

[Radiologie \(Heidelb\)](#). 2022; 62(Suppl 1): 22–27.

Published online 2022 Nov 4. doi: [10.1007/s00117-022-01090-8](https://doi.org/10.1007/s00117-022-01090-8)

PMCID: PMC9638361

PMID: [36331586](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36331586/)

# Cardiac adverse reactions of COVID-19 vaccination: cardiac MRI findings

## COVID-19 ワクチン接種による心臓の有害反応:心臓 MRI 所見

[Dmitrij Kravchenko](#), MD<sup>1,2</sup> and [Julian Alexander Luetkens](#)<sup>1,2</sup>

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9638361/>

### 抄録

1

#### Background(背景)

COVID-19 のパンデミックを受けて COVID-19 ワクチンが急速に開発されたことを受けて、同様に迅速に展開されたワクチン接種キャンペーンが開始され、世界中で 120 億件以上のワクチン接種が行われている。ワクチンに関連した有害反応(VAARs)の報告は、頭痛や注射部位の疼痛から、脳静脈洞血栓症など生命を脅かす可能性のある事象まで多岐にわたっている。心臓も VAARs の影響を免れておらず、主に若年男性の接種者において、ワクチン関連の心筋梗塞や、まれではあるがより一般的には心筋炎および心筋周囲炎が報告されている。

#### 方法論の革新

T1 および T2 緩和時間の延長、T2 信号強度比の上昇、心外膜下でのガドリニウム遅延造影などのワクチン関連心筋炎の心臓 MRI 所見は、ウイルス誘発性心筋炎の所見と同様であることが実証されており、ワクチン関連の心筋炎症を確認するための診断目的で 2018 年改訂 Lake Louise Criteria を使用することが可能になっている。心筋症や不整脈など、他に報告された心臓所見は症例報告に限られていた。心筋梗塞の発現率が全体集団と比較して高いことは認められなかった。

#### 結論

ワクチン関連心筋炎の全体的な予備的予後は、最初の報告で示唆されているように良好であると思われるが、起こりうる続発症および結果を十分に評価するには長期のフォローアップが必要である。

\*本翻訳は MediTRANS(<http://www.mcl-corp.jp/meditrans/>)という機械(AI)翻訳エンジンによるものであり、人による翻訳内容の検証等は行っていません。従いまして本翻訳の利用に際しては、原著論文が正であることをご理解の上、あくまでも個人の理解のための参考に留めていただきますようお願いいたします。

**Keywords:** Magnetic resonance imaging, Myocarditis, Covid-19, Myocardial injury, Side effect

## はじめに

世界保健機関(World Health Organization:WHO)によると、2022年8月現在、世界で約5億9100万例のCOVID-19(coronavirus disease 2019)の感染が確認されており、640万例の死亡が確認されている[1].SARS-CoV2(severe acute respiratory syndrome coronavirus 2)は、当初は下気道の感染から非定型肺炎を引き起こすとされていたが、その後、皮膚、脳、および心臓に影響を及ぼす可能性がある多臓器疾患として認識されるようになった[2]。COVID-19 ワクチンの開発は世界中で累計124億回に達した[1].この急速に展開されたワクチン接種キャンペーンは、COVID-19の多くの望ましくない影響を予防するとともに、SARS-CoV2の感染拡大を抑制するのに役立っており、研究によると、利用可能な全てのワクチンの全体的な有効性は70%を超え、mRNAベースのワクチンでは94%を超えると推定されている[3].1990年代に、米国疾病予防管理センター(Centers for Disease Control and Prevention:CDC)と米国食品医薬品局(Food and Drug Administration:FDA)は、米国で認可されたワクチンの接種後に起こりうる副作用を記録するために、「ワクチン有害事象報告システム(Vaccine Adverse Event Reporting System:VAERS)」と呼ばれるデータベースを構築した。これは現在の世界的流行において極めて重要なツールとなっており、医療提供者がワクチンに関連する全ての有害反応を独自に報告できるようになっている(VAARs)。COVID-19 ワクチンの有益性に疑いの余地はないが、VAARsについての詳細な報告がいくつか報告されており、その内容は通常、頭痛、注射部位の疼痛、悪寒から、洞静脈血栓症や心筋炎などの生命を脅かす可能性のある事象まで多岐にわたる[3-6].心血管性VAARsは、主に若年男性で心筋炎、心膜炎、またはその両方(傍心筋炎)として発症する傾向がある。不整脈も頻繁に報告されている。これまでのところ、心筋梗塞の報告は症例報告に限られている[7].COVID-19のパンデミックは現在も続いているため、パンデミックの影響が実際にどの程度のものであったかを明らかにするには、長期的なフォローアップ研究を行う必要がある。

## 心臓ワクチン関連有害事象の画像に基づく評価

### 心筋炎または心膜炎

COVID-19 ワクチン接種後に発生するVAARのうち、圧倒的に多く報告されているが、依然としてまれなものとして急性心筋炎または心膜炎があり、推定発生率はワクチン接種100,000件当たり0.48例である[8].COVID-19 ワクチンが広く接種されるようになってから、主に若年男性で通常は2回目のワクチン接種後に心筋炎が発生したとの報告があり始めた[5,9-11].VHERSは、Ad26.COV2S[recombinant](Janssen)ワクチンで94例、mRNA-1273(Moderna)ワクチンで980例、BNT162b2(Pfizer/BioNTech)ワクチンで1897例の心筋炎を報告している[12].ワクチン接種後に急性発症する心筋炎は新しい現象ではなく、以前にもインフルエンザワクチンや天然痘

\*本翻訳は MediTRANS(<http://www.mcl-corp.jp/meditrans/>)という機械(AI)翻訳エンジンによるものであり、人による翻訳内容の検証等を行っておりません。従いまして本翻訳の利用に際しては、原著論文が正であることをご理解の上、あくまでも個人の理解のための参考に留めていただきますようお願いいたします。

ワクチンで報告されている[13].主な臨床所見は通常、呼吸困難または胸痛であるが、不整脈を伴うこともある[9].心筋炎のほとんどの症例でトロポニン T やその他の心筋逸脱酵素の上昇が観察されている[5,8].決定的な病理機序は完全には解明されていないが、過剰免疫が重要な役割を果たしていると提唱されている。例えば、ワクチンの一部である mRNA 自体やウイルスのスパイクタンパク質が体内で抗原として認識され、心筋細胞内で炎症カスケードが形成される可能性がある[14,15]。-

心内膜心筋生検は依然として心筋炎診断の参照基準となっているが、侵襲的であることから、特に合併症のない症例では心臓 MRI にほぼ取って代わられている。2018 年に改訂されたレイク・ルイズ基準は、心臓 MRI で急性心筋炎を診断するための信頼できる診断ツールであることが確認されている。心臓 MRI では、T1 強調画像(本来の T1 緩和時間の延長、細胞外液量の増加、またはガドリニウムによる遅延造影[LGE]の陽性所見)と T2 強調画像(T2 緩和時間の延長、局所または全体の T2 信号強度比の増加)を利用することで、心臓の炎症性変化を描出することができる[16-18].最近の研究では、ワクチン関連心筋炎における心臓 MRI の変化はウイルス誘発性心筋炎の変化と類似していることが示されており、図 1 に示すように、修正レイクルイズ基準をワクチン関連心筋炎に適用することが可能になっている[5,17,18]。典型的な心臓 MRI 所見には、外側壁の心外膜下 LGE などがあり、これはトロポニン T 上昇の程度と相関する傾向がある。その他のよくみられる所見は、T1 および T2 緩和時間の延長、ならびに局所または全体の T2 信号強度比の上昇である。一部の研究者は、ワクチン関連心筋炎では急性ウイルス誘発性心筋炎と比較して LGE 画像上で中隔および心筋中部が侵される頻度が低いこと[19,20],ならびに全体的な左室駆出率の上昇が認められたことに注目している。ワクチンに関連した孤立性心膜炎は過去にも報告されているが、ほとんどの症例で心筋炎と心膜炎が 1 つの事象として報告されているため、このトピックに関して画像検査に基づく公表文献はほとんどない[21].心膜炎の炎症はときに急性心筋炎を伴って観察され、心膜炎心筋炎を引き起こす。

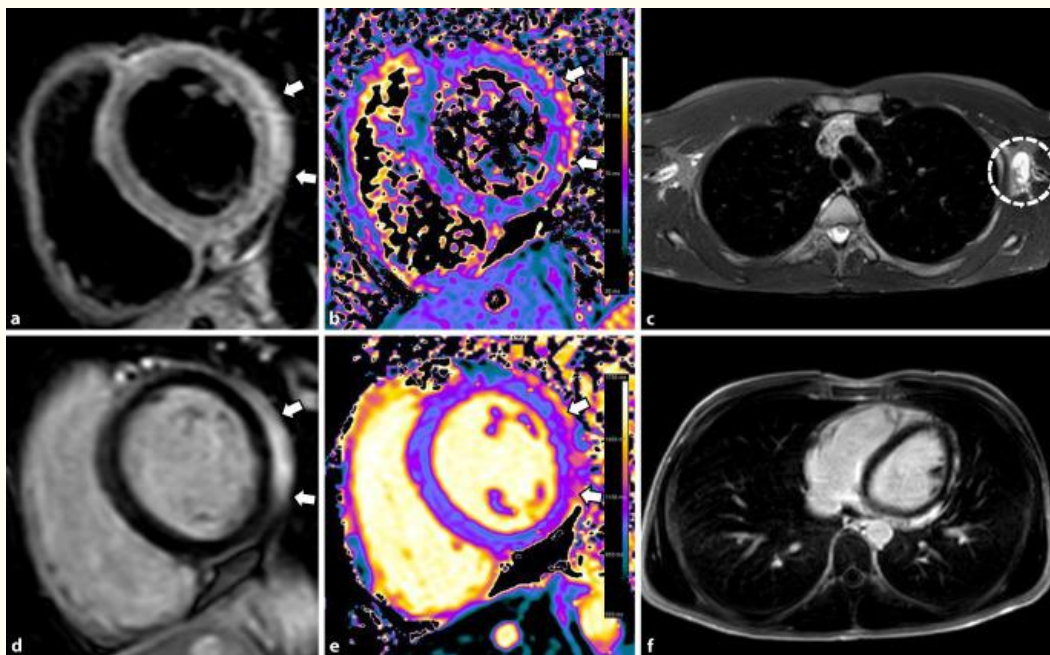


図 1

mRNA-1273(Moderna)ワクチンの2回目の接種から4日後に行われた、ワクチン関連の急性心筋炎を発症した27歳男性患者の心臓MRI画像。臨床検査中に高感度トロポニンTの上昇が認められた(579 ng/nL,臨床検査基準:< 12 ng/nL)。短軸像でのT2 short tau inversion recovery(STIR)sequenceにより、局所浮腫(矢印)と一致して心外膜下T2シグナルの上昇が示されている。b 対応するT2緩和時間の延長(全体のT2:60 ms;部位特異的なカットオフ値: 55.9 ms以上)が、短軸T2パラメトリックマップ(矢印)上に認められる。c 体軸脂肪抑制T2強調画像では、注射アームの同側に短軸径1.5 cm(破線の円)までの腋窩リンパ節腫脹が認められる。d 短軸遅延ガドリニウム造影(LGE)により、対応する心外膜下の造影剤増強(矢印)が明らかになる。e T1パラメトリックマップでは、局所の心外膜下T1弛緩時間の延長が示されている(global T1:1050 ms;site specific cut-off value:≥ 1000 ms;矢印)。f 基底部および心筋中部の側壁に沿った心外膜下の造影剤増強を示すLGEの水平断像

ワクチンに関連した急性心筋炎または心膜炎の臨床症状は、心臓MRI所見と同様に自然に軽快する傾向があり、発症から数週間以内に消失する[11]。現在のところ、ワクチン関連心筋炎の自然経過に関する文献はわずかである。ワクチン関連心筋炎では、発症から3カ月以内に心臓MRI所見が急速に改善することが新たな研究で示唆されているが、フォローアップ時にも限局性の線維性変化が認められた[22]。図2は、急性心筋炎を有する25歳男性患者の最初の心臓MRI時の自然経過と7カ月後の追跡時の活動性炎症の消失を示している。-

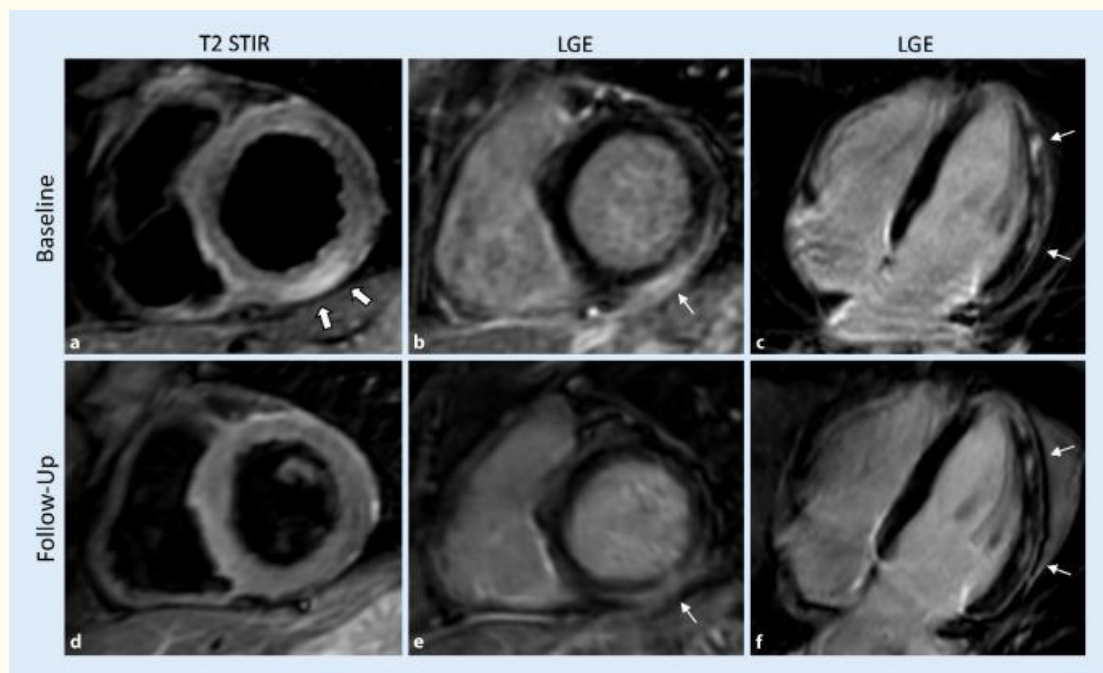


図 2

BNT162b2(Pfizer/BioNTech)ワクチンの2回目の接種をベースライン時(MRIは接種の4日後に実施)と7カ月後のフォローアップ時に受けた25歳の若年男性患者における、ワクチン関連の急性心筋炎の自然経過を示したMRI画像。T2 short tau inversion recovery(STIR)画像では、短軸像(b,e)および四腔像(c,f)において、局所浮腫に対応する心筋中央部の心外膜下側壁(a,dの太い矢印)で信号強度の増大が示され、ガドリニウム遅延造影(LGE)画像(細い矢印)では造影剤による増強が認められる。ベースラインからフォローアップまでの心筋浮腫の消失に注目し、活動性の心筋炎症の消失を示す。完全な消失を伴わないLGEの減少はフォローアップ時にもみられ、心筋リモデリング後の持続的な心筋瘢痕化および瘢痕収縮を反映している可能性が最も高い。-

これらの予備的な所見は有望であるが、心筋損傷の真の程度および長期的な臨床効果を示すことができるのは、長期のフォローアップ検査のみである。COVID-19 ワクチンが筋細胞に及ぼす影響に関して、clinicaltrials.gov のウェブサイトには現在、大規模な多施設共同研究を含めて少なくとも 96 の研究が登録されている[23]。現在公表されている文献の一部を表 1 に示す。

**表 1**

COVID-19 ワクチン関連心筋炎に関する症例集積研究および後ろ向き研究に重点を置いた最近の文献の概要

Authors	Year	Study type	Patients (n)	Males (n)	Age (years)	First/second dose (n)	Vaccine P/M/A/J (n)	Symptoms	Cardiac MRI findings
Ahmed SK. et al. [28]	2022	Case series	7	7	24.6	0/7	5/2/0/0	Chest pain, fatigue, shortness of breath, elevated troponin T	Acute non-severe myocarditis after vaccination
Fronza et al. [19]	2022	Retrospective study	21	17	31.0	4/17	9/12/0/0	Chest pain	LGE findings in all patients
Kravchenko et al. [5]	2022	Retrospective study	9	7	24.0	2/7	8/1/0/0	Chest pain, elevated troponin T, fatigue	All LLC-positive patients demonstrated elevated troponin T and LGE on cardiac MRI
Abellan C. et al. [29]	2021	Case series	3	3	28.7	0/3	0/3/0/0	Chest pain, elevated troponin T	Acute non-severe myocarditis after vaccination
Diaz AG. et al. [30]	2021	Retrospective study	20	15	36 <sup>a</sup>	4/16	9/11/0/0	N/A	Acute non-severe myocarditis or perimyocarditis

[別のウィンドウで開く](#)

P Pfizer/BioNTech, M Moderna, A AstraZeneca, J Johnson&Johnson, N/A not available, LGE late gadolinium enhancement, LLC Lake Louise criteria

【a】中央値として報告されたデータ

## 心筋梗塞

ワクチン関連心筋炎よりもさらに頻度が低いものにワクチン関連心筋梗塞があり、現在のところ決定的なデータは得られていない。COVID-19 ワクチン接種後に心筋梗塞を発症したとする症例報告がいくつか報告されているが、症状の発現とワクチン接種との時間的關係以外に明確な因果関係は認められなかった[7,24,25]。SARS-CoV2 の感染によって血栓イベントが誘発されることが知られており、ワクチン関連の心筋梗塞にも同様の病理機序が関与している可能性がある[26]。血管攣縮やアテローム性プラーク破裂などの別の病理機序も提唱され

ている[25].心筋梗塞と COVID-19 ワクチン接種との間に本当に因果関係があるのかをさらに解明するには、系統的研究が必要である。心筋トロポニン値の上昇と心電図異常を伴う胸痛を呈する患者には、基礎にある可能性のある陰影欠損を直接証明するために、冠動脈 CT 血管造影または冠動脈造影を施行すべきである。ワクチンは COVID-19 後の急性心筋梗塞のリスクを低下させることが示されており、ワクチン関連の急性冠症候群の潜在的リスクを上回る効果がある[27].

## まとめと展望

---

医師は、現在の COVID-19 ワクチンがもたらす潜在的な危険因子を認識しておくべきである。まれではあるが(推定発生率はワクチン接種 100,000 件当たり 0.48 件),最近の COVID-19 ワクチン接種歴があり、症状が発現している若年患者では、特に心電図異常および/または心筋トロポニン T 値の上昇がみられる場合、ワクチン関連心筋炎を疑うべきである。心臓 MRI 所見は典型的には、心外膜下 LGE,浮腫、ならびに T1 および T2 弛緩時間の延長など、ウイルス性の急性梗塞様心筋炎でみられる所見と類似している。数週間以内に症状が消失する傾向があり、予備的所見からは関連する続発症がないことが示唆される。しかしながら、ワクチン接種直後に急性胸痛や呼吸困難などの心筋梗塞の典型的症状がみられた場合にも、ワクチン関連心筋梗塞を疑い、除外すべきである。COVID-19 の世界的流行が続いている現在も、このウイルスとそれが引き起こす病気、そして起こりうる VAARs について、多くのことが解明されつつある。COVID-19 ワクチンの長期的な効果の真の程度を明らかにできるのは、長期的なフォローアップのみである。

COVID-19 ワクチン接種について VAARs に報告することは、ワクチンが患者にもたらす潜在的な危険因子について医師の認識を高める上で極めて重要であるため、軽視してはならない。これにより、患者は必要なときに適切な治療を受けられるようになる。しかし、これは COVID-19 ワクチンが我々にもたらした便益を減少させるものではない。現在、ワクチンは COVID-19 のパンデミックを緩和するために利用できる最も効果的なツールであり、まれに起こりうる有害反応によってワクチン接種を受けることをためらうべきではない。

## 実際的な結論

---

- COVID-19 ワクチン接種後にワクチン誘発性心筋炎が観察されることはまれであるが、ワクチン接種後、特に mRNA ワクチン接種後に急性症状に発症した患者では考慮すべきである。
- ワクチンにより誘発された心膜心筋炎の心臓 MRI 所見は、ウイルスにより誘発された心筋炎と類似していると報告されていることから、ワクチンにより誘発された心膜心筋炎が疑われる患者の診断評価に Lake Louise 基準を使用することが可能である。
- 心筋症または心筋梗塞などの他の心臓の副作用の発生は、現在のところ症例報告に限られている。

## デklarেশion

---

### 利益相反

D.クラフチェンコは、競合する利益はないと断言する。J.A.Luetkens は、Philips HealthCare から講義に対する報酬を、Bayer HealthCare から科学諮問委員会に関連する活動に対する報酬を受け取った。

本稿では、いずれの著者もヒトまたは動物を用いた試験を実施していない。言及された全ての試験は、それぞれの事例で示された倫理基準に従って実施された。

本記事を含む補遺は企業から提供されたものではない。

### 脚注

---



QR コードをスキャンしてオンラインで記事を読む

### 参考文献

---

1. WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard (2022) WHO Coronavirus (COVID-19) dashboard with vaccination data. <https://covid19.who.int/>. Accessed 22 Aug 2022
2. Thakur V, Ratho RK, Kumar P, Bhatia SK, Bora I, Mohi GK, et al. Multi-organ involvement in COVID-19: Beyond pulmonary manifestations. *JCM*. 2021;10(3):446. doi: 10.3390/jcm10030446. [[PMC free article](#)] [[PubMed](#)] [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)]
3. Cai C, Peng Y, Shen E, Huang Q, Chen Y, Liu P, et al. A comprehensive analysis of the efficacy and safety of COVID-19 vaccines. *Mol Ther*. 2021;29(9):2794–2805. doi: 10.1016/j.ymthe.2021.08.001. [[PMC free article](#)] [[PubMed](#)] [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)]
4. Schulz JB, Berlit P, Diener H-C, Gerloff C, Greinacher A, Klein C, et al. COVID-19 vaccine-associated cerebral venous thrombosis in Germany. *Ann Neurol*. 2021;90(4):627–639. doi: 10.1002/ana.26172. [[PMC free article](#)] [[PubMed](#)] [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)]
5. Kravchenko D, Isaak A, Mesropyan N, Endler C, Bischoff L, Vollbrecht T, et al. Cardiac MRI in Suspected Acute Myocarditis

- After COVID-19 mRNA Vaccination. *Rofo*. 2022;194(09):1003–1011. doi: 10.1055/a-1752-0951. [[PubMed](#)] [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)]
6. Sharifian-Dorche M, Bahmanyar M, Sharifian-Dorche A, Mohammadi P, Nomovi M, Mowla A. Vaccine-induced immune thrombotic thrombocytopenia and cerebral venous sinus thrombosis post COVID-19 vaccination; a systematic review. *J Neurol Sci*. 2021;428:117607. doi: 10.1016/j.jns.2021.117607. [[PMC free article](#)] [[PubMed](#)] [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)]
7. Sung JG, Sobieszczyk PS, Bhatt DL. Acute myocardial infarction within 24 hours after COVID-19 vaccination. *Am J Cardiol*. 2021;156:129–131. doi: 10.1016/j.amjcard.2021.06.047. [[PMC free article](#)] [[PubMed](#)] [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)]
8. Witberg G, Barda N, Hoss S, Richter I, Wiessman M, Aviv Y, et al. Myocarditis after Covid-19 vaccination in a large health care organization. *N Engl J Med*. 2021;385(23):2132–2139. doi: 10.1056/NEJMoa2110737. [[PMC free article](#)] [[PubMed](#)] [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)]
9. Bozkurt B, Kamat I, Hotez PJ. Myocarditis with COVID-19 mRNA vaccines. *Circulation*. 2021;144(6):471–484. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.121.056135. [[PMC free article](#)] [[PubMed](#)] [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)]
10. Isaak A, Feisst A, Luetkens JA. Myocarditis following COVID-19 vaccination. *Radiology*. 2021;301(1):E378–E379. doi: 10.1148/radiol.2021211766. [[PMC free article](#)] [[PubMed](#)] [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)]
11. Kim HW, Jenista ER, Wendell DC, Azevedo CF, Campbell MJ, Darty SN, et al. Patients with acute myocarditis following mRNA COVID-19 vaccination. *JAMA Cardiol*. 2021;6(10):1196–1201. doi: 10.1001/jamacardio.2021.2828. [[PMC free article](#)] [[PubMed](#)] [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)]
12. United States Department of Health and Human Services (DHHS), Public Health Service (PHS), Centers for Disease Control (CDC), Food and Drug Administration (FDA) Vaccine Adverse Event Reporting System (VAERS) 1990–07/22/2022, CDC WONDER on-line database. <http://wonder.cdc.gov/vaers.html>. Accessed 2 Aug 2022
13. Kuntz J, Crane B, Weinmann S, Naleway AL. Myocarditis and pericarditis are rare following live viral vaccinations in adults. *Vaccine*. 2018;36(12):1524–1527. doi: 10.1016/j.vaccine.2018.02.030. [[PMC free article](#)] [[PubMed](#)] [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)]
14. Heymans S, Cooper LT. Myocarditis after COVID-19 mRNA vaccination: clinical observations and potential mechanisms. *Nat Rev Cardiol*. 2022;19(2):75–77. doi: 10.1038/s41569-021-00662-w. [[PMC free article](#)] [[PubMed](#)] [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)]
15. Segal Y, Shoenfeld Y. Vaccine-induced autoimmunity: the role of molecular mimicry and immune crossreaction. *Cell Mol Immunol*. 2018;15(6):586–594. doi: 10.1038/cmi.2017.151. [[PMC free article](#)] [[PubMed](#)] [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)]
16. Luetkens JA, Faron A, Isaak A, Dabir D, Kuetting D, Feisst A, et al. Comparison of original and 2018 Lake Louise criteria for diagnosis of acute myocarditis: results of a validation cohort. *Radiol Cardiothorac Imaging*. 2019;1(3):e190010. doi: 10.1148/ryct.2019190010. [[PMC free article](#)] [[PubMed](#)] [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)]
17. Ferreira VM, Schulz-Menger J, Holmvang G, Kramer CM, Carbone I, Sechtem U, et al. Cardiovascular magnetic resonance in nonischemic myocardial inflammation: expert recommendations. *J Am Coll Cardiol*. 2018;72(24):3158–3176. doi: 10.1016/j.jacc.2018.09.072. [[PubMed](#)] [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)]
18. Lurz P, Luecke C, Eitel I, Föhrenbach F, Frank C, Grothoff M, et al. Comprehensive cardiac magnetic resonance imaging in patients with suspected myocarditis: the myoracer-trial. *J Am Coll Cardiol*. 2016;67(15):1800–1811. doi: 10.1016/j.jacc.2016.02.013. [[PubMed](#)] [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)]



19. Fronza M, Thavendiranathan P, Chan V, Karur GR, Udell JA, Wald RM, et al. Myocardial injury pattern at MRI in COVID-19 vaccine-associated myocarditis. *Radiology*. 2022 doi: 10.1148/radiol.212559. [[PMC free article](#)] [[PubMed](#)] [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)]
20. Patel YR, Shah NR, Lombardi K, Agarwal S, Has P, Patel R, et al. Cardiac MRI findings in male patients with acute myocarditis in the presence or absence of COVID-19 vaccination. *Radiol Cardiothorac Imaging*. 2022;4(3):e220008. doi: 10.1148/ryct.220008. [[PMC free article](#)] [[PubMed](#)] [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)]
21. Wong H-L, Hu M, Zhou CK, Lloyd PC, Amend KL, Beachler DC, et al. Risk of myocarditis and pericarditis after the COVID-19 mRNA vaccination in the USA: a cohort study in claims databases. *Lancet*. 2022;399(10342):2191–2199. doi: 10.1016/S0140-6736(22)00791-7. [[PMC free article](#)] [[PubMed](#)] [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)]
22. Alhussein MM, Rabbani M, Sarak B, Dykstra S, Labib D, Flewitt J, et al. Natural history of myocardial injury following COVID-19 vaccine associated myocarditis. *Can J Cardiol*. 2022 doi: 10.1016/j.cjca.2022.07.017. [[PMC free article](#)] [[PubMed](#)] [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)]
23. ClinicalTrials.gov Incidence, patient characteristics and outcome of myocarditis after COVID-19 mRNA vaccine. <https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT05438472?term=COVID-19+AND+myocarditis&draw=2&rank=1>. Accessed 1 Aug 2022
24. Iqbal S, Adnan G, Farhad A, Ahmed I, Rahman MN. Acute myocardial infarction after Coronavirus vaccine: a rare adverse effect. *Cureus*. 2022;14(1):e21544. [[PMC free article](#)] [[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
25. Tajstra M, Jaroszewicz J, Gąsior M. Acute coronary tree thrombosis after vaccination for COVID-19. *JACC Cardiovasc Interv*. 2021;14(9):e103–e104. doi: 10.1016/j.jcin.2021.03.003. [[PMC free article](#)] [[PubMed](#)] [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)]
26. McFadyen JD, Stevens H, Peter K. The emerging threat of (micro)thrombosis in COVID-19 and its therapeutic implications. *Circ Res*. 2020;127(4):571–587. doi: 10.1161/CIRCRESAHA.120.317447. [[PMC free article](#)] [[PubMed](#)] [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)]
27. Kim Y-E, Huh K, Park Y-J, Peck KR, Jung J. Association between vaccination and acute myocardial infarction and ischemic stroke after COVID-19 infection. *JAMA*. 2022;328(9):887. doi: 10.1001/jama.2022.12992. [[PMC free article](#)] [[PubMed](#)] [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)]
28. Ahmed SK. Myocarditis after BNT162b2 and mRNA-1273 COVID-19 vaccination: A report of 7 cases. *Ann Med Surg*. 2022;77:103657. doi: 10.1016/j.amsu.2022.103657. [[PMC free article](#)] [[PubMed](#)] [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)]
29. Abellan C, Vivekanantham H, Mahmoudi A, Cook S, Doll S, Arroyo D. A case series of acute myocarditis associated with SARS-CoV-2 mRNA vaccination. *Cardiovasc Med*. 2021;24:w10103. doi: 10.4414/cvm.2021.w10103. [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)]
30. Diaz GA, Parsons GT, Gering SK, Meier AR, Hutchinson IV, Robicsek A. Myocarditis and pericarditis after vaccination for COVID-19. *JAMA*. 2021;326(12):1210–1212. doi: 10.1001/jama.2021.13443. [[PMC free article](#)] [[PubMed](#)] [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)]
31. Larson KF, Ammirati E, Adler ED, Cooper LT, Hong KN, Saponara G, et al. Myocarditis after BNT162b2 and mRNA-1273 vaccination. *Circulation*. 2021;144(6):506–508. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.121.055913. [[PMC free article](#)] [[PubMed](#)] [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)]
32. Marshall M, Ferguson ID, Lewis P, Jaggi P, Gagliardo C, Collins JS, et al. Symptomatic acute myocarditis in 7 adolescents after Pfizer-bioNtech COVID-19 vaccination. *Pediatrics*. 2021 doi: 10.1542/peds.2021-052478. [[PubMed](#)]

[\[CrossRef\]](#) [\[Google Scholar\]](#)

33. Montgomery J, Ryan M, Engler R, Hoffman D, McClenathan B, Collins L, et al. Myocarditis following immunization with mRNA COVID-19 vaccines in members of the US military. *JAMA Cardiol.* 2021;6(10):1202–1206. doi: 10.1001/jamacardio.2021.2833. [\[PMC free article\]](#) [\[PubMed\]](#) [\[CrossRef\]](#) [\[Google Scholar\]](#)

34. Abu Mouch S, Roguin A, Hellou E, Ishai A, Shoshan U, Mahamid L, et al. Myocarditis following COVID-19 mRNA vaccination. *Vaccine.* 2021;39(29):3790–3793. doi: 10.1016/j.vaccine.2021.05.087. [\[PMC free article\]](#) [\[PubMed\]](#) [\[CrossRef\]](#) [\[Google Scholar\]](#)

35. Rosner CM, Genovese L, Tehrani BN, Atkins M, Bakhshi H, Chaudhri S, et al. Myocarditis temporally associated with COVID-19 vaccination. *Circulation.* 2021;144(6):502–505. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.121.055891. [\[PMC free article\]](#) [\[PubMed\]](#) [\[CrossRef\]](#) [\[Google Scholar\]](#)

---

Articles from *Radiologie* (Heidelberg, Germany) are provided here courtesy of **Nature Publishing Group**