구인 Sync-AV 연구에서, 내재적 방실 전도에 따라 방실 지연을 자동으로 조정하는 알고리즘은 일반 심실 재동기화 설정에 비해 QRS 폭을 더 좁게 만들었고, QRS 폭을 좁히는 것은 양호한 심초음파 및 임상 반응과 관련이 있다.³¹⁸⁻³²³⁾ 메타분석에 따르면 QRS 폭 단축은 전기적 비동기화의 개선 및 증상 개선, 심초음파 지표에 따른 심장재동기화치료 반응과 밀접한 연관이 있으며 심장재동기화치료 후 QRS 폭이 좁아진 좌각차단 환자에서 9년 추적관찰 중 생존 이득이 관찰되었다.³²¹⁾³²²⁾

단일센터 전향적 관찰 연구에 따르면 기저 (basal) 및 중심실부 (midventricular) 좌심실 전극선 위치에 비해 심첨부 (apical) 좌심실 전극선 위치에서 나쁜 임상 사건 발생률이 더 높다는 것을 보여주었고, 심첨부 조율에서 좌심실 역형성이 적고 증상 등급이 개선도 적었음을 보고하였다.³²⁴⁾ MADIT-CRT 연구의 하위 그룹 분석, REVERSE 연구에서도 일관된 결과를 보고하였다.³²⁵⁻³²⁷⁾ 이와 대조적으로 대규모 후향적 관찰 연구에서는 심첨부와 비심첨부 좌심실 전극선 위치간에 사망률 또는 심부전에 의한 입원 위험 차이가 없는 것으로 나타났다고 보고하였다.³²⁸⁾ 4 극성 전극선을 사용하면 심첨부 전극선 위치에도 불구하고 비심첨부 (non-apical position)에서도 조율할 수 있는 등, 위치에 관계없이 조율 부위에 대한 선택의 폭이 넓어진다.

해부학적 위치에 대한 고려와 비교하여, 전기적 지연이 있는 부위에 좌심실 전극선 배치하면 심장재동기화치료에서 더 큰 이득을 얻을 수 있다.³²⁹⁾ 대규모 다기관 RCT의 사후 분석에서 심부전 임상 종합 결과를 심실 전기 지연 (67 ms 기준)에 따라 비교한 결과, 심실 전기 지연이 길었던 그룹이 임상적 악화가 더 적었으며 심부전 또는 사망률이 더 낮았다.³³⁰⁾ QLV는 심전도에서 QRS 시작부터 좌심실 전극선의 국소 활성화까지 걸리는 시간이다. 조율 의존적인 환자에서는 우심실에서 좌심실 전극선 활성화에 걸리는 시간이 이를 대체할 수 있다.³³¹⁻³³³⁾ 일반적으로 QLV가 > 95 ms이거나 전체 QRS 간격의 > 50 %인 위치가 심장재동기화치료를 최적의 반응을 보일 가능성이 높다. QLV가 > 120 ms이면 심장재동기화치료가 최적의 반응을 보일 가능성이 높아진다는 보고가 있으며, 긴 QLV는 증상, 삶의 질 및 심초음파로 평가한 심장재동기화치료 반응을 향상과도 밀접한 연관이 있음이 보고되었다.²⁹⁷⁾³¹²⁾³²⁷⁾³³³⁻³³⁶⁾

5.6.1 심장재동기화치료 (CRT)를 위한 기타 도구 및 기술

5.6.1.1 다점 조율, 다부위 조율, 및 4극성 전극선 (multipoint pacing, multisite pacing, quadripolar lead)

3개의 심실 전극선을 삽입하고, 3군데의 심실을 조율하여 심실 다부위 (multisite) 조율을 수행할 수 있으며, 두개의 전극선은 우심실 및 좌심실에, 세번째 전극선은 심실 중 한 부위에 위치한다. 다부위 조율은 때때로 다극성 좌심실 전극선을 사용한 조율을 의미하기도 한다.³³⁷⁾³³⁸⁾ 다점 (multipoint) 조율은 좌심실 전극선에서 여러 극을 조율하는 것을 말한다.³²⁰⁾³³⁹⁾ 양심실 조율이 최적이지 아닐 경우, 다부위 및 다점 조율은 심장재동기화치료 반응성을 향상시킬 수 있다. 이식 및 프로그래밍의 용이성과 이식 중 안전성으로 인해 다점 조율이 다부위 조율보다 선호된다.³⁴⁰⁻³⁴²⁾ 4극성 전극선은 안전성, 최적의 역치 획득, 횡격막 신경 자극 회피에 도움이 되어 수술 중 또는 수술 후 좌심실 전극선은 관련사건을

감소시킬 수 있다.³¹³⁾

5.6.1.2 적응형 알고리즘 (adaptive algorithm)

심장재동기화치료의 최적화된 반응률이 높지 않기 때문에, 여러 기기 회사에서 방실 및 심실간 간격을 최적화하는 알고리즘을 만들어 임상적으로 사용되고 있다.³²⁴⁾³⁴³⁻³⁴⁷⁾

5.6.1.3 좌심실 심외막 조율 (LV epicardial pacing)

수술적 심외막 좌심실 조율은 관상정맥동 전극선 위치에 실패한 경우 합리적 대안이다.³⁴⁸⁾ 좌심실 후측면에서 최적의 전극선 위치를 확보하는 것이 중요하다.

5.6.1.4 좌심실 심내막 조율 (LV endocardial pacing)

좌심실 내 조율은 관상정맥동 전극선 위치에 실패한 경우 심외막 조율의 대안으로 검토되고 있으며, 경심방중격 접근법, 하이브리드 수술/심내막 경심실 심첨부 조율, 비심첨부 경심실 조율 등 다양한 방법이 있다. 모든 좌심실 심내막 조율은 PT INR 2.5-3.5 정도의 항응고치료가 필요하며 INR이 적절히 유지되지 않을 경우 혈전색전증 발생 위험이 지속될 수 있다.³⁴⁹⁾

5.6.1.5 좌심실 반흔 부위 (Scar)

허혈성 심근병증 환자에 비해 비허혈성 심근병증 환자는 심장재동기화치료 (CRT) 삽입 후 좌심실 기능 개선과 역형성이 더 잘 일어난다. 심근 생존능은 조영 심초음파로 관류 점수 지수 (perfusion score index, PSI)를 측정하여 평가할 수 있다. PSI는 CRT 환자의 심근 기능 개선과 상관관계가 있다.³⁵⁰⁾ 심장 MRI는 심근 반흔 부담을 평가할 수 있으며 조영 증강 심장 MRI에서 높은 반흔 부담물은 허혈성 심근병증 환자의 낮은 심장재동기화치료 반응률과 상관관계가 높다.³⁵¹⁾ 좌심실 반흔 영역에서 조율을 하면 QRS 폭이 길어지고 캡처 역치값이 높아질 수 있다. 심장 MRI를 활용하여 심근 반흔 영역을 피하고 실제 기계적 비동기화 지역으로 좌심실 전극선을 위치시키는데 도움을 받을 수 있다.³⁵¹⁾³⁵²⁾

심장전도계 조율 (CSP)은 성공적인 시술을 위해 전문화된 도구와 기술이 필요하다. 권장 사항은 전문가 의견과 여러 전향적 및 후향적 연구 결과를 기반으로 한다. 히스다발조율 (HBP)은 2000년에 기존의 활성 고정 (active fixation) 전극선을 사용하여 처음 보고되었다.³⁵³⁾ 후속 연구에서는 전용 전극선 및 특수 전달 시스템을 활용하여 시술 성공률이

향상될 수 있음을 보고하였다.³⁵⁴⁾ 초기에는 전기생리학 카테터를 활용하여 히스다발 영역을 매핑했지만, 현재는 단극 방식의 조율전극선을 통한 성공적인 히스다발영역 매핑이 가능하다.¹⁹⁵⁾ 3차원 지도화 시스템을 사용한 심장전도계조율 (CSP) 시술도 소개되었고, 더 짧은 투시 검사 시간과 합리적인 성공률을 보고하였다.¹⁷⁵⁾³⁵⁵⁻³⁵⁷⁾ 조영제를 사용하여 삼첨판막과 중격 부위를 잘 가시화하는 것은 히스다발조율 (HBP)이나 좌각영역조율 (LBBAP) 모두에 도움이 될 수 있다.³⁵⁸⁾³⁵⁹⁾ 히스다발 및 좌각전기도는 조율 시스템 분석기를 사용하여 기록할 수 있지만, 100 m/s 스윙 속도의 고해상도 (high-resolution) 기록 시스템이 전도계 캡처를 기록하고 확인하는데 더 도움이 될 수 있다.³⁶⁰⁾³⁶¹⁾

심장전도계 조율의 도구와 술기에 대한 권고안

권고안	권고등급	근거수준
히스다발조율 (HBP)이나 좌각영역조율 (LBBAP)와 같은 심장전도계 조율 (CSP)을 시행하는 환자에서, 12 유도 심전도는 시술 중 정확한 전도계 캡처를 확인하는데 유용하다.	I	C
히스다발조율 (HBP)이나 좌각영역조율 (LBBAP)와 같은 심장전도계 조율 (CSP)을 시행하는 환자에서, 시술 시 각차단 교정을 포함한 전도계 캡처 역치 및 심근 캡처 역치를 정확히 증명하는 것은 기기의 적절한 프로그래밍을 위해 유용하다.	I	C
히스다발조율 (HBP)이나 좌각영역조율 (LBBAP)와 같은 심장전도계 조율 (CSP)을 시행하는 환자에서, 시술 중 적절한 필터 셋팅으로 히스다발/좌각의 손상 전류를 확인하는 것은 적합한 캡처 역치를 달성하고 전극선의 안전성을 확보하는데 도움이 된다.	IIa	C

히스다발조율 (HBP)은 히스다발만 선택적으로 캡처하거나, 히스다발과 함께 주변 우심실 심근을 캡처하여 비선택적 캡처를 초래할 수 있다. 비선택적 히스다발조율 (HBP)은 우심실 심근만 캡처하는 것과 구별하기 어려울 수 있고, 12 유도 심전도로 비선택적 히스다발조율 (HBP)과 심실중격만 캡처하는 조율을 구별하는데 도움을 받을 수 있다. 또한 12 유도 심전도를 사용하면 각차단 보정을 더 쉽게 인식할 수 있다.³⁶⁰⁾ 캡처 역치값 테스트 중 출력 (전압)에 따른 심전도 모양 변화는 히스다발 캡처 및 각차단 보정 역치값을 식별하고 정확하게 기록하는데 도움이 된다. 최대 10%의 환자에서는 히스다발과 우심실 심근 캡처 역치가 동일할 수 있다. 이러한 환자에서는 펄스 폭 (pulse width)의 변화, 계획된 자극 (programmed stimulation), 혹은 빠른 조율 (rapid pacing)이 전도계 캡처를 확인하는데 추가적인 도움을 줄 수 있다.³⁶²⁾³⁶³⁾ 히스다발 캡처의 정의가 표 6에 자세히 기술되어 있다.²⁶²⁾

표 6. 히스다발조율 (HBP) 기준

기저 심전도	히스-퍼킨지 전도 장애		
	정상 QRS 간격	교정시	비 교정시
선택적 HBP	• S-QRS = H-QRS with isoelectric interval • Discrete local ventricular electrogram in HBP lead with S-V = H-V • Paced QRS = native QRS • Single capture threshold (His bundle)	• S-QRS $\leq$ H-QRS with isoelectric interval • Discrete local ventricular electrogram in HBP lead • Paced QRS < native QRS • 2 distinct capture thresholds (HBP with BBB correction, HBP without BBB correction)	• S-QRS $\leq$ or > H-QRS with isoelectric interval • Discrete local ventricular electrogram in HBP lead • Paced QRS = native QRS • Single capture threshold (HBP with BBB)
비선택적 HBP	• S-QRS < H-QRS (usually 0, S-QRSend = H-QRSend) with or without isoelectric interval (pseudodelta wave +/—) • Direct capture of local ventricular electrogram in HBP lead by stimulus artifact (local myocardial capture) • Paced QRS > native QRS with normalization of precordial and limb lead axes with respect to rapid dV/dt components of the QRS • 2 distinct capture thresholds (His bundle capture, RV capture) • No QRS slur/notch in leads I, V1, or V4-V6, and V6 R-wave peak time ≤ 100 ms • Change in V6 RWPT > 12 ms between stimulus and His to V6 RWPT confirms lack of His capture (99.1% sensitivity and 100% specificity)	• S-QRS < H-QRS (usually 0, S-QRSend < H-QRSend) with or without isoelectric interval (pseudodelta wave +/—) • Direct capture of local ventricular electrogram in HBP lead by stimulus artifact • Paced QRS $\leq$ native QRS • 3 distinct capture thresholds (HBP with BBB correction, HBP without BBB correction, RV capture)	• S-QRS < H-QRS (usually 0) with or without isoelectric interval (pseudodelta wave +/—) • Direct capture of local ventricular electrogram in HBP lead by stimulus artifact • Paced QRS > native QRS • 2 distinct capture thresholds (HBP with BBB, RV capture)

BBB = bundle branch block; HBP = His bundle pacing; H-QRS = His-QRS interval; RV = right ventricle/ventricular; S-QRS = stimulus to QRS onset interval; V6 RWPT = R-wave peak time in lead V6.

히스다발조율 (HBP)은 우심실조율 (RVP)에 비해 더 캡처 역치가 높을 수 있다. 또한, 장기 추적 관찰 중 전극선 재시술이 필요하게 되는 캡처 역치의 뒤늦은 상승이 7-11 %에서 나타난다고 보고되었다.¹⁹⁶⁾³⁶⁴⁾³⁶⁵⁾ 히스다발조율 (HBP) 전극선 이식 시 1 ms에서 <2.5 V의 캡처 역치를 달성하는 것이 추천된다.²⁶²⁾³⁶⁰⁾ 히스다발조율 (HBP) 혹은 좌각영역조율 (LBBP) 전극선 삽입 중 전극선 전기도에 기록된 손상 전류 (injury current, current of injury)는 우수한 급성 및 장기 캡처 역치와 연관된 것으로 나타났다.³⁶⁶⁻³⁶⁸⁾ 고해상도 (high-resolution, 0.5-1 Hz from 30 Hz) 기록 시스템에서 고역 통과 필터 (high-pass filter)를 조정하면, 히스 다발 손상 전류를 기록하는데 도움이 된다.³⁶¹⁾ 근위부 히스다발 영역에 히스다발조율 (HBP) 전극선을 배치하면 심방 과감도 (atrial oversensing) 및 심실 저감도 (ventricular undersensing)가 발생할 수 있다.³⁶⁹⁾³⁷⁰⁾ 방실결절 절제 후 감지 문제 (sensing issues)와 캡처 역치 증가를 피하기 위해 히스다발조율 (HBP) 위치 시 원위 히스 다발 영역을 목표로 하는 것이 바람직하다.²⁵⁴⁾³⁷¹⁾ 히스다발조율 (HBP)로 장치 프로그래밍 할 때에는 히스-심실 전도시간을 허용하기 위해 방실 지연을 기존 설정 파라미터에 비해 40-50 ms 단축해야 한다.³⁶⁰⁾³⁶⁹⁾ 현재의 자동 캡처 평가 알고리즘은 히스다발 캡처 역치를 정확하게 평가할 수 없으므로 일반적으로 사용하지 않는다.²⁶²⁾³⁶⁰⁾

좌각영역조율 (LBBAP)은 처음에 비개폐식 나선 전극선 (electrically active, exposed screw)을 사용하여 처음으로 시술이 이루어졌다.³⁷²⁾ 이후, 개폐식 나선 활성 고정 전극선도 (active fixation leads with an extendable-retractable screw) 전용 전달 시스템과 함께 소개되어 LBBAP를 달성하는데 사용되었다.³⁷³⁾ 좌각영역조율 (LBBAP) 동안 12 유도 심전도는 좌심실 중격 심내막하 영역에 전극선을 위치시키고 좌각 및 좌심실 전도 시스템의 캡처를 평가하는데 도움이 된다 (그림 14 및 표 7).³⁷⁴⁾³⁷⁵⁾ 비선택적 좌각 캡처 (nonselective LBB capture)에서 선택적 좌각 캡처 (selective LBB capture)로의 전환이나 비선택적 좌각 캡처 (nonselective LBB capture)에서 좌심실 중격 캡처 (LV septal myocardium capture)로의 전환은 좌각 캡처 (LBB capture)에 매우 특이적인 소견이며 좌각 전위 (LB-V intervals of 15-35 ms, 그림 14가 기록되는 것은 상당히 민감한 소견이다.³⁷⁶⁾ 히스다발 및 좌각 위치에 두 개의 전극선을 위치시키고 시술하는 기법은 좌각차단이 없는 환자에서 역행성 히스다발전도를 기록하고, 좌각차단이 있는 환자에게는 교정 히스다발조율 (HBP) 동안 좌각 전위를 기록하여 LBB 캡처 (LBB capture)를 확인하는데 도움이 될 수 있다.³⁷⁶⁾ 최근에는 좌각 캡처 (LBB capture)를 평가하기 위해 기본 (native) V6 R파 피크 시간 (RWPT)을 사용하는 생리적 기반 (physiology-based) 기준이 제안되었다.³⁷⁷⁾ 좌각 캡처 (LBB capture)를 확인할 수 있는 높은 민감도와 특이도를 가진 단일 기준은 없지만, 최근 좌각영역조율 (LBBAP) 동안 좌각 캡처를 평가하기 위한 단계적 알고리즘이 제안되었다.³⁷⁸⁾

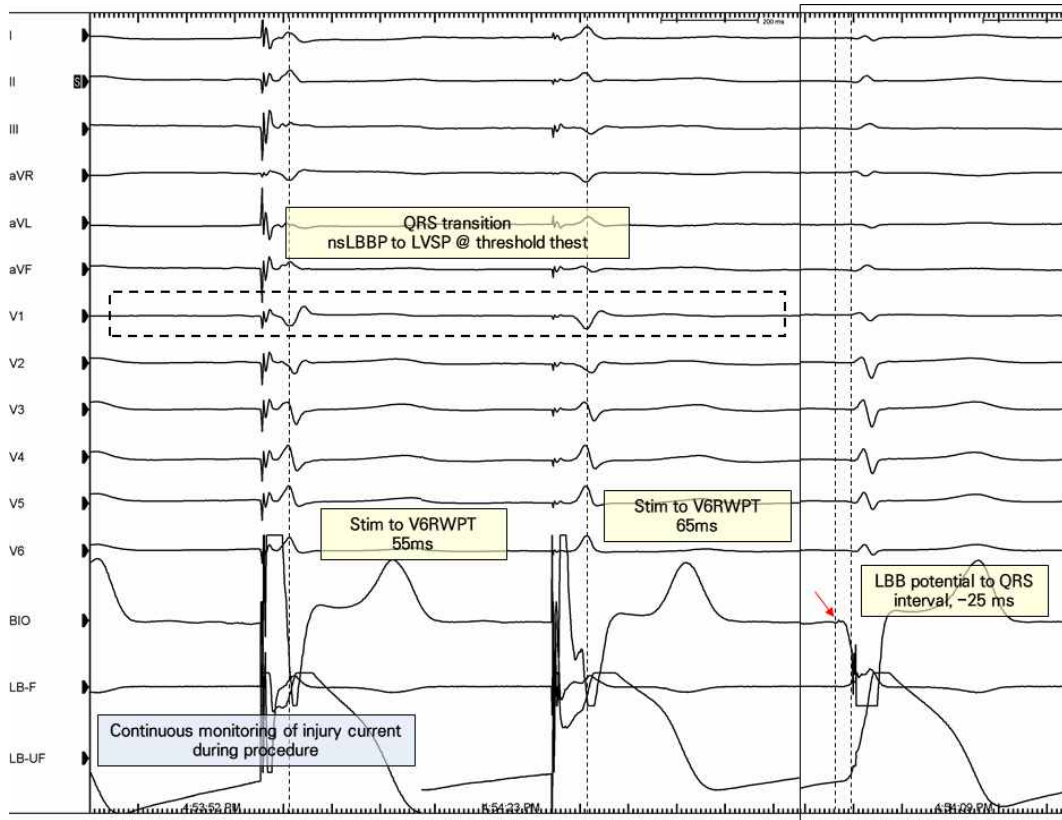


그림 14. 12유도 심전도를 통한 좌각영역조율(LBBAP) 평가

심장전도계 조율 시술 중 12 유도 심전도를 통해 기저 심전도를 평가하고 조율 시 심전도 모양을 분석하여 QRS 폭 감소 및 기저 각차단의 교정, 비선택적 히스다발조율 (HBP)과 우심실 중격 조율의 구분, 좌심실 중격 및 좌각 캡처 (LBB capture) 확인을 포함한 전도계 캡처를 확인하는 것이 좋다. 전기생리학 기록 시스템 및/또는 조율 시스템 분석기를 사용하여 히스다발/좌각 전기도를 기록하면 전도계 캡처를 식별하는데 도움이 될 수 있다. 심전도 기반 기준을 포함한 히스다발조율 (HBP)이나 좌각영역조율 (LBBAP) 기준은 표 6 및 표 7에 기술되어 있다. 비선택적 히스다발조율 (nonselective HBP)과 우심실 중격 조율을 구별하기 위해 심전도 유도, I, V1, V4-6에서 QRS slur/notch 없음 및 V6 RWPT ≤ 100 ms를 기반으로 하는 기준은 100 % 특이도와 관련이 있다.³⁶⁹⁾³⁷⁹⁾ RWPT 측정은 자극신호 (stimulation artifact)에서 R파 첨부 (R wave peak)까지 평가된다. Stimulus에서 RWPT와 히스신호에서 V6 RWPT사이 >12 ms 변화는 히스다발 캡처가 없다는 것을 확인하는데 99.1 %의 민감도와 100 % 특이도를 보인다.³⁸⁰⁾ 심전도 유도 V1에서 우심실 전도 지연 패턴 (qR, Qr, QR, rSR 등)은 좌각영역조율 (LBBAP)에 대한 높은 민감도와 관련이 있지만, 좌각 캡처 (LBB capture)를 확인하는데 특이적이지는 않다.³⁷⁶⁾ 좌심실 중격 캡

표 7. 좌각영역조율 (LBBAP) 기준

조율 종류	기준
좌심실중격 조율	1. 깊은 심실중격 전극선 위치 (조영제, 초음파 또는 CT 등으로 확인) 2. V1 유도에서 우각 전도 지연 패턴 (드물게 예외 있음)
좌각영역 조율	1. 좌심실중격 조율 기준에 더하여 아래 좌각 캡처 기준 중 하나 이상 확인 좌각 캡처 기준 • Nonselective to selective LBBP or nonselective to septal capture transition during threshold testing • Abrupt shortening of RWPT† or LVAT in V6 ≥ 10 ms at high output during deep septal position with subsequent short and constant LVAT at low output with further advancement of the lead • V6 RWPT < 74 ms in non-LBBB and < 80 ms in LBBB • V6-V1 interpeak interval > 44 ms • Physiology-based criteria a. QRS onset to RWPT ≤ native RWPT (+10 ms) b. Stimulus to RWPT ≤ LBB potential to V6 RWPT (+10 ms) c. Stimulus to V6 RWPT + 10 ms < (intrinsic deflection time - transseptal conduction time) in LBBB • Programmed deep septal stimulation demonstrating differential capture • Change in V6 RWPT between (corrective) HBP and LBBP > 8 ms in LBBB • Demonstration of LBB potential with injury current • Demonstration of stimulus to retrograde His < 35 ms or anterograde left conduction system potential preceding ventricular electrogram during LBBP

RWPT and LVAT here should be assessed starting from the stimulation artifact rather than from the inferred QRS onset. CT = computerized tomography; HBP = His bundle pacing; LBB = left bundle branch; LBBB = left bundle branch block; LBBP = left bundle branch pacing; LBBAP = left bundle branch block area pacing; LV = left ventricle/ventricular; LVAT = left ventricular activation time; RWPT = R-wave peak time; V6 RWPT = R-wave peak time in lead V6.

척와 좌각 캡처 (LBB capture)를 구별하는 기준은 계속 발전하고 있다. 심실 중격 깊은 곳으로 좌각 조율 전극선을 삽입하는 도중 갑자기 stimulus에서 V6 RWPT까지가 ≥ 10 ms 짧아지거나, 이후 고출력 및 저출력 조율 중 짧고 일정한 V6 RWPT를 보인다면 좌각 캡처(LBB capture)에 특이도가 높은 소견이다.³⁷⁶⁾ 좌각차단이 없는 환자에서 < 75 ms, 좌각차단이 있는 환자에서 < 80 ms의 V6 RWPT는 좌각 캡처(LBB capture)에 대한 100 % 특이도를 보인다고 알려져 있었으나 12 유도 심전도 모양의 전환 (transition)과 함께 검토한 결과 민감도가 낮다고 보고되었다.³⁷⁷⁾ Jastrzebski 등은 좌각캡처 시 QRS 시작에서부터 RWPT까지는 기본 (native) [좌각차단이 아닌 리듬에서의] V6의 RWPT와 같고, stimulus에서 RWPT까지는 [좌각차단이 아닌 리듬에서의] LBB 전위위로부터 V6의 RWPT와 같다고 제안했다.³⁷⁷⁾ 스트라우스 기준을 충족하는 소수의 좌각차단 환자에서 교정 HBP에서

의 RWPT와 LBBAP에서의 RWPT의 ≥ 8 ms 이상 변화는 LBB 캡처를 평가하는데 100 %의 민감도와 93 %의 특이도를 보였다.³⁸¹⁾ 마찬가지로 좌각영역조율 (LBBAP) 중 V6-V1 피크간 간격 (V6-V1 interpeak interval)이 > 44 ms를 나타내면 좌각 캡처 (LBB capture)의 특이도가 100 %라고 보고하였다.³⁸²⁾

심장전도계 조율 (CSP)의 생리학적 효과는 전도계의 캡처 여부에 따라 달라진다. 낮은 전도계 캡처 역치값은 조율의 장기적인 안전성과 연관이 있다. 방실결절 하부 방실차단과 각차단 환자에서 시행하는 경우 원위부 전도계 캡처와/ 또는 각차단 교정을 확인하기 위해 120 bpm 정도로 조율을 시행해야 한다. 정확하게 히스다발/좌각 캡처 역치, 각차단 교정 역치 및 비선택적 심장전도계조율 (CSP) 환자에서 주변 심근 캡처 역치를 확인해두는 것은 향후 시술 시 및 추적 관찰 시 모두에서 조율 출력을 적절히 프로그래밍 할 때 유용하다.¹⁷⁵⁾¹⁸⁶⁾¹⁹⁵⁾¹⁹⁶⁾²⁰³⁾²⁵⁸⁾³⁵⁴⁾³⁶⁴⁾³⁶⁵⁾³⁷⁸⁾³⁸³⁾ 여러 관찰 연구에 따르면 중간 추적 관찰 기간 동안 최대 15-28 %의 환자에서 히스 다발 캡처 역치가 $>1V$ 증가했다.³⁶⁴⁾³⁶⁵⁾ 심실 조율에 의존하는 비선택적 히스다발조율 (nonselective HBP) 환자의 경우, 우심실 중격 심근 캡처는 히스다발 캡처와 더불어 심실 박동을 백업할 수 있다.

심방 및 심실 전극선 전기도에서 손상 전류는 낮은 조직 캡처 역치와 관련이 있다. 히스다발 손상 전류의 기록은 전극선이 히스다발의 외막 (insulating outer layer)을 관통했거나 근접했음을 시사한다. 히스다발조율 (HBP)을 받은 환자에서,³⁶⁸⁾ 시술 시 히스다발 손상 전류가 관찰되는 것은 그렇지 않은 경우와 비교하여 이식 시 및 1년간의 추적 관찰 기간 동안 낮은 캡처 역치와 관련이 있는 것으로 나타났다. 또 다른 연구에서,³⁶⁶⁾ 큰 음성 히스 신호 (deep negative His potential) 및 히스다발 손상 전류는 시술 시 및 1년 추적 관찰 시 낮은 캡처 역치와 관련이 있는 것으로 나타났다. 115 명의 좌각영역조율 (LBBAP) 환자를 대상으로 한 연구에서³⁶⁷⁾ 좌각손상 전류가 있는 환자의 100 %가 0.5 ms에서 $< 1.5V$ 의 좌각 캡처 (LBB capture) 역치값과 연관된 반면, 좌각손상 전류가 없는 환자는 76 %에 그쳤다.

대체 생리적 심조를 방법을 고려해야 하는 경우에 대한 권고안		
권고안	권고등급	근거수준
관상정맥동을 통한 좌심실 전극선 삽입을 포함하는 양심실 조율로 심장재동기화치료 (CRT)를 시행하려는 환자에서 관상정맥동 좌심실 전극선의 삽입이 실패하거나, 조율 후에도 결과가 최적화되지 않은 경우, 히스다발조율 (HBP)이나 좌각영역조율 (LBBAP)로 전환을 고려할 수 있다.	Ila	C
관상정맥동을 통한 좌심실 전극선 삽입을 포함하는 양심실 조율로 심장재동기화치료 (CRT)를 시행하려는 환자에서, 첫 시도가 실패하거나 최적화된 결과를 얻지 못한 경우, 수술적 방법을 통한 좌심실 심외막 전극선을 이용한 심장재동기화치료 (CRT)로의 전환을 고려하는 것은 합리적인 대안이다	Ilb	C

양심실 조율을 사용한 심장재동기화치료 (BVP-CRT) 시술 시, 좌심실 전극선 위치의 경우 실패율이 최대 10%까지 발생할 수 있다. 실패의 주요 원인은 표 8에 요약되어 있다. 기존 좌심실 전극선 삽입을 포기하고 대안으로 다른 생리적 심조율 (CPP)을 고려하는 것은 시술자, 시술 적응증, 또는 사용 가능하거나 입증되어 있는 대안에 따라 달라질 수 있다. 이러한 상황은 히스다발조율 (HBP)이나 좌각영역조율 (LBBAP)의 경우에도 발생할 수 있다.

표 8. 대체 생리적 심조율 방법을 고려해야 하는 경우

생리적 심조율 종류	해부학적/기술적 고려사항	기능적 고려사항	심전도 고려사항	주요 합병증
양심실조율을 통한 심장재동기화 치료	• 정맥 접근성 (쇄골하 정맥, 상대정맥 폐쇄 등) • 관상정맥동 접근성 (폐색, 박리, 천공, 테베시안 판막 등) • 관상정맥 접근성 (작거나 각진 또는 구불구불한 가지) • 최적이지 않는 정맥 위치 (비 외측정맥, 전심실간 정맥) • 영구적인 좌상대정맥 • 이탈에 취약한 전극선 불안정성	• 가용한 모든 조율 구성에서 캡처 역치 > 5 V/1 ms • 가용한 모든 조율 구성에서 횡격막 자극 여부	• The onset of QRS to LV time < 90 ms • Lead I: non-QS or QR • Intrinsic QRS duration < 120 ms or narrower than optimized pace QRS duration	• 심낭삼출액/압전 • 관상정맥동 또는 혈관 박리 • 심정지 • 지속성 심실빈맥성 부정맥 • 기타 (폐색전, 뇌경색, 호흡부전 등)
히스다발조율	• 히스다발 위치 식별 불가 • 전극성 불안정성	• 캡처 역치 > 5 V/1 ms • R 감지 < 2 mV • 심방 과감지 • 백업 전극선의 잠재적 필요성	• 기저 넓은 QRS폭, 조율된 QRS 폭 130 ms 이하 또는 20% 이상 QRS narrowing 달성하기 어려움 • 선택적 또는 비선택적 히스캡처 불가	• 양심실조율을 통한 심장재동기화치료와 동일 • 전극선 이탈 • 캡처 역치 증가로 인한 배터리 수명 감소 • 지연성 역치 증가
좌각영역조율	• 충격 관통이 어려워 좌각에 도달하지 못하는 경우 • 전극성 불안정성	• 충격천공 위험 • 좌각차단 교정 불가	• 우각차단 모양 달성 또는 조율된 QRS 간격 130 ms 이하 달성 불가 • LVAT 74-80 ms 미만 달성 불가	• 양심실조율을 통한 심장재동기화치료와 동일 • 지연성 충격천공 위험

LVAT = left ventricular activation time.

현재 시술 도구와 전극선을 사용했을 때 히스다발조율 (HBP)이나 좌각영역조율 (LBBAP)의 시술 실패율은 10-40 %이다. 히스다발조율 (HBP)이나 좌각영역조율 (LBBAP) 전극선 위치가 최적이지 아닐 경우, 양심실 조율로 교차하는 것이 대안이 될 수도 있겠다. 최적의 전극선 위치에 대한 기준은 계속해서 바뀌고 있고, 시술 시 전극선 위치 실패에 대한 정의는 아직 표준화되지 않았다. 다른 대체 생리적 심조율 (CPP) 방법을 고려해야만 하는 “실패”에 대한 확립된 기준에 대해 충분한 데이터가 없는 상황에서, 초기 접근법을 언제 포기해야 하는지에 대한 결정은 시술자에 따라 다르고 가변적이라는 점을 인식하는 것이 중요하다.

심장재동기화치료 (BVP-CRT) 실패로 히스다발조율 (HBP)로 교차하는 것, 히스다발조율 (HBP)의 실패로 심장재동기화치료 (BVP-CRT)로 교차하는 것 양쪽 모두 제한된 소규모 RCT²²⁷⁾³⁸⁴⁾ 및 관찰 사례-코호트 연구로¹⁹¹⁾²⁰³⁾ 보고되었다. 이 연구에서는 심장재동기화치료 (BVP-CRT)와 히스다발조율 (HBP) 간의 교차 기준이 사전 지정되었다. 사전 지정된 교차 기준에 따라 히스다발조율 (HBP)로 무작위 배정된 21 명의 환자 중 10 명 (48 %)이 심장재동기화치료 (BVP-CRT)로, 심장재동기화치료 (BVP-CRT)로 무작위 배정된 19명의 환자 중 5명 (26 %)이 히스다발조율 (HBP)로 교차했다.³⁸⁴⁾ 이 pilot RCT 연구는 교차 기준을 미리 지정했을 때 높은 교차율을 보임을 강조했다. 50 명의 환자를 대상으로 한 단일센터 RCT에서는 25 명 중 1 명 (4%)가 심장재동기화치료 (BVP-CRT)에서 히스다발조율 (HBP)로, 25 명 중 7 명 (28%)이 히스다발조율 (HBP)에서 심장재동기화치료 (BVP-CRT)로 전환했다.²²⁷⁾ 두 연구 모두에서 교차 치료 후 전극선 이식이 성공적으로 이루어졌다. 2 건의 소규모 RCT에서 나온 이러한 예비 데이터는 심장재동기화치료(BVP-CRT)가 실패했을 경우 차선책으로 히스다발조율 (HBP)을 고려하는 것이 합리적임을 시사한다. 세 건의 관찰적 교차연구에서는 좌심실 전극선 삽입 실패이거나 심장재동기화치료 (Biv-CRT)에 반응이 없는 환자를 대상으로 구조 절차로서 히스다발조율 (HBP)과 좌각영역조율 (LBBAP)을 시행했을 때 성공률은 85 %에서 91 %에 달했으며, 이는 좌심실 전극선 삽입 실패 후 히스다발조율 (HBP) 또는 좌각영역조율 (LBBAP)가 기술적으로 실현 가능하다는 것을 보여준다.³⁸⁵⁾³⁸⁶⁾ 제한적 코호트 연구에서는 심장재동기화치료 (BVP-CRT)와 히스다발조율 (HBP) 실패 시 좌각영역조율 (LBBAP)로 전환한 사례를 보고하였다.¹⁹¹⁾³⁸⁷⁾ 관찰 코호트 연구에서 해부학적인 문제로 관상정맥동 좌심실 전극선 삽입이 불가능한 경우 외과적 심외막 좌심실 전극선 삽입이 보고된 바 있다.³⁸⁸⁻³⁹⁰⁾ 다기관 연구에서, 이전에 관상정맥동을 통한 좌심실 전극선 삽입에 실패했거나 좌심실 전극선 기능장애가 있었던 44 명의 환자가 심장재동기화치료를 위한 외과적 좌심실 전극선 삽입 수술을 받았다.³⁸⁸⁾ 평균 57 개월의 추적 관찰 기간 동안 나이, 성별, 심근 병증의 원인이 일치하는 환자를 대상으로 수술적 심장재동기화치료와 일반 심장재동기화치료 간에 유사한 임상 결과와 생존율이 나타났다. 1,053 명의 피험자를 대상으로 한 단일 기관 연구에서

895 명은 정맥 좌심실 전극선을, 158 명은 개흉술 또는 흉골절개술을 통해 심외막 좌심실 전극선 삽입 수술을 받았다. 5 년의 관찰 기간 동안 전극선 재시술/수술 비율은 정맥 좌심실 전극선의 경우 10.2 %, 심외막 전극선의 경우 1.9 %였다. 두 그룹 모두에서 통계적으로 유의미한 좌심실박출물 증가가 관찰되었다.³⁸⁹⁾ 이전에 좌심실 전극선 이식에 실패했거나 좌심실 전극선 이식에 실패한 환자 100 명을 포함한 단일 기관 연구에서는 비디오 보조 흉강경을 통해 외과적 심외막 전극선을 삽입했다.³⁹⁰⁾ 정맥 심장재동기화치료를 받은 100 명의 환자와 비교했을 때, 수술적 심장재동기화치료는 사망, 심혈관 입원율, 합병증 측면에서 유사한 결과를 보였다. 두 그룹 모두 좌심실 역형성 및 심박출물에서 비슷한 개선 효과를 보였다. 이러한 조사를 통해 외과적 좌심실 전극선 삽입술이 기술적으로 실현 가능하며 의미 있는 정맥 내 좌심실 박동을 달성할 수 없는 환자를 위한 대안적 접근법이라는 것이 입증되었다. 외과적 전극선 삽입술은 경정맥 전극선 삽입술에 비해 전극선 재시술/수술 비율이 낮았으며 추적관찰 기간 동안 비슷한 결과를 보였다.

5.7 생리적 심조율 (CPP) 후 추적관찰 및 관리

5.7.1 추적관찰에 대한 권고사항

생리적 심조율 장치를 이식한 환자에게는 장치 성능 점검 이상의 포괄적인 후속 조치가 필요하다. 심심장전도계 조율 (CSP)을 사용하면 프로그래밍된 출력에서 각차단 보정을 포함하여 적절한 전도 시스템 캡처를 확인해야 한다. 또한 생리적 심조율 장치를 사용하는 환자는 일반적으로 좌심실 수축기기능 장애가 있는 경우, 심부전 관리를 통합하는 다학제적 후속 조치가 진료 지침에 따른 적절한 약물치료 (guideline-directed medical therapy, GDMT)를 지속적으로 평가하고 최적화하는 데 도움이 된다. 심전도 및 흉부 X 선 (posterior-anterior and lateral views)은 심장재동기화치료 (CRT) 환자의 좌심실 전극선 포착 및 배치를 평가하는데 쓸 수 있는 간편한 도구이다. 심장재동기화치료 (CRT)로 이득을 얻지 못하는 것처럼 보이는 환자들은 최적이지 않은 전극선 위치나 심실 조기 수축 또는 심방세동으로 인한 부적절한 양심실 조율이 잠재적 가역적 원인일 수 있다. 심조율 발생기 교체가 필요한 시점에 다다랐을 때, 제세동 치료의 지속 여부나 전극선 재시술 실행 여부를 결정하는 데 있어 공동 의사결정은 중요한 고려사항이다. 이 섹션에서는 환자 후속 관리에 관한 문제들을 논의하고 있으며, 그 개념을 개요로 나타낸 알고리즘은 그림 15에 나와 있다.

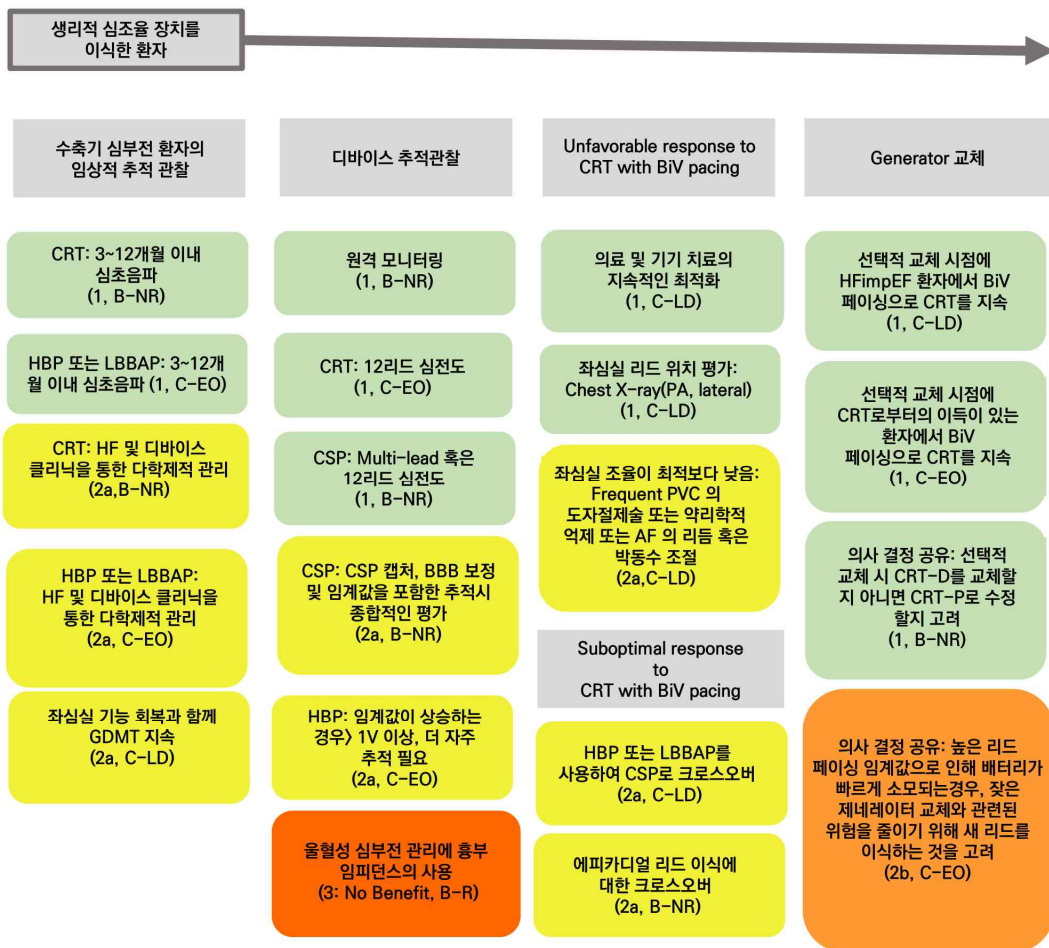


그림 15. 생리적 심조를 장치를 이식한 환자

5.7.1.1 추적검사

장치 삽입 후의 후속 검사는 좌심실 크기와 기능의 변화, 지속적인 심장판막 질환 (예: 치료나 인터벤션이 필요할 수 있는 승모판막 질환)을 평가하기 위해 심초음파 검사를 포함해야 하며, 약물 조절이나 장치 최적화의 필요성도 검토해야 한다. 일차진료, 심부전, 심장삽입전기장치/전기생리학 전문의들을 포함한 다학제 팀이 환자를 지속적으로 평가하는 것은, 기저 질환에 따라 다른 전문가의 참여와 함께, 매우 도움이 된다. 모든 환자에서 약물 재평가, GDMT의 지속 및 기타 질환 수정 전략이 평가되어야 한다.

심장재동기화치료 (CRT) 후에 심장 기능을 언제 다시 평가해야 하는지에 대한 명확한 합의는 아직 부족하다. 이는 대부분의 정보가 다양한 임상 결과와 좌심실 기능의 측정에 기반한 후향적 연구에서 나온 것이기 때문이다. REVERSE 시험의 5년 결과³⁹¹⁾를 보면,

심장재동기화치료 (CRT) 후 최소 2년 간 좌심실 용적 (LV volume)에서 지속적인 개선이 관찰되었다. 심장재동기화치료 (CRT) 치료를 받은 환자들에서, 심초음파로 측정된 CRT에 따른 용적 반응은 좌심실 이완기말 용적 (LV end-diastolic volume; LVEDV) 혹은 좌심실 수축기말 용적 (LV end-systolic volume; LVESV)의 변화 및 12개월 후의 좌심실박출물 향상과 같은 다양한 지표를 통해 이후 사망 또는 심부전 사건을 예측³⁹²⁾³⁹³⁾하며, 추가적인 심부전 관리와 보조 치료 방향성을 제시한다. 더욱이, MADIT-CRT 연구의 하위 연구에서는 평균 5.6 년의 추적 조사 후 심초음파로 확인된 반응이 없는 경우 전체 원인에 의한 사망 위험이 2.8 배 높았다.³⁹⁴⁾ 추적할 최적의 변수는 연구마다 다르게 나타난다. 그러나, 치료의 효과는 리모델링 정도와 직접적으로 연관된 것으로 보인다. MADIT-CRT 연구에서 좌심실 이완기말 용적이 10 % 감소하거나 좌심실박출물이 5 점 증가할 때마다 사망 또는 심부전으로 인한 입원 (heart failure hospitalization, HFH) 위험이 40 % 감소하였으며, PREDICT-CRT 연구에서는 좌심실 수축기말 용적 (LVESV)이 10 % 감소할 때마다 사망률이 8 % 감소하였다고 보고하였다.³⁹²⁾³⁹³⁾³⁹⁵⁾ 성공적으로 시행된 히스다발조율 (HBP) 및 좌각영역조율 (LBBAP)은 관찰 연구에서²⁰³⁾³⁸³⁾ 좌심실박출물 증가를 보여주었다. 그러나 좌심실박출물의 변화와 사망과 같은 임상적 결과 사이의 관계는 아직 연구되지 않았다. 초기 추적 심초음파 검사 후, 환자의 임상 상태 변화에 기반하여 추가적인 영상 진단이 이루어질 수 있다.

심장재동기화치료 (CRT) 및 심장재동기화치료 제세동기 (CRT-D)를 시행 받은 환자들의 연구에서 원격 모니터링의 사용이 부정맥 관리를 개선한다는 것을 보여줬다.³⁹⁶⁻⁴⁰¹⁾ 관찰 연구에서, 사건 발생 인지까지의 평균 시간은 원격 모니터링을 사용할 때 진료실 내기기 검사보다 더 짧게 나타났다.³⁹⁶⁾ 이로 인해 의학적 치료를 최적화하기 위한 신속한 대응이 가능하게 되었다.³⁹⁷⁾ CONNECT 연구³⁹⁸⁾에서는 임상 사건 발생 후 임상적 결정까지의 중앙값 시간이 진료실 방식은 22 일이었던 반면 원격 모니터링 방식으로는 4.6 일로 크게 단축되었다. 또한, 원격 모니터링 사용이 의료 자원 사용을 감소시키는 것으로 보고되었다.³⁹⁹⁻⁴⁰²⁾ 하지만 임상 결과에 관한 데이터는 일관되지 않는다. 일부 연구에서 원격 모니터링이 병원 입원과 심부전의 악화를 줄이며, 생활의 질을 향상시키고, 또 모든 원인에 따른 사망률을 감소시킨다고 보고하였다.³⁹⁹⁾⁴⁰³⁾ 반면, 'MORE-CARE 연구'⁴⁰²⁾와 같은 다른 연구들에서는 심혈관 사망률 및 병원 입원에 있어서 유의한 차이를 발견하지 못했다. 심부전 및 심장삽입전기장치를 가진 1,650 명의 환자가 포함된 REM-HF 연구⁴⁰⁴⁾에서, 원격 모니터링의 사용은 모든 원인에 의한 사망률 감소 또는 예기치 않은 심혈관 병원 입원을 줄이는 데에 성공하지 못했다. 그러나 IN-TIME, ECOST, 그리고 TRUST 연구의 메타분석⁴⁰⁵⁾에서 홈 모니터링이 모든 원인에 따른 사망률 및 사망과 심부전 병원 입원의 복합 발생률을 감소시켰다. 이 결과는 주로 제세동기 (ICD) 환자들로 구성되어 있었고,

이 연구들 중 단 하나만이 심장재동기화치료 제세동기 (CRT-D) 치료를 포함하고 있었다.

한 연구⁴⁰⁶⁾에서 GDMT, 방실전도 최적화(AV optimization), 심부전 교육, 그리고 부정맥 관리를 포함한 심부전 관리를 위한 프로토콜 중심 접근을 살펴보았다. 이러한 다학제적 접근은 좌심실의 리모델링에 있어서 의미있는 효과를 보였으며 (LVEDD 변화: 0.7 ± 0.6 cm vs. 0.2 ± 1.2 cm; 좌심실박출률 변화: $11\% \pm 7\%$ vs. $7\% \pm 9\%$), 모든 원인에 의한 사망률, 심장 이식, 또는 심부전으로 인한 재입원률 (14% vs. 53%)이 감소하였다. 몇몇 의료기관들은 심부전 치료의 연속성을 보장하기 위해 심부전 전문가와 협력하는 심부전 클리닉의 설립을 제안하였다.⁴⁰⁷⁾ 심부전 관리에서는 적절한 경우 이노제의 감량 및 신경호르몬 차단제 (neurohormonal blockade)의 증량을 고려해야 한다.⁴⁰⁶⁾⁴⁰⁸⁾⁴⁰⁹⁾

수축 기능이 저하된 심부전 환자에서 심장재동기화치료 (CRT)의 효과는 최적의 의학적 관리 (optimal medical management)가 동반된다는 전제 하에 입증되었다. 그러나 심장재동기화치료 (CRT) 후의 치료 중단에 대한 연구는 CRT를 하지 않는 소수의 환자군에서만 연구되었다. ADVANCE-CRT (Advance Cardiac Resynchronization Therapy Registry)⁴¹⁰⁾ 연구에 따르면, 심장재동기화치료 (CRT)로 인한 유의한 효과를 보인 환자들은 그들의 최적의 의학적 관리 (optimal medical management)가 더 이루어진 경향이 있었다. 따라서 심부전 관리를 포함하여 기저질환 치료를 지속적으로 실시하는 것이 중요하다.⁴⁰⁶⁾⁴¹¹⁾ TRED-HF⁴¹²⁾은 좌심실박출률이 회복된 확장성 심근병증을 가진 환자에서 심부전 약물 치료의 단계적 철회를 평가하였다. (n=51) 약물 치료의 중단은 심부전의 재발을 초래하였지만, 이 연구의 환자 중 1 명만이 동시에 심장재동기화치료 (CRT)를 받았다. 다른 연구⁴¹³⁾에서는 심장재동기화치료 (CRT) 후 좌심실박출률이 정상화된 80 명의 환자에서 신경호르몬 차단제의 중단이 고혈압 또는 부정맥과 같은 불리한 결과를 증가시켰다.

흉부 임피던스를 사용하여 체액의 점진적인 축적 및 충만압 (filling pressure)의 증가를 조기에 감지하여 적절한 치료 개입을 하는 것이 심부전관련 입원을 피할 수 있다는 가설이 제안되었다. 그러나 335 명의 환자가 일반적인 관리와 흉부 임피던스 정보를 제공하는 두 그룹으로 무작위 할당된 DOT-HF연구⁴¹⁴⁾에서 흉부 임피던스를 사용한 그룹에서 사망률 또는 입원률의 개선은 관찰되지 않았으며 (29% vs. 20% ; $P=0.063$), 외래 진료를 더 자주 받았다. 이러한 결과는 여러 체계적 분석 연구와 메타분석에서도 동일하게 나타났다.⁴¹⁵⁾⁴¹⁶⁾

5.7.1.2 심장재동기화치료 (CRT) 전문 클리닉의 중요성

심부전 환자를 위한 전문 클리닉의 임상적 혜택은 잘 알려져 있다.⁴¹⁷⁾⁴¹⁸⁾ 그러나, 심장재동기화치료 (CRT)를 받은 환자들에 대한 이런 클리닉의 효과는 아직 충분히 연구되지

않았다. 다기관 ADVANCE-CRT 연구에서 6개월 후의 심장재동기화치료 (CRT)에 반응하지 않은 환자 (CRT non-responder)들을 조사한 결과,⁴¹⁰⁾ 클리닉과 원격 평가의 강화나 심부전 전문의의 참여는 제한적이었으며, 44%의 환자가 추가적인 치료 없이 지냈다. 초기 심장재동기화치료 (CRT) 비반응 (non-responder) 환자들에 대한 대응 방법을 모색하면서, 장치의 최적화뿐만 아니라 심부전과 그에 따른 동반질환의 정밀한 진단 및 관리의 중요성이 강조되었다. 심장재동기화치료 (CRT) 전문 클리닉의 주요 특징은 심장재동기화치료 (CRT) 장치를 이식받은 모든 심부전 환자를 대상으로 하며, 이는 증상 위주의 평가만을 기반으로 한다면 편향이 발생할 수 있기 때문이다. 전문 심장재동기화치료 (CRT) 클리닉의 사례들은 신경호르몬 억제제의 체계적 증량과 이뇨제의 조절⁴⁰⁹⁾을 통한 가능성과 잠재적 이익을 보여주고 있다. 최근에는, 심장재동기화치료 (CRT)를 받은 환자들을 위한 다학제 팀 (부정맥전문가, 심장영상, 심부전 관리 전문가) 전문가들이 함께 참여하여, 장치의 최적화와 동시에 심부전 질환의 종합적 관리를 제공하는 것이 제안되었다.⁴⁰⁷⁾ 초기 연구 결과에서는 대부분의 환자들 (95 %)이 장치와 약물 관련 조치, 또는 다른 전문 의료 서비스를 통한 추가적인 치료를 필요로 함을 보여주었다.

과거 대조군과 비교했을 때, 심장재동기화치료 (CRT) 후의 체계적인 클리닉에 참여하며, 심초음파 모니터링을 꾸준히 받으며 장치와 약물 조절을 처음 6개월 동안 받은 환자들은 임상적 효과에서 큰 개선을 보였다.⁴¹⁹⁾ 또한, 심장재동기화치료 (CRT) 시술 후 다학제적 심장 재활 프로그램을 받은 환자들도 임상적 이익을 경험했다.⁴²⁰⁾ 한 전향적 무작위 연구에서⁴¹³⁾ 신경호르몬 억제제를 완전히 중단하는 것이 심근이 완전히 회복된 심장재동기화치료 (CRT) 환자들 대부분에서 안전하다고 판명되었고 재발률은 7.5 %로 낮았다. 그렇지만 이런 접근법은 부정맥이나 고혈압과 같은 다른 심장 합병증에 의해서 제한될 수 있다. 수많은 잠재적 이점과 전문가들의 추천에도 불구하고,⁴²¹⁾ 현재까지 발표된 연구문헌은 단일 기관의 경험만을 포함하고 있다. 심장재동기화치료 (CRT) 전문 클리닉과 일반적인 후속 관찰 사이의 임상적 이점을 결정적으로 보여주는 전향적 연구는 아직 진행되지 않았다.

5.7.2. 생리적 심조율 (CPP)의 최적화에 대한 권고사항

생리적 심조율 (표 9) 이후의 장치 기능을 평가하려면 기본 심전도로 시작하여 적절한 심장 전도를 확인하고, 조율된 QRS와 원래의 QRS의 모양 (morphology)를 비교한다. 생리적 심조율 이후 환자의 관리는 병원에서의 임상 상태 확인, 장치 변경 후의 심전도 검사, 그리고 전도 확인이 포함된다. 배터리 상태, 각 심실에서의 조율 비율, 부정맥, 전극선 임피던스, 감지 및 조율 역치 (threshold) 등의 장치 분석도 양심실 조율이나 심장 전도계

조율이 지속되는지 확인하기 위해 필요하다. 현재로서는 히스다발 조율과 좌각영역 조율에 대해 심초음파를 통한 최적화를 지원하는 데이터가 없다. CRT에 관한 PROSPECT 연구⁴²²⁾는 심장재동기화치료 (CRT) 반응을 예측하기 위해 12가지 심초음파 지표의 가능성을 조사했다. 어떤 단일 심초음파 지표로도 환자의 반응 예측을 개선하는 데에 한계가 있었다. 한 연구⁴²³⁾에서는 조직 도플러 영상을 통해 최적화된 심실간 조율 (VV) 간격과 QRS 폭에 따라 최적화된 심장재동기화치료 (CRT) 반응을 비교 분석하였다. QRS 폭에 따라 최적화된 그룹에서 심초음파로 본 반응이 더 좋았으나, 임상적인 반응은 두 그룹 모두 비슷했다. 결과적으로, 조직 도플러 영상은 심장재동기화치료 (CRT) 최적화에 있어서 유망한 지표로 보이나, 이에 대한 보다 깊은 연구가 필요하다.

표 9. 생리적 심조율 (CPP)을 위한 심박동기 검사 및 프로그래밍 접근법

	히스다발조율	좌각영역조율	심장재동기화치료
캡처 역치	우심실 캡처 대비 히스다발 캡처 결정; 히스다발 캡처가 보장되는 출력값 프로그래밍 (역치보다 최소 1 V 이상)	좌각 (좌심실 중격) 캡처 및 양극 캡처 결정	좌심실 (관상정맥동 전극선) 단독 캡처 및 양극 캡처 결정
캡처 평가 알고리즘	히스다발과 우심실 캡처 역치가 유사하다는 것이 알려지지 않는 한 피할 것	캡처 평가 알고리즘 활용 가능	캡처 평가 알고리즘 활용 가능, 일부 경우 좌심실 단독 조율이 선호됨
방실 지연	일반적인 파라미터보다 30-50 ms 짧게 프로그래밍	일반적인 파라미터보다 20-30 ms 짧게 프로그래밍	일반적인 파라미터보다 10-20 ms 짧게 프로그래밍
심방 과감지	심방 과감지는 전극선을 근위부에 위치시킬 때 발생 가능하며, 동시에 심실 과소감지를 피하기 위해 적절한 프로그래밍을 요함		
심실 단극 감지	조율 의존적일 경우 피할 것		

심전도는 V1 유도의 양 방향 변화 (positive deflection)와 I 유도의 음 방향 변화 (negative deflection)를 통해 좌심실 전극선의 정상적인 작동 여부를 확인하는 데에 유용하다. 특히 장치의 직접적인 진단이 어려운 환경에서 환자를 진료할 때, 좌심실 전극선의 정상 작동 여부를 확인하기 위해 심전도가 큰 도움이 된다. 좌심실의 단극 (unipolar)과 양극 (bipolar) 벡터 테스트 중 심전도의 QRS 간격을 분석함으로써 심장재동기화치료 (CRT) 조율의 최적화를 더욱 원활하게 할 수 있다. 또한, 심장재동기화치료 (CRT)나 심장전도계조율 (CSP) 시술 후 바로 측정된 기본 심전도는 향후 페이스팅 작동 상태를 확인하

는 기준점으로 사용될 수 있다.

심장전도계 조율 (CSP) 장치를 이식받은 환자들에게는 긴 스트립을 포함한 12-유도 심전도 검사가 권장되며, 역치 테스트 (threshold test) 중의 최적의 전도 체계 캡처를 확인하고 조정하는 데 도움을 준다. 이 심전도 결과는 조율 역치값, 좌각차단 보정이 필요한 경우, 그리고 캡처의 유형에 따라 분석되어야 한다.³⁸³⁾⁴²⁴⁻⁴²⁶⁾ 조율된 QRS 폭과 모양은 과거의 측정값과 비교되는 것이 좋고, 향후 추적 시 참고점으로 사용된다.²⁰³⁾²⁶²⁾³⁷⁴⁾⁴²⁵⁾⁴²⁷⁾⁴²⁸⁾

작은 규모의 관찰 연구 (61 명 대상)에서는⁴²⁹⁾ 히스다발조율 (HBP) 시술을 받은 환자의 93 %가 시술 후 1 년간 전극선 관련 합병증을 경험하지 않았다. 우심실 조율과 비교했을 때, 히스다발조율 (HBP)은 5 년 동안 전극선 재시술 필요성이 더 높았으며 (6.7 % vs 3 %), 심조율 발생기 교체 필요 발생도 더 많았다. (9 % vs. 1 %)¹⁹⁶⁾ 좌각영역 조율에 관한 데이터²⁵⁸⁾⁴²⁸⁾에 따르면, 조율 역치는 처음 3-6 개월 동안 일정하게 유지되었다. 그러나 장기적인 추적 기간 동안 (618 명 대상), 조율 역치가 1 %에서 크게 증가하는 경우가 있었고, 0.3 %는 전극선 이탈(dislodgment)로 인해 재시술이 필요했다. 역치가 나중에 증가할 가능성과 추적관찰과의 누락차이를 고려하면, 적절한 조율 역치를 체계적으로 기록하는 심장전도계 조율 (CSP) 환자의 정밀한 추적 관찰이 바람직하다.¹⁹⁶⁾²⁰³⁾²⁵⁸⁾²⁶²⁾³⁷⁴⁾³⁸³⁾⁴²⁶⁾⁴²⁸⁻⁴³³⁾

히스다발조율 (HBP) 시술을 받은 294 명의 환자를 대상으로 한 관찰 연구⁴³⁴⁾에서, 15 %의 환자에서 조율 역치가 증가하였고, 이 중 대다수가 처음 8주 동안에 발생 (41 %)하였다. 6 %의 환자는 결국 전극선 재시술이 필요했다. 히스다발조율 (HBP)을 받은 환자들의 조율 역치는 우심실 조율을 받은 환자들보다 높았다 (1.35 ± 0.9 V vs. 0.6 ± 0.5 V at 0.5 ms; $p < 0.001$).⁴³⁰⁾ 소수의 환자에서는 이러한 역치가 시간이 지남에 따라 증가할 수 있으며, 이로 인해 조율 실패 (capture failure)가 발생할 수 있다.³⁸³⁾⁴³²⁾⁴³³⁾ 관찰 연구들에 따르면²⁰³⁾⁴³²⁾⁴³⁴⁾⁴³⁵⁾ 역치의 변화는 시술자의 경험과 기술에 따라 다르며, 배터리 수명을 최대화하기 위한 펄스 폭 (pulse width) 프로그래밍의 변화에도 영향을 받는다. 히스다발조율 역치값을 정의하는 절대적인 기준은 없지만, 일반적으로 조율 역치값이 0.1 V 이상 증가하면 전극선 재시술이 필요한지를 판단하기 위해 모니터링 빈도를 높여야 한다.

5.7.3 교체나 업그레이드를 고려하는 경우에 대한 권고사항

여러 연구에서 심부전 증상 악화 또는 입원 증가와 관련한 만성 우심실 박동의 해로운 효과가 입증되었다. 이것은 본인 전도 (intrinsic conduction)를 최대화하도록 프로그래밍하거나 심장재동기화치료 (CRT) 시술로 예방할 수 있다. 이전에는 박동기나 제세동기에서 심장재동기화치료 (CRT)로 업그레이드하는 이점이 주로 새로 삽입되는 심장재동기화치료 (de novo CRT)와 비교하여 조사되었다. 관찰 연구의 최근 메타 분석에서는, 심기능

의 향상과 사망률 또는 심부전 악화의 위험의 측면에서, 새로운 치료 (de novo)와 업그레이드는 유사한 성적을 보였다. 대규모 무작위 연구인 RAFT 하위 연구에서도 업그레이드 후의 질병 발생률 또는 사망률에서 유의성이 확인되지 않았다. 하지만, 이러한 임상 연구 결과는 심장재동기화치료 (CRT) 업그레이드 환자의 임상적 특성에 의해 영향을 받는다. 대규모 등록 연구인 유럽 CRT Survey II의 데이터를 살펴보면 심장재동기화치료 (CRT)로 업그레이드를 받은 환자는 새롭게 심장재동기화치료 (CRT)를 받은 환자와 임상적 특성이 달랐다. 주로 남성이며, 나이가 더 많고 심방세동, 허혈성 심장 질환, 빈혈, 신부전과 같은 더 많은 동반 질환을 가지고 있었다. 시술 난이도도 여러 연구에서 업그레이드 시술이 더 높은 것으로 나타났다. 하지만, 최근 분석에서는, 두 환자 집단의 임상적 특성이 유사했음에도, 임상 결과에 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 CRT 업그레이드 후 장기 감염률 또는 전극선 재조정에 대한 데이터는 여전히 부족하다. 최근 첫 번째 전향적 무작위 연구인 BUDAPEST 연구가 발표되었고, 심장재동기화치료 (CRT) 업그레이드가 체세동기 (ICD)에 비해 사망률 및 심부전 입원율을 감소시키는 것으로 확인되었다.

5.7.4 생리적 심조율에 대한 반응이 좋지 않을 때 문제 해결에 대한 권고사항

심부전 환자에서 심장재동기화치료 (CRT) 대상자를 선택하기 위한 심장 영상의 역할이 대부분 관찰 연구에서 평가되었다. 심장 비동기화, 심근 흉터 및 좌심실의 마지막 활성화 위치가 심장재동기화치료 (CRT) 효과와 관련이 있었다. 좌심실 박출률은 심장재동기화치료 (CRT) 환자 선택을 위한 지침에 포함된 유일한 변수이며 심초음파 검사는 이를 평가하기 위한 가장 기본 영상 기법이다. 또한 자세한 좌심실 박출률 평가를 위해서는 심장자기공명영상 (Cardiac magnetic resonance, CMR) 또는 핵의학 영상을 고려할 수 있다. 좌심실 수축 기능을 정량화하기 위한 스트레인 영상 (심초음파 또는 CMR)은 심부전에서 예후를 예측하는 인자이며 좌심실의 기계적 비동기화를 평가할 수 있다. 가돌리늄 지연연상 (LGE) 기술을 사용한 심장자기공명영상은 심근 흉터 조직의 존재를 보여주어 허혈성 심근병증과 비-허혈성 심근병증을 구별할 수 있는 방법이다. 심장자기공명영상 또는 핵의학 영상 기술과 관련된 LGE의 위치 및 범위는 심장재동기화치료 (CRT)의 효과와 관련이 있다. 심각한 승모판 폐쇄, 유의한 기계적 비동기화의 부재 및 우심실 수축기 기능 장애는, 임상 증상 개선을 막고 심장재동기화치료 (CRT) 후 생존율 감소를 예측하는 인자이다. 심장재동기화치료 (CRT)에 대한 반응을 예측하는 새로운 기술로 중격막 플래시 및 심첨부 흔들림, 방사상 변형을 및 패턴에 따른 시간 차이, 비침습적 및 침습적 심전도 지도화 및 벡터 심장 조영술이 제안되었다. 또한 스펙클 추적 심장 초음파로 평가된 좌심실 기능은 심장재동기화치료 (CRT) 환자의 생존과 관련이 있다. 그러나 무작위 연구에서 영

상(심근 반흔 또는 마지막 활성화 부위 평가)에 기초한 좌심실 전극선 이식의 지침이 표준 관행보다 우수하다는 것은 입증되지 못하였다. 심장재동기화치료(CRT)의 적절한 대상자를 찾기 위해 인공 지능을 사용한 초기 경험은 유망했지만 더 많은 데이터가 필요하다. 상당한(중간에서 중증으로) 2차 승모판 폐쇄는 심장재동기화치료(CRT) 대상자들 사이에서 빈번하며 치료에 대한 반응뿐만 아니라 장기 생존에도 영향을 미치는 것으로 나타났다. 심장재동기화치료(CRT) 환자의 최대 40%에서 승모판 폐쇄가 개선되었다. 그러나 나머지 60%에서 상당한 승모판 폐쇄가 향상되지 않고 장기적인 추적 관찰에서 승모판 기능의 추가적인 악화와 불량한 예후를 보였다. 경피적 시술을 통한 승모판 수선은 등록 연구에서 심장재동기화치료(CRT)에 대한 반응을 개선하는 것으로 입증되었으나 증상이 있는 심각한 2차 승모판 폐쇄 환자를 포함한 최근 무작위 연구의 결과는 일관되게 경피적 승모판 수선 시술의 이점을 보여주지 못하였다. 결과적으로 심장재동기화치료(CRT) 대상 환자에서 영상 기법은 좌심실 박출률 측정과 더불어 심근 흉터 범위, 승모판 폐쇄 또는 우심실 수축기 기능과 같은 다른 요인의 평가를 가능하게 하며, 추가 치료(예를 들어, 승모판 개입)가 필요할 수 있는 잠재적 비반응자를 식별하는 데 중요한 역할을 한다.

5.7.5 전도계 조율, 심장재동기화치료, 심외막조율을 언제 고려해야 하는지에 대한 권고사항

좌심실 조율은 통상적으로 관상정맥동의 가지 중 하나, 주로 측방 또는 후측방에 배치되는 전극선이 이용된다. 그러나 시술 받은 사람의 20%에서 40%는 심장재동기화치료(CRT)의 효과를 보지 못한다. 또한 일부 환자는 부적절한 관상정맥동 해부학, 정맥의 만성 폐쇄, 신경 자극 또는 심근 부위의 섬유화로 인한 높은 조율 역치와와 같은 해부학적 및 기술적 문제로 인해 시술 자체가 어렵다. 이러한 어려움을 극복하기 위해 수술용 심외막 전극선 또는 심실 중격 전극선 뿐만 아니라 히스다발조율(HBP) 또는 좌각영역조율(LBBAP) 같은 대안이 고안되었다. 또한 작은 측면 개흉술 또는 흉강경 기술을 사용한 심외막 좌심실 전극선 배치는 이러한 장애를 극복하는 방법이다. 수술용 심외막 좌심실 전극선 배치는 심장재동기화치료(CRT)에 최적인 것으로 예상되는 위치에 전극선을 배치할 수 있지만, 반면에 좌심실의 기저 후 측면에 대한 접근은 상대적으로 어려울 수 있다. 이전 연구에 따르면 심외막 좌심실 전극선 배치는 기존 방법에 비해 좌심실박출률 또는 심장 관류의 현저한 개선효과는 없었다. 현재 심외막 좌심실 전극선 삽입은 관상동맥 위치 조정의 실패 또는 기기 감염 후 재이식이 필요한 환자로 제한된다.

관상 정맥에 좌심실 전극선 삽입이 실패하거나 심장재동기화치료(CRT)에 반응하지 않는 경우, 대안으로 개발된 방법이 심방 또는 심실 중격 접근법을 통해 좌심실 심내막에

전극선을 이식하는 방법이다. 보다 복잡한 이식 절차임에도 불구하고, 좌심실 내막 삽입은 관상정맥 접근법과 비교하여 몇 가지 이점이 있다. (i) 이론적으로 좌심실의 모든 영역에 위치 가능, (ii) 심외막 층보다 심내막 층에서 더 빠른 전기 신호 전파로 더 빠른 좌심실 탈분극, (iii) 재분극 시퀀스를 보존하는 더 많은 생리적 좌심실 자극, (iv) 횡격막 신경 자극 회피. 이러한 이점에도 불구하고, 이 전략에는 몇 가지 단점이 있다. 중요하고 심각한 우려는 혈전 색전의 위험이며, 이는 장기간의 항응고 치료가 필요함을 의미한다. 승모판 기능에 대한 간섭 및 좌심실에서 전극선 제거 시 위험도 존재한다. 이러한 전극선 관련 급성 및 만성 합병증을 해결하기 위한 시도로, 무전극선 좌심실 조율이 개발되었다. 피부 밑 이식된 펄스 발생기 송신기에서 좌심실 벽에 이식된 수신기 전극으로 음파 에너지를 전송하여 무전극선 조율을 제공하고, 이는 음파 에너지를 전기 조율 에너지로 변환하는 방법이다. 사용 가능한 시스템은 모든 심박동기, 삽입형 심장 제세동기 또는 우측 심실 조율을 제공하는 심장재동기화치료 (CRT) 장치와 함께 이식된다. 양심실 조율은 보조 이식 장치의 우심실 조율 신호를 감지하고, 이를 좌심실 자극의 트리거로 사용한다. 좌심실 무전극선 조율의 안전성과 효과를 평가하기 위한 연구가 현재 진행 중이다.

대체 심조율 전략 및 위치

우심실 심첨부 조율의 대체 위치로는 우심실 유출로, 우심실 중격의 중간부 및 상부, 히스다발 (HBP), 히스 주변부, 그리고 좌심실중격 조율과 좌각조율을 포함하는 좌각영역 조율 (LBBAP)이 있다. 서맥으로 인한 심조율 시 전략 및 위치에 대해서는 그림 16에 요약되어 있다.

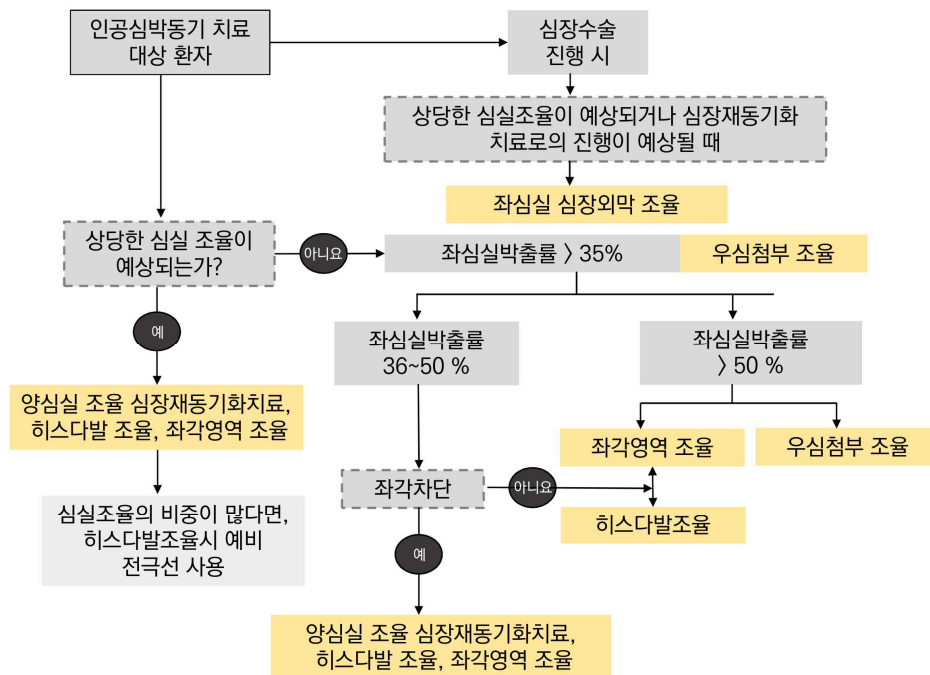


그림 16. 인공심박동기 치료 대상 환자

6.1 중격 조율 (Septal pacing)

두 개의 무작위 배정 임상시험에서 방실차단 또는 심장재동기화치료 상황에서 우심실 중격 조율과 우심실 심첨부 조율 간에 임상 결과의 차이가 없음이 확인되었다.⁴³⁶⁾⁴³⁷⁾ 메타 분석에서는 기존에 감소된 좌심실박출률을 가진 환자에서 우심실 중격 조율의 초음파적 이점이 보고되었다.⁴³⁸⁾ 관찰 연구에서는 우심실 중격 조율이 심실천공의 위험이 낮음을 보여주었다.⁴³⁹⁾ 그러나 진정한 우심실 중격 조율은 쉽게 얻거나 확인되지 않으며,⁴⁴⁰⁾ 우심실 중격 조율과 우심실 심첨부 조율을 비교하였을 때 좋지도 않고 나쁘지도 않은 결과를 보였다. 따라서 현재의 증거로는 모든 환자에게 우심실 중격 조율 또는 우심실 심첨부 조율을 특정하여 권고하지는 않는다.

6.2 히스다발조율 (His bundle pacing)

히스다발조율은 우심실 조율에 대한 더 생리적인 대안을 제공하기 위해 지속적으로 관심을 받고 있다. 또한 일부 환자 집단에서 심실의 전도 지연을 교정할 수 있어, 심부전 치료를 위한 양심실조율의 대안이 될 수도 있다. 새로운 도구의 도입으로 인해 히스다발 위치에 전극선 이식이 크게 용이해졌으며, 세계적으로는 많은 센터에서 사용되고 있으나 국내에서는 아직 많이 사용되지는 않고 있다. 히스다발 조율은 우심실조율을 대체 또는 양심실조율을 대체하여 사용되거나, 히스 최적화 심장재동기화치료 (HOT-CRT)로 사용되며,⁴⁴¹⁾ 이는 히스다발 조율과 우심실 조율, 좌심실 조율 또는 양심실 조율 사이의 상승 효과를 활용하여 동기화를 향상시킨다. 관찰 연구에서 보인 증거들에 따라, 이러한 설정에서 히스다발 조율이 안전하고 효과적일 수 있어 보이나, 대규모 무작위배정 연구와 장기 추적 조사는 여전히 부족하다.³⁵⁴⁾ 안전성과 효과에 대한 더 많은 데이터가 있을 때, 히스다발 조율은 앞으로 심조율 치료에서 점점 더 큰 역할을 할 것으로 예상된다.

6.3 좌각영역조율 (Left bundle branch area pacing)

좌각영역조율에는 전극선이 히스다발보다 약간 먼 쪽에 이식되며, 이상적으로는 좌각 가지를 포착하기 위해 좌심실 중격에 깊게 나사처럼 고정된다.³⁷⁴⁾ 이 기술의 장점은 전기적 측정치가 대체로 탁월하다는 것, 히스다발 조율로 치료하기에 너무 원위에 위치한 차단에서도 성공할 수 있다는 것, 그리고 히스다발조율로는 어려울 수 있는 방실접합부 절제를 용이하게 한다는 것이다. 이 기술은 매우 유망하나, 이 방식에 대한 데이터는 아직

부족하다, 그리고 장기적으로 전극선의 성능과 전극선 제거의 가능성에 대한 우려가 있다. 따라서 현재 단계에서는 좌각영역 조율을 사용하기 위한 권장 사항을 제시할 수는 없다. 그러나 심장전도계 조율 (CSP, 히스다발조율 및 좌각영역조율을 포함)은 앞으로 점점 더 큰 역할을 할 것으로 예상되며, 안전성과 효과에 대한 더 탄탄한 증거가 발표되면 현재의 권장 사항은 아마도 수정되어야 할 것이다. 우심실 조율, 히스다발조율, 좌각영역조율에 대한 비교는 표 10에 제시되었다.

표 10. 우심실첨부, 히스다발, 좌각영역에서의 심조율의 장단점 비교

구분	우심실첨부	히스다발	좌각영역
장점	- 장기간의 안전성과 효과에 대한 좋은 데이터 경험 - 기술의 넓은 구현 - 비교적 짧은 학습기간 - 전기생리학적 녹음 시스템이나 시술 중 12-유도 심전도가 필요 없음 - 표준 전극선 사용 - MRI 조건에 대해 인증여부가 명확함 - 전극선 제거에 대한 풍부한 근거자료	- 시술 성공 여부가 명확함 - 표준 전극선 사용 가능 - 전극선 제거 가능성이 확인됨 - 단기 안정성 및 효과에 대한 증거	- 히스다발조율보다 큰 대상 영역 - 근접부 차단인 경우 더 높은 성공률 및 더 원위부의 전도 질환을 수정할 가능성 - 전극선의 낮은 조율 임계값과 좋은 감지 수치 - 좌각 조율 실패의 경우에도 링 전극을 사용한 음극 포착을 통해 일관된 심근 포착 가능 - 예비의 조율 전극선이 필요 없음 - 전극선의 거리가 먼 위치로 인해 전극선 기능을 손상시키지 않고 방실결절 절제 가능
단점	- 비생리적 조율로 인한 심장 기능과 임상 결과에 미치는 잠재적인 악영향 가능성 - 전극선의 심실 자유벽 관통 가능성	- 작은 대상 영역 - 시술자에게 익숙하지 않은 새로운 기술 습득이 필요 - 이상적으로는 히스 위치 확인을 위해 전기생리 기록 시스템이 필요 (비록 심박조율 시스템 분석기 및 12-유도 심전도 기록기를 사용하여 가능하기도 함) - 상대적으로 높은 조율 임계값으로 인해 배터리가 더 빨리 소진됨 - 감지 문제 (방실 및 히스 과감지, 심실 감지 실패) - 근위부의 전도 차단만을 수정 - 추적관찰 중에 원위부 전도 차단이 발생하는 위험 - 높은 (약 7%) 전극선 재시술률. 장기 추적에서의 전극선 성능에 대한 경험이 제한적임 - 감지 문제나 환자 안전을 위해 예비 심실 전극선이 필요할 수 있음, 이로 인해 더 많은 혈관내 기구 거치, 높은 비용, 더 복잡한 프로그래밍이 필요 - 방실 결절 소작으로 인한 전극선 기능의 위험 (소작 위치와 조율 전극선의 근접성 때문) - 구성에 따라 (예: 예비전극선의 존재) MRI 조건성이 표시되지 않을 수 있음	- 시술 성공 여부 확인이 더 어려울 수 있음 - 조율된 QRS에서 불완전한 우각차단 패턴을 보임 (그리고 히스다발조율과 비교했을 때 특히 기본 QRS가 정상인 환자에서는 전기적 동기화가 덜함) - 전기생리학적 녹음 시스템이 필요함 (비록 심박조율 시스템 분석기 및 12-유도 심전도 기록기를 사용하여 가능하기도 함) - 현재 하나의 전극선 모델로만 수행됨 - 심실중격 천공 위험 - 중격의 흉터나 중격 비대 환자에서 어려울 수 있음 - 안전성 및 효과에 대해서는 제한적이지만 근거들이 증가하고 있음. - 장기 추적 중 전극선 성능에 대한 경험 없음 - 장기적인 전극선 제거 가능성이 입증되어야 함

6.4 무전극선 조율 (leadless pacing)

무전극선 조율은 전통적인 심박동기의 주머니 및 정맥 내 전극선과 관련된 제한점을 해결하기 위해 개발되었다. 현재 두 종류의 무전극선 심조율시스템이 임상시험에서 연구되었으며, 그 중 하나는 현재 우리나라에서 사용 가능하다. 두 시스템 모두 특수하게 설계된 카테터 기반 전달 시스템을 사용하여 대퇴정맥 경로로 우심실내에 삽입된다.

여러 전향적인 연구에서는 삽입 성공률이 높고, 삽입시와 후속 검사시 모두 적절한 전기적 결과가 나타난다고 보고하였다.³¹⁾³²⁾⁴⁴²⁾⁴⁴³⁾ 한 후향적 분석 결과, 총 1,817 명의 환자를 포함하여, 2.7 %의 환자에서 심각한 부작용이 보고되었다.⁴⁴⁴⁾ 무전극선 심조율장치의 감염 발생률은 낮으며, 감염의 주요 원인 (즉, 피하 시술 주머니 및 전극선)이 없기 때문이다. 그러나 시술 초기 경험 중에는 주요 합병증이 더 많이 발생하였으며 (6.5 %), 여기에는 천공, 심낭압전, 혈관 합병증, 심실 부정맥 및 사망이 포함되어 있다.⁴⁴⁵⁾ 이러한 결과는 무전극선 심박동기 삽입을 시작할 때 이 분야에서의 적절한 교육과 감독의 중요성을 보여준다. 또한, 시술자는 주어진 환자에게 가장 적합한 시스템을 제공할 수 있도록 경정맥 심조율에 필요한 동일한 역량과 인증을 가져야 한다. 무전극선 심박동기의 삽입은 적절한 환경 (즉, 고해상도 투시검사)에서 시행되어야 하며, 심낭압전의 위험으로 인해 현장에서 심장 수술을 진행할 수 있어야 한다. 또한 경정맥 심조율보다 관리하기 어려울 수 있다.⁴⁴⁶⁾

무전극선 조율은 VVI(R)와 VDD(R) 모드가 가능하며, 초기 심방세동이나 매우 드물게 조율이 필요한 환자들을 넘어, 방실차단 환자들로 그 적응증이 확대되었다. 동리듬 및 고도방실차단을 포함한 73 명의 환자로부터 얻은 데이터를 기반으로 환자의 위치와 활동에 따라 방실 동기화가 70~90 %의 시간 동안 유지되는 것이 확인되었다.⁴⁴⁷⁾ 향후에 무전극선 조율의 잠재적 이점이 100 %의 방실 동기화, 심방 조율 및 심방 부정맥 모니터링의 잠재적 이점이 더해진다면 특정 환자군에서 표준 DDD 심박동기의 대체품이 될 수도 있다.

무전극선 조율의 적응증에는 표준 경정맥 심박동기 삽입에 사용되는 정맥 경로의 폐색 (예: 양측 흉부 정맥 출구 증후군 또는 상대정맥의 만성 폐색), 주머니 문제 (예: 악액질 또는 치매의 경우), 또는 특히 감염 위험이 증가한 경우 (예: 투석 또는 이전의 심장삽입전기장치 감염)가 포함된다. 무전극선 조율에 대한 관찰 연구는 높은 효과와 함께 낮은 합병증 발생률을 보여주었지만,⁴⁴⁴⁾ 현재 무전극선 조율과 표준 경정맥 조율 간의 장기 안전성 및 효능을 입증한 무작위배정연구 결과는 없으므로 무전극선 조율의 적응증은 개별적으로 신중하게 고려해야 한다.

무전극선 박동기의 성능에 대한 장기 데이터의 부재와 회수 및 수명 종료 전략에 대한 제한된 연구결과는 무전극선 조율 치료를 선택하기 전에 특히 더 어린 환자들 (예: 수명 기대치 > 20 년)에게 신중하게 고려해야 한다.

무전극선 심조율에 대한 권고안

권고안	권고등급	근거수준
무전극선 심조율은 상지 정맥 접근이 불가능하거나 기기 주머니 감염 위험이 특히 높은 경우, 예를 들면 이전 감염이 있거나 혈액투석을 받는 환자들에게 표준 경정맥 심조율의 대안으로 고려한다.	IIa	B
무전극선 심박동기는 기대 수명과 공동 의사결정을 통해 표준 경정맥 심조율의 대안으로 고려될 수 있다.	IIb	C

전문특수 상황에서의 적응증

7.1 급성심근경색 환자에서 심조율

급성 심근경색 환자의 경우, 허혈 또는 재관류에 의한 자율신경계의 영향 또는 전도계의 손상으로 인해 심각한 서맥성 부정맥이 발생할 수 있다. 우관상동맥은 환자들의 60 %에서 동결절에, 90 %에서 방실결절과 히스다발에 혈액공급을 한다.⁴⁴⁸⁾⁴⁴⁹⁾ 하벽 경색의 대부분의 경우 방실 차단은 히스다발 (above His bundle) 상부에서 발생하고, 전벽 경색의 경우는 주로 히스다발 하방에서 (infra-Hisian) 발생하며 심실내전도장애가 선행한다.⁴⁴⁸⁾⁴⁵⁰⁻⁴⁵⁴⁾

ST분절상승 심근경색에서 고도 방실 차단의 발생은 일차적 경피적 관상동맥 중재술 시대가 되면서 3~4 %로 감소하였고,⁴⁵⁵⁻⁴⁵⁷⁾ 주로 하벽 또는 하외벽의 심근 경색에서 주로 발생한다.⁴⁵²⁾⁴⁵⁵⁻⁴⁵⁸⁾ 전벽 경색에 수반하여 고도 방실 차단이 발생하는 경우에 임상적으로 위험도가 높다.⁴⁵⁵⁻⁴⁵⁷⁾⁴⁵⁹⁾⁴⁶⁰⁾ 또한, 새로 발생한 실심 내 전도 장애가 있는 경우에 경색 범위가 넓다.⁴⁶¹⁻⁴⁶⁴⁾

동성 서맥과 방실 차단은 미주신경성으로 발생할 수 있으며 아트로핀에 반응할 수 있다.⁴⁵²⁾⁴⁶⁵⁾ 재관류치료를 받지 않는 방실 차단 환자라면 재관류치료가 권고된다.⁴⁶⁶⁾ 증상이 해결되지 않거나 혈액학적으로 불안정한 상태라면 임시 심조율이 필요할 수 있으나, 대부분의 경우에 수일 이내에 회복되고 소수의 환자에서만 영구적 심조율이 필요하게 된다.⁴⁴⁸⁾⁴⁵¹⁾⁴⁵³⁾⁴⁵⁵⁾⁴⁵⁹⁾

과거 심실내전도장애와 일시적인 방실 차단이 관찰되는 경우 영구형 심박동기가 추천되었으나 심조율이 임상경과를 향상시킨다는 근거는 없다.⁴⁵¹⁾⁴⁶⁷⁾ 이러한 환자들은 종종 심부전과 심실기능이 저하되어 있으므로 일반적인 심조율보다는 제세동기, 재동기화기기-박동기 (CRT-P) 또는 재동기화기기-제세동기 (CRT-D) 치료의 효과를 평가해야 한다.⁴⁶⁸⁾

10 일 이내에 방실 차단이 회복되지 않으면 영구형 심박동기를 삽입해야 한다. 강력한

과학적 데이터가 없는 경우, 박동기 삽입 전 대기 기간은 개별적으로 결정해야 한다. 최대 10 일까지 기다릴 수 있지만 폐색된 혈관, 시간 지연 및 혈관 재개통 성공 여부에 따라 5 일로 단축될 수 있다. 조기 심박동기 삽입을 고려해야 하는 조건에는 혈관 재개통에 실패했거나 늦은 경우, 전벽 심근경색, 심근경색 전 이섬유속 차단 또는 방실 차단, 심근경색 후 첫날 이내에 방실 차단이 진행된 경우 등이 있다. 우관상동맥 폐색으로 발생한 동기능부전증후군은 대부분의 경우 해결된다. 혈관 재개통이 불완전한 경우, 일반적으로 심박동기 삽입을 연기하고 동성서맥으로 인한 증상이 지속되는 경우에만 삽입을 한다.

급성심근경색 환자에서 심조율의 권고안

권고안	권고등급	근거수준
심근경색 이후에 최소 5일의 기간내에 방실 차단이 회복되지 않는 경우에 일반인 환자와 동일한 권장사항에 따라 영구형 심박동기 삽입의 적응증이 된다.	I	C
전벽 심근경색과 급성 심부전 상황에서 방실 차단이 동반된 선택적인 환자에서 조기에 심장재동기화치료 (CRT-D/CRT-P) 가 고려될 수 있다.	IIb	C
자발적으로 또는 관혈적 치료 이후에 방실 차단이 회복되면 심조율은 추천되지 않는다.	III	B

7.2 심장수술, 심장이식 후의 심조율

7.2.1 관상동맥우회 수술과 판막 수술 후의 심조율

방실 차단은 심장 수술후 1-4 %에서, 판막 수술을 반복한 경우 8 %에서 발생한다.⁴⁶⁹⁻⁴⁷³⁾ 동기능 부전은 우외측 심방절개를 하거나 승모판막에 대해 중격을 통한 상부로 접근시에 (transseptal superior approach) 발생한다.

심박동기 삽입은 관상동맥우회 수술 후보다 판막 수술 후에 더 빈번하게 이루어진다.⁴⁷⁴⁾ 임상에서는 일시적인 서맥이 회복되도록 영구형 심박동기를 삽입하기 전에 일반적으로 3~7 일의 관찰 기간을 적용한다.⁴⁷⁰⁾ 심장 수술 후 심박동기를 삽입하는 이상적인 시기는 여전히 논란의 대상이 되고 있는데, 이는 동기능부전으로 삽입한 환자의 60~70 %, 방실 차단으로 삽입한 환자의 최대 25 %가 추적 관찰 시 심박동기에 의존적이지 않기 때문이다.⁴⁷⁰⁾⁴⁷⁵⁾ 판막 수술 후 첫 24 시간 이내에 발생하여 48 시간 동안 지속되는 완전 방실 차단인 경우, 향후 12 주 이내에 회복 될 가능성은 낮으며 조기에 심박동기를 삽입하는 것을 고려할 수 있다.⁴⁷⁶⁾⁴⁷⁷⁾ 이탈 율동이 낮은 완전 방실 차단인 경우에도 동일한 접근법이 합리적일 것으로 보인다.⁴⁷⁰⁾

판막 심내막염에서 수술 후 방실 차단 예측 인자는 수술 전 전도 이상, 황색 포도상구균 감염, 심장 내 농양, 삼첨판막 침범 및 이전 판막 수술 병력이다.⁴⁷⁸⁾ 수술 전후 방실 차단이 동반된 심내막염 환자의 경우, 특히 하나 이상의 예측 인자가 있는 경우 조기 심박동기 삽입이 합리적이다. 환자의 감염 상태를 고려할 때, 판막 수술 중, 심외막 심박동기를 수술 도중에 삽입하는 것은, 심외막 박동기와 경정맥 심박동기의 감염률 비교에 대한 확실한 데이터가 없더라도 합리적일 수 있다.

7.2.2 심장이식 후의 심조율

동기능 부전은 흔하게 관찰되며, 8 % 환자에서 심장 이식 후 영구형 심박동기를 삽입하게 된다.⁴⁷⁰⁾ 동기능 부전의 가능한 원인으로는 외과적 외상, 동결절 동맥 손상이나 허혈, 및 장기간의 심장 허혈 시간 등이 있다.⁴⁷⁹⁾⁴⁸⁰⁾ 방실 차단은 덜 흔하며, 아마도 기증자 심장의 부적절한 보존과 관련이 있을 것이다.⁴⁷⁰⁾⁴⁸⁰⁾⁴⁸¹⁾ 심박수 변동 부전은 자율 신경계 조절 기능 상실로 인해 표준 정위성 심장이식 후 항상 발생한다. 이식 후 첫 몇 주 동안 동결절과 방실결절 기능이 개선됨에 따라, 심박동기 삽입 전 관찰 기간 동안 서맥이 저절로 회복될 수 있다.⁴⁸²⁾ 수술 후 3 주째 이후에도 서맥 증상이 지속되는 환자의 경우 영구형 심박동기 이식이 필요할 수 있다는 일반적인 합의가 있다. 방실 전도가 온전한 경우 심실 박동을 최소화하는 DDD(R) 모드가 권장된다.⁴⁸⁰⁾

7.2.3 삼첨판막 수술 후의 심조율

삼첨판막 질환의 수술에서 과소평가되는 측면은 삼첨판막을 통과하는 심박동기 또는 제세동기 전극선을 다루는 것이다. 이러한 전극선은 교정된 삼첨판막 또는 삼첨판막 보형물의 기능을 방해할 수 있으므로, 삼첨판막 수술 시 우심실에 삽입하는 전극선을 심외막에 이식하는 것이 2 형 2 도 또는 3 도 방실 차단인 경우 가장 간단한 대안이다. 심외막 전극선의 장기적인 성능에 대한 의구심이 있었 왔지만, 최근 데이터에 따르면 적어도 심외막 좌심실 전극선의 경우 경정맥 전극선과 비슷한 성능을 보인다.³⁸⁹⁾

기계판막으로 삼첨판막 교체술 후 관상정맥동 전극선을 사용한 심실 조율은 안전하고 실현 가능한 것으로 보이지만, 소규모 환자 코호트에서 나온 결과만이 발표되었다. 23명의 환자에서 시술 성공률은 100 %였으며, 5.3 ± 2.8 년 후 96 %의 전극선이 안정적으로 조율(pacing)과 감지(sensing) 역치를 보여주었다.⁴⁸³⁾

기계판막으로 교체한 후에는 삼첨판막을 통한 전극선 삽입은 금기이며, 심실 조율을 위해서는 관상정맥동 전극선 또는 최소 침습적으로 삽입할 수 있는 심외막 전극선을 이식하

는 것이 권장된다. 교정된 삼첨판막 또는 삼첨판막 생체 보형물의 손상을 방지하기 위해 이러한 수술 후 심실 조율이 필요한 환자에게 최적의 해결책에는 판막을 통한 전극선 삽입은 포함되지 않아야 한다. 심실 조율을 위한 관상정맥동 전극선을 삽입하거나 최소 침습적으로 심외막 전극선을 삽입하는 것이 바람직한 선택으로 판단된다. 그러나 관찰 연구에서는, 삼첨판막을 통한 전극선 삽입은 수용 가능한 결과를 보여주며,⁴⁸⁴ 삼첨판막륜성형술, 다른 유형의 교정술 및 삼첨판막을 생체 보형물로 교체한 후에도 일부 환자에서 고려할 수 있다.

히스다발조율 (HBP)은 보다 생리적인 심실조율법으로 부상하고 있으며, 삼첨판막 수술 후 방실 전도 질환이 있는 환자에서도 해결책으로 발전할 수 가능성이 있다. 한 연구에서는 심장 판막 수술 후 히스다발조율을 받은 환자 30 명을 대상으로 조사한 결과, 이들 중 93 %에서 영구적 히스다발조율이 성공적으로 이루어졌다고 보고하였고,⁴⁸⁵ 이 연구에는 삼첨판막륜성형술을 받은 환자 10 명이 포함되었다.

기존 우심실 전극선이 있는 환자에게 삼첨판막 치환술을 시행할 경우, 기존 우심실 전극선을 제거하고 심외막 우심실 전극선을 이식하는 것이 생체 보형물과 판막륜 사이에 기존 전극선을 봉합하는 것보다 선호되어야 한다. 그 이유는 전극선을 봉합하는 것이 전극선 기능이상 발생의 위험이 더 높을 수 있고, 향후 전극선 제거가 필요한 경우 개심 수술이 필요하게 될 경우 수술 위험도가 더욱 증가하기 때문이다. 개방된 부분이 있는 판막륜성형술 링으로 교정술을 시행하고 리플렛 기술이 동반되지 않은 삼첨판막 교정술의 경우, 링과 판막륜 사이를 봉합하지 않고 기존 우심실 전극선을 그대로 둘 수 있다. 그러나 단독 판막 성형술의 경우에도 교정된 삼첨판막의 향후 전극선 관련 합병증을 피하기 위해서는 이상적으로는 기존 우심실 전극선을 제거하고 심외막 우심실 전극선을 삽입하여야 한다. 특히 심방 심실 이중조율 (dual chamber) 박동기가 필요하지 않은 환자의 경우, 삼첨판막 교정술 또는 생체 보형물로 교체한 후 심실 박동을 위해 무선 심박동기를 사용하는 것이 향후 실현 가능한 대안이 될 수 있다. 그러나 경험은 매우 제한적이며 이 코호트에서는 장기 데이터가 없다. 하지만, 전달 시스템 (delivery sheath)과 박동기를 기계 삼첨판막을 통과시키는 것은 금기이다.

심장수술, 심장이식 후의 심조율에 대한 권고안

권고안	권고등급	근거수준
심장수술 후 고도 또는 완전 방실 차단 • 울동 문제가 일시적인지, 회복될 수 있는 지 평가하기 위하여 최소 5 일의 임상관찰 기간이 필요하다. 하지만, 해결 가능성이 낮은 이탈 울동이 낮거나 없는 완전한 방실 차단인 경우 이 관찰 기간을 단축할 수 있다.	I	C
판막 심내막염 수술과 수술 중 완전 방실 차단 • 판막 심내막염 수술을 받고 완전 방실 차단이 있는 환자에서 다음과 같은 방실 차단의 지속성 예측 인자 중 하나가 있는 경우 즉각적인 심외막 박동기 이식을 고려해야 한다. • 수술 전 전도 이상, 황색포도상구균 감염, 심장 내 농양, 삼첨판막 침범, 이전 판막 수술	IIa	C
심장수술과 심장이식 후 동기능부전 • 영구형 박동기를 이식하기 전에 최대 6 주의 관찰 기간을 고려한다.	IIa	C
심장이식 후 심박수 변동부전 • 심장이식 후 6 주 이상 지속되는 심박수 변동 부전의 경우 삶의 질을 개선하기 위해 심장 조율을 고려하여야 한다.	IIa	C
삼첨판막 수술 시 심조율이 필요한 환자 • 삼첨판막을 통과하는 전극선은 피하고 심외막 심실 전극선을 사용해야 한다. 삼첨판막 수술 시, 기존의 판막을 통과하는 전극선의 제거가 고려되어야 하며, 판막륜과 생체 보형물 또는 판막성형술 링 사이에 전극선을 봉합하는 것보다 선호된다. 개별적으로 손익 분석 근거하여, 단독 삼첨판막륜 성형술의 경우, 링과 륜 사이에 기존의 판막을 통과하는 전극선을 끼우지 않고 그대로 둘 수 있다.	IIa	C
조직 삼첨판막 치환수술/삼첨판막 링 교정술 (ring repair) 후 심장 조율이 필요한 환자 • 심실 조율이 필요한 경우, 관상정맥동 전극선 삽입 또는 최소 침습적으로 심외막 심실 전극선의 삽입을 고려하고 경정맥 경판막적 접근보다 먼저 시행해야 한다.	IIa	C
기계적 삼첨판막 치환수술 후 심조율이 필요한 환자 • 경판막 우심실 전극선 삽입은 피한다.	III	C

7.3 경피적 대동맥판막 삽입술

(transcatheter aortic valve implantation, TAVI) 후의 심조율

무작위 시험과 대규모 레지스트리 연구에서 경피적 대동맥판막 삽입술 (TAVI) 후 영구형 심박동기 삽입률은 3.4 %에서 25.9 % 사이이다.⁴⁸⁶⁻⁴⁹⁸⁾ TAVI 후 심조율과 임상 결과 사이의 연관성에는 논란의 여지가 있지만,⁴⁹⁹⁻⁵⁰⁵⁾ 우심실 조율은 좌심실 기능의 악화로 이어질 수 있어서,⁵⁰⁶⁾⁵⁰⁷⁾ 불필요한 영구적 심조율을 최소화하기 위한 노력이 필요하다.

영구형 심박동기 삽입에 대해서 가장 일관되고 강력한 예측 인자인 우각차단처럼 영구적 심조율을 예측할 수 있는 인자들은 (표 11) 경피적 심장 판막의 선택, 삽입 높이 및 풍선 확장 등과 함께 시술 계획에 포함되어야 한다. 기존에 진행된 전도계 질환이 있는 환자 중 TAVI 시술과 관계없이 영구적 심조율 적응증이 있는 환자는 시술 전에 전기생리학 전문의와 상담해야 한다. 현재 무증상이거나 심박동기 삽입에 대한 표준 적응증을 충족하지 않는 환자에서 TAVI 시술 전 ‘예방적’ 조치로 영구형 심박동기 삽입을 뒷받침하는 증거는 없다.

표 11. 경피적 대동맥판막 삽입술 이후에 영구적 심조율을 예측할 수 있는 인자들

특징
심전도 요인
우각차단
PR 간격 연장
좌각앞속차단
환자요인
고령 (1 년 증가당)
남자
체질량 지수 증가 (1 단위 증가당)
해부학적 요인
심한 승모판막 룬 석회화
좌심실 유출로 석회화
막성 중격의 길이
Porcelain 대동맥
더 높은 평균 대동맥판막 압력 차이 (mean aortic valve gradient)
시술적 요인
자가팽창형 판막
더 깊은 판막 삽입
보형물 직경과 판막륜 또는 좌심실 유출로의 직경의 비율이 큰 경우
Balloon post-dilatation
TAVI in native valve vs. valve in valve procedure

TAVI 후 전도 이상을 관리하기 위한 권장 접근법은 그림 16에 자세히 설명되어 있다. TAVI 후 새로운 전도 장애가 발생하지 않는 환자는 고도 방실 차단이 발생할 위험이 매우 낮다.⁵⁰⁸⁻⁵¹⁰ 반대로, 지속적으로 완전 또는 고도 방실 차단이 관찰되는 경우는 표준 지침을 따라야 한다. 영구형 박동기 삽입은 시술 중 발생한 방실 차단이 24~48 시간 동안

지속되거나 그 이후에 관찰되는 환자에게 필요한 것으로 보인다. 시술 전, 후로 기타 다른 전도 이상이 있는 환자의 관리에 대한 자료는 더욱 제한적이다.

대동맥 판막과 좌각의 해부학적 근접성을 고려할 때, TAVI 후 가장 빈번하게 새로 발생하는 전도 이상은 좌각차단이다.⁵⁰⁰⁾⁵¹¹⁻⁵¹³⁾ 하지만, 이러한 환자 중 극소수만이 심박동기 삽입이 필요하므로,⁵¹¹⁾⁵¹²⁾ 박동기 삽입 대신 전기 생리학 검사⁵¹⁴⁻⁵¹⁶⁾ 또는 장기 모니터링⁵¹¹⁾을 고려할 수 있다.⁵¹⁷⁾⁵¹⁸⁾ 새로운 좌각차단 환자에서 고위험 하위 그룹이 몇 가지 확인되었다. (그림 17) TAVI 후 전도 이상이 동적으로 진행되는 경우에는 (QRS 및/또는 PR의 동적 연장을 동반한 새로운 각차단 발생), 병원 내 모니터링 기간을 최대 5 일까지 연장하는 것을 고려해야 한다. 반대로, 새로 발병했지만 QRS가 150 ms 미만인 좌각차단 환자는 입원 중 추가 평가가 필요하지 않을 수 있다. 전기생리학 검사를 고려하는 경우, 시술 후 3 일 이상 경과하고 전도 이상이 안정화된 후에 실시해야 한다.

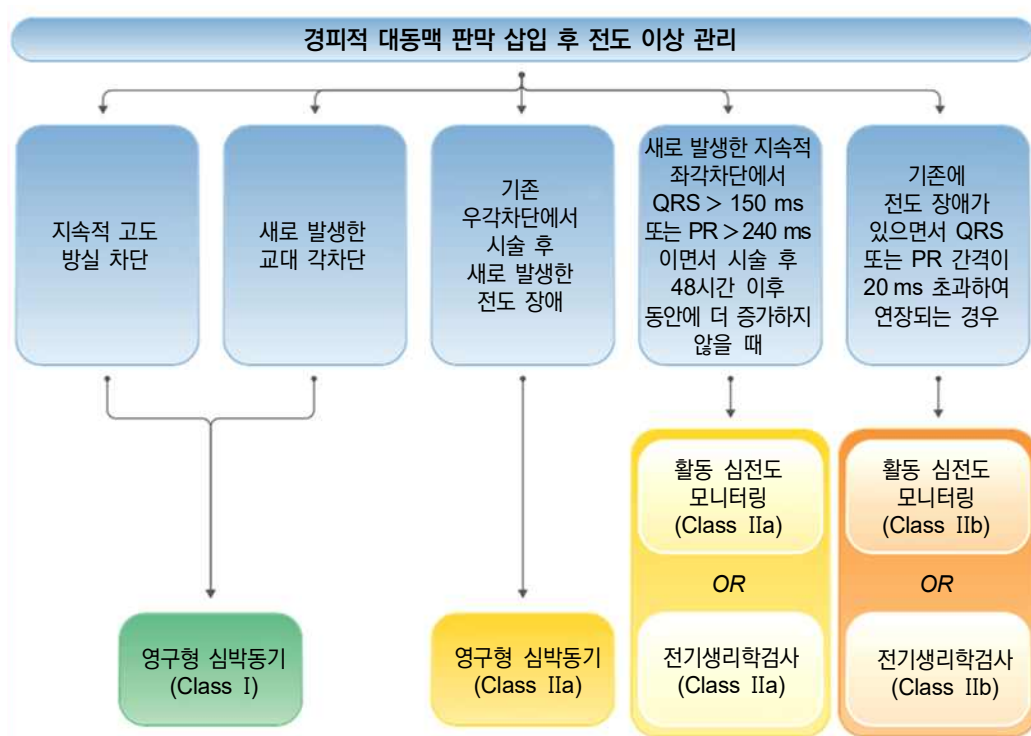


그림 17. 경피적 대동맥 판막 삽입 후 전도 이상 관리

삽입될 영구형 심박동기의 종류는 표준 지침을 따라야 한다. 심조율에 장기적으로 의존하는 비율이 낮다는 점을 고려할 때,⁵¹⁹⁾⁵²⁰⁾ 자발적인 방실실 전도를 허용하는 알고리즘을 사용해야 한다.

경피적 대동맥판막삽입술 후의 심조율에 대한 권고안		
권고안	권고등급	근거수준
TAVI 이후에 24~48 시간 동안 지속되는 고도 또는 완전 방실 차단 환자에게는 영구적 심조율을 권장한다. ⁵²¹⁾	I	B
TAVI 이후에 각차단이 교대로 발생하는 환자에게는 영구적 심조율을 권장한다. ⁵⁰⁸⁾⁵²²⁾	I	C
TAVI 시술 중 또는 시술 후에 기존 우각차단 환자에게 추가적인 전도 장애 ^a 가 발생하는 경우 조기 ^b 에 영구적 심조율을 고려한다.	IIa	B
활동 심전도 모니터링 ^c 이나 전기생리학 검사 ^d 는 새로 발생한 좌각 차단 환자에서 QRS 폭이 150 ms 또는 PR이 간격 240 ms를 초과하고 TAVI 후 48 시간 이상 동안 더 연장되지 않는 경우 고려한다. ⁵¹¹⁾⁵¹²⁾⁵²³⁾	IIa	C
기존 전도계 이상이 있는 환자 중 QRS 폭 또는 PR 간격이 20 ms를 초과하여 연장되는 경우 활동 심전도 모니터링 ^c 이나 전기생리학 검사 ^d 를 고려 할 수 있다. ^e	IIb	C
영구적 심조율의 적응증이 없는 우각차단 환자에서 예방적 영구형 심박동기 삽입은 적응증이 되지 않는다.	III	C

^a 일시적인 고도 방실 차단, PR 간격 연장, 또는 QRS 축의 변화

^b 시술 직후 또는 24 시간 이내에

^c 7~30 일 동안 활동 심전도 모니터링 (삽입형 또는 외부 부착형)⁵¹¹⁾⁵²⁴⁾

^d 전기 생리학 검사는 TAVI 3 일 이후에 시행하여야 한다. HV 70 ms 이상의 전도 지연은 영구적 심조율의 양성 소견으로 간주될 수 있다.⁵¹⁵⁾⁵¹⁶⁾⁵²⁵⁾

^e 48 시간 동안 관찰하는 동안 QRS 또는 PR이 더 이상 연장되지 않는 경우

Note ; TAVI 후 심조율이 필요한 환자의 심장재동기화치료는 일반 환자와 동일한 적응증을 갖는다.

7.4 선천성 심질환에서 심조율과 심장재동기화치료

중등도 또는 복합 선천성 심질환 환자의 영구적 심조율은 선천성 심질환 관련된 장치 치료에 대한 전문성이 있고 다학제적 팀을 갖춘 기관에서 시행해야 한다. 일반적으로 선천성 심질환 환자의 심박동기 치료에 대한 의사 결정은 무작위 대조군 연구에 의한 근거가 부족하기 때문에 전문가 합의와 개별 평가를 기반으로 이루어진다. 전신 순환과 폐 순환 사이에 심장 내 단락이 있는 경우, 동맥 색전증의 위험으로 인해 혈관 내 전극선 삽입은 상대적으로 금기이다.⁵²⁶⁾ 임상 양상은 상당히 다양하며, 선천성 방실 차단에서도 심한 서맥이 관찰되지만 증상이 경미하거나 또는 무증상일 수 있다. 서맥 부정맥의 특정 위험성이 있는 환자에게는 주기적인 홀터 기록이 유용할 수 있다.

가장 큰 우려는 평생(수십 년) 지속되는 심조율과 심근세포의 변화로 인해 심실 기능 장애로 이어질 가능성이 있다는 것이다. 따라서 심실 수축을 가장 최적화할 수 있는 부위에 심실 전극선을 삽입을 하는 것이 권고되나 현재까지 모든 환자에게 최적의 부위가 밝혀진 것은 없다. 따라서 전극선 삽입은 환자별로, 일반적인 감지/역치 값과 더불어 수축성 평가 결과를 기반으로 해야 하지만, 이상적인 부위에 접근할 수 없거나 해당 부위의 조율 역치가 좋지 않을 수 있다는 한계가 있다.

심부전이나 심실 기능 장애에 대해 심장재동기화치료가 다양한 환자 집단에 적용되었지만, 성공에 대한 정의가 달라서 지금까지의 결과는 상이하다. 심초음파 측정값(좌심실 박출물 및 좌심실 크기)과 QRS 간격은 임상 결과와 큰 상관관계가 없는 것으로 나타났다. 심장재동기화치료를 고려할 때는 관상정맥동 또는 심외막 부위를 통한 추가 전극선과 관련된 위험/장점 및 잠재적 부작용 문제를 고려해야 한다.

7.4.1 동기능 부전과 서맥-빈맥 증후군

동기능 부전이 선천성 심질환의 사망률 증가로 이어진다는 직접적인 증거는 아직 없다. 그러나, 선천성 심질환에서 수술 후에 1:1 방실 전도가 되는 심방 조동 발생률이 높아져 이환율(morbidity) 및 잠재적 사망률 증가와 관련이 있을 수 있다.⁵²⁷⁾⁵²⁸⁾

증상이 있는 심박수 변동 부전 환자의 경우, 다른 원인이 배제된 경우에는 심박동기 삽입을 할 수 있다.⁵²⁹⁾⁵³⁰⁾ 심방 부정맥을 예방하기 위해 영구적 심조율을 통해 심박수를 증가시키는 것이 고려될 수 있지만,⁵³¹⁾ 구조적 심질환이 없는 환자에서 관찰된 심방 기반 조율의 이점이 선천성 심질환에서는 검증되지 않았기 때문에 근본적인 근거는 약하다.⁵³²⁾⁵³³⁾ 영구적 심조율이 필요한 경우, 특히 적절한 방실 전도가 있는 어린 환자의 경우 전극선 수를 제한하기 위해 단일 전극선 심방 기반 조율을 선택해야 한다는 것이 일반적인 의견이며,⁵³⁴⁾ 고도 방실 차단으로 인해 심실 조율이 필요한 선천성 수정 대혈관 전위 환자의 경우 심장재동기화치료를 고려해야 한다. 선천성 심질환 환자의 심방 내 회귀빈맥을 치료하기 위해 심방 항빈맥 조율을 사용하는 것에 대한 현재 근거는 너무 제한적이어서 일반적인 권장사항으로 제시하기에는 부족하다.⁵³⁵⁾⁵³⁶⁾ 선천성 수정 대혈관 전위 환자는 내재적 전도 질환을 포함하여 연간 2%의 방실 차단 발생 위험이 있다.⁵³⁷⁾ 선천성 수정 대혈관 전위 및 방실 차단 환자에서 심장전도계 조율(Cardiac conduction system pacing, CSP) 사용에 관한 데이터는 제한적이다. 해부학적 교정을 받지 않은 선천성 수정 대혈관 전위 및 방실 차단 환자 대상으로 한 소규모 다기관 연구에 따르면 QRS 간격은 접합부 이탈 율동과 비교하여 변화가 없으며(124 vs 110 ms; $p=.17$) 기준 심실 조율과 비교했을 때는 유의하게 감소하였다(112 vs 164 ms; $p<.01$). 8개월 후에는 33%에서 기능적 상태

개선을 보였다.⁵³⁸⁾

7.4.2 선천성 방실 차단

여러 가지 산모 또는 태아 요인이 선천성 방실 차단을 유발할 수 있으며, 특히 전신성 홍반성 루푸스 및 쇼그렌 증후군과 같은 자가 면역 질환이 원인이 될 수 있다. 환자는 증상이 없거나 운동 능력 감소, 실신 발작, 율혈성 심부전, 심실 기능 장애, 심실 확장 등의 증상을 보일 수 있다. 드물게 급성 심장사에서 선천성 방실 차단이 원인으로 진단된다.⁵³⁹⁾⁵⁴⁰⁾ 염전성 심실 빈맥 (torsades-de-pointes) 같은 서맥 관련 심실 부정맥이 발생할 확률이 높아져 심장 돌연사가 발생할 수 있다.

무증상 환자에서 다음과 같은 위험인자 중 어떤 것이라도 있다면, 예방적 심조율이 필요하다는 일반적인 합의가 있다. 평균 주간 심박수가 50 회 미만, 심실 이탈 율동의 주기의 3 배 이상으로 휴지기가 나타나는 경우, 넓은 QRS 이탈 율동, 연장된 QT 간격, 또는 복잡한 심실 이소성,⁵⁴¹⁻⁵⁴³⁾ 실신, 전실신, 심부전, 또는 심박수 변동 부전과 같은 임상 증상이 있다면 심박동기 삽입의 적응증이다.⁵⁴¹⁾⁵⁴⁴⁾⁵⁴⁵⁾ 심실 기능 장애가 서맥으로 인한 혈액학적 손상으로 인한 것이라면 영구적 심조율의 적응이 된다.⁵⁴⁴⁾ 근거의 질은 높지 않지만, 증상이 있거나 위험 요인이 있는 3 도 또는 2 도 방실 차단 (모비츠 2 형) 환자는 영구적 심조율 치료를 받아야 한다는 데는 강력한 합의가 이루어지고 있다. 위험 요인이 없는 무증상 환자의 경우, 심조율의 이점에 대한 의견이 분분하며 영구적인 심조율도 고려할 수 있다.⁵⁴⁴⁾⁵⁴⁶⁾

7.4.3 수술후 방실 차단

선천성 심질환으로 수술을 받은 환자의 1-3 %에서 수술 후 고도 방실 차단이 발생하는 것으로 추정된다.⁵⁴⁶⁾⁵⁴⁷⁾ 소아의 경우, 수술 후 일시적인 초기 방실 차단은 보통 7~10 일 이내에 회복된다.⁵⁴⁸⁾ 선천성 심질환이 있는 성인의 경우, 수술 후 영구적 심조율을 결정하기 전에 다른 심장 수술 후와 다른 대기 기간을 뒷받침하는 데이터는 없다. 완전 방실 차단에서 회복된 후에도, 때때로 이섬유속 차단이 지속될 수 있으며, 이는 후기 재발성 방실 차단 및 급사의 위험 증가와 관련이 있다.⁵⁴⁹⁾ 수술 후 완전 방실 차단을 치료하지 않은 환자의 예후는 좋지 않다.

지속적인 2도 또는 3도 방실 차단이 있는 환자에게는 영구적 심조율을 강력히 권장한다. 일시적 방실 차단이후에 이섬유속 차단이 지속적으로 관찰되거나 또는 영구적으로 연장된 PR 간격을 보이는 환자의 경우, 심박동기 삽입에 대한 합의는 보통수준이다. 수술 후 HV 간격을 측정하는 것은 연장된 PR 간격 또는 이섬유속 차단이 있는 환자의 위험도

를 평가하는데 도움이 될 수 있다.⁵⁵⁰⁾ 선천성 심질환 수술 후 이섬유속 차단과 긴 PR 간격을 갖는 환자의 경우 전도계에 광범위한 손상이 발생할 위험이 높으므로⁵⁴⁹⁾ 심박동기 삽입은 HV 측정 없이도 필요할 수 있다. 복합성 선천성 심질환이 있고 평생 심박동기 삽입의 위험이 높은 환자의 경우 재수술률을 줄이기 위해 수술 중 심외막 전극선 삽입을 고려해야 한다.

7.4.4 심장재동기화치료

선천성 심질환의 경우 해부학, 전신 순환 심실의 형태, 심실부조화의 원인, 및 QRS 모양이 비정상적일 수 있다는 점을 고려하여 심장재동기화치료의 표준 적응증을 고려할 수 있다.⁵⁵¹⁾ 이러한 환자에서 심장재동기화치료는 다양한 정도의 성공을 거두었는데, 전신 순환 좌심실 환자가 전신 순환 우심실 및 단심실 환자에 비해 심장재동기화치료에 가장 큰 반응을 보였다.⁵⁵²⁻⁵⁵⁴⁾ 선천성 심질환과 심장재동기화치료에 대한 대부분의 연구에서 심박출량, 임상 상태 및 QRS 폭 등이 개선된 것으로 나타났지만, 최근에 생존율에 대한 이점이 밝혀졌다.⁵⁵²⁾ 추가로 고려해야 할 사항으로는 z 점수를 사용하여⁵⁵⁵⁾ 연령에 따라 QRS 폭을 정규화 할 필요성, 크기, 접근 방식, 해부학적 구조에 따라 장치 삽입에 대한 다양한 접근 방식의 필요성, 체구가 작은 환자에서 크기의 단점이 시술의 이점을 능가할 가능성 등이 있다. 따라서, 숙련된 센터의 다학제 팀이 의사 결정 과정에 참여해야 한다. 선천성 심질환을 앓고 있는 소아 및 성인 환자에 대한 권장 사항을 요약한 알고리즘은 그림 18에 나와 있다.

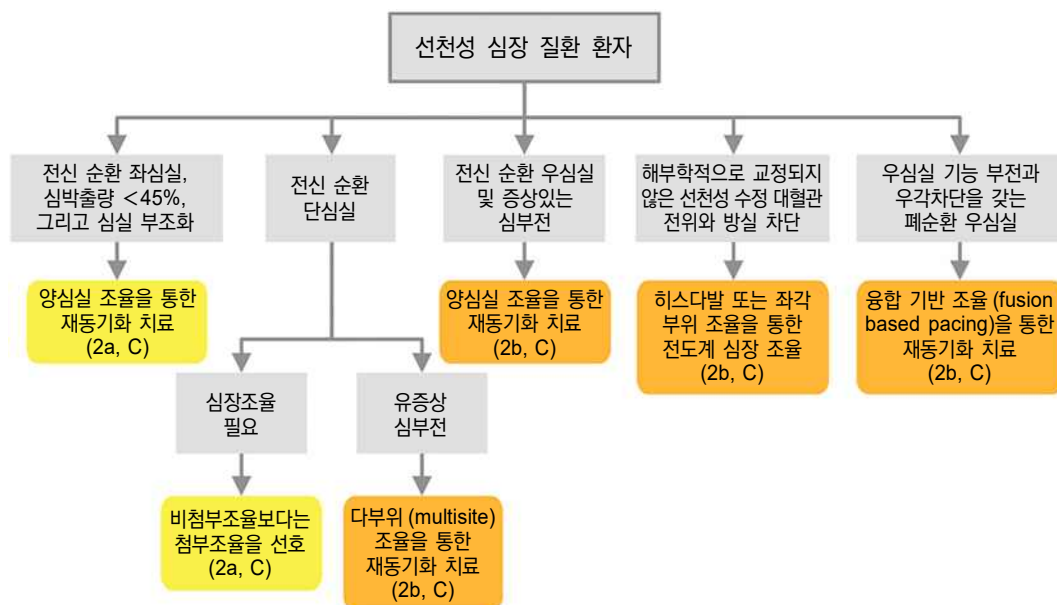


그림 18. 선천성 심장 질환 환자

7.4.4.1 전신 순환 좌심실 (Systemic LV)

여러 다기관 연구에서 QRS 폭, 심박출률 및 기능 상태가 개선된 것으로 나타난 재동기화 치료는 만성 심부전 및 전신 순환 좌심실 환자에게 가장 유용한 것으로 밝혀졌다.⁵⁵³⁾⁵⁵⁶⁾⁵⁵⁷⁾ 최근에 선천성 심질환 환자를 대상으로 한 성향 점수 일치 단일 사이트 연구에서 생존 이점을 뒷받침하는 데이터가 나왔다.⁵⁵³⁾ 선천성 심질환이 있고 전신 심박출률이 45 % 미만, QRS 간격 z 점수가 3 점 이상이거나 심실 조율이 40 % 초과인 환자는 성향 점수가 일치하는 대조군에 비해 심장재동기화치료를 받은 경우 이식/사망 위험이 현저히 감소했다 (HR 0.24; 95 % CI 0.12-0.46; $p < 0.001$). 소아의 QRS 폭은 연령에 따라 변화하므로, z 점수 알고리즘을 사용한 정규화를 통해 비교 가능한 기준을 제시하고 중단 추적이 가능하게 한다.⁵⁵⁵⁾

7.4.4.2 단심실 (Single Ventricle)

단심실 환자의 심박동기 치료는 심실 기능 장애 및 심장 이식 필요성 증가와 관련이 있다.⁵⁵⁸⁻⁵⁶⁰⁾ 236 명의 단심실 환자와 213 명의 대조군을 대상으로 한 성향 점수 일치 연구에서⁵⁶¹⁾ 심박동기와 관련된 사망/이식에 대한 다변량 위험비는 (Hazard Ratio) 3.8 (95 % CI 1.9-7.6; $p < .0001$)로 나타났다. 비첨부 전극선 위치 (Non-apical lead position) 또한 사망/이식과 관련이 있었으며 위험비는 2.17 이었다.

단심실 생리를 가진 환자는 심실 조율이 필요한 경우 이식 또는 사망 위험이 증가하여 예후가 좋지 않은 것으로 알려져 있다 (Odds ratio 4.9; 95 % CI 1.05-22.7; $p = .04$).⁵⁵⁸⁾ 여러 연구자들이 이 취약한 환자군에서 다부위 (multisite) 심실 조율을 시도하여 다양한 성공을 거두었다. 환자가 다부위 심실 조율을 통해 고전적인 개선을 얻지 못할 수도 있지만 이 치료법이 심부전의 진행을 늦출 수 있는 것으로 보인다.⁵⁵⁴⁾

7.4.4.3 전신 순환 우심실 (Systemic RV)

전신 순환 우심실 환자들은 재동기화 후 심박출률과 임상 상태가 개선되었지만 전신 순환 좌심실 환자만큼 개선되지는 않았다.⁵⁵³⁾ 이는 심실 구조의 차이 (우심실과 좌심실) 또는 심근 관류 예비력 감소에 따른 이차적인 것으로 추정되고 있다.⁵⁶²⁾⁵⁶³⁾ 이러한 환자는 종종 비정상적인 관상정맥동의 해부학적 구조를 가지고 있으며 경정맥 심장재동기화치료를 고려할 때 문제가 될 수 있다.⁵⁶⁴⁾ 전신 우심실 재동기화에 대한 14개의 연구를 체계적으로 검토한 결과,⁵⁶⁵⁾ 이 치료법이 전신 우심실 기능 부전 환자에게 유용할 수 있지만 지금까지의 연구는 모두 상대적으로 규모가 작고 장기적인 결과가 부족한 것으로 나타났다.

또한 반응에 대한 통일된 정의가 없어 이러한 연구를 해석하고 비교하는 데 어려움이 있다. 현재까지 80 명의 전신 순환 우심실 기능 부전 환자를 대상으로 한 가장 큰 규모의 연구에서⁵⁶⁶⁾ 심장재동기화치료는 NYHA 기능 상태는 일관되게 개선되었지만 전신성 심실 기능은 약간만 개선된 것으로 나타났다.

7.4.4.4. 폐순환 우심실의 기능 부전과 우각차단 (Subpulmonary RV dysfunction and RBBB)

폐순환 우심실의 기능 부전과 우각차단이 있는 환자는 단기적 선택적 (selective-site) 우심실 조율 및 융합 기반 조율 (fusion-based pacing)을 통해 심장 지수 및 혈압 개선을 포함한 급성 혈액학적 개선을 보였다.⁵⁶⁷⁾⁵⁶⁸⁾ 융합 기반 심장 조율은 조율된 전기적 및 기계적 활동을 내재적 QRS 복합체와 융합하여 우심실 단독 조율을 최적화하는 것을 말한다. 최근 이 집단에서 우심실 재동기화의 장기적인 적용을 살펴본 소규모 연구가⁵⁶⁹⁾⁵⁷⁰⁾ 있었는데, 다소 유망한 결과가 나왔다. 이 환자군의 장기적인 결과를 평가하려면 더 큰 규모의 연구가 필요하다. 현재까지 융합 기반 우심실 재동기화치료를 제공하는 최적의 방법은 결정되지 않았다. 지금까지 설명한 두 가지 접근법에는 정적 방실 타이밍 (AV timing)⁵⁶⁹⁾ 및 촉발된 조율 (triggered pacing)이⁵⁷⁰⁾ 포함되며, 두 방법 모두 잠재적인 한계가 있다. (즉, 시간이 지남에 따라 방실 전도 시간의 변동성으로 인해 전자의 경우 재동기화 치료가 손실될 수 있고 융합 기반 조율이 늦게 시작되면 후자의 경우 최대 효과가 제한될 수 있다)

선천성 심질환에서 심조율과 심장재동기화치료에 대한 권고안

권고안	권고등급	근거수준
선천성 완전 또는 고도 방실 차단 환자의 경우, 다음 위험 요인 중 하나가 있는 경우 심조율을 권고한다. a. 증상 b. 심실이탈리듬의 주기의 3 배 이상으로 휴지기가 나타나는 경우 c. 넓은 QRS 이탈 율동 d. 복잡한 심실 이소성 e. 평균 주간 심박수가 50 회 미만	I	C
적절한 약물치료 (GDMT)에도 전신 순환 좌심실, 좌심실박출율 45 % 미만, 그리고 좌심실 부조화를 보이는 선천성 심질환에서 양심실 조율을 통한 재동기화 치료는 사망률 또는 이식 필요성을 줄이기 위해 합리적이다.	IIa	C
심조율이 필요한 전신 순환 단심실 환자에서 심첨부 조율 (apical pacing)이 다른 부위에서 (non-apical pacing) 조율하는 것 보다 합리적이다.	IIa	C
선천성 완전 또는 고도 방실 차단의 경우에 위험인자가 없더라도 영구적 심조율을 고려할 수 있다.	IIb	C

권고안	권고등급	근거수준
수술 후 일시적인 완전 방실 차단과 관련된 지속적인 이심유속 차단이 있는 환자에서 영구적 심조율을 고려할 수 있다.	IIb	C
복합성 선천성 심질환 및 무증상 서맥 (각성 안정 시 심박수 40 bpm 미만 또는 3초 초과하는 휴지기 정지)이 있는 환자의 경우 개별적으로 영구적 심조율을 고려할 수 있다.	IIb	C
심부전의 증상이 있고 적절한 약물치료 (GDMT) 중인 전신 순환 단심실 환자의 기능 단계 (functional class) 또는 심기능을 유지하기 위하여 다부위 (multisite) 심실 조율 재동화기화 치료를 고려할 수 있다.	IIb	C
적절한 약물치료에도 심부전 증상이 있는 전신 순환 우심실 환자에서 심실 전기 지연 있거나 상당한 심실 조율이 필요한 경우에 기능 등급 또는 심실 기능을 개선하거나 유지하기 위해 양심실 조율 심장재동기화치료를 고려할 수 있다.	IIb	C
폐순환 우심실 기능 부전 및 우각차단 환자에서 fusion-based pacing을 이용한 심장재동기화치료는 심실 기능을 개선하기 위해 고려될 수 있다.	IIb	C
해부학적 교정이 되지 않은 선천성 수정 대혈관 전위 및 방실 차단 환자에서 기능적 상태를 개선하기 위해 히스다발 조율 또는 좌각영역 조율을 사용한 심장전도계 조율 (CSP)을 고려할 수 있다.	IIb	C

7.5 비대성 심근병증 환자에서 심조율과 심장재동기화치료

비대성 심근병증 (hypertrophic cardiomyopathy, HCM) 환자에서 방실차단은 일반적으로 현 진료지침의 권고사항에 따라 치료해야 한다. 일부 유전되는 HCM 아형인 transthyretin 아밀로이드증, Anderson-Fabry 및 Danon 병 등에서는 방실차단이 발생할 가능성이 더 높다.⁵⁷¹⁾ 증상이 있는 서맥 환자에서 좌심실 박출율이 35 % 미만이거나, 현 진료지침의 돌연사 일차 예방 기준을 만족하는 경우 이식형제세동기 또는 심장재동기화 치료-제세동기 (CRT-D)를 고려해야한다.⁵⁷²⁾

좌심실 유출로 폐쇄로 인한 증상이 있는 환자에서는 약물, 수술, 알코올 절제술 그리고 짧은 방실 (AV) 간격을 갖는 방실 조율 (AV sequential pacing) 치료를 고려할 수 있다. 일부 연구에서 방실 조율은 삶의 질을 개선시키고, 좌심실 유출로 압력차 (pressure gradient)를 감소시켰다.⁵⁷³⁻⁵⁷⁵⁾

심실 중격 절제술 (septal myectomy)은 DDD 조율에 비해 혈액학적 결과는 우수하지만 더 침습적이고 위험한 치료 방법이다.⁵⁸³⁾ 한 연구의 하위 그룹 분석 결과 고령 환자 (65세 이상)가 DDD모드의 방실 조율로부터 더 많은 이득을 볼 수 있는 것으로 나타났다.⁵⁷⁴⁾ 최근 메타분석에서 방실 조율은 좌심실 유출로 압력차를 35 % 감소시켰으나, NYHA 등

급 개선에는 유의한 결과를 보이지 않았다.⁵⁷⁶⁾ 폐쇄성 비대성 심근병증 환자의 치료 선택 시에는 공유 의사결정을 사용해야 한다.

폐쇄성 비대성 심근병증 환자에서 심실 중격 절제술 또는 알코올 중격 절제술 후 2~20 %의 환자에서 방실차단이 발생할 수 있으며, 기존 전도 장애가 있던 환자에서 그 위험성이 증가한다.⁵⁷⁷⁾⁵⁷⁸⁾ 소규모 코호트 연구에서 좌심실 박출율 50 % 미만 및 좌각차단을 가진 비대성 심근병증 환자에서, 심장재동기화치료의 효과가 발표되었지만,⁵⁷⁹⁾ 최근 연구에서는 이 치료법의 지속적인 효과를 입증하지 못하였다.⁵⁸⁰⁾⁵⁸¹⁾ 추가적인 증거가 나올 때까지 비대성 심근병증 환자에게도 동일한 심장재동기화치료 기준이 권장된다.

비대성 심근병증 환자에서 심조율에 대한 권고안		
권고안	권고등급	근거수준
약물로 조절되지 않는 증상이 있거나, 기저 또는 유발된 좌심실 유출로 압력차가 50 mmHg 이상인 동율동 리듬을 가진 비대성 심근병증 환자에서 박동조율 또는 제세동기 적응증이 있을 경우 짧은 방실 간격을 갖는 방실 조율을 고려할 수 있다.	Iib	B
약물로 조절되지 않는 증상이 있거나, 기저 또는 유발된 좌심실 유출로 압력차가 50 mmHg 이상인 동율동 리듬을 가진 비대성 심근병증 환자에서 다른 침습적 중격 절제 치료법을 받기에 적합하지 않거나 방실차단의 발생 가능성이 높은 경우 짧은 방실 간격을 갖는 방실 조율을 고려할 수 있다.	Iib	B

7.6 희귀 질환에서 심조율과 심장재동기화치료

7.6.1 긴 QT 증후군 (Long QT syndrome, LQTS)

긴 QT 증후군과 서맥 사이에는 여러 가지 상호 관련성이 있다. LQTS 는 동성 서맥과 관련이 있을 수 있으며, 매우 긴 심실 불응기는 2:1 방실 차단을 유발할 수 있다. 급격한 박동 변화는 염전성 심실빈맥 (Torsades de pointes, TdP)을 유발할 수 있다. 또한 Tdp의 교감신경 유발 인자를 억제하기 위한 베타 차단제 치료는 서맥을 유발할 수 있다.

현재 삽입형 제세동기는 모든 심박동기 기능을 제공하므로, LQTS 치료를 위한 단독 심박동기 사용은 드물다. 그러나 LQTS 환자에서 카테콜아민에 의해 TdP 가 발생하는 경우 제세동기 치료는 환자의 상태를 악화시키거나 치명적일 수 있다. 이런 경우에는 삽입형 제세동기 없이 심박동기와 베타 차단제 치료만 사용될 수 있다. 신생아와 영아의 LQTS 에서는 삽입형 제세동기 대신 심박동기 삽입이 치료 옵션이 될 수 있다.⁵⁸²⁾ 또한 증상이 있는 서맥 (자발적 또는 베타 차단제 유발)이 있는 LQTS 환자에서 심실 부정맥 가능성이

낮거나 삼입형 제세동기 삼입을 원하지 않는 경우 심박동기 삼입이 대안이 될 수 있다. 신생아와 영아에서 과도하게 연장된 QT 간격으로 인한 2:1 방실 차단이 있는 LQTS의 경우 심박동기 이식의 적응증이다.⁵⁸³⁾ 일시적 빠른 박동조율 (일반적으로 90-120 회/분)은 LQTS 환자의 전기적 폭풍 (electrical storm) 치료에 중요하다. 기본 심박수를 높이면 Tdp 재유발 취약 간격 (vulnerability window)이 감소한다.

7.6.2 신경근육 질환 (Neuromuscular diseases)

신경근육 질환은 골격근을 침범하고 빈번하게 심장도 함께 영향을 주는 이질적인 유전 질환군으로 다양한 형태의 심근병증, 전도 장애, 그리고 상심실성 및 심실성 부정맥으로 나타날 수 있다.⁵⁸⁴⁾⁵⁸⁵⁾

듀시엔 근이영양증, 베커근디스트로피, 근육퇴행위축, 근디스트로피는 확장성 심근병증이 흔하고 심근병증이 진행함에 따라 부정맥 및 전도 질환이 나타날 수 있다.⁵⁸⁵⁾⁵⁸⁶⁾ 이러한 환자들은 다른 비허혈성 심근병증에 사용되는 지침에 따라 심박동기 또는 이식형 제세동기 시술 대상으로 고려된다.⁵⁸⁷⁾

근디스트로피 1형 및 2형, 에머리-드라이푸스증, 사지대근위축증 1B형은 전도 질환 및 관련 부정맥을 주된 특징으로 하며, 심근병증은 다양한 정도로 동반된다.⁵⁸⁴⁾⁵⁸⁶⁾ 신경근육 질환 환자에서 일반적인 심박동기 이식 권고사항 이외에 환자의 PR 간격, QRS 폭 등을 고려하여 심박동기 삼입을 고려할 수 있다.

7.6.3 라민 (Lamine) A/C 변이에 의한 확장성 심근병증

Lamine A와 C 중간 섬유를 암호화하는 LMNA 유전자의 변이는 ‘laminopathies’로 정의되는 다양한 유전 질환을 유발한다.⁶⁰⁵⁻⁶⁰⁷⁾ 변이 유형에 따라 단독 심장 질환 또는 Emery-Dreifuss 상염색체 우성 변종이나 limb-girdle dystrophy 같은 전신 또는 근골격계 질환을 초래할 수 있다. 약 5-10%의 확장성 심근병증은 LMNA 유전자 변이에 의해 유발되며, 심장 전도 질환, 빈맥성 부정맥, 또는 심근 수축력 저하로 나타난다.⁵⁸⁴⁾⁵⁸⁸⁻⁵⁹⁴⁾

동기능부전과 전도 질환은 좌심실 크기와 기능이 보존된 상태에서 첫 번째 징후로 자주 나타난다.⁵⁹¹⁾⁵⁹⁵⁾ LMNA 관련 심근병증은 대부분의 다른 심근병증보다 악성이며, 무증상 변이 보인자에서 돌연사 위험을 증가시킨다.⁵⁸⁹⁻⁵⁹¹⁾⁵⁹⁵⁾ LMNA 환자에서 심박동기 이식은 돌연사 위험을 낮추지 않는다. 돌연사는 단독 심근병증 환자와 추가적인 신경근육 표현형 환자 사이에 유사했다.⁵⁹⁰⁾

두 연구에서 LMNA 변이와 영구 심박동기 적응증이 있는 환자에서 삽입형 제세동기 이식을 받았고, 각각 3 년 및 5 년 이내에 42 %, 52 %의 환자에서 적절한 제세동 치료가 이루어졌다.⁵⁸⁹⁾⁵⁹⁵⁾ 이러한 결과로 인해 LMNA 관련 전도 질환에서 심박동기 대신 삽입형 제세동기 이식을 권고한다.⁵⁹¹⁻⁵⁹³⁾

LMNA 변이 환자에게 방실차단과 좌심실 박출률 50 % 미만이 있고 높은 빈도의 심실 조율이 예상되는 경우 심장재동기화치료를 고려해야 한다.

7.6.4 미토콘드리아 세포병증

미토콘드리아 세포병증은 심근병증, 전도 장애 및 심실성 부정맥이 가장 흔한 심장 증상인 유전성 질환이다.⁵⁹⁶⁾⁵⁹⁷⁾⁶²¹⁾⁶²²⁾ Kearns-Sayre 증후군에서 가장 흔한 심장 증상은 전도 질환으로, 완전 방실차단으로 진행할 수 있고 급사를 초래할 수 있다.⁵⁹⁸⁾⁵⁹⁹⁾

7.6.5 사르코이드증 (Sarcoidosis)

사르코이드증에서는 지속적이거나 간헐적인 방실차단이 발생할 수 있다. 한 레지스트리에 따르면, 심장 사르코이드증으로 진단된 환자 325 명 중 143 명 (44 %)이 다른 설명 가능한 심질환이 없는 상태에서 모비츠 II 형 2 도 또는 3 도 방실차단이 발견되었다.⁶⁰⁰⁾ 실신, 실신 전 증상 또는 심계항진은 서맥을 시사하지만 잠재적 심실성 부정맥도 있을 수 있음을 의미한다.⁶⁰¹⁾⁶⁰²⁾ 임상적으로 명백한 심장 사르코이드증 환자에서 방실차단은 가장 흔한 임상 양상이다. 진단을 위해 심전도 모니터링, 심초음파, 심장 MRI 및 심근 또는 다른 침범 조직 생검이 필요하며, 18F-Fluorodeoxyglucose 양전자방출단층촬영 (PET)이 유용할 수 있다.⁶⁰³⁾ 면역억제 치료로 방실차단이 회복될 가능성은 명확하지 않다.⁶⁰⁴⁾ 전도 장애의 가역성은 예측 불가능하기 때문에, 일시적 방실차단이 있는 환자라도 영구형 심박동기 이식을 고려해야 한다.⁶⁰⁵⁾ 면역억제 치료는 기기 감염 위험을 높일 수 있다. 그러나 면역억제제 투여 전 기기 이식을 지지하는 확실한 데이터는 없다.

심장 사르코이드증과 방실차단이 있는 환자는 장기 추적 관찰 중 돌연사 위험이 높다.⁶⁰⁰⁾ 따라서 심박동기 이식의 적응증이 있고 좌심실 박출률이 50 % 미만인 심장 사르코이드증 환자에서는 심박동기보다 심장재동기화치료-제세동기 (CRT-D)를 고려해야 한다.⁶⁰⁶⁾

희귀질환에서 심조율에 대한 권고안

권고안	권고등급	근거수준
근디스트로피 제1형 등의 신경근육질환 환자에서 증상 유무와 관계없이 2도 또는 3도 방실차단이나 His-Purkinje 전도시간이 70 ms 이상인 경우, 영구 심박동기 이식이 필요하다.	I	C
근디스트로피 제1형 등의 신경근육질환 환자에서 PR 간격이 240 ms 이상이거나 QRS 기간이 120 ms 이상인 경우, 영구 심박동기 이식을 고려할 수 있다.	IIb	C
Kearns-Sayre 증후군 환자에서 PR 간격 연장, 방실차단, 각차단, 섬유속 차단이 있는 경우 영구 심박동기 이식을 고려한다.	IIa	C
Kearns-Sayre 증후군 환자에서 전도장애 질환이 없는 경우 예방적 차원에서 영구 심박동기 이식을 고려할 수 있다.	IIb	C
LMNA 유전자 변이를 가진 환자들 중에서 심박동기 이식의 일반적인 기준을 충족하거나 완전 좌각 차단과 함께 PR 간격이 연장된 경우, 최소 1년 이상의 생존이 예상된다면 심박동기 기능이 있는 제세동기 이식을 고려해야 한다.	IIa	C
영구적 또는 일시적 방실차단이 있는 심장 사르코이드증 환자의 경우 심박동기 이식을 고려해야 한다.	IIa	C
사르코이드증이 있으며 영구 심박동기 이식의 적응증이 되는 환자 중 좌심실 박출률이 50 % 미만인 경우, 심장재동기화치료-제세동 (CRT-D)기 이식을 고려해야 한다.	IIa	C

7.7 임신부에서 심조율

선천성 완전 방실차단을 가진 산모라고 하더라도 산부인과적 이유로 금기 되는 것이 아니라면 질분만에 따른 추가 위험은 없다.⁶⁰⁷⁾ 안정적이고 좁은 QRS 폭을 보이는 방실접합부성 리듬을 가진 여성들에게는 다음 위험 요인들 (실신, 심실성 이탈박동 주기의 3배 이상 긴 심박동 정지, 넓은 간격의 QRS 이탈박동, QT 간격 연장, 복잡한 형태의 심실 이소성박동, 낮 시간 평균 심박수 분당 50 회 미만)이 있는 경우가 아니라며 심박동기의 삽입이 필요하지 않거나 필요하더라도 출산 이후로 심박동기 삽입을 미룰 수 있다. 그러나 느리고, 넓은 간격의 QRS 이탈박동을 보이는 완전 심방차단을 가진 여성들은 임신 중에 심박동기를 삽입해야 한다. 심박동기 삽입 시술의 위험은 일반적으로 낮으며, 특히 태아가 8주 이상인 경우에는 안전하게 시행될 수 있다. 증상을 동반한 서맥을 치료하기 위한 심박동기는 방사선투시를 최소화하는 초음파 유도 또는 전자해부학적 방법을 이용하여 임신의 모든 단계에서 삽입될 수 있다.⁶⁰⁸⁾⁶⁰⁹⁾

심장내전기장치 이식 시술 후 관리에 대한 특별 고려사항

8.1 일반적 고려사항

급성 감염의 징후를 보이거나 발열이 있는 환자에서는 무전극선 심박동기 (leadless pacemaker)를 포함한 모든 심장내전기장치 거치술을 해열 24 시간 이후로 미뤄야 한다. 발열이 있어 항생제 치료를 시작한 경우 항생제 기간이 종료된 후 24 시간 이상 열이 없을 때, 혈액배양검사가 72 시간 후까지 음성일 때, 감염의 원인 병소의 배농이 적절하게 시행되었을 때 시술을 하는 것이 바람직하다.⁶¹⁰ 정맥을 통한 임시 심박동기 삽입도 감염의 위험을 높이기 때문에 가능하면 피하는 것이 좋다.⁶¹¹⁾⁶¹²⁾ 만성 재발성 감염이 있는 경우, 최소 침습 수술을 통한 심외막 심박동기가 고려될 수 있다.¹⁷⁷⁾

8.2 예방적 항생제

시술 전 예방적 항생제가 투여되어야 하며, 1 회 투약으로 감염의 위험은 상당히 감소한다. (시술 30-60 분 이내 cefazolin 1-2 g i.v. or flucloxacillin 1-2 g i.v. 투약, 시술 90-120 분 이내 vancomycin 15 mg /kg i.v. 투약)⁶¹³⁾⁶¹⁴⁾ 항생제는 황색포도상구균 (Staphylococcus aureus)에 효과가 있어야 하며, 메티실린 저항성 균 (MRSA)의 집락 (colonization)의 위험이 높은 환자나 MRSA 감염률이 높은 코호트에서는 반코마이신 사용을 고려한다.⁶¹⁵⁾

시술 후까지 예방적 항생제를 연장하는 것은 감염률을 약간 낮추긴 하지만 유의한 차이를 보이지 못했으므로 감염의 고위험군 환자에게만 고려되어야 하겠다.⁶¹⁶⁾⁶¹⁷⁾

8.3 시술 환경 및 피부 소독

수술실에 요구되는 멸균 환경을 갖춘 시설에서 심장내전기장치 거치술이 이루어져야 하며,⁶¹⁸⁾ 피부 소독제는 2 % 클로르헥시딘-70 % 알코올이 포비돈보다 감염 예방 효과가 우월하다.⁶¹⁹⁾⁶²⁰⁾

8.4 시술 전 항응고제/항혈소판제 조정

거치술 부위의 혈종이 발생하면 감염의 위험이 증가한다.⁶¹²⁾⁶²¹⁾

비타민 K 길항제 (warfarin)를 복용하는 환자에서 시술 전 헤파린으로 교체 (heparin bridging)하는 것은 비타민 K 길항제를 중단하지 않은 것보다 혈종 발생률이 더 높으므로 추천되지 않는다.⁶²²⁾ 헤파린 가교법 대신 $\text{CHA}_2\text{DS}_2\text{-VASc score} > 5$, 중증 승모판 협착, 기계 판막을 가진 환자는 $\text{INR} > 2.0$ 유지하며 이식 시술을 시행하고, $\text{CHA}_2\text{DS}_2\text{-VASc score} \leq 5$ 나 중증 승모판 협착이나 기계판막을 가지지 않은 환자에서는 $\text{INR} \leq 2.5$ (target 1.5-2.5) 시 이식 시술을 한 후 압박 밴드를 붙이는 방법이 혈종의 발생을 줄였다. 또한, 두가지 항혈소판제를 복용 중인 환자에서는 가능하다면 4 일 전부터 한 가지 항혈소판제로 줄이고 (최근 급성관상동맥 증후군 환자에서는 두 가지 항혈소판제 지속) 시술한 경우도 혈종 발생을 줄였다.⁶²³⁾

비 비타민 K 길항제 항응고제 (NOAC)는 $\text{CHA}_2\text{DS}_2\text{-VASc score} \geq 2$ 인 환자들에서 중단 없이 복용한 경우와 시술 2일 전 중단하고 24 시간 후 재개한 경우에서 혈종 발생은 2 % 가량으로 비슷했다.⁶²⁴⁾

두 가지 항혈소판제를 복용할 경우 P_2Y_{12} 수용체 억제제는 아스피린 단독 복용에 비해 혈종 발생이 증가하므로, 중단이 가능하다면 종류에 따라 3-7 일 중단 후에 시술하는 것이 좋다.⁶²⁵⁾ (표 12) (심장내전자장치 거치술 전후 항혈전치료 조정¹⁷⁷⁾)

표 12. 심장내전자장치 거치술 전후 항혈전치료 조정

	DAPT		NOAC	VKA	OAC+antiplatelet
	PCI 후 혈전 위험도				
	저위험: CCS로 PCI 후 1 달 이상 경과, ACS로 PCI 후 6 달 이상 경과	고위험: CCS로 PCI 후 1 달 이내, ACS로 PCI 후 6 달 이내			
출혈 저위험군 (첫 시술)	아스피린 유지, P ₂ Y ₁₂ 수용체 억제제 중단 ^a	고위험 기간 이후로 시술 연기 미룰 수 없다면 아스피린과 P ₂ Y ₁₂ 수용체 억제제 지속	시술자의 선호에 따라 지속 혹은 중단 ^b	유지 (INR therapeutic range 유지)	OAC 유지, 항혈소판제는 환자별 위험/이익 분석에 따라 중단 여부 결정
출혈 고위험군 (기기 교체, 위치 조정)		아스피린 유지, P ₂ Y ₁₂ 수용체 억제제 중단 ^a GP IIb/IIIa 억제제를 브릿징으로 투여			

^a P₂Y₁₂ 수용체 억제제 중단 기간: ticagrelor 3 일 전 중단, clopidogrel 4 일 전 중단, prasugrel 7 일 전 중단.

^b NOAC 중단 기간: CrCl 과 출혈위험에 따른 NOAC 의 종류에 따라 정해진 기간

ACS = acute coronary syndrome; CCS = chronic coronary syndrome; CrCl = creatinine clearance;
DAPT = dual antiplatelet therapy; GP = glycoprotein; NOAC = non-vitamin K antagonist oral anticoagulant;
OAC = oral anticoagulant; PCI = percutaneous coronary intervention; VKA = vitamin K antagonist.

8.5 전극선 삽입 경로

심장내전기장치의 전극선은 주로 상완정맥 (cephalic, axillary, subclavian vein)을 통해 삽입된다. 환자의 병력, 증상이나 신체사정에서 상완정맥 혹은 상대정맥 폐쇄가 의심된 다면 시술 전 흉부 CT나 조영술 (venography)을 통해 정맥 폐쇄를 확인하고, 상대정맥을 통한 접근이 불가능할 경우 대퇴정맥을 통하여 삽입하는 무전극선 심박동기 (leadless pacemaker)나 심외막 전극선 (epicardial lead)를 고려한다.

정맥 천자 시 기흉, 혈흉, 동맥 천자, 완신경총 (brachial plexus) 손상이 발생할 수 있는 데, 액와정맥 (axillary vein)을 천자하는 것이 쇄골하정맥 (subclavian)을 천자하는 것보다 정맥 천자 시 합병증 발생이 적다.⁶²⁶⁾ 요측피정맥 (cephalic vein)을 천자하는 방법은 정맥 을 노출시킨 후 천자하기 때문에 이러한 합병증을 피할 수 있지만, 직경이 상대적으로 작 아 여러 개의 전극이 들어가지 못하거나 주행 각도가 작은 단점이 있고 시술 성공률이 낮은 편이다.⁶²⁷⁾ 방사선 노출이 없는 초음파를 이용한 액와정맥 천자 방법은 X-ray를 이

용하는 기존 방법과 성공률이 비슷하였다.⁶²⁸⁾⁶²⁹⁾

장기간 전극선 기능 장애는 액와정맥을 통한 삽입이 1.2 %로 가장 적었고, 요측피정맥은 2.3 %, 쇄골하정맥을 통해 삽입 시에는 5.6 %로 가장 높았다.⁶²⁷⁾

8.6 전극선

전극선을 고정하는 방법에 따라, 끝에 나사를 이용하여 고정하는 능동 고정 (active fixation) 전극선과 끝의 갈고리를 걸어 수동 고정 (passive fixation)하는 전극선 두 종류가 있다. 능동 고정 방법은 우심실 중격과 같이 매끄러운 곳에도 고정시킬 수 있어 전극선의 위치를 선택할 수 있고, 감염이나 기능장애로 전극선을 제거해야 하는 경우 수동 고정보다 합병증이 적다는 장점이 있어 특히 젊은 환자에서 권유되고 있다.⁶³⁰⁾ 그러나 능동 고정 전극선은 심장막삼출 (pericardial effusion)과 파열 (perforation)이 수동 고정 방법과 유사한 차이는 아니지만 약간 더 많다.(0.5 % vs. 0.3 %, $p=0.3$)⁶³¹⁾ 수동 고정 전극선은 시술 성공률이 상대적으로 낮고 전극선을 제거해야 하는 경우 합병증 발생률이 더 높지만, 우심방의 벽두께가 얇은 곳은 능동 고정 나사로 인한 파열 위험이 있는 고령의 환자에서 우심방에 삽입하는 전극선으로 고려될 수 있다.

관상정맥동 (coronary sinus)에 전극선을 삽입하는 경우, 전극선의 위치 안정성 (lead stability)과 횡격막신경 자극 여부가 중요한데, 2 극보다 4 극 전극선 (quadripolar lead)이 심장정맥 내에 깊이 위치시켜도 근위부 전극을 이용하여 심첨부가 아닌 심실 기저부를 조율할 수 있어 위치 안정성이 좋고, 횡격막신경 자극이 적으며 사망률도 적었다.³¹⁴⁾ 좌심실 전극선의 옆쪽으로 나사가 있어서 (side helix) 능동 고정이 가능한 2 극 혹은 4 극 전극선도 위치나 조율역치가 안정적이며 수동 고정 4 극 전극선과 유사한 결과를 보였다.⁶³²⁾⁶³³⁾ 제거가 용이하도록 개발되었지만 이에 대한 장기적 결과를 지켜봐야 한다.

8.7 전극선의 위치

전통적으로 우심실 첨부에 전극선을 위치시키다가 능동 고정 전극선이 나오면서 우심실 유출로 (RVOT, right ventricular outflow tract)이나 중격 중간 부위 (mid-septum)에 전극선을 고정하는 것에 대한 연구가 활발히 진행되었지만 우심실 내 전극선 위치에 따른 임상적 이득은 뚜렷하지 않다.⁶³⁴⁾⁶³⁵⁾ 그러나 우심실 중격이나 첨부 이외에 전극선이 위치하는 경우 (RV free wall)에는 종합적 예후가 악화되었으며,⁶³⁶⁾ 특히 전벽 (RV anterior

wall)에 위치할 때, 좌심실 기능 저하와 관련된다는 보고가 있으므로 전극선을 위치시킬 때 주의를 요한다.⁶³⁷⁾ 우심실 침부에 위치한 전극선은 다른 위치보다 천공의 위험이 3 배 가량 증가하였고 특히 80 세 이상, 여성에서 증가하므로 전극선 위치 결정 시 이에 대해 고려되어야 한다.⁶³⁸⁾

삼첨판 인공판막 등 우심실로 전극선을 넣을 수 없는 환자에서는 심실 조율을 위해 관상정맥동 (coronary sinus)에 좌심실용 전극선을 넣을 수 있다.⁶³⁹⁾

우심방 전극선은 일반적으로 우심방귀 (RA appendage)에 위치시킨다. 우심방 외측에 위치하는 경우 횡격막신경을 자극할 수 있으며, Bachman's bundle에 위치시키는 것은 우월성이 입증되지 않아 권유되지 않는다.⁶⁴⁰⁾

8.8 심조율 발생기 삽입 부위 (generator pocket)

심조율 발생기 삽입 부위의 감염을 줄이기 위해 시술 전 주사 항생제의 사용뿐만 아니라 여러가지 방법이 시행되고 있다. 우선, 시술 시 철저한 지혈술이 이루어져 혈종 발생을 최소화해야 한다. 심조율 발생기를 넣기 전 절개 부위 안을 생리식염수로 세척하는 것은 오염물질을 희석시키고 혈전이나 괴사 조직을 제거함으로써 일반적인 수술과 마찬가지로 도움이 될 것으로 여겨진다. 세척액에 항생제를 섞는 것은 생리식염수 세척과 비교하여 감염을 줄이지는 못한다.⁶⁴¹⁾

항생제 방출 봉투 (antibiotic-eluting envelope)는 감염률이 높은 재시술, 심조율 발생기 교체 혹은 업그레이드, CRT-D 삽입술을 받는 환자를 대상으로 한 무작위 배정 연구에서 감염을 줄였다. (WRAP-IT study⁶⁴²⁾) 추가 비용을 고려하였을 때 감염 위험이 높은 말기 심부전, 만성 폐쇄성 폐질환, 당뇨, 심조율 발생기 교체 혹은 업그레이드, 포켓 재시술 (revision of pocket)의 경우 고려해볼 수 있겠다.

심장내전기장치 이식 시술 전후 관리에 대한 권고안		
권고안	권고등급	근거수준
예방적 항생제는 피부절개 전 1 시간 이내에 투약한다.	I	A
피부소독은 2 % 클로르헥시딘-70 % 알코올로 한다.	IIa	B
전극선은 요측피정맥 (cephalic vein), 액와정맥 (axillary vein)을 통해 삽입하는 것이 좋다.	IIa	B
전극선 삽입 위치는 X선 투시 (fluoroscopy)의 두 방향 이상에서 확인한다.	IIa	C
관상정맥동에 삽입하는 전극선은 4 개의 전극을 가진 것을 이용하는 것이 좋다.	IIa	C

권고안	권고등급	근거수준
심조율 발생기 삽입 부위를 봉합하기 전 생리식염수로 세척한다.	IIa	C
재시술을 받는 환자에서는 항생제 방출 봉투 (antibiotic-eluting envelope) 사용이 고려될 수 있다.	IIb	B
천공의 위험이 높은 고령, 여성, 작은 체구, 천공의 기왕력이 있는 환자에서는 중격의 중간 부위에 전극선을 삽입하는 것을 고려할 수 있다.	IIb	C
체질량지수가 낮거나 트위들러 증후군, 혹은 미용적 이유로 피하 삽입 대신 근육 하부에 심조율 발생기 삽입을 고려해 볼 수 있다.	IIb	C
항응고제를 복용하는 환자에서 시술 시 헤파린 가교법은 권유되지 않는다.	III	A
발열이 있는 환자에서 심장내전기장치 이식 시술을 하는 것은 권유되지 않는다. 최소 24 시간 열이 없을 때까지 미뤄야 한다.	III	B

심조율과 심장재동기화치료의 합병증

9.1 합병증 발생률

시술 직후부터 장기간에 걸쳐 다양한 합병증이 발생할 수 있다.⁶⁴³⁾⁶⁴⁴⁾ (표 14) 호주 등지에서 81,000 명 이상의 심장내전기장치 첫 시술 환자를 분석한 보고에서 90 일 이내 주요 합병증 발생은 8.2 %였고, 30 일 이내 사망률은 0.8 %였다.⁶⁴⁵⁾

합병증의 위험은 첫 시술보다는 재시술에서 높고 (첫 시술 9.9 % vs. 업그레이드나 전극선 재조정 14.8 %⁶⁴⁶⁾), 심박동기보다는 제세동기나 심장재동기화치료처럼 복잡한 기기일수록 높았다. 심조율 발생기만 교체할 때에는 합병증 위험도가 4-5.9 % 가량으로 보고되나, 전극선을 추가 삽입하는 경우 합병증 발생률이 15.3 %로 증가하였다. (REPLACE registry⁶⁴⁷⁾) 합병증 증가의 위험요인들을 종합하자면, CRT로 업그레이드하는 시술에서 가장 합병증 위험이 증가한다.⁶⁴⁸⁾⁶⁴⁹⁾ 만성질환을 복합적으로 갖고 있는 환자에서도 합병증이 증가한다.⁶⁵⁰⁾ 그러므로 합병증 발생의 위험도를 고려하여 업그레이드나 교체를 결정하는 것이 좋다. 연간 시술 건수가 적은 병원에서 많은 병원에 비해 상대적으로 높은 합병증 발생을 보이고,⁶⁵¹⁾ 경험이 적은 시술의는 초기 25 회 시술까지의 합병증 발생이 60 % 정도 증가하는 것으로 보고되므로 더욱 주의를 기울여야 한다.⁶⁵²⁾

표 13. 심조율과 심장재동기화치료의 합병증¹⁷⁷⁾

합병증	발생률 (%)
전극선 재삽입 (위치 이탈, 잘못된 위치, subclavian crush syndrome 등)	1.0-5.9
감염 (1 년 이내)	0.7-1.7
표층 감염	1.2
심조율 발생기 삽입 포켓 감염	0.4
전신 감염	0.5
감염 (1 년 이후)	1.1-4.6
심조율 발생기 삽입 포켓 감염	1.3
전신감염	0.5-1.2
기흉	0.5-2.2
혈흉	0.1
완신경총 (brachial plexus) 손상	< 0.1
심장 파열 (cardiac perforation)	0.3-0.7
관상정맥동 박리, 파열	0.7-2.1
통증, 불편감으로 인한 재시술	0.1-0.4
횡격막 신경 자극으로 인한 재시술	0.5-5
혈종	2.1-5.3
삼첨판 폐쇄부전	5-15
심박동기 증후군	1-20
심조율 발생기나 전극선 문제	0.1-1.5
심부정맥혈전증 (급성, 만성)	0.1-2.6
총 합병증 발생률	~ 5-15
30 일 이내 사망률	0.8-1.4

9.2 전극선 관련 합병증

위치 이탈, 피복 결함, 전극선 파손 (lead fracture), 신호 감지 (sensing) 및 조율 역치 (threshold)의 문제 등 전극선 관련 합병증은 1.0-5.9 %에서 보고되며, 주요 합병증 중 큰 부분을 차지한다. 전극선 관련 합병증의 위험인자는 심장재동기화치료와 우심방 전극선의 수동 고정 (passive fixation)이다.⁶⁵²⁾ 심장재동기화치료의 좌심실 전극선은 합병증이 더 많고, 위치 이탈, 관상정맥의 박리나 파열이 생길 수 있다. 25 개의 심장재동기화치료 논문을 메타분석하였을 때 전극선 관련 합병증은 6.2 %였고, 전극선 삽입 시 물리적 손상이

3.2 %에서 발생했다. (관상정맥 박리나 파열, 혈심낭이나 압전, 기흉, 혈흉)⁶⁵³⁾

9.3 혈종

혈종은 비교적 흔하게 발생하며 대개는 경과 관찰한다. 혈종 제거술을 시행했을 때 감염 위험이 15 배까지 증가하기 때문이다.⁶¹¹⁾ 그러므로 통증이 심하거나 출혈이 지속되거나 봉합부위가 부풀어 오르거나 피부 괴사가 우려되는 경우에 제한적으로 혈종 제거술을 고려한다. 혈종이 발생한 환자는 재원일 및 사망률이 증가하므로,⁶⁵⁴⁾ 혈종 방지를 위해 시술 전 항응고제나 항혈소판제를 조절하고, 시술 중 충분한 지혈술이 이루어져야 한다.

9.4 감염

심장내전기장치의 감염은 상당한 정도의 이환율 (morbidity)과 사망률을 동반하기 때문에 가장 우려되는 합병증이다. 첫 시술보다 교체나 업그레이드를 위한 재시술, 심박동기보다는 제세동기와 심장재동기화 기기 삽입술에서 감염률이 증가한다. (1.19 % in pacemaker vs. 1.91 % in ICD, 3.35 % in CRT-D⁶⁵⁵⁾) 감염 위험은 판막수술 받은 환자, 투석 환자, 만성 폐질환, 뇌혈관질환 환자, 와파린을 복용하는 환자에서 증가한다. 거치술 전에 임시형 심박동기 삽입이나 다른 시술을 받을 경우, 조기에 재시술하는 것, 시술 전 예방적 항생제를 사용하지 않은 경우에도 감염 위험이 증가한다.⁶¹¹⁾

9.5 삼첨판 폐쇄부전

전극선을 삽입하거나 제거하는 시술 중 삼첨판 판막이나 판막 하부 구조에 손상을 입힐 수 있고 심실조율이 비동기화 (dyssynchrony)를 악화시키고, 이로 인해 발생하는 중등도 이상의 삼첨판 폐쇄부전은 예후에 악영향을 미친다.⁶⁵⁶⁾⁶⁵⁷⁾ 삼첨판 폐쇄부전의 악화에 전극선이 얼마나 역할을 하는지 평가하는 것은 쉽지 않지만,⁶⁵⁸⁾ 환자의 심부전이 악화될 때 전극선에 의한 삼첨판 폐쇄부전 가능성을 간과해서는 안된다. 무전극선 심박동기 (leadless pacemaker)는 삼첨판을 지나가는 전극선을 남기지 않지만, 소규모 연구에서 삼첨판 폐쇄부전을 악화시키는 것으로 나타나 심조율로 인한 심실 비동기화가 삼첨판 폐쇄부전에 기여할 것으로 추정된다.⁶⁵⁹⁾

울혈을 줄이는 약물치료 후 전극선을 제거해야 할 때, 재삽입하는 전극선은 삼첨판의 기능을 보존할 수 있는 우심방의 다른 위치, 혹은 관상정맥을 통한 좌심실 조율이나 심외막 전극선 삽입을 고려할 수 있다.

9.6 기타 합병증

기흉이나 심장 파열은 체구가 작은 여성에서 더 많다. 심박동기 증후군은 심방-심실 동기화가 맞지 않아 심방과 심실이 함께 수축하면서 환자가 피로감, 어지러움, 저혈압을 느끼게 된다. 장기간의 우심실 조율로 인한 심실 수축의 비동기화는 좌심실 기능 부전을 야기할 수 있다.

관리 고려사항

환자에게 연속적이고 포괄적인 치료를 제공하려면, 환자 및 가족과 협력하여 다학제 팀이 제공하는 ‘심박동기 및 심장재동기화 기기 (CRT) 환자의 통합적 관리’가 필요하다. 심박동기 및 CRT 환자에게 통합 치료 접근 방식을 적용하여 환자 중심의 접근 방식과 의사 결정에 환자 참여를 보장할 수 있다. 통합 치료 접근 방식은 Wagner 등이 개발한 만성 치료 모델에 기초하며, 부정맥환자의 임상적 결과를 개선시킬 가능성이 있다.⁶⁶⁰⁻⁶⁶³ (섹션 11 참조). 환자의 필요성과 지역의 서비스 가용성에 따라 적절한 전문가들이 다학제 팀에 포함되어야 한다. (그림 19)

10.1 심장내전기장치를 이식한 환자의 자기공명영상

자기공명영상 (MRI) 검사는 심박동기를 이식한 환자에게도 자주 요구되는 검사이나, 여러가지 부작용이 발생할 수 있다. 예를 들어, 장치의 설정이 리셋되거나 감지 기능에 문제가 생기는 경우, 자기 리드 스위치 (magnetic reed switch)와의 상호 작용, 부적절한 심조율 발생, 전극선 팁의 가열로 인한 감지역치 또는 조율역치의 변화, 전극선에 의한 심장 천공 등의 부작용이 발생할 수 있다.

현재 대부분의 심장내전기장치는 MRI 조건부 (MRI-conditional) 장치, 즉 특정한 조건 하에서만 MRI촬영이 가능하다. MRI 가능여부를 결정하는 것은 심장내전기장치의 개별 요소가 아니라 전체 시스템 (즉, 동일한 제조업체의 기기와 전극선의 조합)이다. MRI 스캔은 1.5 T 및 전신 전자파 흡수율 (SAR: Specific Absorption Rate) < 2W/kg (머리 MRI 는 SAR < 3.2 W/kg)으로 제한될 수 있지만 일부 모델에서는 3 T 및 최대 전신 전자파 흡수율 4 W/kg까지 허용한다. 보통 심장내전기장치 삽입 후 6 주 이후에 MRI 를 시행할 것을 권장하지만, 임상적으로 타당한 필요성이 있는 경우 더 일찍 MRI 스캔을 수행하는 것이 합리적일 수도 있다.

심박동기/심장재동기화치료 환자의 통합적 관리 환자 중심의 케어와 공동 의사결정을 강조

최적의 기기 선택과 시술 보장	시술 전 평가 및 저위험 시술 방법 준수
생리적 심조율과 증상 호전	구조화된 추적관찰 및 개별화된 기기 프로그래밍 (원격 모니터 및 외래)
기저 심장 질환 관리	심방세동의 뇌경색 예방 및 심부전 치료 포함
환자 교육/자가관리	개인적인 목표 및 활동 계획 포함
의료인 교육	적절한 수준 유지에 대한 인증 포함
생활습관 관리	금연, 술, 식사, 운동 관리
심리사회적 관리 및 지원	정신적 문제 평가 및 치료
약제 순응도 증진 전략	기기와 약제의 기대 효과 등에 대하여 환자 교육
다학제 팀 접근	부정맥전문의, 심장전문의, 간호사, 정신과전문의, 식이전문가, 약사 등
일차 이차 의료간의 소통	적절한 시기에 연명치료 중단에 대한 토의 포함

그림 19. 심박동기/심장재동기화치료 환자의 통합적 관리

여러 가지 예방 조치를 취하는 한, 비조건부 심박동기 (MRI non-conditional pacemaker) 에서도 MRI를 안전하게 수행할 수 있다는 여러 증거가 있다.⁶⁶⁴⁻⁶⁶⁶⁾ 2017년에 Heart Rhythm Society는 EHRA 및 여러 방사선 협회를 포함한 여러 협회와 공동 작업하여 심장 내전기장치 환자의 MRI에 대한 전문가 합의 성명을 발표했다.⁶⁶⁶⁾ 전극선이 기기에 연결 되면, 기기가 에너지의 일부를 흡수하고 넓은 표면적을 통해 열을 발산한다. 그러나, 연결 되지 않고 남아있는 경정맥 전극선은 팁이 ~10 °C까지 가열되는 경향이 있다.⁶⁶⁷⁾ 그러나 실험실 모델의 결과를 토대로 생체 내에서 발생하는 현상을 정확히 추정하는 것은 어렵다. 연결되지 않고 남아있는 경정맥 전극선을 가지고 있는 총 125 명의 환자에 대한 4 개

연구에서 부작용은 보고되지 않았다.⁶⁶⁸⁻⁶⁷¹ 가장 큰 연구에서는 SAR <1.5 W/kg으로 제한되는 97 번의 MRI 스캔 (흉부 포함)을 받은 80 명의 환자를 보고했다.⁶⁶⁸ 코호트의 절반은 MRI 스캔 전후에 트로포닌 수치를 측정했지만 큰 변화는 없었다. 따라서 위험-이익 비율을 고려하여 선택된 환자에게 1.5 T MRI 스캔 (SAR <1.5 W/kg으로 제한)을 고려할 수 있으며, 특히 스캔이 흉부 외 영역이고 환자가 심박조율기에 의존하지 않는 경우 더욱 그렇다.

심외막 전극선의 경우, 기기에 연결된 심외막 전극선은 실험실 내 테스트 중에 온도가 10 °C 증가하고, 연결되지 않은 심외막 전극선의 경우 온도가 77 °C까지 증가하였다.⁶⁶⁷ 심외막 전극선이 있는 23 명의 환자들 (14 명은 연결되지 않은 심외막 전극선)이 MRI 를 시행하였을 때 아무런 부작용이 없었다는 보고가 있다.⁶⁶⁸⁶⁷⁰⁻⁶⁷² 심장외막 전극선, 어댑터/연장기 또는 손상된 전극선이 있는 환자의 안전성과 관련된 데이터가 부족하기 때문에, 현 단계에서는 이러한 환자의 MRI 에 관해 권고사항을 지정할 수는 없다. 이러한 경우에 MRI 진행여부에 대한 결정은 MRI 의 장점과 대체 영상 방법의 잠재적 위험 및 가용성 사이의 균형을 맞추고 공유된 의사 결정 방식을 사용하여 사례별로 이루어져야 한다. 일반적으로 MRI 는 표준화된 원내 프로토콜에 따라 적절한 사용 조건 (프로그래밍 포함)을 준수하면서 수행되어야 한다.⁶⁷³⁻⁶⁷⁵ MRI 를 시행 받는 심장 박동기 환자의 관리를 요약한 흐름도가 그림 20에 나와 있다. 임시 심외막 전극선이 있는 환자나 능동고정전극선이 임시 심장조율을 위해, 외부 심박동기 (externalized generator)에 연결된 환자에게도 1.5 T MRI 가 수행될 수 있음을 보여준 보고들이 있다.⁶⁷⁰⁶⁷⁶

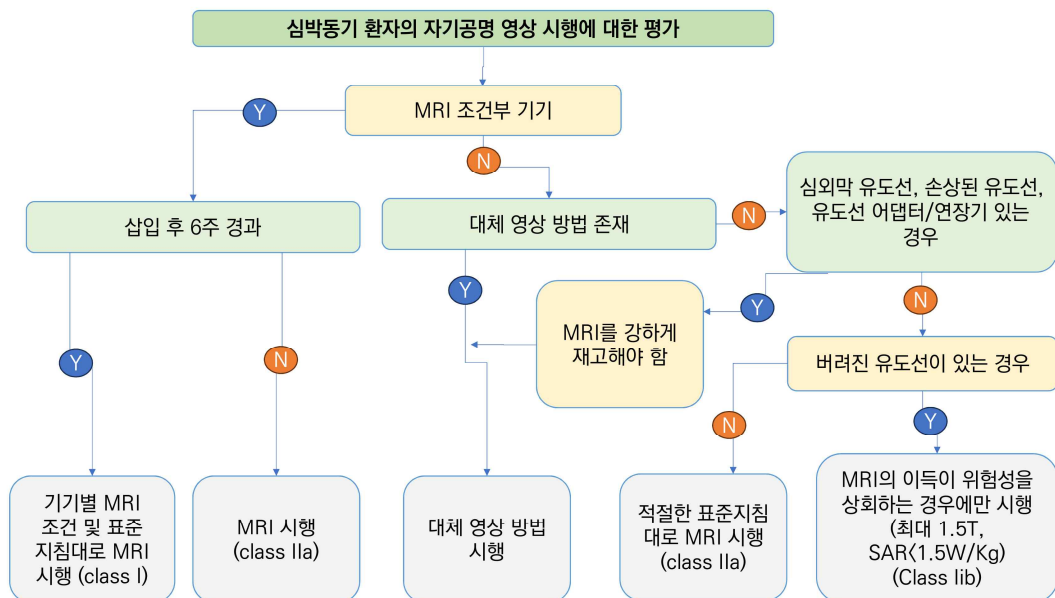


그림 20. 심박동기 환자의 자기공명 영상 시행에 대한 평가

심장내전기장치 환자의 자기공명영상에 대한 권고안

권고사항	권고등급	근거수준
MRI 조건부 심박동기 시스템을 사용하는 환자의 경우 제조업체의 지침에 따라 MRI 를 안전하게 수행할 수 있다.	I	A
비 MRI 조건부 심박동기 시스템을 사용하는 환자의 경우, 적절한 대체 영상 방법이 없고, 심외막 전극선, 버려지거나 손상된 전극선 또는 어댑터/연장 장치가 없는 경우 MRI 를 고려할 수 있다. ⁶⁶⁴⁾⁶⁶⁵⁾	IIa	B
대체 영상 기법을 사용할 수 없는 경우 버려진 경정맥 전극선이 있는 심박동기 환자에게 MRI 를 고려할 수 있다.	~IIb	C

10.2 심박동기 환자의 방사선 치료

방사선 치료를 받는 심장내 전기장치 환자의 수가 증가하고 있으며 연간 100,000 인년 당 4.33 건의 치료가 보고되고 있다.⁶⁷⁷⁾ 방사선 치료는 X선, 감마선, 하전 입자를 포함한 고에너지 이온화 방사선을 사용한다. 이는 특히 광자 방사선 빔 에너지가 6~10 MV를 초과하고 장치에 대한 방사선량이 높은 경우 심장내 전기장치에서 소프트웨어 및 하드웨어 오류를 일으킬 수 있다 (> 2-10 Gy).⁶⁷⁸⁾⁶⁷⁹⁾ 심각한 오류는 드물지만, 장치에 대한 직접적인 조사로 인해 발생할 수 있다. 이로 인해 복구할 수 없는 하드웨어 손상이 발생하여 장치 교체가 필요할 수 있다. 가벼운 오류가 더 일반적이며, 방사선 조사에 의한 2 차 중성자 생성과 관련이 있다.⁶⁸⁰⁾ 이러한 오류에는 일반적으로 구조적 손상을 일으키지 않고 장치가 리셋되는 것 등이 있으며, 기기 교체 없이 해결할 수 있다.⁶⁷⁷⁾⁶⁷⁸⁾

방사선 치료 중 전자기 간섭은 부적절한 과잉감지를 유발할 수 있지만 실제 임상에서는 거의 발생하지 않는다.⁶⁸⁰⁾ 방사선 치료 전 장치 재배치가 필요한 경우는 매우 드물고, 장치의 현재 위치가 적절한 종양 치료를 방해하거나 매우 선별된 고위험 사례에서만 권장된다.⁶⁷⁷⁾⁶⁸¹⁾

심장내 전기장치 환자에 대해 발표된 권장 사항에 따르면, 심박동기 환자의 경우 다음과 같은 상황에서 오작동 (또는 부작용) 위험이 더 높다.⁶⁶⁶⁾⁶⁷⁸⁾⁶⁸²⁾

- 6-10 MV 이상의 에너지를 적용하는 광자 방사선: 오작동 위험(일반적으로 소프트 오류)은 2 차 중성자 생성으로 인해 발생하며, 대상 구역과 연관되지 않으며 차폐될 수 없다.
- 장치에 도달하는 누적 선량이 > 2 Gy (중간 위험) 또는 > 10 Gy (고위험)인 경우: 심박동기에 도달하는 선량은 치료 전에 예측할 수 있고, 치료 중에 측정할 수 있으며

목표 구역과 상관 관계가 있으며 차폐될 수 있다.

- 환자가 심박동기에 의존하는 경우

그림 21에는 적절한 의사결정이 방법이 제시되어 있다. 심장내 전기장치 환자의 양성자 방사선 치료 경험은 제한적이다. 그러나 광자 조사에 비해 이 방사선 방식은 더 많은 2 차 중성자를 생성하므로 장치 오류나 고장의 위험에 영향을 미칠 수 있다.⁶⁸³⁾ 현재 심장내 전기장치 환자의 양성자 방사선 치료에 관해서는 구체적인 지침이 제공될 수 없다.

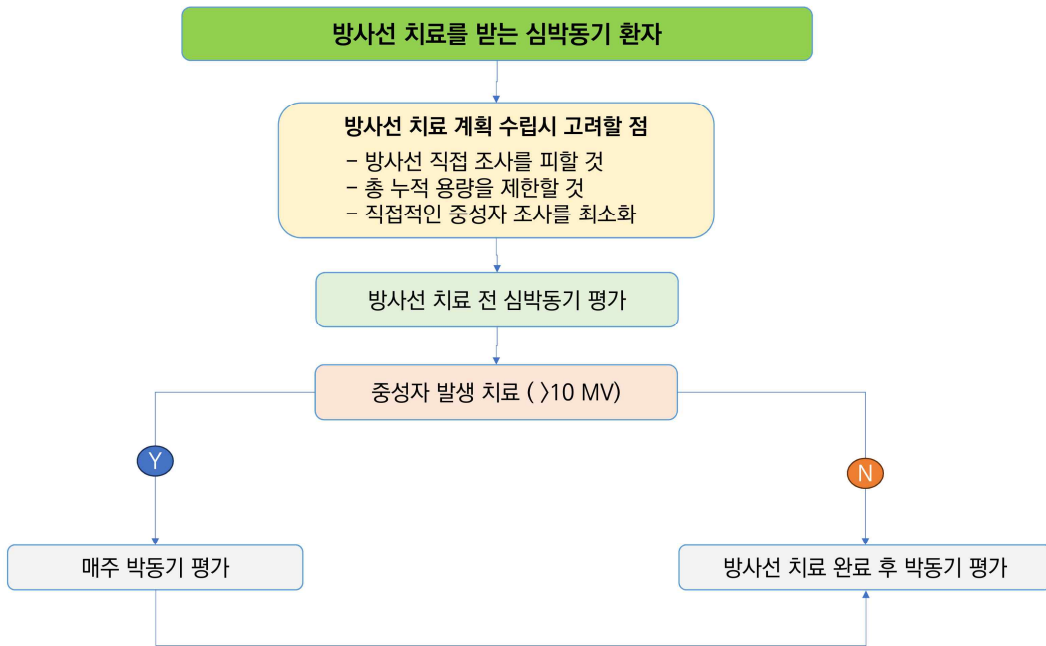


그림 21. 방사선 치료를 받는 심박동기 환자

10.3 임시 심조율

임시 심조율은 생명을 위협하는 급성 서맥 환자에게 심조율을 제공하거나, 심조율의 필요성이 예상되는 경우 (예: 심장 수술 후) 예방적으로 시행할 수 있다.⁶⁸⁴⁾⁶⁸⁵⁾ 응급 임시 심조율 방식에는 경정맥 접근법, 심외막 접근법, 경피 접근법이 있다. 경정맥 접근법에는 보통 방사선 조영이 필요하지만, 심초음파를 사용하여 삽입할 수도 있다.⁶⁸⁶⁾ 풍선이 달린 카테터는 삽입이 더 쉽고, 더 안정적이며, 더 안전하다.⁶⁸⁷⁾⁶⁸⁸⁾ 경정맥 임시 심조율을 시행하는 환자는 시술 관련 합병증 (예: 심장 천공, 출혈, 기능 부전, 부정맥, 우발적인 전극

변위) 및 삽입 후 활동 제한에 관련된 합병증(예: 감염, 심방, 혈전증 사건)의 위험이 높다.⁶⁸⁴⁾⁶⁸⁵⁾⁶⁸⁹⁻⁶⁹⁴⁾ 또한, 임시 심조율을 하고 있는 환자에서 영구 심박동기를 삽입하는 것은 감염의 위험 증가와 관련이 있다.⁶¹¹⁾ 외부 장치에 연결된 경피 경정맥 능동 고정 전극선은 장기간 임시 심조율이 필요한 환자에게 더 안전하고 편안하다.⁶⁹⁵⁻⁶⁹⁸⁾ 경정맥 또는 겨드랑이/쇄골하 정맥 접근 중 어떤 것이 더 좋을지에 대하여 좋은 데이터는 없으나, 흉강내 쇄골하 정맥 천자는 기흉의 위험을 줄이기 위해 피해야 한다. 영구적인 동측 장치 이식이 계획된 경우 경정맥 접근이 선호된다. 빠르고 효율적인 심조율이 필요한 일부 경우에는 대퇴 정맥 접근을 사용할 수 있다. 대퇴 정맥을 통해 배치된 수동 전극선은 불안정성하며, 환자의 움직임에 제한이 많기 때문에, 이 접근법의 기간은 서맥이 해결되거나 보다 영구적인 해결책이 확립될 때까지 가능한 한 짧아야 한다. 심외막 접근법은 주로 심장 수술 후에 사용된다. 심외막 전극선을 제거할 때는 출혈이나 압전 등의 합병증이 발생할 수 있으므로 주의가 필요하다.⁶⁹⁹⁾⁷⁰⁰⁾

경피적 임시 심조율은 빠르고 효과적인 비침습적 방법이지만 경정맥 접근법만큼 안정적이지 않으며 지속적인 진정이 필요하다는 제한이 있다.⁷⁰¹⁾ 이 방식은 응급 상황이나 다른 옵션을 사용할 수 없는 경우, 그리고 면밀한 혈액학 모니터링 하에서만 사용해야 한다.⁷⁰²⁾ 임시 심조율의 사용은 실신 또는 혈액학적 손상을 유발하는 심각한 서맥성 부정맥 환자의 응급 치료와 이러한 서맥성 부정맥이 예상되는 경우로 제한되어야 한다. 항부정맥제 사용, 심근허혈, 심근염, 전해질 장애, 독성 물질/약제 노출과 같은 상황에서 심조율의 필요성이 가역적일 때, 심장 수술 후, 또는 영구 심조율기 이식을 위한 가교로서 필요한 경우 일시적인 경정맥 심조율이 권장된다.

임시 심조율의 권고안

권고안	권고등급	근거수준
약물치료에 불응성이며 혈액학적 문제를 유발하는 서맥성 부정맥의 경우 임시 경정맥 심조율이 권장된다.	I	C
약물치료에 불응성이며 혈액학적 문제를 유발하는 서맥성 부정맥의 경우 임시 경정맥 심조율이 불가능한 경우, 경피적 심조율을 고려한다.	IIa	C
심조율이 즉시 필요하지만 가역적일 수 있는 경우(심근허혈, 심근염, 전해질 장애, 독성물질 노출, 심장수술 후 등) 임시 경정맥 심조율이 권장된다.	IIa	C
심조율이 필요하지만 동반된 감염 등으로 영구적 심박동기를 바로 삽입하기 어려울 때에는, 임시 경정맥 심조율을 가교 치료로 고려한다.	IIa	C
임시 심조율이 오랜기간 필요한 경우에는 능동 고정 전극선을 삽입하여 외부 심박동기에 연결하는 것을 고려한다.	IIa	C

10.4 심장삽입전기장치 환자의 수술 전후 관리

심장삽입전기장치 환자의 수술 전후 관리에 도움이 되는 자문 문서가 여러 전문 학회에 서 발행되었다.⁷⁰³⁻⁷⁰⁶ 표 14에서 수술 전후 관리에 대한 일반적인 권장 사항을 정리하였다.

전자파장애 (Electromagnetic interference, EMI)는 과도한 신호 감지 (대부분 단극 유도), 속도 반응 센서 (rate-responsive sensors)의 활성화, 장치 재설정 또는 기타 손상을 유발할 수 있다. 심장 삽입 전기장치로부터 5 cm 이상 떨어진 부위에서의 양극 전기 소작과 배꼽 아래쪽 부위에서의 단극 전기 소작은 전자파장애를 드물게 유발하지만, 그럼에도 불구하고 전자파장애의 가장 흔한 원인은 전기 소작이다.⁷⁰⁷ 전자파장애 위험을 줄이기 위해서는 단극 전기 소작을 5 초 미만으로 짧게 적용해야 하며, 피부 접지 패드는 장치 삽입 부위로부터 멀리 떨어진 곳에 부착하여야 한다. 전자파장애의 다른 원인으로는 고주파 시술, 신경 자극기 및 기타 전자 장치가 있다.

수술 전후 관리 전략은 환자, 시술, 장치의 개별적인 요구와 가치에 따라 맞춤화되어야 한다.⁷⁰³⁻⁷⁰⁶ 대부분의 시술에는 개입이 필요하지 않다.⁷⁰⁸ 심박동기 의존 환자의 경우 소작 자극이 전달되는 동안 자석 (magnet)을 적용해야 하며, 전자파장애가 발생할 가능성이 있거나 자석의 안정성을 보장할 수 없는 경우에는 장치를 비동기 모드 (VOO/DOO)로 조정해야 한다. 자석 적용에 대한 반응은 장치의 제조업체마다 다를 수 있다. 능동 센서를 사용하는 속도 반응 기능이 있는 심장내전기장치도 자석을 적용하거나 부적절하게 빠른 조율을 방지하기 위해 이 기능을 비활성화 해야할 수 있다. 오작동이 의심되거나 장치가 강한 전자파장애에 노출된 경우 수술 후 장치의 점검 (interrogation)을 권장한다.

표 14. 심장삽입전기장치 환자의 수술 전후 관리에 대한 일반적 권고사항

동측 중심 정맥관 사용을 최소화하고, 투시 유도 하에 폐동맥 카테터를 삽입 및 제거하며, 가능하면 균혈증을 예방하기 위한 모든 조치를 취한다.
시술 중 발생할 수 있는 전자파간섭의 잠재적 위험성에 대해 환자에게 설명하고, 환자의 필요와 선호에 따라 전자파장애를 예방하기 위한 조치를 취한다.
지난 12 개월 동안 정기적 장치 점검을 하지 않았거나 남은 배터리 수명을 모르는 경우에는 수술 전에 장치를 점검한다.
수술 전에 자석 모드가 비동기 조율인지 확인한다. (많은 모델에서 자석 모드를 조정할 수 있다)
장치의 재조정이 필요하거나 강한 전자파간섭을 유발할 수 있는 시술을 수행하는 경우에만 건물 내에 심박동기 직원이 있어야 한다.
심장삽입전기장치를 가진 환자가 수술을 받을 경우 모든 수술실에서 자석을 쉽게 사용할 수 있어야 한다.
전기소작이 심전도 모니터링을 방해하면 산소포화도 곡선을 모니터링 한다.
오작동이 의심되거나 장치가 심한 전자파장애에 노출된 경우 수술 후 장치를 점검한다.

10.5 심장내전기장치와 스포츠 활동

규칙적인 운동은 심혈관 질환 예방을 위해 적극 권장된다.⁷⁰⁹⁻⁷¹² 심박동기 환자에서 적절한 활동 제한은 기저 심혈관 질환으로 인해 발생한다. 따라서 모든 심박동기 환자의 운동 및 스포츠 참여 문제는 공유된 의사 결정 과정을 통해 결정하는 것이 중요하다. 심혈관 질환 환자의 신체 활동에 대한 포괄적인 권장 사항이 발표되었다.⁷⁰⁹⁾⁷¹³⁾

심장내전기장치의 손상이나 삽입 부위의 혈종 위험을 방지하기 위해 신체 접촉이 있는 스포츠 (럭비 또는 무술 등)는 피해야 한다는 전문가 의견 일치기가 있다. 축구, 농구 또는 야구와 같은 스포츠에 참여할 경우에는 장치에 대한 외상 위험을 줄이기 위하여 특수 보호 설드를 사용하는 것이 추천된다. 삽입 부위를 선택할 때 스포츠에 대한 관심도와 오른 쪽 또는 왼쪽의 주로 사용하는 팔을 고려해야 하며, 충격 위험을 줄이기 위하여 근육하 삽입을 고려할 수 있다. 어깨 높이 이상의 팔 운동과 관련된 유도의 쇄골하 압박 위험을 방지하기 위해서는 혈관의 측면 접근이 선호된다. 장치 삽입 후 4-6 주 동안은 격렬한 운동과 동측 팔 운동을 삼가는 것이 좋다.

삽입형 제세동기 환자의 스포츠 활동에 대한 권장 사항은 심박동기 환자의 권장 사항과는 다르다.⁷¹⁴⁾⁷¹⁵⁾

10.6 심조율이 더 이상 필요하지 않을 경우

심조율이 더 이상 필요하지 않은 경우 다양한 관리 옵션이 있다.

옵션 1: 심조율 발생기 (generator)와 전극선 (lead)을 남겨둔다.

옵션 2: 심조율 발생기는 제거하고, 전극선을 남겨둔다.

옵션 3: 심조율 발생기와 전극선을 모두 제거한다.

옵션 1의 실현가능성은 삽입된 심조율 발생기의 방전 후 동작에 따라 달라진다. 이는 제조업체에 따라 다르며 불규칙 할 수 있고 드물게 합병증을 유발할 수 있다.⁷¹⁶⁾ 옵션 1은 일부 허약하고 노인에서 선호되는 방법이다.

옵션 2는 시술의 위험성이 낮지만 MRI 시행이 불가능한 것과 같은 버려진 전극 (abandoned lead) 관련 문제가 있을 수 있다. 특히 젊은 환자의 경우 감염으로 인한 전극선 제거의 잠재적인 가능성이 높고 삽입 후 기간이 길어짐에 따른 제거시 시술 위험성이 높다. 여러 연구에 따르면 버려진 전극선의 제거는 높은 시술 복잡성, 낮은 시술 성공률 그리고 높은 합병증 발생률을 보였다.⁷¹⁷⁻⁷²⁰⁾

옵션 3은 초기 시술 위험성은 가장 높지만, 향후 전극선 관련 합병증 발생 가능성을 모두 없앨 수 있다. 최신 시술 도구와 기술을 갖춘 경험 많은 전문 센터에서 시행될 경우에 전극선 제거 시술은 높은 시술 성공률과 낮은 합병증 발생으로 수행될 수 있다.⁷¹⁹⁾ 이러한 접근 방법은 젊은 환자, 낮은 시술 위험성 그리고 숙련된 시술자에게 적합할 수 있다.

환자 중심 접근법의 일환으로, 이러한 의사 결정은 환자 및 보호자와 함께 공유된 의사 결정 과정에서 개별 위험-이익 분석을 기반으로 해야 한다. 정보에 입각한 의사결정을 내릴 수 있도록 충분한 정보를 제공하는 것을 포함한다. 고려해야 할 중요한 요소는 환자의 연령, 상태, 동반 질환, 심박동기 삽입 기간 및 환자의 기대 수명이다.

심조율이 더 이상 필요하지 않을 경우의 권고안		
권고안	권고등급	근거수준
심조율이 더 이상 필요하지 않을 경우, 관리 전략에 대한 결정은 환자와 함께 공유된 의사 결정 과정을 통해 개인의 위험 및 이득을 분석하여 결정하여야 한다	I	C

10.7 심장내전기장치의 추적관찰

추적 관찰에 대한 일반적인 원칙은 여기에서 다루어지며, 심층적인 권장 사항은 다루지 않았다. 환자와 심장내전기장치는 환자의 필요에 맞게 맞춤화된 프로그래밍을 통해 단일 개체로 취급되어야 한다. 추적 관찰의 목표는 (i) 환자의 안전을 보장하고; (ii) 생리적 심조율을 제공하고; (iii) 환자의 삶의 질을 향상시키고; (iv) 환자의 임상적 관리를 개선하고; (v) 장치 수명을 극대화하는 것이다. 기저 심질환에 대한 추적 관찰의 필요성을 간과해서는 안 된다. 이러한 목표를 달성하기 위해서는 기술적 점검과 프로그래밍 최적화 외에도 환자와 가족의 적절한 상담이 필요하다. 추적 관찰 빈도는 장치의 종류 (심장재동기화치료 및 히스다발조율은 임상적 또는 기술적 문제와 연관되어 있으며 보다 면밀한 감시가 필요함) 및 원격 장치 관리 (remote device management) 여부에 따라 다르다.(표 15)

원격 장치 관리 (Remote device management)에는 예정된 주기 (진료실 방문 대체)마다 원격 전체 장치 점검, 사전 정의된 경고 이벤트의 예정되지 않은 전송을 통한 원격 모니터링, 그리고 환자가 경험한 임상적 사건에 따른 예정되지 않은 환자 주도 점검이 포함된다. 대부분의 연구는 삽입형 제세동기 및 CRT-D 환자에 초점을 맞추었으며, 사건 감지와 임상적 결정 사이의 지연이 크게 감소하고 부적절한 쇼크 (inappropriate shock)가 줄어드는 것으로 나타났다.⁷²¹⁾ 단방⁷²²⁾ 또는 양방형 (DDD)⁷²²⁾⁷²³⁾ 심박동기를 사용한 두개의 무작위 비열등성 시험 (심장재동기화치료-박동기 (CRT-P)는 포함되지 않음)은 환자가 자동

역치 알고리즘이 있는 장치를 사용하여 원격 모니터링을 하는 경우에 18-24 개월의 간격을 두고 병원을 방문해도 안전하다고 보여주었다. 병원 방문간 간격을 두는 것은 거동이 불편한 노년층 환자에게 특히 편리할 뿐만 아니라 직장을 다니거나 가족을 돌보아야 하는 젊은 혹은 중년 환자, 그리고 특정 상황 (예: 대유행 중 노출을 피하기 위해)에도 편리하다.

원격 추적 관찰에 대한 구조화된 접근 방식과 경고에 대한 적시 대응을 제공하는 적절한 설정을 통해 원격 장치 관리를 수행하는 것이 중요하다. 제3자 공급자는 경고를 분류하고 이 작업을 지원하는 데 유용할 수 있다.⁷²⁴⁾ 중요한 것은 최근 ESC 규제 업무/EHRA 문서에 설명된 대로 일반 정보 보호 규정을 준수해야 한다는 것이다.⁷²⁵⁾

표 15. 심박동기 및 심장재동기화치료에 대한 정기적 추적 관찰 빈도

방법	방문 검사 단독	방문 및 원격 검사
모든 심장삽입전기장치	삽입 후 72 시간 이내 및 삽입 2-12 주 후	삽입 후 72 시간 이내 및 삽입 2-12 주 후 방문 검사
심장재동기화치료-박동기 또는 히스다발 박동기	매 6 개월마다	매 6 개월마다 원격 검사 및 매 12 개월 마다 방문 검사
단/양방형 심박동기	매 12 개월마다, 이후 배터리 고갈이 의심되면 3-6 개월마다	매 6 개월마다 원격 검사 및 매 18-24 개월마다 방문 검사

심박동기와 심장재동기화치료기의 추적관찰에 대한 권고안

권고안	권고등급	근거수준
진료실 방문이 어려운 환자들 (활동 제한, 동반 질환 또는 환자의 선호)의 방문 추적 관찰의 횟수를 줄이기 위하여 원격 장치 관리가 권장된다.	I	A
회수 (recall) 되었거나 권고 중인 장치 구성요소의 경우에, 특히, 고위험 환자 (예, 심박동기 의존성), 대응 가능한 사건을 조기에 감지할 수 있도록 원격 모니터링이 권장된다.	I	C
원격 장치 관리를 받는 환자는 단방 및 양방형 심박동기의 방문 추적 관찰 간격을 최대 24 개월까지 둘 수 있다.	IIa	A
임상적 문제 (예: 부정맥) 또는 기술적 문제 (예: 전극선 고장 또는 배터리 고갈)를 조기에 발견하기 위해서는 심박동기의 원격 장치 관리를 고려해야 한다.	IIa	B

심박동기 및 심장재동기화치료에서 환자중심치료 및 공동의사결정

환자 중심 치료는 환자의 요구, 신념, 기대, 건강 관리 선호, 목표 및 가치를 인식하고 환자와 임상 의 간의 건강 파트너십을 강조하는 총체적인 과정이다.⁷²⁶⁻⁷²⁸ 환자 중심 치료에서는 환자가 일반적으로 자신의 건강과 관련한 의사 결정에서 적극적인 역할을 선호한다는 것을 인정하는 공동 의사 결정에 초점을 맞추고 있다.⁷²⁹⁾⁷³⁰⁾ 이러한 접근 방식은 치료 성과 및 진료 경험을 개선하는 것으로 나타났다.⁷²⁹⁾⁷³¹⁾ 의료진은 환자가 추구하는 가치와 선호하는 사항을 인정하는 가운데, 건강 관리 문제를 정의하고 설명해야 하며, 치료법 없음을 포함하여 그 시점에 맞는 최선의 의학적 증거에 기반한 권고를 해야 할 의무가 있다.³⁰⁷⁾⁷³²⁻⁷³⁴⁾

서면 정보 및 쌍방향 웹 사이트 또는 웹 기반 응용 프로그램의 사용과 같은 의사 결정 보조 도구는 환자와 임상 의 간의 상담을 보완해 주며 공유된 의사 결정을 용이하게 할 수 있다.⁷³⁵⁾ 의사 결정 보조 도구가 사용되면 환자는 상담 내용을 더 잘 이해하고 있다고 느끼게 되고 더 정확한 위험 인식을 가지게 되며 의사 결정에 더욱 적극적으로 참여하게 된다.⁷³⁶⁾ 인지 장애가 있는 환자뿐만 아니라 언어 능력 또는 읽고 쓰는 능력이 부족한 환자의 경우에는 자격을 갖춘 통역사의 도움을 포함한 의사 소통 전략이 권장되며, 이를 통해 환자는 더욱 균형 잡힌 결정을 할 수 있게 된다.⁷³⁷⁻⁷³⁹⁾ 적절한 교육 자료를 선택하는 것은 환자로 하여금 본인의 상태 및 치료 과정 전반에 대한 이해를 촉진하는 데 있어 중요한 구성 요소이다.⁷⁴⁰⁻⁷⁴³⁾ 환자의 요구와 선호를 바탕으로 한 개별적 접근 방식을 사용하여 기기 삽입 전, 퇴원 시점 및 추적 관리 중에 교육을 수행해야 한다. 모든 환자는 퇴원 전에 기기 식별 카드뿐만 아니라 제조업체에서 제공한 안내서를 받아야 한다.

심박동기/CRT 기기를 삽입하는 결정은 각 옵션의 개별적 위험과 임상적 이득, 환자의 선호도 및 관리 목표를 고려하여 이용 가능한 최상의 증거에 기초해야 한다. 상담 내용에는 환자가 심박동기/CRT 기기 삽입에 적합한 대상인지 여부가 포함되어야 하며, 가능한 대체 치료 방법과 관련해서도 상담에 참여한 모든 사람이 이해할 수 있는 방식으로 논의

되어야 한다. 공유된 의사 결정 및 서면 동의/거부의 원칙 하에, 의사 결정 능력이 있는 환자는 비록 심박동기 의존적일지라도 심박동기 치료를 거부할 권리가 있다.

심장조율 및 심장재동기화치료에서 환자중심치료 및 공동의사결정에 대한 권고안

권고안	권고등급	근거수준
심박동기 혹은 심장재동기화치료를 고려하는 환자에 있어서 각 옵션별 위험 및 이점, 환자의 선호 및 치료 목표를 모두 고려하고 이용 가능한 최상의 증거에 기초해서 시술 여부를 결정해야 한다. 또한 환자 상담 시에는 통합적인 치료 접근법 및 공동 의사 결정의 원칙을 따를 것이 권고된다.	I	C

1. 국내 심박동기 삽입률은 기대 수명의 증가와 인구의 고령화로 지속적으로 증가하고 있으나, 2021년 기준 100 만 명당 73.6 명으로, 일본의 364 명에 비하여 약 5 배 적은 상황이다.
2. 심박동기 치료를 받지 않은 고도 방실차단 환자의 생존률은, 심박동기 치료를 받은 환자에 비해 현저히 낮다. 반면 동기능 부전에서는 심박동기 치료가 생존률을 개선한다는 명확한 증거는 없으나 삶의 질을 개선하는 것으로 보고된다.
3. 지속성 서맥은 심장 전기 전도계의 내인성 질환에 기인하고, 간헐성 서맥은 다양한 내인성 및 외인성 병리학적 요인에 기인한다.
4. 심조율 유형에는 심내막 (endocardial pacing), 심외막 (epicardial pacing), 양심실 (biventricular pacing), 대체 (alternative pacing) 조율법 등이 있다. 대체조율법에는 심장전도계 조율 (cardiac conduction system pacing, CSP)과 무전극선 조율 (leadless pacing)이 있으며, 심장전도계 조율에는 히스다발 조율 (His bundle pacing, HBP)과 좌각영역 조율 (Left bundle branch area pacing, LBBAP)이 있다. CSP와 CRT를 묶어서 생리적 심조율 (cardiac physiologic pacing, CPP)이라고도 부른다.
5. 심외막 조율은 선천성 심기형으로 심장에 정맥이 없거나, 정맥이 폐쇄된 경우, 심장 내 중격 결손과 같은 좌우 단락 (shunt)이나, 반복되는 심박동기 시스템 감염이 있을 경우, 개흉 심장 수술이 계획되어 있을 때 고려하게 된다.
6. 무전극선 조율 (leadless pacing)은 정맥 경로의 폐색 (예: 쇄골하 정맥 폐색, 상대정맥의 만성 폐색), 심박동기 포켓 관리의 어려움 (예: 치매), 또는 높은 감염의 위험 (예: 투석 또는 이전의 심장삽입전기장치 감염) 등의 경우에 고려할 수 있다.
7. 심조율 방식에는, 단심방/단심실 조율, 심방-심실 순차적 조율, 양심실 조율 등이 있다. 속도 반응형 조율 (Rate-responsive pacing)은 심박수 변동부전 (chronotropic incompetence)

의 경우에 적절하다. 속도 반응형 조율 센서에는 활동감지, 호흡량감지, 활동/호흡량 감지, 심근 수축력 감지 센서 등이 있다.

8. 서맥이나 전도 장애 환자에게 세심하게 병력(가족력, 약물 복용력 등)을 청취하고 진찰하는 것이 중요하다.
9. 장기간 활동심전도 검사는, 서맥과 증상과의 연관성을 확인하기 위하여 필요하다. 증상의 빈도에 따라, 홀터심전도, 외부형 사건기록기, 패치형 심전도 감시, 스마트폰, 스마트워치, 활동 원격측정 감시, 이식형 심장사건 기록기(implantable loop recorder) 등을 사용할 수 있다.
10. 운동부하검사는, 운동 중/직후 서맥이 의심되는 경우에 유용하며, 운동 중 발생하는 서맥은 대부분 심질환에 의한 것이며, 운동 후에 발생하는 경우는 반사성 반응에 의한 것이다. 또한, 운동부하검사는 심박수 변동부전 진단에 유용하다. 이 외에도, 방실차단 부위를 명확하게 규명하는데 유용하다. 운동유발 2도/3도 방실차단은 방실차단의 부위가 방실결절 원위부이며, 향후 영구적인 방실차단으로 진행할 수 있음을 시사한다.
11. 심장 영상 검사는, 구조적 심질환 여부, 좌심실 수축 기능, 그리고 전도장애의 잠재적 원인을 평가하기 위해 권장된다. 심근 조직의 병리학적 특성 평가를 위해, 다양한 영상 검사(심장자기공명영상, 전산화단층촬영, 양전자 방출 단층촬영)를 고려해야 하며, 특히 60 세 미만 환자에서 더욱 중요하다.
12. 유전자 검사는, 구조적으로 정상 심장을 가진 50 세 미만에서 설명되지 않는 전도 이상, 특히 서맥이나 돌연사의 가족력이 있는 경우 고려해야 한다. 병인성 유전 변이가 확인되면, 가족에 대한 유전자 검사도 고려해야 한다. 유전 변이는 심장 전도계의 단독 질환일 수 있으나, 심근병증, 선천성 심기형, 심장 외 질환과 관련될 수 있다.
13. 폐쇄성 수면무호흡증 검사는, 수면 중 심한 서맥 혹은 진행된 방실차단이 있을 경우 권장된다.
14. 이식형 사건기록기를 통한 장기적 맥박 검사는, 월 1 회 미만으로 발생하는 원인 불명의 실신 환자에게 권장된다.
15. 심장전기생리학 검사는, 원인불명의 실신 환자에서 이섬유속차단(bifascicular block)이나 허혈성 심질환/심근병증과 같은 구조적 심질환이 동반된 경우 고려해야 한다. 약물(ajmaline, procainamide, flecainide, disopyramide)부하 없이 히스-심실(HV) 간격이 70 ms 이상이거나, 약물 부하 후 HV 100 ms 이상, 또는 심방 조율 및 약물 부하로 2 도/3 도 방실차단이 유발되는 경우 방실차단의 위험도가 높다.
16. 무증상 동기능부전에 대한 심조율은 방실차단과 달리 일반적으로 생존에 영향을 미

치지 않는다. 따라서 동기능부전은 서맥으로 인한 증상이 있는 경우만 영구적 심조율을 고려한다. 실신 환자의 경우, 동정지가 무증상이라도 6 초 이상 기록될 때 심박동기 삽입술을 고려할 수 있다.

17. 동기능부전 환자에서 양방형 (DDD) 조율 모드가, 단일 심실 (VVI) 또는 단일 심방 (AAI) 조율 모드에 비해 선호된다. 이는 심방세동의 발생, 뇌졸중 발생, 심박동기 증후군, 심박동기 재시술의 위험이 적기 때문이다.
18. 동기능부전 환자를 DDD 모드 심박동기로 치료 시, 프로그래밍을 통해 불필요한 심실 조율을 최소화해야 한다. 운동 중 심박수 변동부전을 보이고 이로 인한 증상이 명확하면, 속도 반응형 조율 (rate-responsive pacing)과 함께 DDD 모드를 고려해야 한다.
19. 빈맥-서맥 형태의 동기능부전 환자에서, 전극도자절제술로 빈맥 치료를 고려하지 않을 경우, 심박동기가 권장된다.
20. 방실 차단 치료는 증상의 개선과 실신 및 급성심장사를 예방하는 것을 목표로 한다. 영구적 또는 발작성 3 도 또는 2 도 II 형, 고도 방실차단을 가진 환자에서는 증상과 무관하게 심박동기 시술이 필요하다. 또한, 2 도 방실차단에서 방실결절 하방 부위 차단은 완전 방실 차단, 실신, 급성 심장사의 위험을 가지고 있으므로 증상이 없어도 심박동기를 고려할 수 있다.
21. 방실 차단 환자에서 DDD 모드 심박동기는, 심박동기 증후군을 방지하고 심방세동을 진단할 수 있다는 장점이 있으나, 우심실 조율 비율이 20 %를 넘을 경우, 조율 유발 심근병증의 위험이 있으므로, 심실 조율을 최소화하는 알고리즘을 사용하거나 생리적 심조율을 고려할 수 있다.
22. 교대로 발생하는 각차단은 방실 결절 하방 질환을 의미하며, 방실차단으로 진행할 수 있으므로 증상이 없더라도 즉시 심박동기 치료를 고려해야 한다.
23. 원인 불명의 실신 및 이섬유속 차단이 있을 경우, > 70 ms의 HV 간격, 점진적 심방 조율 동안 2 도 또는 3 도 히스다발 이하 차단의 경우 심박동기 적응이 된다.
24. 반사성 실신 (reflex syncope) 환자 중, 예측 불가능한 (전조증상 없는) 재발성 실신이 있는 40 세 이상 환자에서, 경동맥동 자극이나 기립경사검사로 유발된 심박수억제형 실신, 증상을 동반한 3 초 이상의 무수축, 또는 무증상의 6 초 이상 무수축이 발생한 경우, 방실실형 심박동기 시술이 권고된다.
25. 우심실 조율 빈도가 높을 것으로 (>20~40 %) 예상되고, 좌심실 박출률 36 %~50 %의 심기능 저하가 있는 환자의 경우, 생리적 심조율이 조율유발심근병증의 위험을 줄이는데 합리적이다. 정상적인 심기능을 보이는 환자에서도, 같은 이유로 생리적 심조율이 합리적일 수 있다.

26. 우심실 조율 빈도가 높지 않을 것으로 (<20~40 %) 예상되는 경우, 기존과 같이 우심실에 전극선을 이식하고 우심실 조율을 최소화하는 알고리즘을 사용하거나, (특히 심기능 저하나 좌각차단이 동반된 경우) 히스다발조율/좌각영역조율을 이용한 생리적 심조율을 대안으로 고려할 수 있다.
27. 진료지침에 따른 최적의 약물 치료에도 불구하고, NYHA II-IV 의 증상, 좌심실 박출률이 35 % 이하, 동리듬, 좌각차단, QRS 간격이 150 ms 이상 (여성은 120-149 ms) 인 심부전 환자에서 양심실 재동기화 치료 (BVP-CRT)가 우선 권고되며, 시술이 실패한 경우우 심장전도계 조율 (HBP or LBBAP)을 하는 것이 합리적이다. 또한, QRS 간격이 120-149 ms이라도, BVP-CRT 삽입을 고려해야 하며, 이러한 경우 CSP 는 데이터가 좀 더 필요한 상황이다.
28. 진료지침에 따른 최적의 약물 치료에도 불구하고, NYHA III-IV 의 증상, 좌심실 박출률이 35 % 이하, 동율동, 비좌각차단, QRS 간격이 150 ms 이상인 심부전 환자에서 BVP-CRT 를 우선 고려할 수 있고, BVP-CRT 시술에 실패하거나 효과적이지 않은 경우 CSP 를 고려해 볼 수 있다. 하지만, 이 경우에도 CSP 는 데이터가 좀 더 필요한 상황이다.
29. 진료지침에 따른 최적의 약물 치료에도 불구하고, NYHA I-II 의 증상이 있고, 좌심실 박출률이 35 % 이하, 비좌각차단이며 QRS 간격이 150 ms 미만이거나 NYHA II-IV 의 증상이 있으나 QRS 간격이 120 이하인 심부전환자에서 BVP-CRT는 추천하지 않는다.
30. 영구형 심방세동 환자에서, 심장재동기화치료 기준을 만족하는 경우, 우선적으로 BVP-CRT 를 고려해야 한다. 또한, 양심실 조율률을 최소한 90~95 % 이상이 되도록 방실결절 절제술을 고려한다.
31. 빠른 심실 박동이 동반된 심방세동 환자에서, 심박수 조절을 위해 방실결절 절제술을 시행하고 우심실 조율을 하면, 증상과 삶의 질이 향상된다는 근거가 있다. 특히, 방실결절 절제술과 심장재동기화치료를 병용할 경우, 약물 치료와 비교하여 심부전으로 인한 입원/사망 위험을 감소시킨다. 데이터가 충분하지는 않으나, 좌각부위조율도 심장재동기화치료와 유사한 효과를 보일 것으로 기대되고 있다.
32. CRT 환자 선정은, 주로 영상검사 (예: 심초음파)로 좌심실 박출률을 측정하여 이루어진다. 반면에, 심근섬유화 (myocardial scar) 정도, 승모판 역류, 우심실 기능 등의 검사는 CRT 무반응 (CRT non-response)을 예측함에 중요하며, 이러한 경우 승모판막 치료와 같은 추가적인 치료가 필요할 수 있다.
33. CRT시술에, 여러 장점 (우수한 안정성, 낮은 조율 역치, 횡격막 자극 최소화)이 있는

4 극 좌심실 전극선 (quadripolar LV lead)이 추천된다. 전극선은 일반적으로 전기적 활성화가 가장 늦은 부위 (주로, 좌심실 외벽)의 정맥에 삽입하고, 심첨부를 피하여 조율하여, 가장 좁은 QRS 를 얻도록 해야 한다.

34. 방실간, 심실간 조율간격 (AV, VV interval)을 최적화하여 프로그램해야 하며 (optimization), 최근 이를 자동으로 최적화해주는 알고리즘 (예; Adaptive CRT, SyncAV algorithms)들이 도입되어, 임상에서 사용이 가능하며, 희망적인 결과들이 보고되고 있다.
34. 수술적 심외막 좌심실 조율은 관상정맥동 좌심실 전극선 삽입술을 실패한 경우 합리적 대안이다. 향후 CRT 가 필요할 가능성이 있는 환자 (좌각차단과 LVEF 36 %~50 % 동반 환자, 또는 우심실 조율 빈도 > 20~40 %인 심장 박동기 환자)에서, 심장 수술 도중, 영구 심외막 좌심실 전극선 (epicardial LV lead)을 이식해 놓는 것이 유용할 수 있다.
35. 좌심실 심내막 조율 (LV endocardial pacing)은 보다 생리적이라는 장점이 있으나, 심방중격을 천자해야 하고, PT INR 2.5-3.5 정도로 항응고 치료를 해도 혈전색전증 발생 위험이 높다는 단점이 있다.
36. 무전극선 조율 (leadless pacing)은 정맥 경로의 폐색, 높은 감염의 위험 등의 경우에 고려할 수 있다. 하지만, 도입 초기에 천공, 심낭압전, 심실 부정맥 및 사망 등의 중증 합병증이 보고되었으며, 이는 적절한 교육과 감독의 중요성을 시사한다.
37. 심근경색 후 방실차단이 발생하면, 최대 10 일까지 기다릴 수 있지만, 혈관 재개통에 실패했거나 늦은 경우, 전벽 심근경색, 심근경색 전 이섬유속차단 또는 방실 차단, 심근경색 후 첫날 이내에 방실 차단이 진행된 경우에는, 5 일로 단축하여 영구형 심박동기를 삽입할 수 있다.
38. 전벽 심근경색에 심부전과 방실차단이 동반되면, 조기에 재동기화 (CRT-D/-P) 치료를 고려한다.
39. 심장수술 후 고도 또는 완전 방실차단이 발생한 경우, 회복 여부를 고려하며 최소 5 일간 관찰이 필요하다. 판막 수술 후 첫 24 시간 이내에 발생하여 48 시간 동안 지속되는 완전 방실차단의 경우, 향후 12 주 이내에 회복될 가능성은 낮으며 조기에 심박동기 삽입을 고려할 수 있다.
40. 판막 심내막엽 수술 후 발생한 완전 방실차단에서, 방실차단 지속의 예측 인자 (수술 전 전도 이상, 황색포도상구균 감염, 심장 내 농양, 삼첨판막 침범, 이전 판막 수술)가 있으면 즉각적인 심외막 박동기 이식을 고려한다.
41. 삼첨판막 수술 시, 삼첨 판막을 통과하는 전극선이 있다면, 이를 제거해야 하고, 판막

륜과 인공판막/판막링 사이에 전극선을 끼운 상태로 봉합하는 것은 피해야 한다.

42. 생체조직 삼첨판막 치환수술/삼첨판막 링 교정술 (ring repair) 후 심실 조율이 필요하면, 관상정맥동 전극선 삽입 또는 최소 침습적 심외막 심실 전극선 삽입을 고려한다. 반면에, 기계 삼첨판막 치환수술 후에는 경정맥-경판막 우심실 전극선 삽입은 피해야 한다.
43. 심장이식 3 주 이후에도 서맥 증상이 지속되면, 영구형 심박동기 이식이 필요할 수 있으며, 최대 6 주까지 관찰해 볼 수 있다. 심박수 변동부전이 심장이식 후 6 주 이상 지속되면 삶의 질을 개선하기 위해 심조율을 고려해야 한다.
44. 경피적 대동맥판막 삽입술 (transcatheter aortic valve implantation, TAVI) 시술 중/후, 기존 우각차단에 일시적인 고도 방실 차단이 동반되면, 시술 직후 또는 24 시간 이내에 영구적 심조율을 고려해야 한다.
45. TAVI 시술 이후 24~48 시간 동안 지속되는 고도 또는 완전 방실 차단, 교대로 발생하는 각차단에서는 영구적 심조율이 권장된다.
46. TAVI 후 QRS 또는 PR 의 동적 연장을 동반한 새로운 각차단이 발생하면 최대 5 일까지 모니터링하는 것을 고려해야 한다. QRS 또는 PR 간격이 20 ms 를 초과하여 연장되는 경우 활동 심전도 모니터링이나 전기생리학 검사를 고려할 수 있다. 전기 생리학 검사는 TAVI 3 일 이후에 시행해야 하며, HV 70 ms 이상의 전도 지연은 영구적 심조율이 필요함을 시사한다.
47. 선천성 심질환에서 전신 순환과 폐순환 사이에 단락(shunt)이 있는 경우, 동맥 색전증의 위험으로 인해 경정맥 전극선 삽입은 상대적으로 금기이다. 적절한 방실 전도가 있는 어린 환자의 경우 전극선 수를 제한하기 위해 단일 전극선 심방 조율을 선택해야 한다.
48. 무증상 선천성 심질환 환자에서 위험인자 (평균 주간 심박수 50 회 미만, 심실 이탈 율동 주기 3 배 이상의 휴지기, 넓은 간격의 QRS 이탈 율동, 연장된 QT 간격, 복잡한 심실 이소성 맥박) 중 어떤 것이라도 있다면, 예방적 심조율이 필요하다.
49. 선천성 심질환에서, 완전 방실 차단으로부터 회복된 후에도, 때때로 이섬유속차단이 지속될 수 있으며, 이는 후기 재발성 방실 차단 및 급사의 위험 증가와 관련이 있다. 선천성 심질환 수술 후 이섬유속 차단과 긴 PR 간격을 갖는 환자의 경우, 전도계에 광범위한 손상이 발생했을 가능성이 높으므로 HV 측정 없이도 심박동기 삽입이 필요할 수 있다.
50. 선천성 수정 대혈관 전위 환자에서, 고도 방실차단으로 심실 조율이 필요하면, CRT 를 고려해야 한다.

51. 소아의 QRS 간격은 연령에 따라 변화하므로, 소아 선천성 심질환의 재동기화 치료 시, z 점수 알고리즘을 사용하여 QRS 간격을 정규화해야 하며, 해부학적 구조에 따라 장치 삽입에 대한 다양한 접근 방식을 고려해야 한다.
52. 전신 순환 좌심실 (Systemic LV)에서, 적절한 약물치료에도 불구하고, 전신 심박출률이 45 % 미만, 좌심실 비동기화를 보이는 (QRS 간격 z 점수가 3 점 이상이거나 심실 조율이 40 % 초과) 경우, 양심실 조율을 통한 재동기화 치료는 사망률 또는 이식 필요성을 줄이기 위해 합리적이다.
53. 전신 순환 우심실 (Systemic RV) 환자들은 심장재동기화치료 후 심박출률과 임상 상태가 개선되었지만 전신순환 좌심실 환자만큼 개선되지는 않았다.
54. 단심실 (Single Ventricle) 환자에서, 심실 조율을 하면 심실 기능 장애와 심장 이식의 위험성이 높아지는 것으로 보고되며, 성인과는 다르게, 첨부 조율 (apical pacing)이 다른 부위에서 (non-apical pacing) 조율하는 것 보다 위험이 적다. 일부 연구에서, 다부위 (multisite) 심실 조율을 시도하여 심부전 진행을 늦출 수 있다고 보고되었다.
55. 폐순환 우심실의 기능 부전과 우각차단 (Subpulmonary RV dysfunction and RBBB) 환자는 선택적 (selective-site) 우심실 조율 및 융합 기반 조율 (fusion-based pacing)을 통해 급성 혈액학적 개선을 보였다.
56. 급성 감염의 징후나 발열이 있는 환자에서, 항생제 종료 후 24시간 이상 열이 없을 때, 혈액배양검사가 72 시간 후까지 음성일 때, 감염의 원인 병소 배농이 적절하게 시행되었을 때 시술을 하는 것이 바람직하다.
57. 감염 위험은, 교체나 업그레이드를 위한 재시술, 제세동기와 CRT 삽입술에서 증가한다. (1.19 % in pacemaker vs. 1.91 % in ICD, 3.35 % in CRT-D)
58. 감염을 줄이기 위해, 시술 전 항생제 투여는 필수이며 (시술 30-60 분 이내 cefazolin 1-2 g iv or flucoxacillin 1-2 g iv; 시술 90-120 분 이내 vancomycin 15 mg/kg iv), 피부 소독에는 클로르헥시딘-알코올을 우선적으로 사용해야 한다.
59. 헤파린 가교법은 혈종 발생을 통해 감염의 위험을 증가시키므로 피해야 한다. 혈종 제거술은 감염 위험을 증가시키므로 (15 배), 심한 통증, 지속되는 출혈, 봉합부위 피부괴사 가능성이 있는 경우에만 제한적으로 고려한다.
60. 포켓 부위 안을 생리식염수로 세척하는 것은 오염물질, 혈전, 괴사 조직을 제거함으로써 감염 예방에 도움이 될 것으로 여겨진다.
61. 포켓을 다시 열고 하는 여러 가지 시술이나, CRT와 같은 복잡한 시술에는, 항생제 방출 주머니 (antibiotic-eluting envelope) 사용을 고려해야 한다.

62. 능동 고정 전극선이, 전극선 제거 관련 합병증이 적게 발생하므로 특히 젊은 환자에서 권유된다.
63. 우심실 전벽 (RV anterior wall) 이식은, 조율 유발 심근병증의 위험을 높이고, 우심실 첨부 이식은 천공의 위험이 3 배 가량 증가시킨다. 특히 80 세 이상, 여성에서 주의해야 한다.
64. 심장 이식 전기 장치 관련 삼첨판막 폐쇄부전은, 전극선 제거술 도중 발생하는 삼첨판막/판막 하부 구조물 손상, 삽입된 전극선으로 인한 삼첨판막 기능 억제, 심실조율 유발 비동기화 또는 심부전 (pacing-induced dyssynchrony or cardiomyopathy) 등에 기인한다. 중등도 이상의 삼첨판막 폐쇄부전은 심부전 악화, 사망률증가와 같은 부정적인 예후와 연관된다. 따라서 일부 환자에서, 관상정맥동을 통한 좌심실 조율이나 심외막 전극선 삽입을 고려할 수 있다.
65. 임시 심박동기를 오랜 기간 사용해야 하는 경우, 특히 환자가 심조율에 의존적이면, 능동 고정 전극선을 심내막에 삽입하고, 전극선을 외부로 노출시킨 조율 발생기 (externalized generator)에 연결하는 것을 고려해야 한다.
66. MRI 조건부 (MRI conditional) 심박동기 시스템을 사용하는 환자의 경우 제조업체의 지침에 따라 MRI 를 안전하게 수행할 수 있다. MRI 비조건부 (MRI non-conditional) 인 경우라도, 심외막 전극선, 사용하지 않고 남겨둔 전극선 (abandoned leads), 손상된 전극선, 전극선 어댑터/연장기 등이 없다면, 대부분의 환자에서 안전하게 MRI 촬영이 가능하다. 특히, 1.5 T MRI 스캔 (SAR <1.5 W/kg으로 제한)을 흉부 외 영역에서 시행하고, 환자가 심조율에 의존적이지 않은 경우 더욱 그렇다.
67. 방사선 치료가 필요한 경우, 사전 치료 계획과 위험도 평가를 시행하고, 방사선 치료 전후로 장치 검사를 진행하면서 시행할 수 있다.
68. 심장 삽입 전기장치 환자에서, 전기 소작을 사용하는 수술 시에, 심장 삽입 전기장치로부터 5 cm 이상 떨어진 부위에서 양극 전기 소작을 하거나, 배꼽 아래쪽 부위에서 단극 전기 소작을 하면, 전자파장애를 최소화할 수 있으나, 가능한 5 초 미만으로 짧게 적용해야 하며, 피부 접지 패드는 장치 삽입 부위로부터 멀리 떨어진 곳에 부착하여야 한다.
69. 심조율이 더 이상 필요하지 않게 되는 경우가 발생할 수 있으며, 이러한 경우 심조율 발생기 (generator)와 전극선 (lead)을 모두 남겨 두거나, 일부 또는 전부를 제거할 수 있다. 오랜 시간이 지난 후에, 심박동기 시스템을 꼭 제거해야 하는 상황이 발생하면, 시술이 더욱 어렵게 되고 합병증 발생률이 증가하므로, 젊은 환자에서는, 특히 시술 위험성이 높지 않은 경우, 전체 시스템을 제거하는 것을 고려할 수 있다. 최신 시술

도구와 기술을 갖춘 경험 많은 전문 센터에서 시행될 경우에 전극선 제거 기술은 높은 성공률을 보이며 합병증도 적다.

70. 진료실 방문이 어려운 환자들의 방문 추적 관찰의 횟수를 줄이기 위하여, 또한 리콜된 심박동기 시스템을 사용하는 환자 (특히 심박동기에 의존적일 때)에 대한 빠른 조치를 위하여, 원격 장치 관리가 권장되며, 방문 추적 관찰 간격을 최대 24 개월까지 둘 수 있다. 이 외에도, 부정맥, 전극선 이상, 배터리 고갈 등의 문제를 조기 발견할 수 있다는 유용성이 있다.
71. 환자의 요구, 신념, 기대, 건강 관리 선호, 목표 및 가치를 인식하고 환자와 의사 간의 파트너십이 강조되는 공동 의사 결정이 필요하다.

REFERENCES

1. Timmis A, Townsend N, Gale C, et al. European Society of Cardiology: Cardiovascular Disease Statistics 2017. *Eur Heart J* 2018;39:508-79.
2. APHRS. APHRS whitebook. <https://www.aphrs.org/publications/the-aphrs-white-book> 2022 [cited 2024 March 2, 2024]. Available from: <https://www.aphrs.org/publications/the-aphrs-white-book>
3. Mond HG, Proclemer A. The 11th world survey of cardiac pacing and implantable cardioverter-defibrillators: calendar year 2009--a World Society of Arrhythmia's project. *Pacing Clin Electrophysiol* 2011;34:1013-27.
4. Gregoratos G. Permanent pacemakers in older persons. *J Am Geriatr Soc* 1999;47:1125-35.
5. Mond HG. The World Survey of Cardiac Pacing and Cardioverter Defibrillators: calendar year 1997. *Pacing Clin Electrophysiol* 2001;24:869-70.
6. Mond HG. The World Survey of Cardiac Pacing and Cardioverter Defibrillators: calendar year 1997--Asian Pacific, Middle East, South America, and Canada. *Pacing Clin Electrophysiol* 2001;24:856-62.
7. Ector H, Rickards AF, Kappenberger L, et al. The World Survey of Cardiac Pacing and Implantable Cardioverter Defibrillators: calendar year 1997--Europe. *Pacing Clin Electrophysiol* 2001;24:863-8.
8. Mond HG, Irwin M, Ector H, Proclemer A. The world survey of cardiac pacing and cardioverter-defibrillators: calendar year 2005 an International Cardiac Pacing and Electrophysiology Society (ICPES) project. *Pacing Clin Electrophysiol* 2008;31:1202-12.
9. Bradshaw PJ, Stobie P, Knuiman MW, Briffa TG, Hobbs MS. Trends in the incidence and prevalence of cardiac pacemaker insertions in an ageing population. *Open Heart* 2014;1:e000177.
10. Johansson BW. Complete heart block. A clinical, hemodynamic and pharmacological study in patients with and without an artificial pacemaker. *Acta Med Scand Suppl* 1966;451:1-127.
11. Edhag O, Swahn A. Prognosis of patients with complete heart block or arrhythmic syncope who were not treated with artificial pacemakers. A long-term follow-up study of 101 patients. *Acta Med Scand* 1976;200:457-63.
12. Shaw DB, Holman RR, Gowers JI. Survival in sinoatrial disorder (sick-sinus syndrome). *Br Med J* 1980;280:139-41.
13. Sutton R, Kenny RA. The natural history of sick sinus syndrome. *Pacing Clin Electrophysiol* 1986;9:1110-4.
14. Fleischmann KE, Orav EJ, Lamas GA, et al. Pacemaker implantation and quality of life in the Mode Selection Trial (MOST). *Heart Rhythm* 2006;3:653-9.
15. Lamas GA, Lee KL, Sweeney MO, et al. Ventricular pacing or dual-chamber pacing for sinus-node dysfunction. *N Engl J Med* 2002;346:1854-62.
16. Lamas GA, Orav EJ, Stambler BS, et al. Quality of life and clinical outcomes in elderly patients treated with ventricular pacing as compared with dual-chamber pacing. Pacemaker Selection in the Elderly Investigators. *N Engl J Med* 1998;338:1097-104.
17. Höfer S, Anelli-Monti M, Berger T, Hintringer F, Oldridge N, Benzer W. Psychometric properties of an established heart disease specific health-related quality of life questionnaire for pacemaker patients. *Qual Life Res* 2005;14:1937-42.

18. Goette A, Kalman JM, Aguinaga L, et al. EHRA/HRS/APHRS/SOLAECE expert consensus on Atrial cardiomyopathies: Definition, characterisation, and clinical implication. *J Arrhythm* 2016;32:247-78.
19. Kottkamp H. Fibrotic atrial cardiomyopathy: a specific disease/syndrome supplying substrates for atrial fibrillation, atrial tachycardia, sinus node disease, AV node disease, and thromboembolic complications. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2012;23:797-9.
20. El-Sherif N, Jalife J. Paroxysmal atrioventricular block: are phase 3 and phase 4 block mechanisms or misnomers? *Heart Rhythm* 2009;6:1514-21.
21. Alboni P, Menozzi C, Brignole M, et al. An abnormal neural reflex plays a role in causing syncope in sinus bradycardia. *J Am Coll Cardiol* 1993;22:1130-4.
22. Brignole M, Deharo JC, De Roy L, et al. Syncope due to idiopathic paroxysmal atrioventricular block: long-term follow-up of a distinct form of atrioventricular block. *J Am Coll Cardiol* 2011;58:167-73.
23. Brignole M, Menozzi C, Gianfranchi L, Oddone D, Lolli G, Bertulla A. Neurally mediated syncope detected by carotid sinus massage and head-up tilt test in sick sinus syndrome. *Am J Cardiol* 1991;68:1032-6.
24. Burri H, Starck C. EHRA expert consensus statement and practical guide on optimal implantation technique for conventional pacemakers and implantable cardioverter- defibrillators: endorsed by the Heart Rhythm Society (HRS), the Asia Pacific Heart Rhythm Society (APHRS), and the Latin-American Heart Rhythm Society (LAHRS)-a role for postoperative ultrasound? Authors' reply. *Europace* 2022; 24:523-4.
25. Auricchio A, Stellbrink C, Block M, et al. Effect of pacing chamber and atrioventricular delay on acute systolic function of paced patients with congestive heart failure. The Pacing Therapies for Congestive Heart Failure Study Group. The Guidant Congestive Heart Failure Research Group. *Circulation* 1999;99:2993-3001.
26. Tang AS, Wells GA, Talajic M, et al. Cardiac-resynchronization therapy for mild-to- moderate heart failure. *N Engl J Med* 2010;363:2385-95.
27. Saxon LA, Bristow MR, Boehmer J, et al. Predictors of sudden cardiac death and appropriate shock in the Comparison of Medical Therapy, Pacing, and Defibrillation in Heart Failure (COMPANION) Trial. *Circulation* 2006;114:2766-72.
28. Cleland JG, Daubert JC, Erdmann E, et al. The effect of cardiac resynchronization on morbidity and mortality in heart failure. *N Engl J Med* 2005;352:1539-49.
29. Moss AJ, Hall WJ, Cannom DS, et al. Cardiac-resynchronization therapy for the prevention of heart-failure events. *N Engl J Med* 2009;361:1329-38.
30. Gin J, Chow CL, Voskoboinik A, et al. Improved outcomes of conduction system pacing in heart failure with reduced ejection fraction: A systematic review and meta-analysis. *Heart Rhythm* 2023;20:1178-87.
31. Reynolds D, Duray GZ, Omar R, et al. A Leadless Intracardiac Transcatheter Pacing System. *N Engl J Med* 2016;374:533-41.
32. Reddy VY, Exner DV, Cantillon DJ, et al. Percutaneous Implantation of an Entirely Intracardiac Leadless Pacemaker. *N Engl J Med* 2015;373:1125-35.
33. Roberts PR, Clementy N, Al Samadi F, et al. A leadless pacemaker in the real-world setting: The Micra Transcatheter Pacing System Post-Approval Registry. *Heart Rhythm* 2017;14:1375-9.
34. Knops RE, Reddy VY, Ip JE, et al. A Dual-Chamber Leadless Pacemaker. *N Engl J Med* 2023;388:2360-70.
35. Brignole M, Moya A, de Lange FJ, et al. 2018 ESC Guidelines for the diagnosis and management of syncope. *Eur Heart J* 2018;39:1883-948.
36. Priori SG, Blomström-Lundqvist C, Mazzanti A, et al. 2015 ESC Guidelines for the management of patients with ventricular arrhythmias and the prevention of sudden cardiac death: The Task Force for the Management of Patients with Ventricular Arrhythmias and the Prevention of Sudden Cardiac Death of the European Society of Cardiology (ESC). Endorsed by: Association for European Paediatric and Congenital Cardiology (AEPC). *Eur Heart J* 2015;36:2793-867.
37. Kaess BM, Andersson C, Duncan MS, et al. Familial Clustering of Cardiac Conduction Defects and Pacemaker Insertion. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 2019;12:e007150.
38. Ackerman MJ, Priori SG, Willems S, et al. HRS/EHRA expert consensus statement on the state of genetic testing for the channelopathies and cardiomyopathies this document was developed as a partnership between the Heart Rhythm Society (HRS) and the European Heart Rhythm Association (EHRA). *Heart Rhythm* 2011;8:1308-39.

39. Kerr SR, Pearce MS, Brayne C, Davis RJ, Kenny RA. Carotid sinus hypersensitivity in asymptomatic older persons: implications for diagnosis of syncope and falls. *Arch Intern Med* 2006;166:515-20.
40. Puggioni E, Guiducci V, Brignole M, et al. Results and complications of the carotid sinus massage performed according to the "method of symptoms". *Am J Cardiol* 2002;89:599-601.
41. Brignole M, Ungar A, Casagrande I, et al. Prospective multicentre systematic guideline- based management of patients referred to the Syncope Units of general hospitals. *Europace* 2010;12:109-18.
42. Solari D, Maggi R, Oddone D, et al. Clinical context and outcome of carotid sinus syndrome diagnosed by means of the 'method of symptoms'. *Europace* 2014;16:928-34.
43. Kang KW, Janardhan AH, Jung KT, Lee HS, Lee MH, Hwang HJ. Fragmented QRS as a candidate marker for high-risk assessment in hypertrophic cardiomyopathy. *Heart Rhythm* 2014;11:1433-40.
44. Kim JH, Kang KW, Chin JY, Kim TS, Park JH, Choi YJ. Major determinant of the occurrence of pacing-induced cardiomyopathy in complete atrioventricular block: a multicentre, retrospective analysis over a 15-year period in South Korea. *BMJ Open* 2018;8:e019048.
45. Lee JM, Janardhan AH, Kang KW, et al. Paced QT interval is a better predictor of mortality than the intrinsic QT interval: long-term follow-up study. *Heart Rhythm* 2014;11:1184-9.
46. Sutton R. Reflex Atrioventricular Block. *Front Cardiovasc Med* 2020;7:48.
47. Da Costa D, Brady WJ, Edhouse J. Bradycardias and atrioventricular conduction block. *Bmj* 2002; 324:535-8.
48. Steinberg JS, Varma N, Cygankiewicz I, et al. 2017 ISHNE-HRS expert consensus statement on ambulatory ECG and external cardiac monitoring/telemetry. *Heart Rhythm* 2017;14:e55-e96.
49. Brubaker PH, Kitzman DW. Chronotropic incompetence: causes, consequences, and management. *Circulation* 2011;123:1010-20.
50. Savonen KP, Kiviniemi V, Laukkanen JA, et al. Chronotropic incompetence and mortality in middle-aged men with known or suspected coronary heart disease. *Eur Heart J* 2008;29:1896-902.
51. Byrne JM, Marais HJ, Cheek GA. Exercise-induced complete heart block in a patient with chronic bifascicular block. *J Electrocardiol* 1994;27:339-42.
52. Wissocq L, Ennezat PV, Mouquet F. Exercise-induced high-degree atrioventricular block. *Arch Cardiovasc Dis* 2009;102:733-5.
53. Woelfel AK, Simpson RJ, Jr, Gettes LS, Foster JR. Exercise-induced distal atrioventricular block. *J Am Coll Cardiol* 1983;2:578-81.
54. Sumiyoshi M, Nakata Y, Yasuda M, et al. Clinical and electrophysiologic features of exercise-induced atrioventricular block. *Am Heart J* 1996;132:1277-81.
55. Oliveros RA, Seaworth J, Weiland FL, Boucher CA. Intermittent left anterior hemiblock during treadmill exercise test. Correlation with coronary arteriogram. *Chest* 1977;72:492-4.
56. Bharati S, Dhingra RC, Lev M, Towne WD, Rhimtoola SH, Rosen KM. Conduction system in a patient with Prinzmetal's angina and transient atrioventricular block. *Am J Cardiol* 1977;39:120-5.
57. Knuuti J, Wijns W, Saraste A, et al. 2019 ESC Guidelines for the diagnosis and management of chronic coronary syndromes. *Eur Heart J* 2020;41:407-77.
58. Halliday BP, Gulati A, Ali A, et al. Association Between Midwall Late Gadolinium Enhancement and Sudden Cardiac Death in Patients With Dilated Cardiomyopathy and Mild and Moderate Left Ventricular Systolic Dysfunction. *Circulation* 2017;135:2106-15.
59. Kazmirczak F, Chen KA, Adabag S, et al. Assessment of the 2017 AHA/ACC/HRS Guideline Recommendations for Implantable Cardioverter-Defibrillator Implantation in Cardiac Sarcoidosis. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 2019;12:e007488.
60. Aquaro GD, Perfetti M, Camastra G, et al. Cardiac MR With Late Gadolinium Enhancement in Acute Myocarditis With Preserved Systolic Function: ITAMY Study. *J Am Coll Cardiol* 2017;70:1977-87.
61. Ferreira VM, Schulz-Menger J, Holmvang G, et al. Cardiovascular Magnetic Resonance in Nonischemic Myocardial Inflammation: Expert Recommendations. *J Am Coll Cardiol* 2018;72:3158-76.
62. Zhou Y, Lower EE, Li HP, Costea A, Attari M, Baughman RP. Cardiac Sarcoidosis: The Impact of Age and Implanted Devices on Survival. *Chest* 2017;151:139-48.
63. Kandolin R, Lehtonen J, Kupari M. Cardiac sarcoidosis and giant cell myocarditis as causes of atrioventricular block in young and middle-aged adults. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 2011;4:303-9.

64. Turner JJ. Hypercalcaemia - presentation and management *Clin Med (Lond)* 2017;17:270-3.
65. Chon SB, Kwak YH, Hwang SS, Oh WS, Bae JH. Severe hyperkalemia can be detected immediately by quantitative electrocardiography and clinical history in patients with symptomatic or extreme bradycardia: a retrospective cross-sectional study. *J Crit Care* 2013;28:1112.e7-e13.
66. Mandell BF. Cardiovascular involvement in systemic lupus erythematosus. *Semin Arthritis Rheum* 1987;17:126-41.
67. Wan D, Blakely C, Branscombe P, Suarez-Fuster L, Glover B, Baranchuk A. Lyme Carditis and High-Degree Atrioventricular Block. *Am J Cardiol* 2018;121:1102-4.
68. Nakayama Y, Ohno M, Yonemura S, et al. A case of transient 2:1 atrioventricular block, resolved by thyroxine supplementation for subclinical hypothyroidism. *Pacing Clin Electrophysiol* 2006;29:106-8.
69. Noble K, Isles C. Hyperkalaemia causing profound bradycardia. *Heart* 2006;92:1063.
70. Ishikawa T, Tsuji Y, Makita N. Inherited bradyarrhythmia: A diverse genetic background. *J Arrhythm* 2016;32:352-8.
71. Smits JP, Veldkamp MW, Wilde AA. Mechanisms of inherited cardiac conduction disease. *Europace* 2005;7:122-37.
72. Priori SG, Wilde AA, Horie M, et al. HRS/EHRA/APHRS expert consensus statement on the diagnosis and management of patients with inherited primary arrhythmia syndromes: document endorsed by HRS, EHRA, and APHRS in May 2013 and by ACCF, AHA, PACES, and AEPC in June 2013. *Heart Rhythm* 2013;10:1932-63.
73. Brodsky M, Wu D, Denes P, Kanakis C, Rosen KM. Arrhythmias documented by 24 hour continuous electrocardiographic monitoring in 50 male medical students without apparent heart disease. *Am J Cardiol* 1977;39:390-5.
74. Clarke JM, Hamer J, Shelton JR, Taylor S, Venning GR. The rhythm of the normal human heart. *Lancet* 1976;1:508-12.
75. Fleg JL, Kennedy HL. Cardiac arrhythmias in a healthy elderly population: detection by 24-hour ambulatory electrocardiography. *Chest* 1982;81:302-7.
76. Grimm W, Hoffmann J, Menz V, et al. Electrophysiologic evaluation of sinus node function and atrioventricular conduction in patients with prolonged ventricular asystole during obstructive sleep apnea. *Am J Cardiol* 1996;77:1310-4.
77. Zwillich C, Devlin T, White D, Douglas N, Weil J, Martin R. Bradycardia during sleep apnea. Characteristics and mechanism. *J Clin Invest* 1982;69:1286-92.
78. Guilleminault C, Pool P, Motta J, Gillis AM. Sinus arrest during REM sleep in young adults. *N Engl J Med* 1984;311:1006-10.
79. Sutton R, Fedorowski A, Olshansky B, et al. Tilt testing remains a valuable asset. *Eur Heart J* 2021;42:1654-60.
80. Gann D, Tolentino A, Samet P. Electrophysiologic evaluation of elderly patients with sinus bradycardia: a long-term follow-up study. *Ann Intern Med* 1979;90:24-9.
81. Menozzi C, Brignole M, Alboni P, et al. The natural course of untreated sick sinus syndrome and identification of the variables predictive of unfavorable outcome. *Am J Cardiol* 1998;82:1205-9.
82. McAnulty JH, Rahimtoola SH, Murphy E, et al. Natural history of "high-risk" bundle-branch block: final report of a prospective study. *N Engl J Med* 1982;307:137-43.
83. Gronda M, Magnani A, Occhetta E, et al. Electrophysiological study of atrio-ventricular block and ventricular conduction defects. Prognostic and therapeutical implications. *G Ital Cardiol* 1984;14:768-73.
84. Bergfeldt L, Edvardsson N, Rosenqvist M, Vallin H, Edhag O. Atrioventricular block progression in patients with bifascicular block assessed by repeated electrocardiography and a bradycardia-detecting pacemaker. *Am J Cardiol* 1994;74:1129-32.
85. Kaul U, Dev V, Narula J, Malhotra AK, Talwar KK, Bhatia ML. Evaluation of patients with bundle branch block and "unexplained" syncope: a study based on comprehensive electrophysiologic testing and ajmaline stress. *Pacing Clin Electrophysiol* 1988;11:289-97.
86. Moya A, García-Civera R, Croci F, et al. Diagnosis, management, and outcomes of patients with syncope and bundle branch block. *Eur Heart J* 2011;32:1535-41.
87. Twidale N, Heddle WF, Tonkin AM. Procainamide administration during electrophysiology study--utility

- as a provocative test for intermittent atrioventricular block. *Pacing Clin Electrophysiol* 1988;11:1388-97.
88. Scheinman MM, Peters RW, Suavé MJ, et al. Value of the H-Q interval in patients with bundle branch block and the role of prophylactic permanent pacing. *Am J Cardiol* 1982;50:1316-22.
 89. Roca-Luque I, Oristrell G, Francisco-Pasqual J, et al. Predictors of positive electrophysiological study in patients with syncope and bundle branch block: PR interval and type of conduction disturbance. *Clin Cardiol* 2018;41:1537-42.
 90. Brignole M, Menozzi C, Moya A, et al. Mechanism of syncope in patients with bundle branch block and negative electrophysiological test. *Circulation* 2001;104:2045-50.
 91. Rubenstein JJ, Schulman CL, Yurchak PM, DeSanctis RW. Clinical spectrum of the sick sinus syndrome. *Circulation* 1972;46:5-13.
 92. Short DS. The syndrome of alternating bradycardia and tachycardia. *Br Heart J* 1954; 16:208-14.
 93. Härtel G, Talvensaari T. Treatment of sinoatrial syndrome with permanent cardiac pacing in 90 patients. *Acta Med Scand* 1975;198:341-7.
 94. Rasmussen K. Chronic sinus node disease: natural course and indications for pacing. *Eur Heart J* 1981;2:455-9.
 95. Sasaki Y, Shimotori M, Akahane K, et al. Long-term follow-up of patients with sick sinus syndrome: a comparison of clinical aspects among unpaced, ventricular inhibited paced, and physiologically paced groups. *Pacing Clin Electrophysiol* 1988;11:1575-83.
 96. Goldberger JJ, Johnson NP, Gidea C. Significance of asymptomatic bradycardia for subsequent pacemaker implantation and mortality in patients >60 years of age. *Am J Cardiol* 2011;108:857-61.
 97. Nielsen JC, Thomsen PE, Højberg S, et al. A comparison of single-lead atrial pacing with dual-chamber pacing in sick sinus syndrome. *Eur Heart J* 2011;32:686-96.
 98. Asseman P, Berzin B, Desry D, et al. Persistent sinus nodal electrograms during abnormally prolonged postpacing atrial pauses in sick sinus syndrome in humans: sinoatrial block vs overdrive suppression. *Circulation* 1983;68:33-41.
 99. Chen YW, Bai R, Lin T, et al. Pacing or ablation: which is better for paroxysmal atrial fibrillation-related tachycardia-bradycardia syndrome? *Pacing Clin Electrophysiol* 2014;37:403-11.
 100. Inada K, Yamane T, Tokutake K, et al. The role of successful catheter ablation in patients with paroxysmal atrial fibrillation and prolonged sinus pauses: outcome during a 5-year follow-up. *Europace* 2014; 16:208-13.
 101. Jackson LR, 2nd, Rathakrishnan B, Campbell K, et al. Sinus Node Dysfunction and Atrial Fibrillation: A Reversible Phenomenon? *Pacing Clin Electrophysiol* 2017;40:442-50.
 102. Connolly SJ, Kerr CR, Gent M, et al. Effects of physiologic pacing versus ventricular pacing on the risk of stroke and death due to cardiovascular causes. Canadian Trial of Physiologic Pacing Investigators. *N Engl J Med* 2000;342:1385-91.
 103. Healey JS, Toff WD, Lamas GA, et al. Cardiovascular outcomes with atrial-based pacing compared with ventricular pacing: meta-analysis of randomized trials, using individual patient data. *Circulation* 2006;114:11-7.
 104. Lamas GA, Lee KL, Sweeney MO, et al. Ventricular pacing or dual-chamber pacing for sinus-node dysfunction. *N Engl J Med* 2002;346:1854-62.
 105. Ross RA, Kenny RA. Pacemaker syndrome in older people. *Age Ageing* 2000;29:13-5.
 106. Mitsuoka T, Kenny RA, Yeung TA, Chan SL, Perrins JE, Sutton R. Benefits of dual chamber pacing in sick sinus syndrome. *Br Heart J* 1988;60:338-47.
 107. Sweeney MO, Bank AJ, Nsah E, et al. Minimizing ventricular pacing to reduce atrial fibrillation in sinus-node disease. *N Engl J Med* 2007;357:1000-8.
 108. Andersen HR, Nielsen JC, Thomsen PE, et al. Long-term follow-up of patients from a randomised trial of atrial versus ventricular pacing for sick-sinus syndrome. *Lancet* 1997;350:1210-6.
 109. Andersen HR, Thuesen L, Bagger JP, Vesterlund T, Thomsen PE. Prospective randomised trial of atrial versus ventricular pacing in sick-sinus syndrome. *Lancet* 1994;344:1523-8.
 110. Wilkoff BL, Cook JR, Epstein AE, et al. Dual-chamber pacing or ventricular backup pacing in patients with an implantable defibrillator: the Dual Chamber and VVI Implantable Defibrillator (DAVID) Trial. *Jama* 2002;288:3115-23.

111. Cheng S, Keyes MJ, Larson MG, et al. Long-term outcomes in individuals with prolonged PR interval or first-degree atrioventricular block. *Jama* 2009;301:2571-7.
112. Nielsen JC, Thomsen PE, Højberg S, et al. Atrial fibrillation in patients with sick sinus syndrome: the association with PQ-interval and percentage of ventricular pacing. *Europace* 2012;14:682-9.
113. Auricchio A, Ellenbogen KA. Reducing Ventricular Pacing Frequency in Patients With Atrioventricular Block: Is It Time to Change the Current Pacing Paradigm? *Circ Arrhythm Electrophysiol* 2016;9.
114. Shurrab M, Healey JS, Haj-Yahia S, et al. Reduction in unnecessary ventricular pacing fails to affect hard clinical outcomes in patients with preserved left ventricular function: a meta-analysis. *Europace* 2017;19:282-8.
115. Jankelson L, Bordachar P, Strik M, Ploux S, Chinitz L. Reducing right ventricular pacing burden: algorithms, benefits, and risks. *Europace* 2019;21:539-47.
116. Pascale P, Pruvot E, Graf D. Pacemaker syndrome during managed ventricular pacing mode: what is the mechanism? *J Cardiovasc Electrophysiol* 2009;20:574-6.
117. Mansour F, Khairy P. Electrical storm due to managed ventricular pacing. *Heart Rhythm* 2012;9:842-3.
118. Sekita G, Hayashi H, Nakazato Y, Daida H. Ventricular fibrillation induced by short-long-short sequence during managed ventricular pacing. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2011;22:1181.
119. Vavasis C, Slotwiner DJ, Goldner BG, Cheung JW. Frequent recurrent polymorphic ventricular tachycardia during sleep due to managed ventricular pacing. *Pacing Clin Electrophysiol* 2010;33:641-4.
120. van Mechelen R, Schoonderwoerd R. Risk of managed ventricular pacing in a patient with heart block. *Heart Rhythm* 2006;3:1384-5.
121. Stockburger M, Boveda S, Moreno J, et al. Long-term clinical effects of ventricular pacing reduction with a changeover mode to minimize ventricular pacing in a general pacemaker population. *Eur Heart J* 2015;36:151-7.
122. Healey JS, Connolly SJ, Gold MR, et al. Subclinical atrial fibrillation and the risk of stroke. *N Engl J Med* 2012;366:120-9.
123. Munawar DA, Mahajan R, Agbaedeng TA, et al. Implication of ventricular pacing burden and atrial pacing therapies on the progression of atrial fibrillation: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Heart Rhythm* 2019;16:1204-14.
124. Padeletti L, Pürerfellner H, Mont L, et al. New-generation atrial antitachycardia pacing (Reactive ATP) is associated with reduced risk of persistent or permanent atrial fibrillation in patients with bradycardia: Results from the MINERVA randomized multicenter international trial. *Heart Rhythm* 2015;12:1717-25.
125. Pujol-López M, San Antonio R, Tolosana JM, Mont L. Programming Pacemakers to Reduce and Terminate Atrial Fibrillation. *Curr Cardiol Rep* 2019;21:127.
126. Boriani G, Tukkie R, Manolis AS, et al. Atrial antitachycardia pacing and managed ventricular pacing in bradycardia patients with paroxysmal or persistent atrial tachyarrhythmias: the MINERVA randomized multicentre international trial. *Eur Heart J* 2014;35:2352-62.
127. Friedberg CK, Donoso E, Stein WG. NONSURGICAL ACQUIRED HEART BLOCK. *Ann N Y Acad Sci* 1964;111:835-47.
128. Mymin D, Mathewson FA, Tate RB, Manfreda J. The natural history of primary first-degree atrioventricular heart block. *N Engl J Med* 1986;315:1183-7.
129. Barold SS, Ilercil A, Leonelli F, Herweg B. First-degree atrioventricular block. Clinical manifestations, indications for pacing, pacemaker management & consequences during cardiac resynchronization. *J Interv Card Electrophysiol* 2006;17:139-52.
130. Shaw DB, Gowers JI, Kekwick CA, New KH, Whistance AW. Is Mobitz type I atrioventricular block benign in adults? *Heart* 2004;90:169-74.
131. Strasberg B, Amat YLF, Dhingra RC, et al. Natural history of chronic second-degree atrioventricular nodal block. *Circulation* 1981;63:1043-9.
132. Dhingra RC, Denes P, Wu D, Chuquimia R, Rosen KM. The significance of second degree atrioventricular block and bundle branch block. Observations regarding site and type of block. *Circulation* 1974; 49:638-46.
133. Lee S, Wellens HJ, Josephson ME. Paroxysmal atrioventricular block. *Heart Rhythm* 2009;6:1229-34.
134. Toff WD, Camm AJ, Skehan JD. Single-chamber versus dual-chamber pacing for high-grade atrioventricular

- block. *N Engl J Med* 2005;353:145-55.
135. Sweeney MO, Hellkamp AS, Ellenbogen KA, et al. Adverse effect of ventricular pacing on heart failure and atrial fibrillation among patients with normal baseline QRS duration in a clinical trial of pacemaker therapy for sinus node dysfunction. *Circulation* 2003;107:2932-7.
 136. Tayal B, Fruehlund P, Sogaard P, et al. Incidence of heart failure after pacemaker implantation: a nationwide Danish Registry-based follow-up study. *Eur Heart J* 2019;40:3641-8.
 137. Khurshid S, Epstein AE, Verdino RJ, et al. Incidence and predictors of right ventricular pacing-induced cardiomyopathy. *Heart Rhythm* 2014;11:1619-25.
 138. Curtis AB, Worley SJ, Adamson PB, et al. Biventricular pacing for atrioventricular block and systolic dysfunction. *N Engl J Med* 2013;368:1585-93.
 139. Castelnovo E, Stein K, Pitt M, Garside R, Payne E. The effectiveness and cost-effectiveness of dual-chamber pacemakers compared with single-chamber pacemakers for bradycardia due to atrioventricular block or sick sinus syndrome: systematic review and economic evaluation. *Health Technol Assess* 2005;9:iii, xi-xiii, 1-246.
 140. Pitcher D, Papouchado M, James MA, Rees JR. Twenty four hour ambulatory electro- cardiography in patients with chronic atrial fibrillation. *Br Med J (Clin Res Ed)* 1986;292:594.
 141. Chatterjee NA, Upadhyay GA, Ellenbogen KA, McAlister FA, Choudhry NK, Singh JP. Atrioventricular nodal ablation in atrial fibrillation: a meta-analysis and systematic review. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 2012;5:68-76.
 142. Brignole M, Pokushalov E, Pentimalli F, et al. A randomized controlled trial of atrioventricular junction ablation and cardiac resynchronization therapy in patients with permanent atrial fibrillation and narrow QRS. *Eur Heart J* 2018;39:3999-4008.
 143. Englund A, Bergfeldt L, Rehnqvist N, Aström H, Rosenqvist M. Diagnostic value of programmed ventricular stimulation in patients with bifascicular block: a prospective study of patients with and without syncope. *J Am Coll Cardiol* 1995;26:1508-15.
 144. Morady F, Higgins J, Peters RW, et al. Electrophysiologic testing in bundle branch block and unexplained syncope. *Am J Cardiol* 1984;54:587-91.
 145. Tabrizi F, Rosenqvist M, Bergfeldt L, Englund A. Long-term prognosis in patients with bifascicular block--the predictive value of noninvasive and invasive assessment. *J Intern Med* 2006;260:31-8.
 146. Olshansky B, Hahn EA, Hartz VL, Prater SP, Mason JW. Clinical significance of syncope in the electrophysiologic study versus electrocardiographic monitoring (ESVEM) trial. The ESVEM Investigators. *Am Heart J* 1999;137:878-86.
 147. Santini M, Castro A, Giada F, et al. Prevention of syncope through permanent cardiac pacing in patients with bifascicular block and syncope of unexplained origin: the PRESS study. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 2013;6:101-7.
 148. Brignole M, Ammirati F, Arabia F, et al. Assessment of a standardized algorithm for cardiac pacing in older patients affected by severe unpredictable reflex syncope. *Eur Heart J* 2015;36:1529-35.
 149. Brignole M, Arabia F, Ammirati F, et al. Standardized algorithm for cardiac pacing in older patients affected by severe unpredictable reflex syncope: 3-year insights from the Syncope Unit Project 2 (SUP 2) study. *Europace* 2016;18:1427-33.
 150. Sutton R, Brignole M. Twenty-eight years of research permit reinterpretation of tilt-testing: hypotensive susceptibility rather than diagnosis. *Eur Heart J* 2014;35:2211-2.
 151. Brignole M, Menozzi C, Lolli G, Bottoni N, Gaggioli G. Long-term outcome of paced and nonpaced patients with severe carotid sinus syndrome. *Am J Cardiol* 1992;69:1039-43.
 152. Sutton R, Brignole M, Menozzi C, et al. Dual-chamber pacing in the treatment of neurally mediated tilt-positive cardioinhibitory syncope : pacemaker versus no therapy: a multicenter randomized study. The Vasovagal Syncope International Study (VASIS) Investigators. *Circulation* 2000;102:294-9.
 153. Ammirati F, Colivicchi F, Santini M. Permanent cardiac pacing versus medical treatment for the prevention of recurrent vasovagal syncope: a multicenter, randomized, controlled trial. *Circulation* 2001;104:52-7.
 154. Claesson JE, Kristensson BE, Edvardsson N, Währborg P. Less syncope and milder symptoms in patients treated with pacing for induced cardioinhibitory carotid sinus syndrome: a randomized study. *Europace* 2007;9:932-6.

155. Brignole M, Menozzi C, Moya A, et al. Pacemaker therapy in patients with neurally mediated syncope and documented asystole: Third International Study on Syncope of Uncertain Etiology (ISSUE-3): a randomized trial. *Circulation* 2012;125:2566-71.
156. Russo V, Rago A, Papa AA, et al. The effect of dual-chamber closed-loop stimulation on syncope recurrence in healthy patients with tilt-induced vasovagal cardioinhibitory syncope: a prospective, randomised, single-blind, crossover study. *Heart* 2013;99:1609-13.
157. Baron-Esquivias G, Morillo CA, Moya-Mitjans A, et al. Dual-Chamber Pacing With Closed Loop Stimulation in Recurrent Reflex Vasovagal Syncope: The SPAIN Study. *J Am Coll Cardiol* 2017;70:1720-8.
158. Brignole M, Russo V, Arabia F, et al. Cardiac pacing in severe recurrent reflex syncope and tilt-induced asystole. *Eur Heart J* 2021;42:508-16.
159. Russo V, Rago A, De Rosa M, et al. Does cardiac pacing reduce syncopal recurrences in cardioinhibitory vasovagal syncope patients selected with head-up tilt test? Analysis of a 5-year follow-up database. *Int J Cardiol* 2018;270:149-53.
160. Connolly SJ, Sheldon R, Thorpe KE, et al. Pacemaker therapy for prevention of syncope in patients with recurrent severe vasovagal syncope: Second Vasovagal Pacemaker Study (VPS II): a randomized trial. *Jama* 2003;289:2224-9.
161. Raviele A, Giada F, Menozzi C, et al. A randomized, double-blind, placebo-controlled study of permanent cardiac pacing for the treatment of recurrent tilt-induced vasovagal syncope. The vasovagal syncope and pacing trial (SYNPACE). *Eur Heart J* 2004;25:1741-8.
162. Flammang D, Church TR, De Roy L, et al. Treatment of unexplained syncope: a multicenter, randomized trial of cardiac pacing guided by adenosine 5'-triphosphate testing. *Circulation* 2012;125:31-6.
163. Palmisano P, Dell'Era G, Russo V, et al. Effects of closed-loop stimulation vs. DDD pacing on haemodynamic variations and occurrence of syncope induced by head-up tilt test in older patients with refractory cardioinhibitory vasovagal syncope: the Tilt test-Induced REsponse in Closed-loop Stimulation multicentre, prospective, single blind, randomized study. *Europace* 2018;20:859-66.
164. Raviele A, Proclemer A, Gasparini G, et al. Long-term follow-up of patients with unexplained syncope and negative electrophysiologic study. *Eur Heart J* 1989;10:127-32.
165. Proclemer A, Facchin D, Feruglio GA. [Syncope of unknown origin after electrophysiologic study: is the treatment with pacemaker useful?]. *G Ital Cardiol* 1990;20:195-201.
166. Parry SW, Steen N, Bexton RS, Tynan M, Kenny RA. Pacing in elderly recurrent fallers with carotid sinus hypersensitivity: a randomised, double-blind, placebo controlled crossover trial. *Heart* 2009; 95:405-9.
167. Somma V, Ha FJ, Palmer S, Mohamed U, Agarwal S. Pacing-induced cardiomyopathy: A systematic review and meta-analysis of definition, prevalence, risk factors, and management. *Heart Rhythm* 2023;20:282-90.
168. Chung MK, Patton KK, Lau CP, et al. 2023 HRS/APHS/LAHS guideline on cardiac physiologic pacing for the avoidance and mitigation of heart failure. *Heart Rhythm* 2023;20:e17-e91.
169. Nahlawi M, Waligora M, Spies SM, Bonow RO, Kadish AH, Goldberger JJ. Left ventricular function during and after right ventricular pacing. *J Am Coll Cardiol* 2004;44:1883-8.
170. Sweeney MO, Prinzen FW. A new paradigm for physiologic ventricular pacing. *J Am Coll Cardiol* 2006;47:282-8.
171. Cho SW, Gwag HB, Hwang JK, et al. Clinical features, predictors, and long-term prognosis of pacing-induced cardiomyopathy. *Eur J Heart Fail* 2019;21:643-51.
172. Kaye G, Ng JY, Ahmed S, Valencia D, Harrop D, Ng ACT. The Prevalence of Pacing-Induced Cardiomyopathy (PICM) in Patients With Long Term Right Ventricular Pacing - Is it a Matter Of Definition? *Heart Lung Circ* 2019;28:1027-33.
173. Kiehl EL, Makki T, Kumar R, et al. Incidence and predictors of right ventricular pacing-induced cardiomyopathy in patients with complete atrioventricular block and preserved left ventricular systolic function. *Heart Rhythm* 2016;13:2272-8.
174. Curtis AB, Worley SJ, Chung ES, Li P, Christman SA, St John Sutton M. Improvement in Clinical Outcomes With Biventricular Versus Right Ventricular Pacing: The BLOCK HF Study. *J Am Coll Cardiol* 2016; 67:2148-57.
175. Abdelrahman M, Subzposh FA, Beer D, et al. Clinical Outcomes of His Bundle Pacing Compared to

- Right Ventricular Pacing. *J Am Coll Cardiol* 2018;71:2319-30.
176. Sharma PS, Patel NR, Ravi V, et al. Clinical outcomes of left bundle branch area pacing compared to right ventricular pacing: Results from the Geisinger-Rush Conduction System Pacing Registry. *Heart Rhythm* 2022;19:3-11.
 177. Glikson M, Nielsen JC, Kronborg MB, et al. 2021 ESC Guidelines on cardiac pacing and cardiac resynchronization therapy. *Eur Heart J* 2021;42:3427-520.
 178. Funck RC, Mueller HH, Lunati M, et al. Characteristics of a large sample of candidates for permanent ventricular pacing included in the Biventricular Pacing for Atrio-ventricular Block to Prevent Cardiac Desynchronization Study (BioPace). *Europace* 2014;16:354-62.
 179. Gwag HB, Chun KJ, Hwang JK, et al. Comparison of De Novo versus Upgrade Cardiac Resynchronization Therapy; Focused on the Upgrade for Pacing-Induced Cardiomyopathy. *Yonsei Med J* 2017;58:703-9.
 180. Kaza N, Htun V, Miyazawa A, et al. Upgrading right ventricular pacemakers to biventricular pacing or conduction system pacing: a systematic review and meta-analysis. *Europace* 2023;25:1077-86.
 181. Ponnusamy SS, Vijayaraman P. Left Bundle Branch Block-Induced Cardiomyopathy: Insights From Left Bundle Branch Pacing. *JACC Clin Electrophysiol* 2021;7:1155-65.
 182. Singh R, Devabhaktuni S, Ezzeddine F, Simon J, Khaira K, Dandamudi G. His-bundle pacing: A novel treatment for left bundle branch block-mediated cardiomyopathy. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2020; 31:2730-6.
 183. Vaillant C, Martins RP, Donal E, et al. Resolution of left bundle branch block-induced cardiomyopathy by cardiac resynchronization therapy. *J Am Coll Cardiol* 2013;61:1089-95.
 184. Kusumoto FM, Schoenfeld MH, Barrett C, et al. 2018 ACC/AHA/HRS Guideline on the Evaluation and Management of Patients With Bradycardia and Cardiac Conduction Delay: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines and the Heart Rhythm Society. *J Am Coll Cardiol* 2019;74:e51-e156.
 185. Slotwiner DJ, Raitt MH, Del-Carpio Munoz F, Mulpuru SK, Nasser N, Peterson PN. Impact of physiologic pacing versus right ventricular pacing among patients with left ventricular ejection fraction greater than 35%: A systematic review for the 2018 ACC/AHA/HRS guideline on the evaluation and management of patients with bradycardia and cardiac conduction delay: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines and the Heart Rhythm Society. *Heart Rhythm* 2019;16:e280-e98.
 186. Su L, Wang S, Wu S, et al. Long-Term Safety and Feasibility of Left Bundle Branch Pacing in a Large Single-Center Study. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 2021;14:e009261.
 187. Chen X, Jin Q, Bai J, et al. The feasibility and safety of left bundle branch pacing vs. right ventricular pacing after mid-long-term follow-up: a single-centre experience. *Europace* 2020;22:ii36-ii44.
 188. Padala SK, Master VM, Terricabras M, et al. Initial Experience, Safety, and Feasibility of Left Bundle Branch Area Pacing: A Multicenter Prospective Study. *JACC Clin Electrophysiol* 2020;6:1773-82.
 189. Huang W, Wu S, Vijayaraman P, et al. Cardiac Resynchronization Therapy in Patients With Nonischemic Cardiomyopathy Using Left Bundle Branch Pacing. *JACC Clin Electrophysiol* 2020;6:849-58.
 190. Vijayaraman P, Ponnusamy S, Cano Ó, et al. Left Bundle Branch Area Pacing for Cardiac Resynchronization Therapy: Results From the International LBBAP Collaborative Study Group. *JACC Clin Electrophysiol* 2021;7:135-47.
 191. Wu S, Su L, Vijayaraman P, et al. Left Bundle Branch Pacing for Cardiac Resynchronization Therapy: Nonrandomized On-Treatment Comparison With His Bundle Pacing and Biventricular Pacing. *Can J Cardiol* 2021;37:319-28.
 192. Liu J, Sun F, Wang Z, et al. Left Bundle Branch Area Pacing vs. Biventricular Pacing for Cardiac Resynchronization Therapy: A Meta-Analysis. *Front Cardiovasc Med* 2021;8:669301.
 193. Ravi V, Sharma PS, Patel NR, et al. New-Onset Atrial Fibrillation in Left Bundle Branch Area Pacing Compared With Right Ventricular Pacing. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 2022;15:e010710.
 194. Kronborg MB, Mortensen PT, Poulsen SH, Gerdes JC, Jensen HK, Nielsen JC. His or para-His pacing preserves left ventricular function in atrioventricular block: a double-blind, randomized, crossover study. *Europace* 2014;16:1189-96.
 195. Sharma PS, Dandamudi G, Naperkowski A, et al. Permanent His-bundle pacing is feasible, safe, and superior to right ventricular pacing in routine clinical practice. *Heart Rhythm* 2015;12:305-12.

196. Vijayaraman P, Naperkowski A, Subzposh FA, et al. Permanent His-bundle pacing: Long-term lead performance and clinical outcomes. *Heart Rhythm* 2018;15:696-702.
197. Fernandes GC, Knijnik L, Lopez J, et al. Network meta-analysis of His bundle, biventricular, or right ventricular pacing as a primary strategy for advanced atrioventricular conduction disease with normal or mildly reduced ejection fraction. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2020;31:1482-92.
198. Li X, Zhang J, Qiu C, et al. Clinical Outcomes in Patients With Left Bundle Branch Area Pacing vs. Right Ventricular Pacing for Atrioventricular Block. *Front Cardiovasc Med* 2021;8:685253.
199. Zhang S, Guo J, Tao A, Zhang B, Bao Z, Zhang G. Clinical outcomes of left bundle branch pacing compared to right ventricular apical pacing in patients with atrioventricular block. *Clin Cardiol* 2021;44:481-7.
200. Albertsen AE, Mortensen PT, Jensen HK, Poulsen SH, Egeblad H, Nielsen JC. Adverse effect of right ventricular pacing prevented by biventricular pacing during long-term follow-up: a randomized comparison. *Eur J Echocardiogr* 2011;12:767-72.
201. Yu CM, Fang F, Luo XX, Zhang Q, Azlan H, Razali O. Long-term follow-up results of the pacing to avoid cardiac enlargement (PACE) trial. *Eur J Heart Fail* 2014;16:1016-25.
202. Stockburger M, Gómez-Doblas JJ, Lamas G, et al. Preventing ventricular dysfunction in pacemaker patients without advanced heart failure: results from a multicentre international randomized trial (PREVENT-HF). *Eur J Heart Fail* 2011;13:633-41.
203. Sharma PS, Dandamudi G, Herweg B, et al. Permanent His-bundle pacing as an alternative to biventricular pacing for cardiac resynchronization therapy: a multicenter experience. *Heart rhythm* 2018;15:413-20.
204. Vijayaraman P, Naperkowski A, Ellenbogen KA, Dandamudi G. Electrophysiologic Insights Into Site of Atrioventricular Block: Lessons From Permanent His Bundle Pacing. *JACC Clin Electrophysiol* 2015;1:571-81.
205. Wang J, Liang Y, Wang W, et al. Left bundle branch area pacing is superior to right ventricular septum pacing concerning depolarization-repolarization reserve. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2020;31:313-22.
206. Jastrzębski M, Kiełbasa G, Cano O, et al. Left bundle branch area pacing outcomes: the multicentre European MELOS study. *Eur Heart J* 2022;43:4161-73.
207. Chung ES, Katra RP, Ghio S, et al. Cardiac resynchronization therapy may benefit patients with left ventricular ejection fraction > 35%: a PROSPECT trial substudy. *Eur J Heart Fail* 2010;12:581-7.
208. Kutyla V, Kloppe A, Zareba W, et al. The influence of left ventricular ejection fraction on the effectiveness of cardiac resynchronization therapy: MADIT-CRT (Multicenter Automatic Defibrillator Implantation Trial With Cardiac Resynchronization Therapy). *J Am Coll Cardiol* 2013;61:936-44.
209. Zhang W, Huang J, Qi Y, et al. Cardiac resynchronization therapy by left bundle branch area pacing in patients with heart failure and left bundle branch block. *Heart Rhythm* 2019;16:1783-90.
210. Dreger H, Maethner K, Bondke H, Baumann G, Melzer C. Pacing-induced cardiomyopathy in patients with right ventricular stimulation for >15 years. *Europace* 2012;14:238-42.
211. Birnie DH, Ha A, Higginson L, et al. Impact of QRS morphology and duration on outcomes after cardiac resynchronization therapy: Results from the Resynchronization- Defibrillation for Ambulatory Heart Failure Trial (RAFT). *Circ Heart Fail* 2013;6:1190-8.
212. Santini M, Di Fusco SA, Santini A, et al. Prevalence and predictor factors of severe venous obstruction after cardiovascular electronic device implantation. *Europace* 2016;18:1220-6.
213. Tułeczki Ł, Polewczyk A, Jacheć W, et al. Analysis of Risk Factors for Major Complications of 1500 Transvenous Lead Extraction Procedures with Especial Attention to Tricuspid Valve Damage. *Int J Environ Res Public Health* 2021;18.
214. Rickard J, Johnston DR, Price J, et al. Reverse ventricular remodeling and long-term survival in patients undergoing cardiac resynchronization with surgically versus percutaneously placed left ventricular pacing leads. *Heart Rhythm* 2015;12:517-23.
215. Garikipati NV, Mittal S, Chaudhry F, et al. Comparison of endovascular versus epicardial lead placement for resynchronization therapy. *Am J Cardiol* 2014;113:840-4.
216. van Dijk VF, Fanggiday J, Balt JC, et al. Effects of epicardial versus transvenous left ventricular lead placement on left ventricular function and cardiac perfusion in cardiac resynchronization therapy: A randomized clinical trial. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2017;28:917-23.

217. Giraldi F, Cattadori G, Roberto M, et al. Long-term effectiveness of cardiac resynchronization therapy in heart failure patients with unfavorable cardiac veins anatomy comparison of surgical versus hemodynamic procedure. *J Am Coll Cardiol* 2011;58:483-90.
218. Romanov A, Goscinska-Bis K, Bis J, et al. Cardiac resynchronization therapy combined with coronary artery bypass grafting in ischaemic heart failure patients: long-term results of the RESCUE study. *Eur J Cardiothorac Surg* 2016;50:36-41.
219. Goscinska-Bis K, Bis J, Krejca M, et al. Totally epicardial cardiac resynchronization therapy system implantation in patients with heart failure undergoing CABG. *Eur J Heart Fail* 2008;10:498-506.
220. Mellert F, Schneider C, Esmailzadeh B, et al. Implantation of left ventricular epicardial leads in cardiosurgical patients with impaired cardiac function--a worthwhile procedure in concomitant surgical interventions? *Thorac Cardiovasc Surg* 2012;60:64-9.
221. Abraham WT, Fisher WG, Smith AL, et al. Cardiac resynchronization in chronic heart failure. *N Engl J Med* 2002;346:1845-53.
222. Bristow MR, Saxon LA, Boehmer J, et al. Cardiac-resynchronization therapy with or without an implantable defibrillator in advanced chronic heart failure. *N Engl J Med* 2004;350:2140-50.
223. Cleland JG, Daubert JC, Erdmann E, et al. The effect of cardiac resynchronization on morbidity and mortality in heart failure. *N Engl J Med* 2005;352:1539-49.
224. Goldenberg I, Kutyifa V, Moss AJ. Survival with cardiac-resynchronization therapy. *N Engl J Med* 2014;371:477-8.
225. Upadhyay GA, Vijayaraman P, Nayak HM, et al. On-treatment comparison between corrective His bundle pacing and biventricular pacing for cardiac resynchronization: A secondary analysis of the His-SYNC Pilot Trial. *Heart Rhythm* 2019;16:1797-807.
226. Upadhyay GA, Vijayaraman P, Nayak HM, et al. His Corrective Pacing or Biventricular Pacing for Cardiac Resynchronization in Heart Failure. *J Am Coll Cardiol* 2019;74:157-9.
227. Vinther M, Risum N, Svendsen JH, Møgelvang R, Philbert BT. A Randomized Trial of His Pacing Versus Biventricular Pacing in Symptomatic HF Patients With Left Bundle Branch Block (His-Alternative). *JACC Clin Electrophysiol* 2021;7:1422-32.
228. Vijayaraman P, Herweg B, Verma A, et al. Rescue left bundle branch area pacing in coronary venous lead failure or nonresponse to biventricular pacing: Results from International LBBAP Collaborative Study Group. *Heart Rhythm* 2022;19:1272-80.
229. Wang Y, Zhu H, Hou X, et al. Randomized Trial of Left Bundle Branch vs Biventricular Pacing for Cardiac Resynchronization Therapy. *J Am Coll Cardiol* 2022;80:1205-16.
230. Foley PW, Stegmann B, Smith RE, Sanderson JE, Leyva F. Cardiac resynchronization therapy in patients with mildly impaired left ventricular function. *Pacing Clin Electrophysiol* 2009;32 Suppl 1:S186-9.
231. Fung JW, Zhang Q, Yip GW, Chan JY, Chan HC, Yu CM. Effect of cardiac resynchronization therapy in patients with moderate left ventricular systolic dysfunction and wide QRS complex: a prospective study. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2006;17:1288-92.
232. Sipahi I, Carrigan TP, Rowland DY, Stambler BS, Fang JC. Impact of QRS duration on clinical event reduction with cardiac resynchronization therapy: meta-analysis of randomized controlled trials. *Arch Intern Med* 2011;171:1454-62.
233. Linde C, Cleland JGF, Gold MR, et al. The interaction of sex, height, and QRS duration on the effects of cardiac resynchronization therapy on morbidity and mortality: an individual-patient data meta-analysis. *Eur J Heart Fail* 2018;20:780-91.
234. Ruschitzka F, Abraham WT, Singh JP, et al. Cardiac-resynchronization therapy in heart failure with a narrow QRS complex. *N Engl J Med* 2013;369:1395-405.
235. Cinca J, Mendez A, Puig T, et al. Differential clinical characteristics and prognosis of intraventricular conduction defects in patients with chronic heart failure. *Eur J Heart Fail* 2013;15:877-84.
236. Barsheshet A, Goldenberg I, Garty M, et al. Relation of bundle branch block to long-term (four-year) mortality in hospitalized patients with systolic heart failure. *Am J Cardiol* 2011;107:540-4.
237. Sharma PS, Naperkowski A, Bauch TD, et al. Permanent His Bundle Pacing for Cardiac Resynchronization Therapy in Patients With Heart Failure and Right Bundle Branch Block. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 2018;11:e006613.
238. Merchant FM, Mittal S. Pacing induced cardiomyopathy. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2020;31:286-92.

239. Heidenreich PA, Bozkurt B, Aguilar D, et al. 2022 AHA/ACC/HFSA Guideline for the Management of Heart Failure: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on Clinical Practice Guidelines. *Circulation* 2022;145:e895-e1032.
240. Huang W, Wang S, Su L, et al. His-bundle pacing vs biventricular pacing following atrioventricular nodal ablation in patients with atrial fibrillation and reduced ejection fraction: A multicenter, randomized, crossover study-The ALTERNATIVE-AF trial. *Heart Rhythm* 2022;19:1948-55.
241. Veasey RA, Arya A, Silberbauer J, et al. The relationship between right ventricular pacing and atrial fibrillation burden and disease progression in patients with paroxysmal atrial fibrillation: the long-MinVPACE study. *Europace* 2011;13:815-20.
242. Brignole M, Botto G, Mont L, et al. Cardiac resynchronization therapy in patients undergoing atrioventricular junction ablation for permanent atrial fibrillation: a randomized trial. *Eur Heart J* 2011;32:2420-9.
243. Brignole M, Gammage M, Puggioni E, et al. Comparative assessment of right, left, and biventricular pacing in patients with permanent atrial fibrillation. *Eur Heart J* 2005;26:712-22.
244. Doshi RN, Daoud EG, Fellows C, et al. Left ventricular-based cardiac stimulation post AV nodal ablation evaluation (the PAVE study). *J Cardiovasc Electrophysiol* 2005;16:1160-5.
245. Orlov MV, Gardin JM, Slawsky M, et al. Biventricular pacing improves cardiac function and prevents further left atrial remodeling in patients with symptomatic atrial fibrillation after atrioventricular node ablation. *Am Heart J* 2010;159:264-70.
246. Brignole M, Pentimalli F, Palmisano P, et al. AV junction ablation and cardiac resynchronization for patients with permanent atrial fibrillation and narrow QRS: the APAF-CRT mortality trial. *Eur Heart J* 2021;42:4731-9.
247. Upadhyay GA, Choudhry NK, Auricchio A, Ruskin J, Singh JP. Cardiac resynchronization in patients with atrial fibrillation: a meta-analysis of prospective cohort studies. *J Am Coll Cardiol* 2008;52:1239-46.
248. Wilton SB, Leung AA, Ghali WA, Faris P, Exner DV. Outcomes of cardiac resynchronization therapy in patients with versus those without atrial fibrillation: a systematic review and meta-analysis. *Heart Rhythm* 2011;8:1088-94.
249. Healey JS, Hohnloser SH, Exner DV, et al. Cardiac resynchronization therapy in patients with permanent atrial fibrillation: results from the Resynchronization for Ambulatory Heart Failure Trial (RAFT). *Circ Heart Fail* 2012;5:566-70.
250. Khazanie P, Greiner MA, Al-Khatib SM, et al. Comparative Effectiveness of Cardiac Resynchronization Therapy Among Patients With Heart Failure and Atrial Fibrillation: Findings From the National Cardiovascular Data Registry's Implantable Cardioverter-Defibrillator Registry. *Circ Heart Fail* 2016;9.
251. Huang W, Su L, Wu S, et al. Benefits of Permanent His Bundle Pacing Combined With Atrioventricular Node Ablation in Atrial Fibrillation Patients With Heart Failure With Both Preserved and Reduced Left Ventricular Ejection Fraction. *J Am Heart Assoc* 2017;6.
252. Moriña-Vázquez P, Moraleda-Salas MT, Arce-León Á, Venegas-Gamero J, Fernández-Gómez JM, Díaz-Fernández JF. Effectiveness and safety of AV node ablation after His bundle pacing in patients with uncontrolled atrial arrhythmias. *Pacing Clin Electrophysiol* 2021;44:1004-9.
253. Su L, Cai M, Wu S, et al. Long-term performance and risk factors analysis after permanent His-bundle pacing and atrioventricular node ablation in patients with atrial fibrillation and heart failure. *Europace* 2020;22:ii19-ii26.
254. Vijayaraman P, Subzposh FA, Naperkowski A. Atrioventricular node ablation and His bundle pacing. *Europace* 2017;19:iv10-iv6.
255. Wang S, Wu S, Xu L, et al. Feasibility and Efficacy of His Bundle Pacing or Left Bundle Pacing Combined With Atrioventricular Node Ablation in Patients With Persistent Atrial Fibrillation and Implantable Cardioverter-Defibrillator Therapy. *J Am Heart Assoc* 2019;8:e014253.
256. Ponnusamy SS, Muthu G, Kumar M, Bopanna D, Anand V, Kumar S. Mid-term feasibility, safety and outcomes of left bundle branch pacing-single center experience. *J Interv Card Electrophysiol* 2021; 60:337-46.
257. Rademakers LM, van den Broek J, Op 't Hof M, Bracke FA. Initial experience, feasibility and safety of permanent left bundle branch pacing: results from a prospective single-centre study. *Neth Heart J* 2022;30:258-66.

258. Vijayaraman P, Subzposh FA, Naperkowski A, et al. Prospective evaluation of feasibility and electrophysiologic and echocardiographic characteristics of left bundle branch area pacing. *Heart rhythm* 2019;16:1774-82.
259. Pillai A, Kolominsky J, Koneru JN, et al. Atrioventricular junction ablation in patients with conduction system pacing leads: A comparison of His-bundle vs left bundle branch area pacing leads. *Heart Rhythm* 2022;19:1116-23.
260. Pastore G, Zanon F, Baracca E, et al. The risk of atrial fibrillation during right ventricular pacing. *Europace* 2016;18:353-8.
261. Ravi V, Beer D, Pietrasik GM, et al. Development of New-Onset or Progressive Atrial Fibrillation in Patients With Permanent HIS Bundle Pacing Versus Right Ventricular Pacing: Results From the RUSH HBP Registry. *J Am Heart Assoc* 2020;9:e018478.
262. Vijayaraman P, Dandamudi G, Zanon F, et al. Permanent His bundle pacing: Recommendations from a Multicenter His Bundle Pacing Collaborative Working Group for standardization of definitions, implant measurements, and follow-up. *Heart Rhythm* 2018;15:460-8.
263. Tayal B, Sogaard P, Risum N. Why Dyssynchrony Matters in Heart Failure? *Card Electrophysiol Clin* 2019;11:39-47.
264. Smiseth OA, Aalen JM. Mechanism of harm from left bundle branch block. *Trends Cardiovasc Med* 2019;29:335-42.
265. Hsing JM, Selzman KA, Leclercq C, et al. Paced left ventricular QRS width and ECG parameters predict outcomes after cardiac resynchronization therapy: PROSPECT-ECG substudy. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 2011;4:851-7.
266. Emkanjoo Z, Esmaeilzadeh M, Mohammad Hadi N, Alizadeh A, Tayyebi M, Sadr-Ameli MA. Frequency of inter- and intraventricular dyssynchrony in patients with heart failure according to QRS width. *Europace* 2007;9:1171-6.
267. Gettes LS, Kligfield P. Should electrocardiogram criteria for the diagnosis of left bundle-branch block be revised? *J Electrocardiol* 2012;45:500-4.
268. Hagjoo M, Bagherzadeh A, Fazelifar AF, et al. Prevalence of mechanical dyssynchrony in heart failure patients with different QRS durations. *Pacing Clin Electrophysiol* 2007;30:616-22.
269. Jastrzębski M, Kukla P, Kisiel R, Fijorek K, Moskal P, Czarnecka D. Comparison of four LBBB definitions for predicting mortality in patients receiving cardiac resynchronization therapy. *Ann Noninvasive Electrocardiol* 2018;23:e12563.
270. Kanawati J, Sy RW. Contemporary Review of Left Bundle Branch Block in the Failing Heart - Pathogenesis, Prognosis, and Therapy. *Heart Lung Circ* 2018;27:291-300.
271. Pérez-Riera AR, Barbosa-Barros R, Daminello-Raimundo R, et al. Re-evaluating the electro-vectorcardiographic criteria for left bundle branch block. *Ann Noninvasive Electrocardiol* 2019;24:e12644.
272. Strauss DG, Selvester RH, Wagner GS. Defining left bundle branch block in the era of cardiac resynchronization therapy. *Am J Cardiol* 2011;107:927-34.
273. van Stipdonk AMW, Vanbelle S, Ter Horst IAH, et al. Large variability in clinical judgement and definitions of left bundle branch block to identify candidates for cardiac resynchronisation therapy. *Int J Cardiol* 2019;286:61-5.
274. Linde C, Abraham WT, Gold MR, St John Sutton M, Ghio S, Daubert C. Randomized trial of cardiac resynchronization in mildly symptomatic heart failure patients and in asymptomatic patients with left ventricular dysfunction and previous heart failure symptoms. *J Am Coll Cardiol* 2008;52:1834-43.
275. Moss AJ, Hall WJ, Cannom DS, et al. Cardiac-resynchronization therapy for the prevention of heart-failure events. *N Engl J Med* 2009;361:1329-38.
276. Tang AS, Wells GA, Talajic M, et al. Cardiac-resynchronization therapy for mild-to- moderate heart failure. *N Engl J Med* 2010;363:2385-95.
277. Sipahi I, Chou JC, Hyden M, Rowland DY, Simon DI, Fang JC. Effect of QRS morphology on clinical event reduction with cardiac resynchronization therapy: meta-analysis of randomized controlled trials. *Am Heart J* 2012;163:260-7.e3.
278. Zareba W, Klein H, Cygankiewicz I, et al. Effectiveness of Cardiac Resynchronization Therapy by QRS Morphology in the Multicenter Automatic Defibrillator Implantation Trial-Cardiac Resynchronization

Therapy (MADIT-CRT). *Circulation* 2011;123:1061-72.

279. Gold MR, Thébault C, Linde C, et al. Effect of QRS duration and morphology on cardiac resynchronization therapy outcomes in mild heart failure: results from the Resynchronization Reverses Remodeling in Systolic Left Ventricular Dysfunction (REVERSE) study. *Circulation* 2012;126:822-9.
280. Bryant AR, Wilton SB, Lai MP, Exner DV. Association between QRS duration and outcome with cardiac resynchronization therapy: a systematic review and meta-analysis. *J Electrocardiol* 2013;46:147-55.
281. Chen J, Zhuang X, Liao L, Liao X, Wang L. Efficacy of isolated left ventricular and biventricular pacing is differentially associated with baseline QRS duration in chronic heart failure: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Heart Fail Rev* 2015;20:81-8.
282. Cunningham C, Kwok CS, Satchithananda DK, et al. Cardiac resynchronisation therapy is not associated with a reduction in mortality or heart failure hospitalisation in patients with non-left bundle branch block QRS morphology: meta-analysis of randomised controlled trials. *Heart* 2015;101:1456-62.
283. Shah RM, Patel D, Molnar J, Ellenbogen KA, Koneru JN. Cardiac-resynchronization therapy in patients with systolic heart failure and QRS interval ≤ 130 ms: insights from a meta-analysis. *Europace* 2015;17:267-73.
284. Biton Y, Kutyla V, Cygankiewicz I, et al. Relation of QRS Duration to Clinical Benefit of Cardiac Resynchronization Therapy in Mild Heart Failure Patients Without Left Bundle Branch Block: The Multicenter Automatic Defibrillator Implantation Trial with Cardiac Resynchronization Therapy Substudy. *Circ Heart Fail* 2016;9:e002667.
285. Gervais R, Leclercq C, Shankar A, et al. Surface electrocardiogram to predict outcome in candidates for cardiac resynchronization therapy: a sub-analysis of the CARE-HF trial. *Eur J Heart Fail* 2009;11:699-705.
286. Poole JE, Singh JP, Birgersdotter-Green U. QRS Duration or QRS Morphology: What Really Matters in Cardiac Resynchronization Therapy? *J Am Coll Cardiol* 2016;67:1104-17.
287. Rattanawong P, Prasitlumkum N, Riangwiwat T, et al. Baseline Prolonged PR Interval and Outcome of Cardiac Resynchronization Therapy: A Systematic Review and Meta-analysis. *Arq Bras Cardiol* 2018;111:710-9.
288. Ploux S, Lumens J, Whinnett Z, et al. Noninvasive electrocardiographic mapping to improve patient selection for cardiac resynchronization therapy: beyond QRS duration and left bundle branch block morphology. *J Am Coll Cardiol* 2013;61:2435-43.
289. Emerek K, Friedman DJ, Sørensen PL, et al. Vectorcardiographic QRS area is associated with long-term outcome after cardiac resynchronization therapy. *Heart Rhythm* 2019;16:213-9.
290. Pastore G, Maines M, Marcantoni L, et al. The QR-max index, a novel electrocardiographic index for the determination of left ventricular conduction delay and selection of cardiac resynchronization in patients with non-left bundle branch block. *J Interv Card Electrophysiol* 2020;58:147-56.
291. Varma N, Ploux S, Ritter P, Wilkoff B, Eschaliér R, Bordachar P. Noninvasive mapping of electrical dyssynchrony in heart failure and cardiac resynchronization therapy. *Card Electrophysiol Clin* 2015;7:125-34.
292. Ruwald MH, Mittal S, Ruwald AC, et al. Association between frequency of atrial and ventricular ectopic beats and biventricular pacing percentage and outcomes in patients with cardiac resynchronization therapy. *J Am Coll Cardiol* 2014;64:971-81.
293. Khurshid S, Liang JJ, Owens A, et al. Longer Paced QRS Duration is Associated With Increased Prevalence of Right Ventricular Pacing-Induced Cardiomyopathy. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2016;27:1174-9.
294. Eschaliér R, Ploux S, Ritter P, Haïssaguerre M, Ellenbogen KA, Bordachar P. Nonspecific intraventricular conduction delay: Definitions, prognosis, and implications for cardiac resynchronization therapy. *Heart Rhythm* 2015;12:1071-9.
295. Chen X, Wu S, Su L, Su Y, Huang W. The characteristics of the electrocardiogram and the intracardiac electrogram in left bundle branch pacing. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2019;30:1096-101.
296. Pujol-López M, Tolosana JM, Upadhyay GA, Mont L, Tung R. Left Bundle Branch Block: Characterization, Definitions, and Recent Insights into Conduction System Physiology. *Card Electrophysiol Clin* 2021;13: 671-84.
297. Saba S, Marek J, Schwartzman D, et al. Echocardiography-guided left ventricular lead placement for cardiac resynchronization therapy: results of the Speckle Tracking Assisted Resynchronization Therapy

- for Electrode Region trial. *Circ Heart Fail* 2013;6:427-34.
298. Khan FZ, Virdee MS, Palmer CR, et al. Targeted left ventricular lead placement to guide cardiac resynchronization therapy: the TARGET study: a randomized, controlled trial. *J Am Coll Cardiol* 2012;59:1509-18.
 299. Marek JJ, Saba S, Onishi T, et al. Usefulness of echocardiographically guided left ventricular lead placement for cardiac resynchronization therapy in patients with intermediate QRS width and non-left bundle branch block morphology. *Am J Cardiol* 2014;113:107-16.
 300. Borgquist R, Carlsson M, Markstad H, et al. Cardiac Resynchronization Therapy Guided by Echocardiography, MRI, and CT Imaging: A Randomized Controlled Study. *JACC Clin Electrophysiol* 2020;6:1300-9.
 301. Kočková R, Sedláček K, Wichterle D, et al. Cardiac resynchronization therapy guided by cardiac magnetic resonance imaging: A prospective, single-centre randomized study (CMR-CRT). *Int J Cardiol* 2018; 270:325-30.
 302. Seo Y, Ito H, Nakatani S, et al. The role of echocardiography in predicting responders to cardiac resynchronization therapy. *Circ J* 2011;75:1156-63.
 303. Chung ES, Leon AR, Tavazzi L, et al. Results of the Predictors of Response to CRT (PROSPECT) trial. *Circulation* 2008;117:2608-16.
 304. Li X, Li H, Ma W, et al. Permanent left bundle branch area pacing for atrioventricular block: Feasibility, safety, and acute effect. *Heart Rhythm* 2019;16:1766-73.
 305. Zhang J, Wang Z, Cheng L, et al. Immediate clinical outcomes of left bundle branch area pacing vs conventional right ventricular pacing. *Clin Cardiol* 2019;42:768-73.
 306. Stolen CM, Adourian A, Meyer TE, Stein KM, Solomon SD. Plasma galectin-3 and heart failure outcomes in MADIT-CRT (multicenter automatic defibrillator implantation trial with cardiac resynchronization therapy). *J Card Fail* 2014;20:793-9.
 307. Charles C, Gafni A, Whelan T. Shared decision-making in the medical encounter: what does it mean? (or it takes at least two to tango). *Soc Sci Med* 1997;44:681-92.
 308. Quill TE, Brody H. Physician recommendations and patient autonomy: finding a balance between physician power and patient choice. *Ann Intern Med* 1996;125:763-9.
 309. Curtis AB. Will His Bundle Pacing Make Cardiac Resynchronization Therapy Obsolete? *Circulation* 2018;137:1546-8.
 310. Kusumoto FM, Schoenfeld MH, Wilkoff BL, et al. 2017 HRS expert consensus statement on cardiovascular implantable electronic device lead management and extraction. *Heart Rhythm* 2017;14:e503-e51.
 311. Lampert R, Hayes DL, Annas GJ, et al. HRS Expert Consensus Statement on the Management of Cardiovascular Implantable Electronic Devices (CIEDs) in patients nearing end of life or requesting withdrawal of therapy. *Heart Rhythm* 2010;7:1008-26.
 312. Gold MR, Birgersdotter-Green U, Singh JP, et al. The relationship between ventricular electrical delay and left ventricular remodelling with cardiac resynchronization therapy. *Eur Heart J* 2011;32:2516-24.
 313. Boriani G, Connors S, Kalarus Z, et al. Cardiac Resynchronization Therapy With a Quadripolar Electrode Lead Decreases Complications at 6 Months: Results of the MORE-CRT Randomized Trial. *JACC Clin Electrophysiol* 2016;2:212-20.
 314. Behar JM, Bostock J, Zhu Li AP, et al. Cardiac Resynchronization Therapy Delivered Via a Multipolar Left Ventricular Lead is Associated with Reduced Mortality and Elimination of Phrenic Nerve Stimulation: Long-Term Follow-Up from a Multicenter Registry. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2015;26: 540-6.
 315. Forleo GB, Di Biase L, Panattoni G, et al. Improved implant and postoperative lead performance in CRT-D patients implanted with a quadripolar left ventricular lead. A 6-month follow-up analysis from a multicenter prospective comparative study. *J Interv Card Electrophysiol* 2015;42:59-66.
 316. Hakemi EU, Doukky R, Parzynski CS, Curtis JP, Madias C. Quadripolar versus bipolar leads in cardiac resynchronization therapy: An analysis of the National Cardiovascular Data Registry. *Heart Rhythm* 2020;17:81-9.
 317. Tamborero D, Mont L, Sitges M, et al. Optimization of the interventricular delay in cardiac resynchronization therapy using the QRS width. *Am J Cardiol* 2009;104:1407-12.
 318. Arbelo E, Tolosana JM, Trucco E, et al. Fusion-optimized intervals (FOI): a new method to achieve

- the narrowest QRS for optimization of the AV and VV intervals in patients undergoing cardiac resynchronization therapy. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2014;25:283-92.
319. Trucco E, Tolosana JM, Arbelo E, et al. Improvement of Reverse Remodeling Using Electrocardiogram Fusion-Optimized Intervals in Cardiac Resynchronization Therapy: A Randomized Study. *JACC Clin Electrophysiol* 2018;4:181-9.
 320. Varma N, O'Donnell D, Bassiouny M, et al. Programming Cardiac Resynchronization Therapy for Electrical Synchrony: Reaching Beyond Left Bundle Branch Block and Left Ventricular Activation Delay. *J Am Heart Assoc* 2018;7.
 321. Bazoukis G, Naka KK, Alsheikh-Ali A, et al. Association of QRS narrowing with response to cardiac resynchronization therapy-a systematic review and meta-analysis of observational studies. *Heart Fail Rev* 2020;25:745-56.
 322. Jastrzebski M, Baranchuk A, Fijorek K, et al. Cardiac resynchronization therapy-induced acute shortening of QRS duration predicts long-term mortality only in patients with left bundle branch block. *Europace* 2019;21:281-9.
 323. van Stipdonk AMW, Ter Horst I, Kloosterman M, et al. QRS Area Is a Strong Determinant of Outcome in Cardiac Resynchronization Therapy. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 2018; 11:e006497.
 324. Merchant FM, Heist EK, McCarty D, et al. Impact of segmental left ventricle lead position on cardiac resynchronization therapy outcomes. *Heart Rhythm* 2010;7:639-44.
 325. Singh JP, Klein HU, Huang DT, et al. Left ventricular lead position and clinical outcome in the multicenter automatic defibrillator implantation trial-cardiac resynchronization therapy (MADIT-CRT) trial. *Circulation* 2011;123:1159-66.
 326. Thebault C, Donal E, Meunier C, et al. Sites of left and right ventricular lead implantation and response to cardiac resynchronization therapy observations from the REVERSE trial. *Eur Heart J* 2012;33:2662-71.
 327. Derval N, Steendijk P, Gula LJ, et al. Optimizing hemodynamics in heart failure patients by systematic screening of left ventricular pacing sites: the lateral left ventricular wall and the coronary sinus are rarely the best sites. *J Am Coll Cardiol* 2010;55:566-75.
 328. Leyva F, Zegard A, Taylor RJ, et al. Long-Term Outcomes of Cardiac Resynchronization Therapy Using Apical Versus Nonapical Left Ventricular Pacing. *J Am Heart Assoc* 2018;7:e008508.
 329. Parreira L, Tsyganov A, Artyukhina E, et al. Non-invasive three-dimensional electrical activation mapping to predict cardiac resynchronization therapy response: site of latest left ventricular activation relative to pacing site. *Europace* 2023;25:1458-66.
 330. Gold MR, Yu Y, Wold N, Day JD. The role of interventricular conduction delay to predict clinical response with cardiac resynchronization therapy. *Heart Rhythm* 2017;14: 1748-55.
 331. Gold MR, Singh JP, Ellenbogen KA, et al. Interventricular Electrical Delay Is Predictive of Response to Cardiac Resynchronization Therapy. *JACC Clin Electrophysiol* 2016;2:438-47.
 332. Singh JP, Fan D, Heist EK, et al. Left ventricular lead electrical delay predicts response to cardiac resynchronization therapy. *Heart Rhythm* 2006;3:1285-92.
 333. van Gelder BM, Meijer A, Bracke FA. Timing of the left ventricular electrogram and acute hemodynamic changes during implant of cardiac resynchronization therapy devices. *Pacing Clin Electrophysiol* 2009;32 Suppl 1:S94-7.
 334. Zanon F, Baracca E, Pastore G, et al. Determination of the longest inpatient left ventricular electrical delay may predict acute hemodynamic improvement in patients after cardiac resynchronization therapy. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 2014;7:377-83.
 335. van Everdingen WM, Zweerink A, Cramer MJ, et al. Can We Use the Intrinsic Left Ventricular Delay (QLV) to Optimize the Pacing Configuration for Cardiac Resynchronization Therapy With a Quadripolar Left Ventricular Lead? *Circ Arrhythm Electrophysiol* 2018;11:e005912.
 336. Kandala J, Upadhyay GA, Altman RK, et al. QRS morphology, left ventricular lead location, and clinical outcome in patients receiving cardiac resynchronization therapy. *Eur Heart J* 2013;34:2252-62.
 337. Rogers DP, Lambiase PD, Lowe MD, Chow AW. A randomized double-blind crossover trial of triventricular versus biventricular pacing in heart failure. *Eur J Heart Fail* 2012;14:495-505.
 338. Thibault B, Dubuc M, Khairy P, et al. Acute haemodynamic comparison of multisite and biventricular pacing with a quadripolar left ventricular lead. *Europace* 2013;15:984-91.
 339. Engels EB, Vis A, van Rees BD, et al. Improved acute haemodynamic response to cardiac resynchronization

- therapy using multipoint pacing cannot solely be explained by better resynchronization. *J Electrocardiol* 2018;51:S61-S6.
340. Akerstrom F, Narvaez I, Puchol A, et al. Estimation of the effects of multipoint pacing on battery longevity in routine clinical practice. *Europace* 2018;20:1161-7.
 341. Behar JM, Bostock J, Ginks M, et al. Limitations of chronic delivery of multi-vein left ventricular stimulation for cardiac resynchronization therapy. *J Interv Card Electrophysiol* 2015;42:135-42.
 342. Thibault B, Mondesert B, Cadrin-Tourigny J, Dubuc M, Macle L, Khairy P. Benefits of Multisite/Multipoint Pacing to Improve Cardiac Resynchronization Therapy Response. *Card Electrophysiol Clin* 2019;11: 99-114.
 343. Ellenbogen KA, Gold MR, Meyer TE, et al. Primary results from the SmartDelay determined AV optimization: a comparison to other AV delay methods used in cardiac resynchronization therapy (SMART-AV) trial: a randomized trial comparing empirical, echocardiography-guided, and algorithmic atrioventricular delay programming in cardiac resynchronization therapy. *Circulation* 2010;122:2660-8.
 344. Martin DO, Lemke B, Birnie D, et al. Investigation of a novel algorithm for synchronized left-ventricular pacing and ambulatory optimization of cardiac resynchronization therapy: results of the adaptive CRT trial. *Heart Rhythm* 2012;9:1807-14.
 345. Birnie D, Hudnall H, Lemke B, et al. Continuous optimization of cardiac resynchronization therapy reduces atrial fibrillation in heart failure patients: Results of the Adaptive Cardiac Resynchronization Therapy Trial. *Heart Rhythm* 2017;14:1820-5.
 346. Thibault B, Ritter P, Bode K, et al. Dynamic programming of atrioventricular delay improves electrical synchrony in a multicenter cardiac resynchronization therapy study. *Heart Rhythm* 2019;16:1047-56.
 347. Brugada J, Delnoy PP, Brachmann J, et al. Contractility sensor-guided optimization of cardiac resynchronization therapy: results from the RESPOND-CRT trial. *Eur Heart J* 2017;38:730-8.
 348. Polasek R, Skalsky I, Wichterle D, et al. High-density epicardial activation mapping to optimize the site for video-thoroscopic left ventricular lead implant. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2014;25:882-8.
 349. Gamble JHP, Herring N, Ginks M, Rajappan K, Bashir Y, Betts TR. Endocardial left ventricular pacing for cardiac resynchronization: systematic review and meta-analysis. *Europace* 2018;20:73-81.
 350. Ypenburg C, Roes SD, Bleeker GB, et al. Effect of total scar burden on contrast-enhanced magnetic resonance imaging on response to cardiac resynchronization therapy. *Am J Cardiol* 2007;99:657-60.
 351. Behar JM, Mountney P, Toth D, et al. Real-Time X-MRI-Guided Left Ventricular Lead Implantation for Targeted Delivery of Cardiac Resynchronization Therapy. *JACC Clin Electrophysiol* 2017;3:803-14.
 352. Leyva F. Cardiac resynchronization therapy guided by cardiovascular magnetic resonance. *J Cardiovasc Magn Reson* 2010;12:64.
 353. Deshmukh P, Casavant DA, Romanyshyn M, Anderson K. Permanent, direct His-bundle pacing: a novel approach to cardiac pacing in patients with normal His-Purkinje activation. *Circulation* 2000;101: 869-77.
 354. Zanon F, Ellenbogen KA, Dandamudi G, et al. Permanent His-bundle pacing: a systematic literature review and meta-analysis. *Europace* 2018;20:1819-26.
 355. Imnadze G, Vijayaraman P, Bante H, et al. Novel electroanatomical map for permanent his bundle pacing: the Mont Blanc approach - influence of the learning curve and procedural outcome. *Europace* 2020;22:1697-702.
 356. Sharma PS, Huang HD, Trohman RG, Naperkowski A, Ellenbogen KA, Vijayaraman P. Low Fluoroscopy Permanent His Bundle Pacing Using Electroanatomic Mapping: A Feasibility Study. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 2019;12:e006967.
 357. Vijayaraman P, Panikkath R, Mascarenhas V, Bauch TD. Left bundle branch pacing utilizing three dimensional mapping. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2019;30:3050-6.
 358. Gu M, Niu H, Hu Y, et al. Permanent His Bundle Pacing Implantation Facilitated by Visualization of the Tricuspid Valve Annulus. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 2020;13:e008370.
 359. Hu Y, Gu M, Hua W, et al. Left bundle branch pacing from distal His-bundle region by tricuspid valve annulus angiography. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2019;30:2550-3.
 360. Vijayaraman P, Chung MK, Dandamudi G, et al. His Bundle Pacing. *J Am Coll Cardiol* 2018;72:927-47.
 361. Vijayaraman P, Ellenbogen KA. Approach to permanent His bundle pacing in challenging implants.

Heart Rhythm 2018;15:1428-31.

362. Jastrzebski M, Moskal P, Bednarek A, Kielbasa G, Vijayaraman P, Czarnecka D. Programmed His Bundle Pacing: A Novel Maneuver for the Diagnosis of His Bundle Capture. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 2019;12:e007052.
363. Liang Y, Yu H, Wang N, et al. Cycle length criteria for His-bundle capture are capable of determining pacing types misclassified by output criteria. *Heart Rhythm* 2019;16:1629-35.
364. Beer D, Subzposh FA, Colburn S, Naperkowski A, Vijayaraman P. His bundle pacing capture threshold stability during long-term follow-up and correlation with lead slack. *Europace* 2021;23:757-66.
365. Teigeler T, Kolominsky J, Vo C, et al. Intermediate-term performance and safety of His-bundle pacing leads: A single-center experience. *Heart Rhythm* 2021;18:743-9.
366. Sato T, Soejima K, Maeda A, et al. Deep Negative Deflection in Unipolar His-Bundle Electrogram as a Predictor of Excellent His-Bundle Pacing Threshold Postimplant. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 2019;12:e007415.
367. Su L, Xu T, Cai M, et al. Electrophysiological characteristics and clinical values of left bundle branch current of injury in left bundle branch pacing. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2020;31:834-42.
368. Vijayaraman P, Dandamudi G, Worsnick S, Ellenbogen KA. Acute His-Bundle Injury Current during Permanent His-Bundle Pacing Predicts Excellent Pacing Outcomes. *Pacing Clin Electrophysiol* 2015;38:540-6.
369. Burri H, Jastrzebski M, Vijayaraman P. Electrocardiographic Analysis for His Bundle Pacing at Implantation and Follow-Up. *JACC Clin Electrophysiol* 2020;6:883-900.
370. Vijayaraman P, Dandamudi G, Subzposh FA, et al. Imaging-Based Localization of His Bundle Pacing Electrodes: Results From the Prospective IMAGE-HBP Study. *JACC Clin Electrophysiol* 2021;7:73-84.
371. Sato T, Soejima K, Maeda A, et al. Safety of Distal His Bundle Pacing Via the Right Ventricle Backed Up by Adjacent Ventricular Capture. *JACC Clin Electrophysiol* 2021;7:513-21.
372. Huang W, Su L, Wu S, et al. A Novel Pacing Strategy With Low and Stable Output: Pacing the Left Bundle Branch Immediately Beyond the Conduction Block. *Can J Cardiol* 2017;33:1736 e1-e3.
373. De Pooter J, Calle S, Timmermans F, Van Heuverswyn F. Left bundle branch area pacing using stylet-driven pacing leads with a new delivery sheath: A comparison with lumen-less leads. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2021;32:439-48.
374. Huang W, Chen X, Su L, Wu S, Xia X, Vijayaraman P. A beginner's guide to permanent left bundle branch pacing. *Heart rhythm* 2019;16:1791-6.
375. Ponnusamy SS, Vijayaraman P. Electrocardiography guided left bundle branch pacing. *J Electrocardiol* 2021;68:11-3.
376. Wu S, Chen X, Wang S, et al. Evaluation of the Criteria to Distinguish Left Bundle Branch Pacing From Left Ventricular Septal Pacing. *JACC Clin Electrophysiol* 2021;7:1166-77.
377. Jastrzebski M, Kielbasa G, Curila K, et al. Physiology-based electrocardiographic criteria for left bundle branch capture. *Heart Rhythm* 2021;18:935-43.
378. Ponnusamy SS, Vijayaraman P. Evaluation of Criteria for Left Bundle Branch Capture. *Card Electrophysiol Clin* 2022;14:191-202.
379. Jastrzebski M, Moskal P, Curila K, et al. Electrocardiographic characterization of non-selective His-bundle pacing: validation of novel diagnostic criteria. *Europace* 2019;21:1857-64.
380. Jastrzebski M, Moskal P, Kukla P, et al. Novel approach to diagnosis of His bundle capture using individualized left ventricular lateral wall activation time as reference. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2021;32:3010-8.
381. Vijayaraman P, Jastrzebski M. Novel Criterion to Diagnose Left Bundle Branch Capture in Patients With Left Bundle Branch Block. *JACC Clin Electrophysiol* 2021;7:808-10.
382. Jastrzebski M, Burri H, Kielbasa G, et al. The V6-V1 interpeak interval: a novel criterion for the diagnosis of left bundle branch capture. *Europace* 2022;24:40-7.
383. Huang W, Su L, Wu S, et al. Long-term outcomes of His bundle pacing in patients with heart failure with left bundle branch block. *Heart* 2019;105:137-43.
384. Upadhyay GA, Vijayaraman P, Nayak HM, et al. On-treatment comparison between corrective His bundle pacing and biventricular pacing for cardiac resynchronization: A secondary analysis of the

- His-SYNC Pilot Trial. *Heart Rhythm* 2019;16:1797-807.
385. Indik JH, Patton KK, Beardsall M, et al. HRS Clinical Document Development Methodology Manual and Policies: Executive summary. *Heart Rhythm* 2017;14:e495-e500.
 386. Halperin JL, Levine GN, Al-Khatib SM, et al. Further Evolution of the ACC/AHA Clinical Practice Guideline Recommendation Classification System: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines. *J Am Coll Cardiol* 2016;67:1572-4.
 387. Vijayaraman P, Ponnusamy S, Cano O, et al. Left Bundle Branch Area Pacing for Cardiac Resynchronization Therapy: Results From the International LBBAP Collaborative Study Group. *JACC Clin Electrophysiol* 2021;7:135-47.
 388. Chen L, Fu H, Pretorius VG, et al. Clinical Outcomes of Cardiac Resynchronization with Epicardial Left Ventricular Lead. *Pacing Clin Electrophysiol* 2015;38:1201-9.
 389. Burger H, Pecha S, Hakmi S, Opalka B, Schoenburg M, Ziegelhoeffer T. Five-year follow-up of transvenous and epicardial left ventricular leads: experience with more than 1000 leads. *Interact Cardiovasc Thorac Surg* 2020;30:74-80.
 390. Marini M, Branzoli S, Moggio P, et al. Epicardial left ventricular lead implantation in cardiac resynchronization therapy patients via a video-assisted thoracoscopic technique: Long-term outcome. *Clin Cardiol* 2020;43:284-90.
 391. Linde C, Gold MR, Abraham WT, et al. Long-term impact of cardiac resynchronization therapy in mild heart failure: 5-year results from the REsynchronization reVERses Remodeling in Systolic left vEntricular dysfunction (REVERSE) study. *European heart journal* 2013;34:2592-9.
 392. Solomon SD, Foster E, Bourgoun M, et al. Effect of cardiac resynchronization therapy on reverse remodeling and relation to outcome: multicenter automatic defibrillator implantation trial: cardiac resynchronization therapy. *Circulation* 2010;122:985-92.
 393. Stankovic I, Belmans A, Prinz C, et al. The association of volumetric response and long-term survival after cardiac resynchronization therapy. *European Heart Journal- Cardiovascular Imaging* 2017;18:1109-17.
 394. Vidula H, Kutyla V, McNitt S, et al. Long-term survival of patients with left bundle branch block who are hypo-responders to cardiac resynchronization therapy. *The American Journal of Cardiology* 2017;120:825-30.
 395. Ge Y, Ruwald A-CH, Kutyla V, et al. A metric for evaluating the cardiac response to resynchronization therapy. *The American Journal of Cardiology* 2014;113:1371-7.
 396. Lazarus A. Remote, wireless, ambulatory monitoring of implantable pacemakers, cardioverter defibrillators, and cardiac resynchronization therapy systems: analysis of a worldwide database. *Pacing and clinical electrophysiology* 2007;30:S2-S12.
 397. Ricci RP, Morichelli L, Santini M. Remote control of implanted devices through Home Monitoring™ technology improves detection and clinical management of atrial fibrillation. *Europace* 2009;11:54-61.
 398. Crossley GH, Boyle A, Vitense H, Chang Y, Mead RH, Investigators C. The CONNECT (Clinical Evaluation of Remote Notification to Reduce Time to Clinical Decision) trial: the value of wireless remote monitoring with automatic clinician alerts. *Journal of the American College of Cardiology* 2011;57:1181-9.
 399. Landolina M, Perego GB, Lunati M, et al. Remote monitoring reduces healthcare use and improves quality of care in heart failure patients with implantable defibrillators: the evolution of management strategies of heart failure patients with implantable defibrillators (EVOLVO) study. *Circulation* 2012;125:2985-92.
 400. Ricci RP, Morichelli L, D'Onofrio A, et al. Effectiveness of remote monitoring of CIEDs in detection and treatment of clinical and device-related cardiovascular events in daily practice: the HomeGuide Registry. *Europace* 2013;15:970-7.
 401. Ricci RP, Morichelli L, D'ONOFRIO A, et al. Manpower and outpatient clinic workload for remote monitoring of patients with cardiac implantable electronic devices: data from the HomeGuide Registry. *Journal of cardiovascular electrophysiology* 2014;25:1216-23.
 402. Boriani G, Da Costa A, Quesada A, et al. Effects of remote monitoring on clinical outcomes and use of healthcare resources in heart failure patients with biventricular defibrillators: results of the MORE-CARE multicentre randomized controlled trial. *European journal of heart failure* 2017;19:416-25.
 403. Hindricks G, Taborsky M, Glikson M, et al. Implant-based multiparameter telemonitoring of patients

- with heart failure (IN-TIME): a randomised controlled trial. *The Lancet* 2014;384:583-90.
404. Morgan JM, Kitt S, Gill J, et al. Remote management of heart failure using implantable electronic devices. *European heart journal* 2017;38:2352-60.
 405. Hindricks G, Varma N, Kacet S, et al. Daily remote monitoring of implantable cardioverter-defibrillators: insights from the pooled patient-level data from three randomized controlled trials (IN-TIME, ECOST, TRUST). *Eur Heart J* 2017;38:1749-55.
 406. Mullens W, Kepa J, De Vusser P, et al. Importance of adjunctive heart failure optimization immediately after implantation to improve long-term outcomes with cardiac resynchronization therapy. *The American journal of cardiology* 2011;108:409-15.
 407. Gorodeski EZ, Magnelli-Reyes C, Moennich LA, Grimaldi A, Rickard J. Cardiac resynchronization therapy-heart failure (CRT-HF) clinic: a novel model of care. *PLoS One* 2019;14:e0222610.
 408. Martens P, Verbrugge FH, Nijst P, et al. Feasibility and association of neurohumoral blocker up-titration after cardiac resynchronization therapy. *Journal of Cardiac Failure* 2017;23:597-605.
 409. Martens P, Verbrugge FH, Nijst P, Dupont M, Mullens W. Changes in loop diuretic dose and outcome after cardiac resynchronization therapy in patients with heart failure and reduced left ventricular ejection fractions. *The American Journal of Cardiology* 2017;120:267-73.
 410. Varma N, Boehmer J, Bhargava K, et al. Evaluation, management, and outcomes of patients poorly responsive to cardiac resynchronization device therapy. *Journal of the American College of Cardiology* 2019;74:2588-603.
 411. Schmidt S, Hürlimann D, Starck CT, et al. Treatment with higher dosages of heart failure medication is associated with improved outcome following cardiac resynchronization therapy. *European heart journal* 2014;35:1051-60.
 412. Halliday BP, Wassall R, Lota AS, et al. Withdrawal of pharmacological treatment for heart failure in patients with recovered dilated cardiomyopathy (TRED-HF): an open- label, pilot, randomised trial. *The Lancet* 2019;393:61-73.
 413. Nijst P, Martens P, Dauw J, et al. Withdrawal of neurohumoral blockade after cardiac resynchronization therapy. *Journal of the American College of Cardiology* 2020;75:1426-38.
 414. van Veldhuisen DJ, Braunschweig F, Conraads V, et al. Intrathoracic impedance monitoring, audible patient alerts, and outcome in patients with heart failure. *Circulation* 2011;124:1719-26.
 415. Halawa A, Enezate T, Flaker G. Device monitoring in heart failure management: outcomes based on a systematic review and meta-analysis. *Cardiovascular Diagnosis and Therapy* 2019;9:386.
 416. Alotaibi S, Hernandez-Montfort J, Ali OE, El-Chilali K, Perez BA. Remote monitoring of implantable cardiac devices in heart failure patients: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Heart failure reviews* 2020;25:469-79.
 417. Greene SJ, Adusumalli S, Albert NM, et al. Building a heart failure clinic: a practical guide from the Heart Failure Society of America. *Journal of Cardiac Failure* 2021;27:2-19.
 418. Hauptman PJ, Rich MW, Heidenreich PA, et al. The heart failure clinic: a consensus statement of the Heart Failure Society of America. *Journal of cardiac failure* 2008;14:801-15.
 419. Altman RK, Parks KA, Schlett CL, et al. Multidisciplinary care of patients receiving cardiac resynchronization therapy is associated with improved clinical outcomes. *European heart journal* 2012;33:2181-8.
 420. Martens P, Jacobs G, Dupont M, Mullens W. Effect of multidisciplinary cardiac rehabilitation on the response to cardiac resynchronization therapy. *Cardiovascular therapeutics* 2018;36:e12467.
 421. Mullens W, Auricchio A, Martens P, et al. Optimized implementation of cardiac resynchronization therapy: a call for action for referral and optimization of care: a joint position statement from the Heart Failure Association (HFA), European Heart Rhythm Association (EHRA), and European Association of Cardiovascular Imaging (EACVI) of the European Society of Cardiology. *European journal of heart failure* 2020;22:2349-69.
 422. Chung ES, Leon AR, Tavazzi L, et al. Results of the Predictors of Response to CRT (PROSPECT) trial. *Circulation* 2008;117:2608-16.
 423. Tamborero D, Vidal B, Tolosana JM, et al. Electrocardiographic versus echocardiographic optimization of the interventricular pacing delay in patients undergoing cardiac resynchronization therapy. *Journal of Cardiovascular Electrophysiology* 2011;22:1129-34.

424. Saini A, Serafini NJ, Campbell S, et al. Novel method for assessment of His bundle pacing morphology using near field and far field device electrograms. *Circulation: Arrhythmia and Electrophysiology* 2019;12:e006878.
425. Burri H, Keene D, Whinnett Z, Zanon F, Vijayaraman P. Device programming for His bundle pacing. *Circulation: Arrhythmia and Electrophysiology* 2019;12:e006816.
426. Lustgarten DL, Sharma PS, Vijayaraman P. Troubleshooting and programming considerations for His bundle pacing. *Heart rhythm* 2019;16:654-62.
427. Su L, Wang S, Wu S, et al. Long-term safety and feasibility of left bundle branch pacing in a large single-center study. *Circulation: Arrhythmia and Electrophysiology* 2021;14:e009261.
428. Vijayaraman P, Ponnusamy S, Cano Ó, et al. Left bundle branch area pacing for cardiac resynchronization therapy: results from the international LBBAP collaborative study group. *Clinical Electrophysiology* 2021;7:135-47.
429. Vijayaraman P, Dandamudi G, Subzposh FA, et al. Imaging-based localization of His bundle pacing electrodes: results from the prospective IMAGE-HBP study. *Clinical Electrophysiology* 2021;7:73-84.
430. Sharma PS, Dandamudi G, Naperkowski A, et al. Permanent His-bundle pacing is feasible, safe, and superior to right ventricular pacing in routine clinical practice. *Heart rhythm* 2015;12:305-12.
431. Sharma PS, Huang HD, Trohman RG, Naperkowski A, Ellenbogen KA, Vijayaraman P. Low fluoroscopy permanent His bundle pacing using electroanatomic mapping: a feasibility study. *Circulation: Arrhythmia and Electrophysiology* 2019;12:e006967.
432. Teigeler T, Kolominsky J, Vo C, et al. Intermediate-term performance and safety of His-bundle pacing leads: a single-center experience. *Heart rhythm* 2021;18:743-9.
433. Sato T, Soejima K, Maeda A, et al. Safety of distal His bundle pacing via the right ventricle backed up by adjacent ventricular capture. *Clinical Electrophysiology* 2021;7:513-21.
434. Beer D, Subzposh FA, Colburn S, Naperkowski A, Vijayaraman P. His bundle pacing capture threshold stability during long-term follow-up and correlation with lead slack. *EP Europace* 2021;23:757-66.
435. Su L, Wu S, Wang S, et al. Pacing parameters and success rates of permanent His-bundle pacing in patients with narrow QRS: a single-centre experience. *EP Europace* 2019;21:763-70.
436. Kaye GC, Linker NJ, Marwick TH, et al. Effect of right ventricular pacing lead site on left ventricular function in patients with high-grade atrioventricular block: results of the Protect-Pace study. *Eur Heart J* 2015;36:856-62.
437. Leclercq C, Sadoul N, Mont L, et al. Comparison of right ventricular septal pacing and right ventricular apical pacing in patients receiving cardiac resynchronization therapy defibrillators: the SEPTAL CRT Study. *Eur Heart J* 2016;37:473-83.
438. Hussain MA, Furuya-Kanamori L, Kaye G, Clark J, Doi SA. The Effect of Right Ventricular Apical and Nonapical Pacing on the Short- and Long-Term Changes in Left Ventricular Ejection Fraction: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized-Controlled Trials. *Pacing Clin Electrophysiol* 2015;38:1121-36.
439. Cano O, Andres A, Alonso P, et al. Incidence and predictors of clinically relevant cardiac perforation associated with systematic implantation of active-fixation pacing and defibrillation leads: a single-centre experience with over 3800 implanted leads. *Europace* 2017;19:96-102.
440. Sommer A, Kronborg MB, Nørgaard BL, Gerdes C, Mortensen PT, Nielsen JC. Left and right ventricular lead positions are imprecisely determined by fluoroscopy in cardiac resynchronization therapy: a comparison with cardiac computed tomography. *Europace* 2014;16:1334-41.
441. Vijayaraman P, Herweg B, Ellenbogen KA, Gajek J. His-Optimized Cardiac Resynchronization Therapy to Maximize Electrical Resynchronization: A Feasibility Study. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 2019;12:e006934.
442. Knops RE, Tjong FV, Neuzil P, et al. Chronic performance of a leadless cardiac pacemaker: 1-year follow-up of the LEADLESS trial. *J Am Coll Cardiol* 2015;65:1497-504.
443. Sperzel J, Defaye P, Delnoy PP, et al. Primary safety results from the LEADLESS Observational Study. *Europace* 2018;20:1491-7.
444. El-Chami MF, Al-Samadi F, Clementy N, et al. Updated performance of the Micra transcatheter pacemaker in the real-world setting: A comparison to the investigational study and a transvenous historical control. *Heart Rhythm* 2018;15:1800-7.

445. Valiton V, Graf D, Pruvot E, et al. Leadless pacing using the transcatheter pacing system (Micra TPS) in the real world: initial Swiss experience from the Romandie region. *Europace* 2019;21:275-80.
446. Defaye P, Klug D, Anselme F, et al. Recommendations for the implantation of leadless pacemakers from the French Working Group on Cardiac Pacing and Electrophysiology of the French Society of Cardiology. *Arch Cardiovasc Dis* 2018;111:53-8.
447. Steinwender C, Khelae SK, Garweg C, et al. Atrioventricular Synchronous Pacing Using a Leadless Ventricular Pacemaker: Results From the MARVEL 2 Study. *JACC Clin Electrophysiol* 2020;6:94-106.
448. Zimetbaum PJ, Josephson ME. Use of the electrocardiogram in acute myocardial infarction. *N Engl J Med* 2003;348:933-40.
449. Pejčović B, Krajnc I, Anderhuber F, Kosutić D. Anatomical aspects of the arterial blood supply to the sinoatrial and atrioventricular nodes of the human heart. *J Int Med Res* 2008;36:691-8.
450. Ritter WS, Atkins JM, Blomqvist CG, Mullins CB. Permanent pacing in patients with transient trifascicular block during acute myocardial infarction. *Am J Cardiol* 1976;38:205-8.
451. Ginks WR, Sutton R, Oh W, Leatham A. Long-term prognosis after acute anterior infarction with atrioventricular block. *Br Heart J* 1977;39:186-9.
452. Feigl D, Ashkenazy J, Kishon Y. Early and late atrioventricular block in acute inferior myocardial infarction. *J Am Coll Cardiol* 1984;4:35-8.
453. Jim MH, Chan AO, Tse HF, Barold SS, Lau CP. Clinical and angiographic findings of complete atrioventricular block in acute inferior myocardial infarction. *Ann Acad Med Singap* 2010;39:185-90.
454. Sutton R, Davies M. The conduction system in acute myocardial infarction complicated by heart block. *Circulation* 1968;38:987-92.
455. Gang UJ, Hvelplund A, Pedersen S, et al. High-degree atrioventricular block complicating ST-segment elevation myocardial infarction in the era of primary percutaneous coronary intervention. *Europace* 2012;14:1639-45.
456. Auffret V, Loirat A, Leurent G, et al. High-degree atrioventricular block complicating ST segment elevation myocardial infarction in the contemporary era. *Heart* 2016;102:40-9.
457. Kim KH, Jeong MH, Ahn Y, et al. Differential Clinical Implications of High-Degree Atrioventricular Block Complicating ST-Segment Elevation Myocardial Infarction according to the Location of Infarction in the Era of Primary Percutaneous Coronary Intervention. *Korean Circ J* 2016;46:315-23.
458. Kosmidou I, Redfors B, Dordi R, et al. Incidence, Predictors, and Outcomes of High-Grade Atrioventricular Block in Patients With ST-Segment Elevation Myocardial Infarction Undergoing Primary Percutaneous Coronary Intervention (from the HORIZONS-AMI Trial). *Am J Cardiol* 2017;119:1295-301.
459. Singh SM, FitzGerald G, Yan AT, et al. High-grade atrioventricular block in acute coronary syndromes: insights from the Global Registry of Acute Coronary Events. *Eur Heart J* 2015;36:976-83.
460. Meine TJ, Al-Khatib SM, Alexander JH, et al. Incidence, predictors, and outcomes of high-degree atrioventricular block complicating acute myocardial infarction treated with thrombolytic therapy. *Am Heart J* 2005;149:670-4.
461. Hindman MC, Wagner GS, JaRo M, et al. The clinical significance of bundle branch block complicating acute myocardial infarction. 1. Clinical characteristics, hospital mortality, and one-year follow-up. *Circulation* 1978;58:679-88.
462. Melgarejo-Moreno A, Galcerá-Tomás J, García-Alberola A, et al. Incidence, clinical characteristics, and prognostic significance of right bundle-branch block in acute myocardial infarction: a study in the thrombolytic era. *Circulation* 1997;96:1139-44.
463. Vivas D, Pérez-Vizcayno MJ, Hernández-Antolín R, et al. Prognostic implications of bundle branch block in patients undergoing primary coronary angioplasty in the stent era. *Am J Cardiol* 2010;105:1276-83.
464. Xiong Y, Wang L, Liu W, Hankey GJ, Xu B, Wang S. The Prognostic Significance of Right Bundle Branch Block: A Meta-analysis of Prospective Cohort Studies. *Clin Cardiol* 2015;38:604-13.
465. Swart G, Brady WJ, Jr, DeBehnke DJ, Ma OJ, Aufderheide TP. Acute myocardial infarction complicated by hemodynamically unstable bradyarrhythmia: prehospital and ED treatment with atropine. *Am J Emerg Med* 1999;17:647-52.
466. Ibanez B, James S, Agewall S, et al. 2017 ESC Guidelines for the management of acute myocardial infarction in patients presenting with ST-segment elevation: The Task Force for the management

- of acute myocardial infarction in patients presenting with ST-segment elevation of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur Heart J* 2018;39:119-77.
467. Watson RD, Glover DR, Page AJ, et al. The Birmingham Trial of permanent pacing in patients with intraventricular conduction disorders after acute myocardial infarction. *Am Heart J* 1984;108:496-501.
 468. Kusumoto FM, Calkins H, Boehmer J, et al. HRS/ACC/AHA expert consensus statement on the use of implantable cardioverter-defibrillator therapy in patients who are not included or not well represented in clinical trials. *Circulation* 2014;130:94-125.
 469. Brodell GK, Cosgrove D, Schiavone W, Underwood DA, Loop FD. Cardiac rhythm and conduction disturbances in patients undergoing mitral valve surgery. *Cleve Clin J Med* 1991;58:397-9.
 470. Chung MK. Cardiac surgery: postoperative arrhythmias. *Crit Care Med* 2000;28:N136-44.
 471. Jaeger FJ, Trohman RG, Brener S, Loop F. Permanent pacing following repeat cardiac valve surgery. *Am J Cardiol* 1994;74:505-7.
 472. Reade MC. Temporary epicardial pacing after cardiac surgery: a practical review: part 1: general considerations in the management of epicardial pacing. *Anaesthesia* 2007;62:264-71.
 473. Reade MC. Temporary epicardial pacing after cardiac surgery: a practical review. Part 2: Selection of epicardial pacing modes and troubleshooting. *Anaesthesia* 2007;62:364-73.
 474. Leyva F, Qiu T, McNulty D, Evison F, Marshall H, Gasparini M. Long-term requirement for pacemaker implantation after cardiac valve replacement surgery. *Heart Rhythm* 2017;14:529-34.
 475. Merin O, Ilan M, Oren A, et al. Permanent pacemaker implantation following cardiac surgery: indications and long-term follow-up. *Pacing Clin Electrophysiol* 2009;32:7-12.
 476. Glikson M, Dearani JA, Hyberger LK, Schaff HV, Hammill SC, Hayes DL. Indications, effectiveness, and long-term dependency in permanent pacing after cardiac surgery. *Am J Cardiol* 1997;80:1309-13.
 477. Kim MH, Deeb GM, Eagle KA, et al. Complete atrioventricular block after valvular heart surgery and the timing of pacemaker implantation. *Am J Cardiol* 2001;87:649-51, a10.
 478. Hill TE, Kiehl EL, Shrestha NK, et al. Predictors of permanent pacemaker requirement after cardiac surgery for infective endocarditis. *Eur Heart J Acute Cardiovasc Care* 2021;10:329-34.
 479. DiBiase A, Tse TM, Schnittger I, Wexler L, Stinson EB, Valentine HA. Frequency and mechanism of bradycardia in cardiac transplant recipients and need for pacemakers. *Am J Cardiol* 1991;67:1385-9.
 480. Melton IC, Gilligan DM, Wood MA, Ellenbogen KA. Optimal cardiac pacing after heart transplantation. *Pacing Clin Electrophysiol* 1999;22:1510-27.
 481. Jacquet L, Ziady G, Stein K, et al. Cardiac rhythm disturbances early after orthotopic heart transplantation: prevalence and clinical importance of the observed abnormalities. *J Am Coll Cardiol* 1990;16:832-7.
 482. Holt ND, McComb JM. Cardiac transplantation and pacemakers: when and what to implant. *Card Electrophysiol Rev* 2002;6:140-51.
 483. Noheria A, van Zyl M, Scott LR, et al. Single-site ventricular pacing via the coronary sinus in patients with tricuspid valve disease. *Europace* 2018;20:636-42.
 484. Martins RP, Galand V, Leclercq C, Daubert JC. Cardiac electronic implantable devices after tricuspid valve surgery. *Heart Rhythm* 2018;15:1081-8.
 485. Sharma PS, Subzposh FA, Ellenbogen KA, Vijayaraman P. Permanent His-bundle pacing in patients with prosthetic cardiac valves. *Heart Rhythm* 2017;14:59-64.
 486. Leon MB, Smith CR, Mack M, et al. Transcatheter aortic-valve implantation for aortic stenosis in patients who cannot undergo surgery. *N Engl J Med* 2010;363:1597-607.
 487. Smith CR, Leon MB, Mack MJ, et al. Transcatheter versus surgical aortic-valve replacement in high-risk patients. *N Engl J Med* 2011;364:2187-98.
 488. Leon MB, Smith CR, Mack MJ, et al. Transcatheter or Surgical Aortic-Valve Replacement in Intermediate-Risk Patients. *N Engl J Med* 2016;374:1609-20.
 489. Mack MJ, Leon MB, Thourani VH, et al. Transcatheter Aortic-Valve Replacement with a Balloon-Expandable Valve in Low-Risk Patients. *N Engl J Med* 2019;380:1695-705.
 490. Adams DH, Popma JJ, Reardon MJ, et al. Transcatheter aortic-valve replacement with a self-expanding prosthesis. *N Engl J Med* 2014;370:1790-8.
 491. Popma JJ, Deeb GM, Yakubov SJ, et al. Transcatheter Aortic-Valve Replacement with a Self-Expanding Valve in Low-Risk Patients. *N Engl J Med* 2019;380:1706-15.

492. Reardon MJ, Van Mieghem NM, Popma JJ, et al. Surgical or Transcatheter Aortic-Valve Replacement in Intermediate-Risk Patients. *N Engl J Med* 2017;376:1321-31.
493. Barbash IM, Finkelstein A, Barsheshet A, et al. Outcomes of Patients at Estimated Low, Intermediate, and High Risk Undergoing Transcatheter Aortic Valve Implantation for Aortic Stenosis. *Am J Cardiol* 2015;116:1916-22.
494. Bekeredian R, Szabo G, Balaban U, et al. Patients at low surgical risk as defined by the Society of Thoracic Surgeons Score undergoing isolated interventional or surgical aortic valve implantation: in-hospital data and 1-year results from the German Aortic Valve Registry (GARY). *Eur Heart J* 2019;40:1323-30.
495. Gilard M, Eltchaninoff H, Iung B, et al. Registry of transcatheter aortic-valve implantation in high-risk patients. *N Engl J Med* 2012;366:1705-15.
496. Moat NE, Ludman P, de Belder MA, et al. Long-term outcomes after transcatheter aortic valve implantation in high-risk patients with severe aortic stenosis: the U.K. TAVI (United Kingdom Transcatheter Aortic Valve Implantation) Registry. *J Am Coll Cardiol* 2011;58:2130-8.
497. Thomas M, Schymik G, Walther T, et al. Thirty-day results of the SAPIEN aortic Bioprosthesis European Outcome (SOURCE) Registry: A European registry of transcatheter aortic valve implantation using the Edwards SAPIEN valve. *Circulation* 2010;122:62-9.
498. Werner N, Zahn R, Beckmann A, et al. Patients at Intermediate Surgical Risk Undergoing Isolated Interventional or Surgical Aortic Valve Implantation for Severe Symptomatic Aortic Valve Stenosis. *Circulation* 2018;138:2611-23.
499. Fadahunsi OO, Olowoyeye A, Ukaigwe A, et al. Incidence, Predictors, and Outcomes of Permanent Pacemaker Implantation Following Transcatheter Aortic Valve Replacement: Analysis From the U.S. Society of Thoracic Surgeons/American College of Cardiology TVT Registry. *JACC Cardiovasc Interv* 2016;9:2189-99.
500. Regueiro A, Abdul-Jawad Altisent O, Del Trigo M, et al. Impact of New-Onset Left Bundle Branch Block and Periprocedural Permanent Pacemaker Implantation on Clinical Outcomes in Patients Undergoing Transcatheter Aortic Valve Replacement: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Circ Cardiovasc Interv* 2016;9:e003635.
501. Chamandi C, Barbanti M, Munoz-Garcia A, et al. Long-Term Outcomes in Patients With New Permanent Pacemaker Implantation Following Transcatheter Aortic Valve Replacement. *JACC Cardiovasc Interv* 2018;11:301-10.
502. Mohananey D, Jobanputra Y, Kumar A, et al. Clinical and Echocardiographic Outcomes Following Permanent Pacemaker Implantation After Transcatheter Aortic Valve Replacement: Meta-Analysis and Meta-Regression. *Circ Cardiovasc Interv* 2017;10.
503. Ueshima D, Nai Fovino L, Mojoli M, Napodano M, Fraccaro C, Tarantini G. The interplay between permanent pacemaker implantation and mortality in patients treated by transcatheter aortic valve implantation: A systematic review and meta-analysis. *Catheter Cardiovasc Interv* 2018;92:E159-e67.
504. Urena M, Webb JG, Tamburino C, et al. Permanent pacemaker implantation after transcatheter aortic valve implantation: impact on late clinical outcomes and left ventricular function. *Circulation* 2014;129:1233-43.
505. Fujita B, Schmidt T, Bleiziffer S, et al. Impact of new pacemaker implantation following surgical and transcatheter aortic valve replacement on 1-year outcome. *Eur J Cardiothorac Surg* 2020;57:151-9.
506. Zhang XH, Chen H, Siu CW, et al. New-onset heart failure after permanent right ventricular apical pacing in patients with acquired high-grade atrioventricular block and normal left ventricular function. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2008;19:136-41.
507. Dizon JM, Nazif TM, Hess PL, et al. Chronic pacing and adverse outcomes after transcatheter aortic valve implantation. *Heart* 2015;101:1665-71.
508. Toggweiler S, Stortecky S, Holy E, et al. The Electrocardiogram After Transcatheter Aortic Valve Replacement Determines the Risk for Post-Procedural High-Degree AV Block and the Need for Telemetry Monitoring. *JACC Cardiovasc Interv* 2016;9:1269-76.
509. Urena M, Webb JG, Cheema A, et al. Impact of new-onset persistent left bundle branch block on late clinical outcomes in patients undergoing transcatheter aortic valve implantation with a balloon-expandable valve. *JACC Cardiovasc Interv* 2014;7:128-36.

510. Mouillet G, Lellouche N, Lim P, et al. Patients without prolonged QRS after TAVI with CoreValve device do not experience high-degree atrio-ventricular block. *Catheter Cardiovasc Interv* 2013;81:882-7.
511. Rodés-Cabau J, Urena M, Nombela-Franco L, et al. Arrhythmic Burden as Determined by Ambulatory Continuous Cardiac Monitoring in Patients With New-Onset Persistent Left Bundle Branch Block Following Transcatheter Aortic Valve Replacement: The MARE Study. *JACC Cardiovasc Interv* 2018; 11:1495-505.
512. Urena M, Webb JG, Eltchaninoff H, et al. Late cardiac death in patients undergoing transcatheter aortic valve replacement: incidence and predictors of advanced heart failure and sudden cardiac death. *J Am Coll Cardiol* 2015;65:437-48.
513. Auffret V, Puri R, Urena M, et al. Conduction Disturbances After Transcatheter Aortic Valve Replacement: Current Status and Future Perspectives. *Circulation* 2017;136:1049-69.
514. Rogers T, Devraj M, Thomaides A, et al. Utility of Invasive Electrophysiology Studies in Patients With Severe Aortic Stenosis Undergoing Transcatheter Aortic Valve Implantation. *Am J Cardiol* 2018;121:1351-7.
515. Tovia-Brodie O, Ben-Haim Y, Joffe E, et al. The value of electrophysiologic study in decision-making regarding the need for pacemaker implantation after TAVI. *J Interv Card Electrophysiol* 2017;48:121-30.
516. Rivard L, Schram G, Asgar A, et al. Electrocardiographic and electrophysiological predictors of atrioventricular block after transcatheter aortic valve replacement. *Heart Rhythm* 2015;12:321-9.
517. Lilly SM, Deshmukh AJ, Epstein AE, et al. 2020 ACC Expert Consensus Decision Pathway on Management of Conduction Disturbances in Patients Undergoing Transcatheter Aortic Valve Replacement: A Report of the American College of Cardiology Solution Set Oversight Committee. *J Am Coll Cardiol* 2020; 76:2391-411.
518. Rodés-Cabau J, Ellenbogen KA, Krahn AD, et al. Management of Conduction Disturbances Associated With Transcatheter Aortic Valve Replacement: JACC Scientific Expert Panel. *J Am Coll Cardiol* 2019; 74:1086-106.
519. Costa G, Zappulla P, Barbanti M, et al. Pacemaker dependency after transcatheter aortic valve implantation: incidence, predictors and long-term outcomes. *EuroIntervention* 2019;15:875-83.
520. Kaplan RM, Yadlapati A, Cantey EP, et al. Conduction recovery following pacemaker implantation after transcatheter aortic valve replacement. *Pacing Clin Electrophysiol* 2019;42:146-52.
521. Junquera L, Freitas-Ferraz AB, Padrón R, et al. Intraprocedural high-degree atrioventricular block or complete heart block in transcatheter aortic valve replacement recipients with no prior intraventricular conduction disturbances. *Catheter Cardiovasc Interv* 2020;95:982-90.
522. Auffret V, Webb JG, Eltchaninoff H, et al. Clinical Impact of Baseline Right Bundle Branch Block in Patients Undergoing Transcatheter Aortic Valve Replacement. *JACC Cardiovasc Interv* 2017;10: 1564-74.
523. Jørgensen TH, De Backer O, Gerds TA, Bieliauskas G, Svendsen JH, Søndergaard L. Immediate Post-Procedural 12-Lead Electrocardiography as Predictor of Late Conduction Defects After Transcatheter Aortic Valve Replacement. *JACC Cardiovasc Interv* 2018;11:1509-18.
524. Ream K, Sandhu A, Valle J, et al. Ambulatory Rhythm Monitoring to Detect Late High-Grade Atrioventricular Block Following Transcatheter Aortic Valve Replacement. *J Am Coll Cardiol* 2019; 73:2538-47.
525. Kostopoulou A, Karyofilis P, Livanis E, et al. Permanent pacing after transcatheter aortic valve implantation of a CoreValve prosthesis as determined by electrocardiographic and electrophysiological predictors: a single-centre experience. *Europace* 2016;18:131-7.
526. Khairy P, Landzberg MJ, Gatzoulis MA, et al. Transvenous pacing leads and systemic thromboemboli in patients with intracardiac shunts: a multicenter study. *Circulation* 2006;113:2391-7.
527. Anand N, McCrindle BW, Chiu CC, et al. Chronotropic incompetence in young patients with late postoperative atrial flutter: a case-control study. *Eur Heart J* 2006;27:2069-73.
528. Fishberger SB, Wernovsky G, Gentles TL, et al. Factors that influence the development of atrial flutter after the Fontan operation. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1997;113:80-6.
529. Gillette PC, Shannon C, Garson A, Jr, et al. Pacemaker treatment of sick sinus syndrome in children. *J Am Coll Cardiol* 1983;1:1325-9.
530. Kay R, Estioko M, Wiener I. Primary sick sinus syndrome as an indication for chronic pacemaker

- therapy in young adults: incidence, clinical features, and long-term evaluation. *Am Heart J* 1982;103:338-42.
531. Ragonese P, Drago F, Guccione P, Santilli A, Silvetti MS, Agostino DA. Permanent overdrive atrial pacing in the chronic management of recurrent postoperative atrial reentrant tachycardia in patients with complex congenital heart disease. *Pacing Clin Electrophysiol* 1997;20:2917-23.
 532. Opic P, Yap SC, Van Kranenburg M, et al. Atrial-based pacing has no benefit over ventricular pacing in preventing atrial arrhythmias in adults with congenital heart disease. *Europace* 2013;15:1757-62.
 533. Skanes AC, Krahn AD, Yee R, et al. Progression to chronic atrial fibrillation after pacing: the Canadian Trial of Physiologic Pacing. CTOPP Investigators. *J Am Coll Cardiol* 2001;38:167-72.
 534. Kusumoto FM, Schoenfeld MH, Barrett C, et al. 2018 ACC/AHA/HRS Guideline on the Evaluation and Management of Patients With Bradycardia and Cardiac Conduction Delay: Executive Summary: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines, and the Heart Rhythm Society. *Circulation* 2019;140:e333-e81.
 535. Kramer CC, Maldonado JR, Olson MD, Gingerich JC, Ochoa LA, Law IH. Safety and efficacy of atrial antitachycardia pacing in congenital heart disease. *Heart Rhythm* 2018;15:543-7.
 536. Stephenson EA, Casavant D, Tuzi J, et al. Efficacy of atrial antitachycardia pacing using the Medtronic AT500 pacemaker in patients with congenital heart disease. *Am J Cardiol* 2003;92:871-6.
 537. Huhta JC, Maloney JD, Ritter DG, Ilstrup DM, Feldt RH. Complete atrioventricular block in patients with atrioventricular discordance. *Circulation* 1983;67:1374-7.
 538. Moore JP, Gallotti R, Shannon KM, et al. Permanent conduction system pacing for congenitally corrected transposition of the great arteries: A Pediatric and Congenital Electrophysiology Society (PACES)/International Society for Adult Congenital Heart Disease (ISACHD) Collaborative Study. *Heart Rhythm* 2020.
 539. Jaeggi ET, Hamilton RM, Silverman ED, Zamora SA, Hornberger LK. Outcome of children with fetal, neonatal or childhood diagnosis of isolated congenital atrioventricular block. A single institution's experience of 30 years. *J Am Coll Cardiol* 2002;39:130-7.
 540. Villain E, Coatsdoat-Chalumeau N, Marijon E, Boudjemline Y, Piette JC, Bonnet D. Presentation and prognosis of complete atrioventricular block in childhood, according to maternal antibody status. *J Am Coll Cardiol* 2006;48:1682-7.
 541. Dewey RC, Capeless MA, Levy AM. Use of ambulatory electrocardiographic monitoring to identify high-risk patients with congenital complete heart block. *N Engl J Med* 1987;316:835-9.
 542. Karpawich PP, Gillette PC, Garson A, Jr, Hesslein PS, Porter CB, McNamara DG. Congenital complete atrioventricular block: clinical and electrophysiologic predictors of need for pacemaker insertion. *Am J Cardiol* 1981;48:1098-102.
 543. Michaëlsson M, Jonzon A, Riesenfeld T. Isolated congenital complete atrioventricular block in adult life. A prospective study. *Circulation* 1995;92:442-9.
 544. Beaufort-Krol GC, Schasfoort-van Leeuwen MJ, Stienstra Y, Bink-Boelkens MT. Longitudinal echocardiographic follow-up in children with congenital complete atrioventricular block. *Pacing Clin Electrophysiol* 2007;30:1339-43.
 545. Breur JM, Udink Ten Cate FE, Kapusta L, et al. Pacemaker therapy in isolated congenital complete atrioventricular block. *Pacing Clin Electrophysiol* 2002;25:1685-91.
 546. Bonatti V, Agnetti A, Squarcia U. Early and late postoperative complete heart block in pediatric patients submitted to open-heart surgery for congenital heart disease. *Pediatr Med Chir* 1998;20:181-6.
 547. Gross GJ, Chiu CC, Hamilton RM, Kirsh JA, Stephenson EA. Natural history of postoperative heart block in congenital heart disease: implications for pacing intervention. *Heart Rhythm* 2006;3:601-4.
 548. Murphy DA, Tynan M, Graham GR, Bonham-Carter RE. Prognosis of complete atrioventricular dissociation in children after open-heart surgery. *Lancet* 1970;1:750-2.
 549. Krongrad E. Prognosis for patients with congenital heart disease and postoperative intraventricular conduction defects. *Circulation* 1978;57:867-70.
 550. Villain E. Indications for pacing in patients with congenital heart disease. *Pacing Clin Electrophysiol* 2008;31 Suppl 1:S17-20.
 551. Diller GP, Okonko D, Uebing A, Ho SY, Gatzoulis MA. Cardiac resynchronization therapy for adult congenital heart disease patients with a systemic right ventricle: analysis of feasibility and review

- of early experience. *Europace* 2006;8:267-72.
552. Chubb H, Rosenthal DN, Almond CS, et al. Impact of Cardiac Resynchronization Therapy on Heart Transplant-Free Survival in Pediatric and Congenital Heart Disease Patients. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 2020;13:e007925.
 553. Janousek J, Gebauer RA, Abdul-Khaliq H, et al. Cardiac resynchronisation therapy in paediatric and congenital heart disease: differential effects in various anatomical and functional substrates. *Heart* 2009;95:1165-71.
 554. O'Leary ET, Gauvreau K, Alexander ME, et al. Dual-Site Ventricular Pacing in Patients With Fontan Physiology and Heart Block: Does it Mitigate the Detrimental Effects of Single-Site Ventricular Pacing? *JACC Clin Electrophysiol* 2018;4:1289-97.
 555. Chubb H, Ceresnak SR, Motonaga KS, Dubin AM. A proposed method for the calculation of age-dependent QRS duration z-scores. *J Electrocardiol* 2020;58:132-4.
 556. Cecchin F, Frangini PA, Brown DW, et al. Cardiac resynchronization therapy (and multisite pacing) in pediatrics and congenital heart disease: five years experience in a single institution. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2009;20:58-65.
 557. Dubin AM, Janousek J, Rhee E, et al. Resynchronization therapy in pediatric and congenital heart disease patients: an international multicenter study. *J Am Coll Cardiol* 2005;46:2277-83.
 558. Bulic A, Zimmerman FJ, Ceresnak SR, et al. Ventricular pacing in single ventricles-A bad combination. *Heart Rhythm* 2017;14:853-7.
 559. Kodama Y, Kuraoka A, Ishikawa Y, et al. Outcome of patients with functional single ventricular heart after pacemaker implantation: What makes it poor, and what can we do? *Heart Rhythm* 2019;16:1870-4.
 560. Poh CL, Cordina RL, Iyengar AJ, et al. Pre- and Post-operative determinants of transplantation-free survival after Fontan. The Australia and New Zealand experience. *Int J Cardiol Heart Vasc* 2021;35:100825.
 561. Chubb H, Bulic A, Mah D, et al. Impact and Modifiers of Ventricular Pacing in Patients With Single Ventricle Circulation. *J Am Coll Cardiol* 2022;80:902-14.
 562. Lubiszewska B, Gosiewska E, Hoffman P, et al. Myocardial perfusion and function of the systemic right ventricle in patients after atrial switch procedure for complete transposition: long-term follow-up. *J Am Coll Cardiol* 2000;36:1365-70.
 563. Millane T, Bernard EJ, Jaeggi E, et al. Role of ischemia and infarction in late right ventricular dysfunction after atrial repair of transposition of the great arteries. *J Am Coll Cardiol* 2000;35:1661-8.
 564. Moore JP, Cho D, Lin JP, et al. Implantation techniques and outcomes after cardiac resynchronization therapy for congenitally corrected transposition of the great arteries. *Heart Rhythm* 2018;15:1808-15.
 565. Kharbanda RK, Moore JP, Taverne Y, Bramer WM, Bogers A, de Groot NMS. Cardiac resynchronization therapy for the failing systemic right ventricle: A systematic review. *Int J Cardiol* 2020;318:74-81.
 566. Kharbanda RK, Moore JP, Lloyd MS, et al. Cardiac Resynchronization Therapy for Adult Patients With a Failing Systemic Right Ventricle: A Multicenter Study. *J Am Heart Assoc* 2022;11:e025121.
 567. Vojtovic P, Kucera F, Kubuš P, et al. Acute right ventricular resynchronization improves haemodynamics in children after surgical repair of tetralogy of Fallot. *Europace* 2018;20:323-8.
 568. Dubin AM, Feinstein JA, Reddy VM, Hanley FL, Van Hare GF, Rosenthal DN. Electrical resynchronization: a novel therapy for the failing right ventricle. *Circulation* 2003;107:2287-9.
 569. Janoušek J, Kovanda J, Ložek M, et al. Cardiac Resynchronization Therapy for Treatment of Chronic Subpulmonary Right Ventricular Dysfunction in Congenital Heart Disease. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 2019;12:e007157.
 570. Mah DY, O'Leary ET, Harrild DM, et al. Resynchronizing Right and Left Ventricles With Right Bundle Branch Block in the Congenital Heart Disease Population. *JACC Clin Electrophysiol* 2020;6:1762-72.
 571. Rapezzi C, Arbustini E, Caforio AL, et al. Diagnostic work-up in cardiomyopathies: bridging the gap between clinical phenotypes and final diagnosis. A position statement from the ESC Working Group on Myocardial and Pericardial Diseases. *Eur Heart J* 2013;34:1448-58.
 572. Ommen SR, Mital S, Burke MA, et al. 2020 AHA/ACC Guideline for the Diagnosis and Treatment of Patients With Hypertrophic Cardiomyopathy: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on Clinical Practice Guidelines. *J Am Coll Cardiol* 2020;76:e159-e240.

573. Kappenberger L, Linde C, Daubert C, et al. Pacing in hypertrophic obstructive cardiomyopathy. A randomized crossover study. PIC Study Group. *Eur Heart J* 1997;18:1249-56.
574. Maron BJ, Nishimura RA, McKenna WJ, Rakowski H, Josephson ME, Kieval RS. Assessment of permanent dual-chamber pacing as a treatment for drug-refractory symptomatic patients with obstructive hypertrophic cardiomyopathy. A randomized, double-blind, crossover study (M-PATHY). *Circulation* 1999;99:2927-33.
575. Yue-Cheng H, Zuo-Cheng L, Xi-Ming L, et al. Long-term follow-up impact of dual-chamber pacing on patients with hypertrophic obstructive cardiomyopathy. *Pacing Clin Electrophysiol* 2013;36:86-93.
576. Arnold AD, Howard JP, Chiew K, et al. Right ventricular pacing for hypertrophic obstructive cardiomyopathy: meta-analysis and meta-regression of clinical trials. *Eur Heart J Qual Care Clin Outcomes* 2019;5:321-33.
577. Chang SM, Nagueh SF, Spencer WH, 3rd, Lakkis NM. Complete heart block: determinants and clinical impact in patients with hypertrophic obstructive cardiomyopathy undergoing nonsurgical septal reduction therapy. *J Am Coll Cardiol* 2003;42:296-300.
578. Cui H, Schaff HV, Nishimura RA, et al. Conduction Abnormalities and Long-Term Mortality Following Septal Myectomy in Patients With Obstructive Hypertrophic Cardiomyopathy. *J Am Coll Cardiol* 2019;74:645-55.
579. Rogers DP, Marazia S, Chow AW, et al. Effect of biventricular pacing on symptoms and cardiac remodelling in patients with end-stage hypertrophic cardiomyopathy. *Eur J Heart Fail* 2008;10:507-13.
580. Killu AM, Park JY, Sara JD, et al. Cardiac resynchronization therapy in patients with end-stage hypertrophic cardiomyopathy. *Europace* 2018;20:82-8.
581. Gu M, Jin H, Hua W, et al. Clinical outcome of cardiac resynchronization therapy in dilated-phase hypertrophic cardiomyopathy. *J Geriatr Cardiol* 2017;14:238-44.
582. Früh A, Siem G, Holmström H, Døhlen G, Haugaa KH. The Jervell and Lange-Nielsen syndrome; atrial pacing combined with β -blocker therapy, a favorable approach in young high-risk patients with long QT syndrome? *Heart Rhythm* 2016;13:2186-92.
583. Aziz PF, Tanel RE, Zelster IJ, et al. Congenital long QT syndrome and 2:1 atrioventricular block: an optimistic outcome in the current era. *Heart Rhythm* 2010;7:781-5.
584. Feingold B, Mahle WT, Auerbach S, et al. Management of Cardiac Involvement Associated With Neuromuscular Diseases: A Scientific Statement From the American Heart Association. *Circulation* 2017;136:e200-e31.
585. Groh WJ. Arrhythmias in the muscular dystrophies. *Heart Rhythm* 2012;9:1890-5.
586. Arbustini E, Di Toro A, Giuliani L, Favalli V, Narula N, Grasso M. Cardiac Phenotypes in Hereditary Muscle Disorders: JACC State-of-the-Art Review. *J Am Coll Cardiol* 2018;72:2485-506.
587. McDonagh TA, Metra M, Adamo M, et al. 2021 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure. *Eur Heart J* 2021;42:3599-726.
588. Arbustini E, Pilotto A, Repetto A, et al. Autosomal dominant dilated cardiomyopathy with atrioventricular block: a lamin A/C defect-related disease. *J Am Coll Cardiol* 2002; 39:981-90.
589. Meune C, Van Berlo JH, Anselme F, Bonne G, Pinto YM, Duboc D. Primary prevention of sudden death in patients with lamin A/C gene mutations. *N Engl J Med* 2006;354:209-10.
590. van Berlo JH, de Voogt WG, van der Kooi AJ, et al. Meta-analysis of clinical characteristics of 299 carriers of LMNA gene mutations: do lamin A/C mutations portend a high risk of sudden death? *J Mol Med (Berl)* 2005;83:79-83.
591. Hasselberg NE, Haland TF, Saberniak J, et al. Lamin A/C cardiomyopathy: young onset, high penetrance, and frequent need for heart transplantation. *Eur Heart J* 2018;39:853-60.
592. Wahbi K, Ben Yaou R, Gandjbakhch E, et al. Development and Validation of a New Risk Prediction Score for Life-Threatening Ventricular Tachyarrhythmias in Laminopathies. *Circulation* 2019;140: 293-302.
593. Kumar S, Baldinger SH, Gandjbakhch E, et al. Long-Term Arrhythmic and Nonarrhythmic Outcomes of Lamin A/C Mutation Carriers. *J Am Coll Cardiol* 2016;68:2299-307.
594. Pasotti M, Klersy C, Pilotto A, et al. Long-term outcome and risk stratification in dilated cardiomyopathies. *J Am Coll Cardiol* 2008;52:1250-60.

595. Anselme F, Moubarak G, Savouré A, et al. Implantable cardioverter-defibrillators in lamin A/C mutation carriers with cardiac conduction disorders. *Heart Rhythm* 2013;10:1492-8.
596. Limongelli G, Tome-Esteban M, Dejthevaporn C, Rahman S, Hanna MG, Elliott PM. Prevalence and natural history of heart disease in adults with primary mitochondrial respiratory chain disease. *Eur J Heart Fail* 2010;12:114-21.
597. Anan R, Nakagawa M, Miyata M, et al. Cardiac involvement in mitochondrial diseases. A study on 17 patients with documented mitochondrial DNA defects. *Circulation* 1995;91:955-61.
598. Khambatta S, Nguyen DL, Beckman TJ, Wittich CM. Kearns-Sayre syndrome: a case series of 35 adults and children. *Int J Gen Med* 2014;7:325-32.
599. Polak PE, Zijlstra F, Roelandt JR. Indications for pacemaker implantation in the Kearns-Sayre syndrome. *Eur Heart J* 1989;10:281-2.
600. Nordenswan HK, Lehtonen J, Ekström K, et al. Outcome of Cardiac Sarcoidosis Presenting With High-Grade Atrioventricular Block. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 2018;11:e006145.
601. Nery PB, Beanlands RS, Nair GM, et al. Atrioventricular block as the initial manifestation of cardiac sarcoidosis in middle-aged adults. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2014;25:875-81.
602. Yoshida Y, Morimoto S, Hiramitsu S, Tsuboi N, Hirayama H, Itoh T. Incidence of cardiac sarcoidosis in Japanese patients with high-degree atrioventricular block. *Am Heart J* 1997;134:382-6.
603. Mankad P, Mitchell B, Birnie D, Kron J. Cardiac Sarcoidosis. *Curr Cardiol Rep* 2019;21:152.
604. Sadek MM, Yung D, Birnie DH, Beanlands RS, Nery PB. Corticosteroid therapy for cardiac sarcoidosis: a systematic review. *Can J Cardiol* 2013;29:1034-41.
605. Birnie DH, Sauer WH, Bogun F, et al. HRS expert consensus statement on the diagnosis and management of arrhythmias associated with cardiac sarcoidosis. *Heart Rhythm* 2014;11:1305-23.
606. Birnie DH, Sauer WH, Judson MA. Consensus statement on the diagnosis and management of arrhythmias associated with cardiac sarcoidosis. *Heart* 2016;102:411-4.
607. Regitz-Zagrosek V, Roos-Hesselink JW, Bauersachs J, et al. 2018 ESC Guidelines for the management of cardiovascular diseases during pregnancy. *Eur Heart J* 2018;39: 3165-241.
608. Tuzcu V, Gul EE, Erdem A, et al. Cardiac Interventions in Pregnant Patients without Fluoroscopy. *Pediatr Cardiol* 2015;36:1304-7.
609. Gudal M, Kervancioglu C, Oral D, Gurel T, Erol C, Sonel A. Permanent pacemaker implantation in a pregnant woman with the guidance of ECG and two-dimensional echocardiography. *Pacing Clin Electrophysiol* 1987;10:543-5.
610. Bongioni MG, Burri H, Deharo JC, et al. 2018 EHRA expert consensus statement on lead extraction: recommendations on definitions, endpoints, research trial design, and data collection requirements for clinical scientific studies and registries: endorsed by APHRS/HRS/LAHRs. *Europace* 2018;20:1217.
611. Klug D, Balde M, Pavin D, et al. Risk factors related to infections of implanted pacemakers and cardioverter-defibrillators: results of a large prospective study. *Circulation* 2007;116:1349-55.
612. Polyzos KA, Konstantelias AA, Falagas ME. Risk factors for cardiac implantable electronic device infection: a systematic review and meta-analysis. *Europace* 2015;17:767-77.
613. Blomström-Lundqvist C, Traykov V, Erba PA, et al. European Heart Rhythm Association (EHRA) international consensus document on how to prevent, diagnose, and treat cardiac implantable electronic device infections-endorsed by the Heart Rhythm Society (HRS), the Asia Pacific Heart Rhythm Society (APHRS), the Latin American Heart Rhythm Society (LAHRS), International Society for Cardiovascular Infectious Diseases (ISCVID), and the European Society of Clinical Microbiology and Infectious Diseases (ESCMID) in collaboration with the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS). *Eur Heart J* 2020;41:2012-32.
614. de Oliveira JC, Martinelli M, Nishioka SA, et al. Efficacy of antibiotic prophylaxis before the implantation of pacemakers and cardioverter-defibrillators: results of a large, prospective, randomized, double-blinded, placebo-controlled trial. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 2009;2:29-34.
615. Traykov V, Bongioni MG, Boriani G, et al. Clinical practice and implementation of guidelines for the prevention, diagnosis and management of cardiac implantable electronic device infections: results of a worldwide survey under the auspices of the European Heart Rhythm Association. *Europace* 2019;21:1270-9.
616. Krahn AD, Longtin Y, Philippon F, et al. Prevention of Arrhythmia Device Infection Trial: The PADIT

Trial. *J Am Coll Cardiol* 2018;72:3098-109.

617. Madadi S, Kafi M, Kheirkhah J, et al. Postoperative antibiotic prophylaxis in the prevention of cardiac implantable electronic device infection. *Pacing Clin Electrophysiol* 2019;42:161-5.
618. Haines DE, Beheiry S, Akar JG, et al. Heart Rythm Society expert consensus statement on electrophysiology laboratory standards: process, protocols, equipment, personnel, and safety. *Heart Rhythm* 2014;11:e9-51.
619. Darouiche RO, Wall MJ, Jr, Itani KM, et al. Chlorhexidine-Alcohol versus Povidone-Iodine for Surgical-Site Antisepsis. *N Engl J Med* 2010;362:18-26.
620. Mimoz O, Lucet JC, Kerforne T, et al. Skin antisepsis with chlorhexidine-alcohol versus povidone iodine-alcohol, with and without skin scrubbing, for prevention of intravascular- catheter-related infection (CLEAN): an open-label, multicentre, randomised, controlled, two-by-two factorial trial. *Lancet* 2015; 386:2069-77.
621. Essebag V, Verma A, Healey JS, et al. Clinically Significant Pocket Hematoma Increases Long-Term Risk of Device Infection: BRUISE CONTROL INFECTION Study. *J Am Coll Cardiol* 2016;67:1300-8.
622. Birnie DH, Healey JS, Wells GA, et al. Pacemaker or defibrillator surgery without interruption of anticoagulation. *N Engl J Med* 2013;368:2084-93.
623. Malagù M, Trevisan F, Scalone A, Marcantoni L, Sammarco G, Bertini M. Frequency of "Pocket" Hematoma in Patients Receiving Vitamin K Antagonist and Antiplatelet Therapy at the Time of Pacemaker or Cardioverter Defibrillator Implantation (from the POCKET Study). *Am J Cardiol* 2017;119:1036-40.
624. Birnie DH, Healey JS, Wells GA, et al. Continued vs. interrupted direct oral anticoagulants at the time of device surgery, in patients with moderate to high risk of arterial thrombo-embolic events (BRUISE CONTROL-2). *Eur Heart J* 2018;39:3973-9.
625. Kutinsky IB, Jarandilla R, Jewett M, Haines DE. Risk of hematoma complications after device implant in the clopidogrel era. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 2010;3:312-8.
626. Liu P, Zhou YF, Yang P, et al. Optimized Axillary Vein Technique versus Subclavian Vein Technique in Cardiovascular Implantable Electronic Device Implantation: A Randomized Controlled Study. *Chin Med J (Engl)* 2016;129:2647-51.
627. Chan NY, Kwong NP, Cheong AP. Venous access and long-term pacemaker lead failure: comparing contrast-guided axillary vein puncture with subclavian puncture and cephalic cutdown. *Europace* 2017;19:1193-7.
628. Liccardo M, Nocerino P, Gaia S, Ciardiello C. Efficacy of ultrasound-guided axillary/ subclavian venous approaches for pacemaker and defibrillator lead implantation: a randomized study. *J Interv Card Electrophysiol* 2018;51:153-60.
629. D'Arrigo S, Perna F, Annetta MG, Pittiruti M. Ultrasound-guided access to the axillary vein for implantation of cardiac implantable electronic devices: A systematic review and meta-analysis. *J Vasc Access* 2023;24:854-63.
630. Segreti L, Di Cori A, Soldati E, et al. Major predictors of fibrous adherences in transvenous implantable cardioverter-defibrillator lead extraction. *Heart Rhythm* 2014;11:2196-201.
631. Migliore F, Zorzi A, Bertaglia E, et al. Incidence, management, and prevention of right ventricular perforation by pacemaker and implantable cardioverter defibrillator leads. *Pacing Clin Electrophysiol* 2014;37:1602-9.
632. Jackson KP, Faerestrand S, Philippon F, et al. Performance of a novel active fixation quadripolar left ventricular lead for cardiac resynchronization therapy: Attain Stability Quad Clinical Study results. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2020;31:1147-54.
633. Ziacchi M, Diemberger I, Corzani A, et al. Cardiac resynchronization therapy: a comparison among left ventricular bipolar, quadripolar and active fixation leads. *Sci Rep* 2018;8:13262.
634. Zografos TA, Siontis KC, Jastrzebski M, et al. Apical vs. non-apical right ventricular pacing in cardiac resynchronization therapy: a meta-analysis. *Europace* 2015;17:1259-66.
635. Shimony A, Eisenberg MJ, Filion KB, Amit G. Beneficial effects of right ventricular non-apical vs. apical pacing: a systematic review and meta-analysis of randomized- controlled trials. *Europace* 2012;14:81-91.
636. Hattori M, Naruse Y, Oginosawa Y, et al. Prognostic impact of lead tip position confirmed via computed tomography in patients with right ventricular septal pacing. *Heart Rhythm* 2019;16:921-7.

637. Domenichini G, Sunthorn H, Fleury E, Foulkes H, Stettler C, Burri H. Pacing of the interventricular septum versus the right ventricular apex: a prospective, randomized study. *Eur J Intern Med* 2012; 23:621-7.
638. Cano Ó, Andrés A, Alonso P, et al. Incidence and predictors of clinically relevant cardiac perforation associated with systematic implantation of active-fixation pacing and defibrillation leads: a single-centre experience with over 3800 implanted leads. *Europace* 2017;19:96-102.
639. Burri H, Müller H, Kobza R, et al. Right Versus Left Apical transvenous pacing for bradycardia: Results of the RIVELA randomized study. *Indian Pacing Electrophysiol J* 2017;17:171-5.
640. Zhang L, Jiang H, Wang W, et al. Interatrial septum versus right atrial appendage pacing for prevention of atrial fibrillation: A meta-analysis of randomized controlled trials. *Herz* 2018;43:438-46.
641. Lakshmanadoss U, Nunez B, Kutinsky I, Khalid R, Haines DE, Wong WS. Incidence of Pocket Infection Postcardiac Device Implantation Using Antibiotic versus Saline Solution for Pocket Irrigation. *Pacing Clin Electrophysiol* 2016;39:978-84.
642. Tarakji KG, Mittal S, Kennergren C, et al. Antibacterial Envelope to Prevent Cardiac Implantable Device Infection. *N Engl J Med* 2019;380:1895-905.
643. Udo EO, Zuithoff NP, van Hemel NM, et al. Incidence and predictors of short- and long-term complications in pacemaker therapy: the FOLLOWPACE study. *Heart Rhythm* 2012;9:728-35.
644. Koneru JN, Jones PW, Hammill EF, Wold N, Ellenbogen KA. Risk Factors and Temporal Trends of Complications Associated With Transvenous Implantable Cardiac Defibrillator Leads. *J Am Heart Assoc* 2018;7.
645. Ranasinghe I, Labrosciano C, Horton D, et al. Institutional Variation in Quality of Cardiovascular Implantable Electronic Device Implantation: A Cohort Study. *Ann Intern Med* 2019;171:309-17.
646. Kirkfeldt RE, Johansen JB, Nohr EA, Jørgensen OD, Nielsen JC. Complications after cardiac implantable electronic device implantations: an analysis of a complete, nationwide cohort in Denmark. *Eur Heart J* 2014;35:1186-94.
647. Poole JE, Gleva MJ, Mela T, et al. Complication rates associated with pacemaker or implantable cardioverter-defibrillator generator replacements and upgrade procedures: results from the REPLACE registry. *Circulation* 2010;122:1553-61.
648. Biffi M, Ammendola E, Menardi E, et al. Real-life outcome of implantable cardioverter- defibrillator and cardiac resynchronization defibrillator replacement/upgrade in a contemporary population: observations from the multicentre DECODE registry. *Europace* 2019;21:1527-36.
649. Cheung JW, Ip JE, Markowitz SM, et al. Trends and outcomes of cardiac resynchronization therapy upgrade procedures: A comparative analysis using a United States National Database 2003-2013. *Heart Rhythm* 2017;14:1043-50.
650. Hosseini SM, Moazzami K, Rozen G, et al. Utilization and in-hospital complications of cardiac resynchronization therapy: trends in the United States from 2003 to 2013. *Eur Heart J* 2017;38:2122-8.
651. Nowak B, Tasche K, Barnewold L, et al. Association between hospital procedure volume and early complications after pacemaker implantation: results from a large, unselected, contemporary cohort of the German nationwide obligatory external quality assurance programme. *Europace* 2015;17:787-93.
652. Kirkfeldt RE, Johansen JB, Nohr EA, Møller M, Arnsbo P, Nielsen JC. Risk factors for lead complications in cardiac pacing: a population-based cohort study of 28,860 Danish patients. *Heart Rhythm* 2011; 8:1622-8.
653. Al-Majed NS, McAlister FA, Bakal JA, Ezekowitz JA. Meta-analysis: cardiac resynchronization therapy for patients with less symptomatic heart failure. *Ann Intern Med* 2011;154:401-12.
654. Sridhar AR, Yarlagaadda V, Yeruva MR, et al. Impact of haematoma after pacemaker and CRT device implantation on hospitalization costs, length of stay, and mortality: a population-based study. *Europace* 2015;17:1548-54.
655. Olsen T, Jørgensen OD, Nielsen JC, Thøgersen AM, Philbert BT, Johansen JB. Incidence of device-related infection in 97 750 patients: clinical data from the complete Danish device-cohort (1982-2018). *Eur Heart J* 2019;40:1862-9.
656. Chang JD, Manning WJ, Ebrille E, Zimetbaum PJ. Tricuspid Valve Dysfunction Following Pacemaker or Cardioverter-Defibrillator Implantation. *J Am Coll Cardiol* 2017;69:2331-41.
657. Höke U, Auger D, Thijssen J, et al. Significant lead-induced tricuspid regurgitation is associated with

- poor prognosis at long-term follow-up. *Heart* 2014;100:960-8.
658. Cheng Y, Gao H, Tang L, Li J, Yao L. Clinical utility of three-dimensional echocardiography in the evaluation of tricuspid regurgitation induced by implantable device leads. *Echocardiography* 2016; 33:1689-96.
 659. Beurskens NEG, Tjong FVY, de Bruin-Bon RHA, et al. Impact of Leadless Pacemaker Therapy on Cardiac and Atrioventricular Valve Function Through 12 Months of Follow-Up. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 2019;12:e007124.
 660. Wagner EH, Austin BT, Von Korff M. Organizing care for patients with chronic illness. *Milbank Q* 1996;74:511-44.
 661. Wijtvlief E, Tieleman RG, van Gelder IC, et al. Nurse-led vs. usual-care for atrial fibrillation. *Eur Heart J* 2020;41:634-41.
 662. Hendriks JM, de Wit R, Crijns HJ, et al. Nurse-led care vs. usual care for patients with atrial fibrillation: results of a randomized trial of integrated chronic care vs. routine clinical care in ambulatory patients with atrial fibrillation. *Eur Heart J* 2012;33:2692-9.
 663. Gallagher C, Elliott AD, Wong CX, et al. Integrated care in atrial fibrillation: a systematic review and meta-analysis. *Heart* 2017;103:1947-53.
 664. Russo RJ, Costa HS, Silva PD, et al. Assessing the Risks Associated with MRI in Patients with a Pacemaker or Defibrillator. *N Engl J Med* 2017;376:755-64.
 665. Nazarian S, Hansford R, Rahsepar AA, et al. Safety of Magnetic Resonance Imaging in Patients with Cardiac Devices. *N Engl J Med* 2017;377:2555-64.
 666. Indik JH, Gimbel JR, Abe H, et al. 2017 HRS expert consensus statement on magnetic resonance imaging and radiation exposure in patients with cardiovascular implantable electronic devices. *Heart Rhythm* 2017;14:e97-e153.
 667. Balmer C, Gass M, Dave H, Duru F, Luechinger R. Magnetic resonance imaging of patients with epicardial leads: in vitro evaluation of temperature changes at the lead tip. *J Interv Card Electrophysiol* 2019; 56:321-6.
 668. Padmanabhan D, Kella DK, Mehta R, et al. Safety of magnetic resonance imaging in patients with legacy pacemakers and defibrillators and abandoned leads. *Heart Rhythm* 2018;15:228-33.
 669. Higgins JV, Gard JJ, Sheldon SH, et al. Safety and outcomes of magnetic resonance imaging in patients with abandoned pacemaker and defibrillator leads. *Pacing Clin Electrophysiol* 2014;37:1284-90.
 670. Vuorinen AM, Pakarinen S, Jaakkola I, Holmström M, Kivistö S, Kaasalainen T. Clinical experience of magnetic resonance imaging in patients with cardiac pacing devices: unrestricted patient population. *Acta Radiol* 2019;60:1414-21.
 671. Horwood L, Attili A, Luba F, et al. Magnetic resonance imaging in patients with cardiac implanted electronic devices: focus on contraindications to magnetic resonance imaging protocols. *Europace* 2017;19:812-7.
 672. Pulver AF, Puchalski MD, Bradley DJ, et al. Safety and imaging quality of MRI in pediatric and adult congenital heart disease patients with pacemakers. *Pacing Clin Electrophysiol* 2009;32:450-6.
 673. Wilkoff BL, Bello D, Taborsky M, et al. Magnetic resonance imaging in patients with a pacemaker system designed for the magnetic resonance environment. *Heart Rhythm* 2011;8:65-73.
 674. Shenthar J, Milasinovic G, Al Fagih A, et al. MRI scanning in patients with new and existing CapSureFix Novus 5076 pacemaker leads: randomized trial results. *Heart Rhythm* 2015;12:759-65.
 675. Gimbel JR, Bello D, Schmitt M, et al. Randomized trial of pacemaker and lead system for safe scanning at 1.5 Tesla. *Heart Rhythm* 2013;10:685-91.
 676. Homsí R, Mellert F, Luechinger R, et al. Safety and Feasibility of Magnetic Resonance Imaging of the Brain at 1.5 Tesla in Patients with Temporary Transmyocardial Pacing Leads. *Thorac Cardiovasc Surg* 2019;67:86-91.
 677. Zaremba T, Jakobsen AR, Sogaard M, et al. Risk of device malfunction in cancer patients with implantable cardiac device undergoing radiotherapy: a population-based cohort study. *Pacing Clin Electrophysiol* 2015;38:343-56.
 678. Zecchin M, Severgnini M, Fiorentino A, et al. Management of patients with cardiac implantable electronic devices (CIED) undergoing radiotherapy: A consensus document from Associazione Italiana Aritmologia e Cardiosimolazione (AIAC), Associazione Italiana Radioterapia Oncologica (AIRO), Associazione

- Italiana Fisica Medica (AIFM). *Int J Cardiol* 2018;255:175-83.
679. Harms W, Budach W, Dunst J, et al. DEGRO practical guidelines for radiotherapy of breast cancer VI: therapy of locoregional breast cancer recurrences. *Strahlenther Onkol* 2016;192:199-208.
 680. Grant JD, Jensen GL, Tang C, et al. Radiotherapy-Induced Malfunction in Contemporary Cardiovascular Implantable Electronic Devices: Clinical Incidence and Predictors. *JAMA Oncol* 2015;1:624-32.
 681. Zaremba T, Jakobsen AR, Sogaard M, Thøgersen AM, Riahi S. Radiotherapy in patients with pacemakers and implantable cardioverter defibrillators: a literature review. *Europace* 2016;18:479-91.
 682. Hurkmans CW, Kneijens JL, Oei BS, et al. Management of radiation oncology patients with a pacemaker or ICD: a new comprehensive practical guideline in The Netherlands. Dutch Society of Radiotherapy and Oncology (NvRO). *Radiat Oncol* 2012;7:198.
 683. Gomez DR, Poenisch F, Pinnix CC, et al. Malfunctions of implantable cardiac devices in patients receiving proton beam therapy: incidence and predictors. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2013;87:570-5.
 684. Tjong FVY, de Ruijter UW, Beurskens NEG, Knops RE. A comprehensive scoping review on transvenous temporary pacing therapy. *Neth Heart J* 2019;27:462-73.
 685. Hynes JK, Holmes DR, Jr, Harrison CE. Five-year experience with temporary pacemaker therapy in the coronary care unit. *Mayo Clin Proc* 1983;58:122-6.
 686. Ferri LA, Farina A, Lenatti L, et al. Emergent transvenous cardiac pacing using ultrasound guidance: a prospective study versus the standard fluoroscopy-guided procedure. *Eur Heart J Acute Cardiovasc Care* 2016;5:125-9.
 687. Lang R, David D, Klein HO, et al. The use of the balloon-tipped floating catheter in temporary transvenous cardiac pacing. *Pacing Clin Electrophysiol* 1981;4:491-6.
 688. Ferguson JD, Banning AP, Bashir Y. Randomised trial of temporary cardiac pacing with semirigid and balloon-flotation electrode catheters. *Lancet* 1997;349:1883.
 689. Murphy JJ. Current practice and complications of temporary transvenous cardiac pacing. *Bmj* 1996;312:1134.
 690. Hill PE. Complications of permanent transvenous cardiac pacing: a 14-year review of all transvenous pacemakers inserted at one community hospital. *Pacing Clin Electrophysiol* 1987;10:564-70.
 691. Austin JL, Preis LK, Crampton RS, Beller GA, Martin RP. Analysis of pacemaker malfunction and complications of temporary pacing in the coronary care unit. *Am J Cardiol* 1982;49:301-6.
 692. Ng ACC, Lau JK, Chow V, Adikari D, Brieger D, Kritharides L. Outcomes of 4838 patients requiring temporary transvenous cardiac pacing: A statewide cohort study. *Int J Cardiol* 2018;271:98-104.
 693. Metkus TS, Schulman SP, Marine JE, Eid SM. Complications and Outcomes of Temporary Transvenous Pacing: An Analysis of > 360,000 Patients From the National Inpatient Sample. *Chest* 2019;155:749-57.
 694. Bjørnstad CC, Gjertsen E, Thorup F, Gundersen T, Tobiasson K, Otterstad JE. Temporary cardiac pacemaker treatment in five Norwegian regional hospitals. *Scand Cardiovasc J* 2012;46:137-43.
 695. Rastan AJ, Doll N, Walther T, Mohr FW. Pacemaker dependent patients with device infection--a modified approach. *Eur J Cardiothorac Surg* 2005;27:1116-8.
 696. Lever N, Ferguson JD, Bashir Y, Channon KM. Prolonged temporary cardiac pacing using subcutaneous tunnelled active-fixation permanent pacing leads. *Heart* 2003;89:209-10.
 697. Zei PC, Eckart RE, Epstein LM. Modified temporary cardiac pacing using transvenous active fixation leads and external re-sterilized pulse generators. *J Am Coll Cardiol* 2006;47:1487-9.
 698. Kawata H, Pretorius V, Phan H, et al. Utility and safety of temporary pacing using active fixation leads and externalized re-usable permanent pacemakers after lead extraction. *Europace* 2013;15:1287-91.
 699. Timothy PR, Rodeman BJ. Temporary pacemakers in critically ill patients: assessment and management strategies. *AACN Clin Issues* 2004;15:305-25.
 700. Abd Elaziz ME, Allama AM. Temporary Epicardial Pacing After Valve Replacement: Incidence And Predictors. *Heart Surg Forum* 2018;21:E049-e53.
 701. Bektas F, Soyuncu S. The efficacy of transcutaneous cardiac pacing in ED. *Am J Emerg Med* 2016;34:2090-3.
 702. Quast ABE, Beurskens NEG, Ebner A, et al. Feasibility of An Entirely Extracardiac, Minimally Invasive, Temporary Pacing System. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 2019;12:e007182.

703. Gallagher M, David Hayes M, Jane EHJA. Practice advisory for the perioperative management of patients with cardiac implantable electronic devices: pacemakers and implantable cardioverter-defibrillators. 2011;114:247.
704. Crossley GH, Poole JE, Rozner MA, et al. The Heart Rhythm Society (HRS)/American Society of Anesthesiologists (ASA) expert consensus statement on the perioperative management of patients with implantable defibrillators, pacemakers and arrhythmia monitors: facilities and patient management: this document was developed as a joint project with the American Society of Anesthesiologists (ASA), and in collaboration with the American Heart Association (AHA), and the Society of Thoracic Surgeons (STS). 2011;8:1114-54.
705. Healey JS, Merchant R, Simpson C, et al. Canadian Cardiovascular Society/Canadian Anesthesiologists' Society/Canadian Heart Rhythm Society joint position statement on the perioperative management of patients with implanted pacemakers, defibrillators, and neurostimulating devices. 2012;28:141-51.
706. Boriani G, Fauchier L, Aguinaga L, et al. European Heart Rhythm Association (EHRA) consensus document on management of arrhythmias and cardiac electronic devices in the critically ill and post-surgery patient, endorsed by Heart Rhythm Society (HRS), Asia Pacific Heart Rhythm Society (APHRS), Cardiac Arrhythmia Society of Southern Africa (CASSA), and Latin American Heart Rhythm Society (LAHRS). 2019;21:7-8.
707. Schulman PM, Treggiari MM, Yanez ND, et al. Electromagnetic interference with protocolized electrosurgery dispersive electrode positioning in patients with implantable cardioverter defibrillators. 2019;130:530-40.
708. Gifford J, Larimer K, Thomas C, May PJP, Electrophysiology C. ICD-ON registry for perioperative management of CIEDs: most require no change. 2017;40:128-34.
709. Hein H, Panhuyzen-Goedkoop N, Corrado D, et al. Recommendations for participation in leisure-time physical activity and competitive sports in patients with arrhythmias and potentially arrhythmogenic conditions Part I: Supraventricular arrhythmias and pacemakers. 2006;13:475-84.
710. Lampert RJC. Managing with pacemakers and implantable cardioverter defibrillators. 2013;128:1576-85.
711. Pelliccia A, Fagard R, Bjørnstad HH, et al. Recommendations for competitive sports participation in athletes with cardiovascular disease: a consensus document from the Study Group of Sports Cardiology of the Working Group of Cardiac Rehabilitation and Exercise Physiology and the Working Group of Myocardial and Pericardial Diseases of the European Society of Cardiology. 2005;26:1422-45.
712. Heidbuchel H, Adami PE, Antz M, et al. Recommendations for participation in leisure-time physical activity and competitive sports in patients with arrhythmias and potentially arrhythmogenic conditions: Part 1: Supraventricular arrhythmias. A position statement of the Section of Sports Cardiology and Exercise from the European Association of Preventive Cardiology (EAPC) and the European Heart Rhythm Association (EHRA), both associations of the European Society of Cardiology. 2021;28:1539-51.
713. Pelliccia A, Sharma S, Gati S, et al. 2020 ESC Guidelines on sports cardiology and exercise in patients with cardiovascular disease: The Task Force on sports cardiology and exercise in patients with cardiovascular disease of the European Society of Cardiology (ESC). 2021;42:17-96.
714. Lampert R, Olshansky B, Heidbuchel H, et al. Safety of sports for athletes with implantable cardioverter-defibrillators: long-term results of a prospective multinational registry. 2017;135:2310-2.
715. Heidbuchel H, Arbelo E, D'Ascenzi F, et al. Recommendations for participation in leisure-time physical activity and competitive sports of patients with arrhythmias and potentially arrhythmogenic conditions. Part 2: ventricular arrhythmias, channelopathies, and implantable defibrillators: A position statement of the Section of Sports Cardiology and Exercise from the European Association of Preventive Cardiology (EAPC) and the European Heart Rhythm Association (EHRA), both associations of the European Society of Cardiology. 2021;23:147-8.
716. Hauser RG, Hayes DL, Kallinen LM, et al. Clinical experience with pacemaker pulse generators and transvenous leads: an 8-year prospective multicenter study. 2007;4:154-60.
717. Merchant FM, Tejada T, Patel A, et al. Procedural outcomes and long-term survival associated with lead extraction in patients with abandoned leads. 2018;15:855-9.
718. Diemberger I, Mazzotti A, Biffi M, et al. From lead management to implanted patient management: systematic review and meta-analysis of the last 15 years of experience in lead extraction. 2013;10:551-73.

719. Bongiorno MG, Kennergren C, Butter C, et al. The European lead extraction controlled (ELECTRa) study: a European heart rhythm association (EHRA) registry of transvenous lead extraction outcomes. 2017;38:2995-3005.
720. Segreti L, Rinaldi CA, Claridge S, et al. Procedural outcomes associated with transvenous lead extraction in patients with abandoned leads: an ESC-EHRA ELECTRa (European Lead Extraction ConTRolled) registry sub-analysis. 2019;21:645-54.
721. Parthiban N, Esterman A, Mahajan R, et al. Remote monitoring of implantable cardioverter- defibrillators: a systematic review and meta-analysis of clinical outcomes. 2015;65: 2591-600.
722. García-Fernández FJ, Osca Asensi J, Romero R, et al. Safety and efficiency of a common and simplified protocol for pacemaker and defibrillator surveillance based on remote monitoring only: a long-term randomized trial (RM-ALONE). 2019;40:1837-46.
723. Mabo P, Victor F, Bazin P, et al. A randomized trial of long-term remote monitoring of pacemaker recipients (the COMPAS trial). 2012;33:1105-11.
724. Vogtmann T, Stiller S, Marek A, et al. Workload and usefulness of daily, centralized home monitoring for patients treated with CIEDs: results of the MoniC (Model Project Monitor Centre) prospective multicentre study. 2013;15:219-26.
725. Nielsen JC, Kautzner J, Casado-Arroyo R, et al. Remote monitoring of cardiac implanted electronic devices: legal requirements and ethical principles-ESC Regulatory Affairs Committee/EHRA joint task force report. 2020;22:1742-58.
726. Ekman I, Swedberg K, Taft C, et al. Person-centered care--ready for prime time. *Eur J Cardiovasc Nurs* 2011;10:248-51.
727. Kitson A, Marshall A, Bassett K, Zeitz K. What are the core elements of patient-centred care? A narrative review and synthesis of the literature from health policy, medicine and nursing. *J Adv Nurs* 2013;69:4-15.
728. McCance T, McCormack B, Dewing J. An exploration of person-centredness in practice. *Online J Issues Nurs* 2011;16:1.
729. Kiesler DJ, Auerbach SM. Optimal matches of patient preferences for information, decision-making and interpersonal behavior: evidence, models and interventions. *Patient Educ Couns* 2006;61:319-41.
730. C A, L P, G H, et al. Communicating with Patients on Health Care Evidence. Washington, DC: Institute of Medicine of the National Academies. <http://www.wiomedu/evidence> 2012.
731. Hibbard JH, Greene J. What the evidence shows about patient activation: better health outcomes and care experiences; fewer data on costs. *Health Aff (Millwood)* 2013;32:207-14.
732. Makoul G, Clayman ML. An integrative model of shared decision making in medical encounters. *Patient Educ Couns* 2006;60:301-12.
733. Pitcher D, Soar J, Hogg K, et al. Cardiovascular implanted electronic devices in people towards the end of life, during cardiopulmonary resuscitation and after death: guidance from the Resuscitation Council (UK), British Cardiovascular Society and National Council for Palliative Care. *Heart* 2016; 102:A1-A17.
734. Towle A, Godolphin W. Framework for teaching and learning informed shared decision making. *Bmj* 1999;319:766-71.
735. International Patient Decision Aid Standards (IPDAS). IPDAS Collaboration Background Document, ipdas.ohri.ca/IPDAS_Background.pdf (25 May 2021). 2021.
736. Stacey D, Légaré F, Lewis K, et al. Decision aids for people facing health treatment or screening decisions. *Cochrane Database Syst Rev* 2017;4:Cd001431.
737. Berkman ND, Sheridan SL, Donahue KE, et al. Health literacy interventions and outcomes: an updated systematic review. *Evid Rep Technol Assess (Full Rep)* 2011:1-941.
738. De Oliveira GS, Jr, McCarthy RJ, Wolf MS, Holl J. The impact of health literacy in the care of surgical patients: a qualitative systematic review. *BMC Surg* 2015;15:86.
739. Wolf A, Vella R, Fors A. The impact of person-centred care on patients' care experiences in relation to educational level after acute coronary syndrome: secondary outcome analysis of a randomised controlled trial. *Eur J Cardiovasc Nurs* 2019;18:299-308.
740. Elwyn G, Lloyd A, Joseph-Williams N, et al. Option Grids: shared decision making made easier. *Patient Educ Couns* 2013;90:207-12.

741. Friedman AJ, Cosby R, Boyko S, Hatton-Bauer J, Turnbull G. Effective teaching strategies and methods of delivery for patient education: a systematic review and practice guideline recommendations. *J Cancer Educ* 2011;26:12-21.
742. Marcus C. Strategies for improving the quality of verbal patient and family education: a review of the literature and creation of the EDUCATE model. *Health Psychol Behav Med* 2014;2:482-95.
743. Sustersic M, Gauchet A, Foote A, Bosson JL. How best to use and evaluate Patient Information Leaflets given during a consultation: a systematic review of literature reviews. *Health Expect* 2017;20:531-42.

찾아보기



고도 방실 차단 • 5



동결절 기능 장애 • 5



무전극선 심박동기(Leadless pacing) • 10



반사성 실신 • 24

방실결절 절제술 (AV junctional ablation, AVJA) • 59

분지 • 67



생리적 심조율 (Cardiac physiologic pacing, CPP) • 10

서맥 • 5

심박동기 • 5

심방세동 • 59

심장재동기화치료 (Cardiac resynchronization therapy, CRT) • 10

심장전도계 조율 (Conduction system pacing) • 10

심첨부 • 69



우각차단 • 7



전극선 • 9

전문 클리닉 • 82

조율유발심근병증 • 44

좌각영역 조율 (Left bundle branch area pacing, LBBAP) 10

좌각차단 • 7

진행성 심장전도계 질환 (progressive cardiac conduction disease : PCCD) • 23



히스다발 조율 (His bundle pacing, HBP) • 10

■ 용어집

번호	영문 용어	국문 용어	약어
1	12-leads ECG	12유도 심전도	
A	aberrant conduction	편위전도	
	accessory pathway	부전도로	
	acquired long QT syndrome	후천성 긴 QT 증후군	
	action potential	활동전위	
	action potential duration	활동전위기간	APD
	action potential duration alternans	활동전위기간 교대	
	action potential duration restitution	활동전위기간 복원	
	activated clotting time	활성화응고시간	ACT
	activated partial thromboplastin time	활성화부분트롬보플라스틴시간	aPTT
	activation sequence mapping	활성순서지도화	
	active standing	능동 기립	
	acute coronary syndrome	급성 관상동맥증후군	ACS
	acute myocardial infarction	급성 심근경색	AMI
	adenosine	아데노신	
	adenosine sensitive ventricular tachycardia	아데노신 민감성 심실빈맥	
	adherence	순응도	
	advanced cardiac life support	전문심장소생술	ACLS
	alcohol septal ablation	알코올 중격 절제술	
	alcohol-induced cardiomyopathy / alcoholic cardiomyopathy	알콜성 심근병증	
	aldosterone receptor antagonist	알도스테론 수용체 길항제	
	ambulatory blood pressure monitoring	활동혈압 측정	
	ambulatory ECG	활동심전도	
	American College of Cardiology	미국심장학회	ACC
	American Heart Association	미국심장협회	AHA
	amiodarone	아미오다론	
	Andersen-Tawil syndrome	Andersen-Tawil 증후군	
	angiotensin converting enzyme inhibitor	안지오텐신 전환효소 억제제	
	angiotensin receptor blocker	안지오텐신 수용체 차단제	
	antegrade conduction / anterograde conduction	전향전도	
	antiarrhythmic drug	항부정맥제	AAD
	anticoagulant	항응고제	

번호	영문 용어	국문 용어	약어
A	anticoagulant therapy	항응고치료	
	antidromic atrioventricular reentrant tachycardia (AVRT)	역방향 방실회귀빈맥	
	antihypertensive agent	항고혈압제	
	antiplatelet agent	항혈소판제	
	antitachycardia pacing	항빈맥 조율	ATP
	antithrombotic therapy	항혈전치료	
	aortic regurgitation	대동맥판역류	
	aortic stenosis	대동맥판협착증	
	apical hypertrophic cardiomyopathy	심첨부 비후성 심근병증	
	apixaban	아픽사반	
B	baroreflex	압(력)반사	
	baroreflex sensitivity	압(력)반사 민감도	
	basic life support	기본소생술	BLS
	beta blocker	베타차단제	
	bidirectional block	양방향 차단	
	bifascicular block	이섬유속 차단	
	blood pressure	혈압	BP
	body mass index	체질량지수	BMI
	bradyarrhythmia	서맥성 부정맥	
	bradycardia	서맥	
	bridging therapy	가교요법	
	Brugada syndrome	브루가다 증후군	
	bundle branch	각 (방실다발갈래)	
	bundle branch block	각차단	
	bundle branch reentrant ventricular tachycardia	각회귀 심실빈맥	
C	bypass tract	우회로	
	calcium channel	칼슘채널	
	calcium channel blocker	칼슘채널 차단제	
	calcium clock	칼슘시계	
	cardiac arrest	심정지	
	cardiac conduction system	심장 전도계	
	cardiac implantable electronic device	심장삽입전기장치	CIED
	cardiac magnetic resonance imaging	심장 자기공명영상	
	cardiac output	심장박출량	
	cardiac pacing	심장조율	
	Cardiac physiologic pacing	생리적 심조율	CPP
	cardiac resynchronization therapy	심장재동기화 치료	CRT
	cardiac syncope	심장(성) 실신	

번호	영문 용어	국문 용어	약어
C	cardiac tamponade	심장압전 (심장눌림증)	
	cardiac transplantation	심장이식	
	cardiac tumor	심장종양	
	cardioinhibitory	심박수 억제형	
	cardiomyopathy	심근병증	
	cardiopulmonary resuscitation	심폐소생술	CPR
	cardioversion	심장율동전환	
	carotid sinus massage	경동맥동 마사지	
	carotid sinus syndrome	경동맥동 증후군	
	catecholaminergic polymorphic ventricular tachycardia	카테콜라민성 다형 심실빈맥	CPVT
	catheter ablation	카테터 절제술 (전극도자절제술)	
	cavotricuspid isthmus	하대정맥-삼첨판 협부	CTI
	cerebral hypoperfusion	뇌혈류부전	
	cerebral microbleed	뇌미세출혈	CBM
	channelopathy	채널병증	
	chronic coronary syndrome	만성 관상동맥증후군	CCS
	chronic kidney disease	만성콩팥병 (만성신장질환)	CKD
	chronic obstructive pulmonary disease	만성폐쇄성폐질환	COPD
	chronotropic incompetence	심박수변동 부전	
	Class IA antiarrhythmic drug	Class IA 항부정맥제	
	Class IB antiarrhythmic drug	Class IB 항부정맥제	
	Class IC antiarrhythmic drug	Class IC 항부정맥제	
	Class II antiarrhythmic drug	Class II 항부정맥제	
	Class III antiarrhythmic drug	Class III 항부정맥제	
	Class IV antiarrhythmic drug	Class IV 항부정맥제	
	class of recommendation	권고등급	COR
	clopidogrel	클로피도그렐	
	cognitive behavioral therapy	인지행동치료	
	cognitive impairment	인지기능장애	
	complete atrioventricular block	완전 방실차단	
	computed tomography	전산화단층촬영	CT
	concealed entrainment	불현성 동조화	
	conduction block	전도차단	
	conduction system	전도계	
	conduction velocity	전도속도	
	conduction velocity restitution	전도속도 복원	

번호	영문 용어	국문 용어	약어
C	confidence interval	신뢰구간	
	congenital complete heart block	선천성 완전 심장차단	
	congenital heart block	선천성 심장차단	
	congenital heart disease	선천성 심장질환	
	congenital long QT syndrome	선천성 긴 QT 증후군	
	congenitally corrected transposition of the great arteries	수정대혈관전위	cc-TGA
	congestive heart failure	울혈성 심부전	
	connexin	코넥신	
	constrictive pericarditis	협착성 심낭염	
	contrast echocardiography	조영심초음파	
	conversion disorder	전환장애	
	convulsive syncope	경련성 실신	
	coronary angiography	관상동맥조영술	
	coronary artery bypass graft(ing)	관상동맥우회술	CABG
	coronary artery disease	관상동맥질환	
	coronary sinus	관상정맥동	
	counter-pressure maneuver	맞압력 조작법	
	Cox-Maze procedure (operation)	Cox-Maze 수술	
	creatinine clearance	크레아티닌청소율	CrCl
	cryoablation	냉각절제술	
	cryoballoon ablation	냉각풍선 절제술	CBA
	cryptogenic stroke	원인불명의 뇌졸중	
	cyclic adenosine monophosphate	고리형 아데노신 일인산	cAMP
	cytochrome P	사이토크롬 P	CYP
D	dabigatran	다비가트란	
	decremental conduction	감쇠전도	
	deep vein thrombosis	심부정맥혈전증	DVT
	defibrillation threshold	제세동 역치	DFT
	defibrillator	제세동기	
	delayed afterdepolarization	지연 후탈분극	DAD
	delayed rectifier potassium current	지연정류 칼륨전류	
	dementia	치매	
	depolarization	탈분극	
	diabetes	당뇨병	DM
	diastolic	확장기	
	diastolic dysfunction	확장기 기능부전	
	diastolic potential	확장기 전위	
	digoxin	디곡신	
	dilated cardiomyopathy	확장성 심근병증	DCMP
	diltiazem	딜티아젬	
	direct current (DC) cardioversion	직류 심장율동전환	

번호	영문 용어	국문 용어	약어
D	dominant frequency	우세주파수	
	dronedarone	드로네다론	
	drug adherence	약물 순응도	
	drug persistence	약물 지속도	
	drug-induced long QT syndrome	약물유발성 긴 QT 증후군	
	dual antiplatelet therapy	이중 항혈소판요법	DAPT
	dual atrioventricular nodal pathway	이중 방실결절 전도로	
	dual atrioventricular nodal physiology	이중 방실결절 생리	
	dyslipidemia	이상지질혈증	
	dysopyramide	디소피라미드	
E	early afterdepolarization	조기 후탈분극	EAD
	early repolarization syndrome	조기 재분극 증후군	
	ECG patch monitoring	패치형 심전도	
	echocardiography	심초음파	
	ectopic atrial tachycardia	이소성 심방빈맥	
	ectopic beat	이소성박동	
	edoxaban	에독사반	
	effective refractory period	유효불응기	ERP
	Eisenmenger syndrome	아이젠멩거 증후군	
	elective replacement indicator	전기적 교체시기 안내	ERI
	electrical cardioversion	전기적 심장동전환	
	electrical storm	전기 폭풍	
	electrocardiogram / electrocardiography	심전도	ECG
	electrocardiogram lead	심전도전극	
	electrode	전극	
	electroencephalography	뇌파도	EEG
	electrophysiologic study	전기생리학검사	EPS
	electrophysiology	전기생리학	
	electromagnetic interference	전자파장애	EMI
	embolic stroke	색전성 뇌졸중	
	embolic stroke of undetermined source	원인불명의 색전성 뇌졸중	ESUS
	embolism	색전증	
	end stage renal disease	말기신장병	ESRD
	endocarditis	심내막염	
	entrainment	동조화	
	entrainment mapping	동조지도화	
	entrainment pacing	동조화 조율	
	epicardial puncture (catheterization)	심외막천자	
	epilepsy	뇌전증	
	epsilon wave	엡실론파	
	esophageal hematoma	식도 혈종	

번호	영문 용어	국문 용어	약어
E	estimated glomerular filtration rate	사구체여과율	eGFR
	European Heart Rhythm Association	유럽부정맥학회	EHRA
	European Society of Cardiology	유럽심장학회	ESC
	excitability	흥분성	
	excitable gap	흥분간극	
	exercise echocardiography	운동부하심초음파	
	exercise stress test	운동부하검사	
	extracorporeal membrane oxygenation	체외막산소공급	ECMO
	extracranial bleeding	두개외 출혈	
	extrastimulus	기외자극	
	extrasystole	기외수축	
F	falls	낙상	
	familial disease	가족성질환	
	familial progressive cardiac conduction system disease	가족형 진행성 심장 전도계 질환	
	fascicular block	섬유속 차단	
	fascicular ventricular tachycardia	섬유속 심실빈맥	
	femoral vein	대퇴정맥	
	fibrillation	세동	
	fibrosis	섬유화	
	Filicainide	필리카이니드	
	first degree atrioventricular block	1도 방실차단	
	flecainide	플레카이니드	
	focal atrial tachycardia	국소성 심방빈맥	
	frailty	노쇠	
G	ganglionated plexus	신경절총	GP
	gap junction	간극결합	
	great cardiac vein	대심장정맥	
H	hazard ratio	위험비	
	head-up tilt test / tilt test	기립경사검사	HUT
	heart failure	심부전	HF
	heart failure with preserved ejection fraction	박출률 보존 심부전	HFpEF
	heart failure with reduced ejection fraction	박출률 감소 심부전	HFrEF
	heart rate variability	심박수변이	HRV
	Heart Rhythm Society	미국부정맥학회	HRS
	hemopericardium	혈심낭	
	hemorrhagic stroke	출혈성 뇌졸중	
	heparin	헤파린	
	hereditary disease	유전성질환	
	heterozygote	이형접합체	
	His bundle	히스다발	HBP
	His bundle pacing	히스다발 조율	

번호	영문 용어	국문 용어	약어
H	Holter monitoring / Holter electrocardiography (ECG)	홀터 심전도	
	homozygote	동종접합체	
	hyperlipidemia	고지혈증	
	hypertension	고혈압	HTN
	hypertrophic cardiomyopathy	비후성 심근병증	HCMP
	hypervagotonia	미주신경 항진	
I	iatrogenic AV block	의인성 방실차단	
	idiopathic progressive cardiac conduction disease	원발성 진행성 심장전도계 질환	
	idiopathic ventricular fibrillation	특발성 심실세동	
	idiopathic ventricular tachycardia	특발성 심실빈맥	
	implantable cardioverter defibrillator (=implantable defibrillator)	삽입형 제세동기	ICD
	implantable loop recorder	이식형 사건기록기	ILR
	implantable pacemaker	이식형 심박동기	
	inappropriate shock	부적절한 전기충격	
	incidence	발생율	
	incomplete right bundle branch block	불완전 우각차단	
	inferior vena cava	하대정맥	IVC
	integrated care	통합적 치료	
	integrated management	통합적 관리	
	interatrial septum / atrial septum	심방중격	
	international normalized ratio	국제표준화비율	INR
	interventricular septum / ventricular septum	심실중격	
	intra-aortic balloon pump	대동맥내 풍선펌프	IABP
	intracardiac electrocardiogram	심장내심전도	
	intracerebral hemorrhage	뇌내출혈	
	intracranial hemorrhage	두개내출혈	ICH
	intraventricular conduction	심실내 전도	
	intraventricular reentry	심실내 회귀	
	inward sodium current	내향 나트륨전류	
	ion channel	이온채널	
	ischemia	허혈	
	Ischemic heart disease	허혈성 심장질환	
	ischemic stroke	허혈성 뇌졸중	
	isometric contraction	등척성수축	
	isoproterenol	이소프로테레놀	
J	J wave Syndrome	J파 증후군	
	jugular vein	경정맥	
K	Korean Heart Rhythm Society	대한부정맥학회	KHRS

번호	영문 용어	국문 용어	약어
L	leadless pacing	무전극선 조율	
	leadless pacemaker	무전극선 심박동기	
	left anterior fascicular block	좌전 섬유속 차단	
	left anterior oblique	좌전사위	LAO
	left atrial appendage	좌심방이	
	left atrial appendage exclusion	좌심방이 절제술	LAA exclusion
	left atrial appendage occlusion	좌심방이 폐색술	LAA occlusion
	left bundle branch	좌각 (원방실다발갈래)	
	left bundle branch area pacing	좌각영역조율	LBBAP
	left bundle branch block	좌각차단	LBBB
	left inferior pulmonary vein	좌측하부 폐정맥	
	left posterior fascicular block	좌후 섬유속 차단	
	left superior pulmonary vein	좌측상부 폐정맥	
	left ventricular assist device	좌심실보조장치	LVAD
	left ventricular ejection fraction	좌심실 박출률	LVEF
	left ventricular hypertrophy	좌심실 비대	LVH
	left ventricular outflow tract	좌심실 유출로	LVOT
	left ventricular outflow tract ventricular tachycardia	좌심실 유출로 심실빈맥	LVOT VT
	level of evidence	근거수준	LOE
	lidocaine	리도카인	
	lightheadedness	현기증	
	linear ablation	선형 절제술	
	long QT syndrome	긴 QT 증후군	LQTS
	long standing persistent atrial fibrillation	장기간의 지속성 심방세동	
	loss of consciousness	의식소실	LOC
	low-molecular-weight heparin	저분자량 헤파린	LMWH
M	macro-reentry	대회귀	
	magnetic resonance imaging	자기공명영상	MRI
	major bleeding	주요 출혈	
	manifest entrainment	발현성 동조화	
	Marshall vein	마샬 정맥	
	Maze procedure (operation)	Maze 수술	
	mechanical valve	기계판막	
	mechano-electrical feedback	기계-전기적 되먹임	
	mexiletine	멕실레틴	
	micro-reentry	소회귀	
	microwave ablation	극초단파 절제술	
	mid-diastolic potential	확장중기 전위	
	mineralocorticoid receptor antagonist	미네랄코르티코이드 수용체 길항제	

번호	영문 용어	국문 용어	약어
M	minimal invasive Maze procedure (operation)	최소침습적 Maze 수술	
	minor bleeding	경미한 출혈	
	mitral (valve) prolapse	승모판 탈출증	
	mitral (valve) regurgitation	승모판 역류	
	mitral (valve) stenosis	승모판 협착증	
	mitral regurgitation	승모판역류	
	mitral stenosis	승모판협착증	
	Mobitz type 1 atrioventricular block	Mobitz 1형 방실차단	
	Mobitz type 2 atrioventricular block	Mobitz 2형 방실차단	
	monomorphic ventricular tachycardia	단형 심실빈맥	
	multidetector computed tomography	다중검출 전산화 단층촬영	MDCT
	multidisciplinary	다학제	
	multifocal atrial tachycardia	다소성 심방빈맥	
	myocardial infarction	심근경색	MI
	myocarditis	심근염	
	myofibroblast	근섬유모세포	
N	narrow QRS (complex) tachycardia	좁은 QRS 파 빈맥	
	neurally mediated syncope	신경매개성 실신	
	neurodegenerative disorder	신경변성장애	
	neurogenic orthostatic hypotension	신경(인)성 기립성 저혈압	
	New York heart association	뉴욕심장학회	NYHA
	non-obstructive hypertrophic cardiomyopathy	비폐쇄성 비후성 심근병증	
	nonspecific intraventricular conduction delay	비특이적 심실내 전도지연	
	non-steroidal anti-inflammatory drug	비스테로이드소염제	NSAID
	non-sustained ventricular tachycardia	비지속성 심실빈맥	
	non-vitamin K oral anticoagulant	비 비타민 K 길항제 경구 항응고제	NOAC
	obstructive hypertrophic cardiomyopathy	폐쇄성 비후성 심근병증	
	obstructive sleep apnea	폐쇄성 수면무호흡증	
	off-label reduced dose	허가외 용량감량	
O	off-label use	허가외 사용	
	once daily	하루 한번	QD
	oral anticoagulant	경구항응고제	OAC
	orthodromic atrioventricular reentrant tachycardia (AVRT)	정방향 방실회귀빈맥	
	orthostatic hypotension	기립성 저혈압	
	overdrive suppression	빠른박동에 의한 억제	

번호	영문 용어	국문 용어	약어
P	pace mapping	조율지도화	
	pacemaker	심박동기	
	pacemaker syndrome	심박동기증후군	
	pacing	조율	
	pacing threshold	조율역치	
	palpitation	두근거림 / 심계항진	
	papillary muscle	유두근	
	parasympathetic nerve	부교감신경	
	paroxysmal atrial fibrillation	발작성 심방세동	
	paroxysmal supraventricular tachycardia	발작성 상심실성빈맥	PSVT
	patent foramen ovale	난원공개존(증)	PFO
	peak level	최고농도	
	percutaneous coronary intervention	경피적 관상동맥중재술	PCI
	pericardial effusion	심낭삼출	
	pericardiocentesis	심낭천자	
	pericarditis	심낭염	
	pericardium	심낭	
	peripartum cardiomyopathy	분만전후심근병증	
	peripheral artery disease	말초동맥질환	PAD
	permanent atrial fibrillation	영구적 심방세동	
	permanent junctional reciprocating tachycardia	영구 접합부 왕복빈맥	PJRT
	permanent pacemaker	영구형 심박동기	
	persistent atrial fibrillation	지속성 심방세동	
	photoplethysmography	광혈류측정(기)	PPG
	phrenic nerve palsy	횡경막신경마비	
	polymorphic ventricular tachycardia	다형 심실빈맥	
	Polymorphism	다형성	
	polyunsaturated fatty acid	다불포화지방산	
	post cardiac arrest syndrome	심정지 후 증후군	
	postoperative atrial fibrillation	수술 후 심방세동	
	postural orthostatic tachycardia syndrome	체위 기립성 빈맥증후군	POTS
	potassium channel	칼륨채널	
	preexcitation syndrome	조기흥분 증후군	
	premature beat	조기박동	
	premature contraction	조기수축	
	presyncope	실신전(단계)	
	prevalence	유병율	
	procainamide	프로카인아마이드	
	propafenone	프로파페논	
	prothrombin time	프로트롬빈시간	PT
	proton pump inhibitor	양성자펌프 억제제	PPI

번호	영문 용어	국문 용어	약어
P	psychogenic	정신성	
	psychogenic pseudoseizure	정신성 가성발작	
	psychogenic pseudosyncope	정신성 가성실신	
	pulmonary embolism	폐색전증	PE
	pulmonary thromboembolism	폐혈전색전증	PTE
	pulmonary vein	폐정맥	
	pulmonary vein isolation	폐정맥격리술	
	pulmonary vein stenosis	폐정맥 협착	
	Pulse field ablation	펄스장 절제술	
	pulseless electrical activity	무맥성 전기활동	
Q	quality of life	삶의 질	QOL
	quinidine	퀴니딘	
R	radiofrequency catheter ablation	고주파 카테터 절제술 (고주파 전극도자절제술)	RFCA
	rate control	심박수 조절	
	recommendation	권고사항	
	reentrant tachycardia	회귀성 빈맥	
	reentry	회귀	
	reentry circuit	회귀성 회로	
	reflex syncope	반사성 실신	
	reflex tachycardia	반사성 빈맥	
	refractory period	불응기	
	remodeling	재형성	
	remote monitoring	원격감시	
	renal denervation	신장신경차단술	
	Renin-Angiotensin-Aldosterone System	레닌-안지오텐신-알도스테론 시스템	
	repolarization	재분극	
	resting membrane potential	안정막전위	
	restitution	복원	
	retrograde conduction	역행전도	
	Return of spontaneous circulation	자발순환회복	ROSC
	reversal drug	역전제	
	rhythm control	리듬 조절 (율동 조절)	
	right anterior oblique	우전사위	RAO
	right atrial appendage	우심방이	
	right bundle branch	우각, 오른방실다발갈래	
	right bundle branch block	우각차단	RBBB
	right inferior pulmonary vein	우측하부 폐정맥	
	right superior pulmonary vein	우측상부 폐정맥	

번호	영문 용어	국문 용어	약어
R	right ventricular outflow tract	우심실 유출로	RVOT
	right ventricular outflow tract ventricular tachycardia	우심실 유출로 심실빈맥	RVOT VT
	right ventricular pacing	우심실조율	RVP
	rivaroxaban	리바록사반	
S	screening	선별(검사)	
	second degree atrioventricular block	2도 방실차단	
	septal myectomy	심실중격근절제술	
	short QT syndrome	짧은 QT 증후군	SQTS
	sick sinus syndrome	동기능부전증후군	
	signal-averaged electrocardiography	신호평균 심전도	
	single nucleotide polymorphism	단일 뉴클레오티드 다형성	SNP
	sinoatrial node	동심방결절	SA node
	sinus arrest	동정지	
	sinus arrhythmia	동부정맥	
	sinus bradycardia	동서맥	
	sinus node	동결절	
	sinus node dysfunction	동결절 기능부전	
	sinus node recovery time	동결절 회복시간	SNRT
	sinus rhythm	동리듬	
	sinus tachycardia	동빈맥	
	situational syncope	상황 실신	
	sleep apnea	수면무호흡증	
	smartwatch	스마트워치	
	sodium channel	나트륨채널	
	sotalol	소타롤	
	statin	스타틴	
	stress echocardiography	부하심초음파	
	stress (-induced) cardiomyopathy	스트레스성 심근병증	
	stroke	뇌졸중	
	stroke volume	일회박출량	
	ST-segment elevation myocardial infarction	ST분절 상승 심근경색	STEMI
	subarachnoid hemorrhage	지주막하출혈	
	subclavian steal syndrome	쇄골하동맥도혈 증후군	
	subclavian vein	쇄골하정맥	
	subclinical atrial fibrillation	잠복성 심방세동	
	subdural hemorrhage	경막하출혈	
	substrate	기질	
	sudden cardiac death	돌연 심장사 (급성 심장사)	SCD
	sudden infant death syndrome	영아 돌연사 증후군	
	surgical ablation	수술적 절제술	

번호	영문 용어	국문 용어	약어
S	superior vena cava	상대정맥	SVC
	supine position	바로누운자세	
	supraventricular	상심실성	
	supraventricular tachycardia	상심실성빈맥	SVT
	sustained ventricular tachycardia	지속성 심실빈맥	
	sympathetic denervation	교감신경차단술	
	sympathetic nerve	교감신경	
	syncope	실신	
	systemic embolism	전신색전증	
	systolic	수축기	
	systolic anterior motion	수축기 전방이동	SAM
	systolic potential	수축기 전위	
T	T wave alternans	T파 교대	
	tachyarrhythmia	빈맥성 부정맥	
	tachycardia	빈맥	
	tachycardia dependent bundle branch block	빈맥의존성 각차단	
	tachycardia-induced cardiomyopathy	빈맥유발성 심근병증	
	tachycardia-bradycardia syndrome	빈맥서맥증후군	
	takotsubo cardiomyopathy / syndrome	Takotsubo 심근병증 / 증후군	
	temporary pacemaker	임시 심방동기	
	third degree atrioventricular block	3도 방실차단	
	thromboembolism	혈전색전증	
	time in therapeutic range	치료농도 유지시간	TTR
	tonic clonic seizure	강직간대발작	
	Torsades de pointes	염전성 심실빈맥	TdP
	trabeculation	잔기둥	
	transcatheter aortic valve implantation (replacement)	경피적 대동맥판막 삽입술 (치환술)	TAVI (TAVR)
	transesophageal echocardiography	경식도 심초음파	TEE
	transesophageal electrocardiography	경식도 심전도	
	transient ischemic attack	일과성 허혈성 발작	TIA
	transposition of the great arteries	대혈관전위	TGA
	transseptal puncture (catheterization)	심방중격천자	
	transthoracic echocardiography	경흉부심초음파	TTE
	treatment burden	치료부담	
	trifascicular block	삼첨유속 차단	
	trigger	방아쇠	

번호	영문 용어	국문 용어	약어
T	triggered activity	방아쇠 활동	
	triggered automaticity	유발 자발성	
	troponin	트로포닌	
	trough level	최저농도	
	twice daily	하루 두번	BID
	typical atrioventricular nodal reentrant tachycardia	전형적 방실결절 회귀빈맥	
U	unexplained syncope	원인불명의 실신	
	unfractionated heparin	미분획헤파린	UFH
	unidirectional block	일방향 차단	
	upstream therapy	상류요법	
V	vagal maneuver	미주신경 흥분수기	
	vagus nerve	미주신경	
	valsalva maneuver	발살바법	
	valvular atrial fibrillation	판막성 심방세동	
	vasodepressive	혈압저하형	
	vasovagal syncope	혈관미주신경성 실신 (미주신경성 실신)	
	vegetation	증식물	
	ventricular arrhythmia	심실 부정맥	
	ventricular fibrillation	심실세동	VF
	ventricular premature contraction (beat)	심실조기수축 (박동)	VPC (VPB)
	ventricular septal defect	심실중격결손	
	ventricular tachycardia	심실빈맥	VT
	verapamil	베라파밀	
	verapamil sensitive fascicular tachycardia	베라파밀 민감성 삼첨유속 빈맥	
	Vernakalant	베르나칼란트	
	vertebrobasilar insufficiency	척추뇌바닥 혈류부전	
	vitamin K antagonist	비타민 K 길항제	VKA
	voltage mapping	전위지도화	
W	warfarin	와파린	
	wavefront	파동면	
	wavelength	파장	
	wavelet	파형	
	wearable	웨어러블 / 착용가능	
	wearable device	웨어러블 디바이스 / 착용가능장치	
	Wenckebach atrioventricular block	벤케바흐 방실차단	
	wide QRS (complex) tachycardia	넓은 QRS파 빈맥	
	Wolff-parkinson-white syndrome	볼프-파킨슨-화이트 증후군	WPW syndrome

2024 대한부정맥학회 부정맥 진료지침 (Ⅱ)

인 쇄 2024년 6월 14일

발 행 2024년 6월 20일

저 자 부정맥 진료지침위원회

주 관  **대한부정맥학회**
Korean Heart Rhythm Society

발행처 전남대학교출판문화원

등 록 1981. 5. 21. 제53호

주 소 61186 광주광역시 북구 용봉로 77

전 화 (062) 530-0571~2

영업부 (062) 530-0573

팩 스 (062) 530-0579

홈페이지 <http://www.cnup.co.kr>

이메일 cnup0571@hanmail.net

가격 49,000 원

ISBN 979-11-93707-46-3 (세트)

ISBN 979-11-93707-48-7 (94510)



2024 대한부정맥학회
부정맥 진료지침



대한부정맥학회
Korean Heart Rhythm Society

값 49,000원



9 791193 707487
ISBN 979-11-93707-48-7
ISBN 979-11-93707-46-3(세트)