

Statusartikel

Vaccination ved organtransplantation

Sebastian Rask Hamm¹, Christina Ekenberg², Hans Henrik Lawaetz Schultz³, Lykke Larsen⁴, Karin Skov⁵, Marie Helleberg^{1, 6}, Søren Jensen-Fangel^{7, 8}, Zitta Barella Harboe^{2, 6}, Carsten Schade Larsen^{7, 8} & Susanne Dam Nielsen^{1, 6, 9}

1) Afdeling for Infektionssygdomme, Københavns Universitetshospital – Rigshospitalet, 2) Lunge- og Infektionsmedicinsk Afdeling, Københavns Universitetshospital – Nordsjællands Hospital, 3) Afdeling for Hjertesygdomme, Københavns Universitetshospital – Rigshospitalet, 4) Infektionsmedicinsk Afdeling, Odense Universitetshospital, 5) Nyresygdomme, Aarhus Universitetshospital, 6) Institut for Klinisk Medicin, Københavns Universitet, 7) Infektionssygdomme, Aarhus Universitetshospital, 8) Institut for Klinisk Medicin, Aarhus Universitet, 9) Afdeling for Transplantation og Sygdomme i Fordøjelsessystemet, Københavns Universitetshospital – Rigshospitalet

HOVEDBUDSKABER

- Der er udkommet danske anbefalinger om vaccination af organtransplanterede patienter.
- Landsdækkende tilbud om rådgivning og administration af vacciner inden organtransplantation er implementeret.
- Efter implementeringen er vaccinationsdækning hos patienter, der afventer organtransplantation, høj.

Organtransplantation er en livreddende behandling til patienter med organsvigt. WHO oplyser, at der på verdensplan foretages 150.000 organtransplantationer hvert år [1], og i Danmark blev over 400 patienter organtransplanteret i 2024, heraf blev hovedparten nyretransplanteret [2].

Organtransplantationer i Danmark udføres som højt specialiseret behandling på Rigshospitalet, Aarhus Universitetshospital og Odense Universitetshospital.

Alle organtransplanterede patienter skal efter transplantationen immunsupprimeres for at undgå afstødning af det transplanterede organ. Organtransplanterede patienter får vedligeholdelsesimmunsupprimerende behandling, der inkluderer to eller tre præparater fra stofgrupperne calcineurinhæmmere, antimetabolitter, mammalian target of rapamycin-hæmmere og kortikosteroider. Patienter med afstødningsreaktioner behandles med intensiveret immunsuppression, der kan inkludere højdosis kortikosteroid, antitymocytglobulin og plasmaferese. Samlet giver den immunsupprimerende behandling både en generel hæmning af inflammationsdrevet immunaktivering og især en hæmning af T-lymfocytproliferation og -funktion [3].

På grund af den immunsupprimerende behandling har organtransplanterede patienter øget risiko for at få infektioner og øget risiko for alvorlige forløb af infektioner [4]. Under COVID-19-pandemien blev det vist, at organtransplanterede patienter havde øget risiko for svære COVID-19-forløb [5, 6]. Den immunsupprimerende behandling gør også, at organtransplanterede patienter har nedsat

immunrespons ved vaccination, herunder også vaccination mod COVID-19 [7-10]. Trods dette er der lavere mortalitet forbundet med COVID-19 blandt organtransplanterede patienter, der er vaccineret end hos ikkevaccinerede [6, 11]. På baggrund af data som disse anbefales det at forebygge vaccineforebyggelige sygdomme hos organtransplanterede patienter ved brug af vaccination.

Oversigt over danske og internationale anbefalinger

Tabel 1 viser en oversigt over danske og internationale anbefalinger for vaccination før og efter organtransplantation [12-16]. Disse anbefalinger baserer sig i høj grad på studier i den generelle befolkning eller andre risikogrupper grundet manglende evidens for vaccination af organtransplanterede. Desuden bør organtransplanterede følge populationsanbefalinger for vaccination i tilfælde af epidemier, hvor der typisk vil komme anbefalinger specifikt til immunsupprimerede populationer.

TABEL 1 Oversigt over vaccinationsanbefalinger til personer før/efter organtransplantation.

Sygdom	Vaccine	Inaktiveret/ levende svækket	Vaccinationsanbefalinger internationale guidelines [13-16]	dansk guideline [12]
Difteri-tetanus-kighoste	diTekiBooster	Inaktiveret	Booster hvert 10. år Primærvaccination forudsættes	Der vaccineres, hvis personen ikke har fået en diTekiBooster inden for de seneste 3 år Herefter anbefales revaccination med diTekiBooster hvert 10. år Primærvaccination forudsættes
Hepatitis A	Vaqta Havrix (Twinrix)	Inaktiveret	Seronegative personer før/efter levertransplantation samt øvrige transplantationstyper med særlig risiko ^a	Seronegative personer før/efter levertransplantation samt øvrige transplantationstyper med særlig risiko ^a
Hepatitis B	Engerix-B Fendrix (Twinrix)	Inaktiveret	Alle seronegative personer før/efter transplantation	Seronegative personer før/efter levertransplantation samt øvrige transplantationstyper med særlig risiko ^a
<i>Haemophilus influenzae</i>	ActHIB	Inaktiveret	Personer før/efter transplantation i øget risiko for infektion med <i>H. influenzae</i>	Personer før/efter transplantation i øget risiko for infektion med <i>H. influenzae</i> ^b
Herpes zoster	Shingrix	Inaktiveret	Alle seropositive personer før/efter transplantation	Alle seropositive personer før/efter transplantation
Humant papillomvirus	Gardasil 9	Inaktiveret	Før/efter transplantation til personer ≤ 26 år	Før/efter transplantation til personer ≤ 30 år samt personer ≤ 45 år i øget risiko for HPV-infektion eller ved kendt HPV-relateret sygdom ^c
Influenza	Elfluelda (højdos) Influvactetra Vaxigriptetra	Inaktiveret	Årlig vaccination til alle personer før/efter transplantation (højdos hvis tilgængelig) samt nære kontakter (standarddos)	Årlig vaccination til alle personer før/efter transplantation (højdos hvis tilgængelig) samt nære kontakter (standarddos)
Meningokokker	Menveo (A, C, W ₁₃₅ , Y) Nimenrix (A, C, W ₁₃₅ , Y) Bexsero (B) Trumenba (B)	Inaktiveret	Før/efter transplantation til personer i øget risiko for invasiv meningokoksygdom ^c	Før/efter transplantation til personer i øget risiko for invasiv meningokoksygdom ^d
Mæslinger-fåresyge-røde hunde	M-M-Rvaxpro	Levende svækket	Alle seronegative personer før transplantation Der gives 1 dosis ≤ 4 uger før transplantation Antistoffer kontrolleres 4 uger efter vaccination, som gentages 1 x, hvis personen ikke er serokonverteret, og tiden tillader det Vaccinationsserie skal være afsluttet ≤ 4 uger før transplantation Vaccination er kontraindiceret efter transplantation	Alle seronegative personer før transplantation Der gives 1 dosis ≥ 4 uger før transplantation Antistoffer kontrolleres 4 uger efter vaccination, som gentages 1 x, hvis personen ikke er serokonverteret, og tiden tillader det Vaccinationsserie skal være afsluttet ≤ 4 uger før transplantation Vaccination er kontraindiceret efter transplantation
Pneumokokker	Prevenar 20 Pneumovax	Inaktiveret	Hos ikke tidl. pneumokokkvaccinerede anbefales 1 dosis Prevenar 20 eller PCV21 i lande, hvor denne er tilgængelig Ved tidl. vaccination med Pneumovax anbefales 1 dosis Prevenar 20 (eller PCV21 hvis tilgængelig) min. 1 år efter seneste Pneumovax Ved tidl. vaccination med Prevenar 13 anbefales 1 dosis Prevenar 20 (eller PCV21 hvis tilgængelig) min. 1 år efter Prevenar 13 eller Pneumovax med behov for revaccination hvert 5.-10. år Foruden de ovennævnte kan der være andre vaccinekombinationer, der fordrer en anden anbefaling. For nærmere detaljer henvises til de angivne guidelines	Prevenar 20 var endnu ikke markedsført i Danmark, da den seneste version af guideline for vaccination af transplanterede blev udarbejdet, hvor sekventiel vaccination med Prevenar 13 efterfulgt af Pneumovax blev anbefalet I praksis gives i dag: Hvis der ikke tidl. er vaccineret mod pneumokokker, gives Prevenar 20, og der er ikke behov for yderligere vaccination Ved tidl. vaccination med Prevenar 13 vaccineres med Prevenar 20 tidligst 8 uger efter Prevenar 13 Ved tidl. vaccination med Pneumovax vaccineres med Prevenar 20 tidl. 1 år efter Pneumovax Ved tidl. vaccination med både Prevenar 13 og Pneumovax vaccineres med Prevenar 20 tidligst 1 år efter Pneumovax SSI har anbefalinger for personer i øget og særligt øget risiko, herunder transplanterede, for invasiv pneumokoksygdom
Respiratorisk syncytialvirus	Abrysvo Arexvy mResvia	Inaktiveret	Vaccination af personer ≥ 60 år før/efter transplantation	Der er endnu ingen danske anbefalinger for RSV-vaccination før/efter transplantation
SARS-CoV-2	Comirnaty Spikevax	Inaktiveret	Årlig vaccination til alle før/efter transplantation samt nære kontakter	Årlig vaccination til alle før/efter transplantation samt nære kontakter
Varicella	Varivax Varilrix	Levende svækket	Alle seronegative personer før transplantation Vaccinationsserie skal være afsluttet ≤ 4 uger før transplantation Vaccination er kontraindiceret efter transplantation	Alle seronegative personer før transplantation Vaccinationsserie skal være afsluttet ≤ 4 uger før transplantation Vaccination er kontraindiceret efter transplantation
Rejsevacciner			Inaktiverede rejsevacciner kan gives både før og efter transplantation, men det anbefales at gennemgå behovet for rejsevacciner allerede før transplantation, da især indikation for gul feber-vaccination bør vurderes tidligt, så evt. vaccination kan gives forud for transplantation Det er vigtigt at bemærke, at flere rejsevacciner er levende svækkede vacciner (denguefeber, gul feber, oral tyfus, bacille Calmette-Guérin) og således kontraindicerede efter transplantation	Inaktiverede rejsevacciner kan gives både før og efter transplantation, men det anbefales at gennemgå behovet for rejsevacciner allerede før transplantation, da især indikation for gul feber-vaccination bør vurderes tidligt, så evt. vaccination kan gives forud for transplantation Det er vigtigt at bemærke, at flere rejsevacciner er levende svækkede vacciner (denguefeber, gul feber, oral tyfus, bacille Calmette-Guérin) og således kontraindicerede efter transplantation

diTeki = difteri-tetanus-kighoste; MSM = mænd, der har sex med mænd; PCV21 = konjugeret 21-valent pneumokokvaccine; tidl. = tidligere.

a) Patienter med forventet rejseaktivitet til højdendiske lande eller patienter med risiko for smitte via erhverv eller livsstil, herunder MSM.

b) Patienter med øget risiko for invasiv meningokok- og *H. influenzae* type b-meningitis, herunder splenektomerede, patienter med familær komplementdefekt eller erhvervet komplementdefekt, f.eks. ved behandling med eculizumab.

c) MSM, tidl. HPV-relateret sygdom eller efter.

For at opnå bedst muligt vaccinerespons og for at sikre beskyttelse mod vaccineforebyggelige sygdomme på transplantationstidspunktet, bør der om muligt vaccineres før transplantation. Hvis den fulde vaccinationsplan ikke kan afsluttes inden transplantation, kan den færdiggøres efterfølgende, dog ikke for levende vacciner. Desuden bør man undgå vaccination på tidspunkter med intensiveret immunsuppression. Der er ikke konsensus for det optimale tidspunkt for vaccination efter

transplantation, men typisk anbefales at vente til 3-6 mdr. efter transplantation, da den immunsupprimerende behandling på dette tidspunkt nærmer sig et stabilt niveau.

Efter organtransplantation er det kontraindiceret at give levende svækkede vacciner. Administration af levende svækkede vacciner må senest ske fire uger før organtransplantation og bør kun foretages i samråd med infektionsmediciner og den transplantationsansvarlige læge.

Den optimale og individuelle vaccinationsplan udfærdiges på baggrund af serologi, vaccinationsstatus, transplantationstype samt individuelle risikofaktorer såsom forventet rejseaktivitet, erhverv, seksuelle ekspositioner og alder. Herudover anbefales det, at der lægges en plan for vaccination af nære kontakter.

Etablerede tilbud

Rigshospitalet indførte i 2020 et vaccinationstilbud for patienter, der skrives på venteliste til organtransplantation. Efterfølgende er tilkommet lignende tilbud på Aarhus Universitetshospital, Odense Universitetshospital, Aalborg Universitetshospital og på Nordsjællands Hospital. Vaccinationsrådgivningen er forankret i hospitalernes infektionsmedicinske afdelinger, der tilbyder rådgivning og vaccination inden organtransplantation. Nogle steder tilbydes også vaccination af patienter, der allerede er blevet organtransplanteret (catch-up). Tilbuddet er varigt finansieret i alle regioner og følger de danske anbefalinger for vaccination af voksne patienter, der skrives på venteliste til eller er organtransplanteret [12]. Dette sikrer et ensartet tilbud om målrettet vaccination i alle regioner.

Resultater fra de første 242 voksne patienter på venteliste til organtransplantation, der blev vaccineret på Rigshospitalet 2020-2022 er gjort op [17]. Medianalderen i kohorten var 53 år, 60% var mænd, og levertransplantation (57%) var hyppigst.

Alle patienter, som blev henvist til vaccination, havde behov for mindst én vaccination, og over 90% havde behov for tre eller flere vacciner. Mindst 10% af patienterne havde behov for en levende svækket vaccine med enten MFR eller gul feber. Den hyppigst administrerede vaccine var DiTeKi (90%). Influenzavaccination blev enten administreret eller anbefalet til alle. Pneumokokkvaccination i form af 13-valent konjugatvaccine blev administreret hos 64% og anbefalet hos 11%, 23-valent polysakkaridvaccine blev enten administreret hos 7% og anbefalet til 58%. Siden opførelsen er både PCV20 og rekombinant herpes zoster-vaccine tilføjet til programmet.

Tilbuddet blev godt modtaget, og langt de fleste patienter, der blev skrevet på venteliste til organtransplantation, overholdt den anbefalede vaccinationsplan. Disse resultater understøtter, at en specialiseret konsultation for vaccination inden organtransplantation medfører en høj grad af vaccinationsdækning.

Beskyttende antistoffer efter vaccination

Implementering af tilbuddet om vaccination af patienter, der skrives på venteliste til organtransplantation, har givet mulighed for at undersøge vaccinationsrespons i patientgruppen. Da

der er tale om en relativt lille gruppe, og de kliniske endepunkter i form af infektioner er relativt sjældne, anvendes immunrespons vurderet ved antistofbestemmelser som markør for vaccinationsrespons.

I en opgørelse af 136 patienter, der blev vaccineret på Rigshospitalet inden transplantation, var medianalderen 53 år, 58% var mænd, og andelen af lever-, lunge- og hjertetransplanterede var hhv. 64%, 25% og 11% [18]. Tilbuddet om vaccination inden transplantation var endnu ikke implementeret for nyrepatienter, da opgørelsen blev lavet, hvorfor ingen nyretransplanterede indgår. Deltagere fik undersøgt antistoffer mod hepatitis B-virus (HBV) og pneumokokker inden vurdering i vaccinationsklinikken og igen efter organtransplantation. Manglende respons på vaccination blev defineret som antistofkoncentrationer under etablerede tærskelværdier [19, 20]. Andelen med beskyttende antistoffer mod HBV og pneumokokker efter transplantation var hhv. 28% og 43%.

For HBV-vaccination var færdiggørelse af vaccinationsserien efter transplantation (aOR = 7,8; 95% KI: 2,5; 24,5) og en ukomplet vaccinationsserie (aOR = 6,3; 95% KI: 1,2; 32,6) forbundet med højere odds for manglende vaccinationsrespons efter transplantation. Det at være vaccineret tidligt og have beskyttende antistoffer allerede inden vurdering i vaccinationsklinikken var forbundet med lavere odds for manglende respons efter transplantation for både HBV (aOR = 0,04; 95% KI: 0,0; 0,1; $p < 0,001$) og pneumokokker (aOR = 0,3; 95% KI: 0,1; 0,7; $p = 0,007$). Resultaterne tyder på, at vaccination tidligt snarere end sent i forløbet omkring udredning til transplantation er forbundet med bedre effektivitet af vaccination [18].

I et dansk studie af dobbeltdosis pneumokokvaccine sammenlignet med standarddosis fandt man ingen gavnlig effekt af dobbeltdosis på andelen af nyretransplanterede patienter med beskyttende antistofkoncentrationer [21].

Nye vacciner

Der udvikles løbende nye vacciner, men organtransplanterede patienter er ofte udelukket fra at deltage i de kliniske forsøg, der danner grundlag for godkendelse. Evidensen for effekt af at vaccinere patienter, der er eller skal organtransplanteres, kommer derfor typisk fra real life-studier, efter at vaccinerne er blevet godkendt til klinisk brug.

I 2023 blev to RS-virus (RSV)-vacciner til personer > 60 år godkendt i Danmark. I et studie, der inkluderede 31 organtransplanterede patienter, førte vaccination med enten Abrysvo eller Arexvy til serokonvertering hos 61% [22]. P.t. undersøges immunogenicitet af Arexvy (NCT06593210) og Abrysvo (NCT06067230) samt effekt af flere vaccinedoser (NCT05921903) i organtransplanterede.

Infektion med cytomegalovirus (CMV) er hyppig efter organtransplantation [23], men endnu er ingen CMV-vaccine godkendt til klinisk brug. P.t. undersøges, om vaccination med CMV-vaccinekandidaten Triplex før transplantation kan reducere brug af antivirale midler efter transplantation hos levertransplanterede patienter (NCT06075745). To nylige oversigtsartikler gennemgår aktuelle CMV-vaccinekandidater [24, 25].

P.t. er der ingen godkendte Epstein-Barr-virus (EBV)-vacciner, men der er registreret et fase I-forsøg, der undersøger en vaccinekandidat med det formål at forhindre EBV-relateret cancer efter

organtransplantation (NCT06741072).

Pneumokokvaccinen V116 er en 21-valent konjugatvaccine til voksne med en anden serotypfordeling end de vacciner, der p.t. er godkendt i Danmark. P.t. findes ingen undersøgelser af V116 blandt patienter, der er eller skal organtransplanteres.

Konklusion og perspektiver

Organtransplanterede patienter modtager livsvarig immunsupprimerende behandling og har en betydelig øget infektionsrelateret morbiditet og mortalitet, herunder relateret til almindelige vaccineforebyggelige sygdomme. Forebyggelse af infektioner er derfor afgørende i denne sårbare gruppe. Vaccination er den mest effektive og omkostningseffektive intervention for at forebygge infektioner, og vaccination er et vigtigt redskab til at bedre livskvalitet, forhindre indlæggelse og død og reducere behandlingsomkostninger [26].

En væsentlig udfordring er, at organtransplanterede patienter har nedsat immunrespons på vacciner og derfor dårligere beskyttelse, og der er begrænsede data for sikkerhed og effektivitet. Man bør derfor sørge for, at patienterne bliver vaccineret, allerede når de udredes med henblik på transplantation.

Vaccinationsdækning blandt organtransplanterede har tidligere været lav. Dette formentlig af flere årsager som uvidenhed, bekymring for bivirkninger, nedsat effektivitet, uklarhed om, hvem der varetager opgaven, og manglende danske anbefalinger [27]. Det skal understreges, at der ikke er evidens for, at vaccination øger risikoen for afstødningssreaktion [28, 29]. Desuden har patienter, der afventer en organtransplantation, tidligere selv skullet betale for nogle af de anbefalede vacciner mod f.eks. herpes zoster og pneumokokker, hvilket kan medvirke til lav vaccinationsdækning.

Der er nu i Danmark lavet en anbefaling for vaccination af organtransplanterede [12] og etableret tilbud om gratis vaccination inden organtransplantation. Et fransk studie har dokumenteret, at dette kan reducere forekomsten af luftvejsinfektioner hos nyretransplanterede [30]. De fleste patienter har taget imod tilbuddet, og forventningerne er, at man vil kunne se en reduktion i antallet af luftvejsinfektioner og herpes zoster-udbrud. Der er dog behov for et catch-up-program til de patienter, der allerede er organtransplanteret, samt opfølgning efter transplantation. Det er også vigtigt at informere patienterne om, at de selv årligt skal bestille tid til vaccination mod COVID-19 og influenza.

Der er fortsat manglende evidens på området og derfor behov for forskning i sikkerhed og effektivitet af vacciner hos organtransplanterede samt opdatering af anbefalinger for at sikre optimal brug af vacciner hos denne patientgruppe. Udvikling af effektive vacciner mod CMV og EBV til organtransplanterede vil være et stort fremskridt.

Korrespondance *Susanne Dam Nielsen*. E-mail: susanne.dam.poulsen@regionh.dk

Antaget 19. maj 2025

Publiceret på ugeskriftet.dk 10. november 2025

Interessekonflikter SRH oplyser økonomisk støtte fra eller interesse i Rigshospitalets Forskningspuljer. HHLS oplyser

økonomisk støtte fra eller interesse i Boehringer Ingelheim, Takeda. MH oplyser økonomisk støtte fra eller interesse i GSK, AstraZeneca, Bavarian Nordic, LEO Pharma, Gilead, Advance Pharma, MSD. SJF oplyser økonomisk støtte fra eller interesse i GSK, Vertex, Takeda, Tillotts. ZBH oplyser økonomisk støtte fra eller interesse i Independent Research Foundation Denmark, Helen Rudes Foundation, Danish Cancer Society, Novo Nordisk Foundation, Danish National Research Foundation, Danish Vaccination Council. CSL oplyser økonomisk støtte fra eller interesse i GSK, Pfizer, Novartis, CSL Behring, MSD, Moderna, Takeda, Bavarian Nordic, European Life Care Group. SDN oplyser økonomisk støtte fra eller interesse i Novo Nordisk Fonden, Independent Research Foundation, Gilead, GSK, Takeda, Munksgaard. Alle forfattere har indsendt ICMJE Form for Disclosure of Potential Conflicts of Interest. Disse er tilgængelige sammen med artiklen på ugeskriftet.dk

Referencer findes i artiklen publiceret på ugeskriftet.dk

Artikelreference Ugeskr Læger 2025;187:V03250242

doi 10.61409/V03250242

Open Access under Creative Commons License [CC BY-NC-ND 4.0](#)

SUMMARY

Vaccination in solid organ transplantation

Solid organ transplant (SOT) recipients receive maintenance immunosuppressive therapy and are at risk of infections and severe infection-related disease. Despite weaker immunological responses to vaccines in SOT recipients compared to controls, this review finds that vaccination has been associated with a lower risk of severe disease, and vaccination before transplantation is recommended in international and Danish guidelines. A national programme for vaccination of SOT candidates has been implemented in Denmark, and vaccination coverage is high for patients participating in the programme.

REFERENCER

1. World Health Organization. Human organ and tissue transplantation, 2022. https://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/WHA75/A75_41-en.pdf (25. mar 2025)
2. Scandiatransplant. Transplantation and donation figures 2024, 2025. https://www.scandiatransplant.org/data/scandiatransplant-figures/sctp_figures_2024_4Q.pdf (25. mar 2025)
3. Holt CD. Overview of immunosuppressive therapy in solid organ transplantation. *Anesthesiol Clin*. 2017;35(3):365-380. <https://doi.org/10.1016/j.anclin.2017.04.001>
4. Fishman JA. Infection in organ transplantation. *Am J Transplant*. 2017;17(4):856-879. <https://doi.org/10.1111/ajt.14208>
5. Gatti M, Rinaldi M, Bussini L et al. Clinical outcome in solid organ transplant recipients affected by COVID-19 compared to general population: a systematic review and meta-analysis. *Clin Microbiol Infect*. 2022;28(8):1057-1065. <https://doi.org/10.1016/j.cmi.2022.02.039>
6. Overvad M, Koch A, Jespersen B et al. Outcomes following SARS-CoV-2 infection in individuals with and without solid organ transplantation—a Danish nationwide cohort study. *Am J Transplant*. 2022;22(11):2627-2636. <https://doi.org/10.1111/ajt.17142>
7. Hamm SR, Møller DL, Pérez-Alós L et al. Decline in antibody concentration 6 months after two doses of SARS-CoV-2 BNT162b2 vaccine in solid organ transplant recipients and healthy controls. *Front Immunol*. 2022;13:832501. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2022.832501>

8. Rezahosseini O, Hamm SR, Heftdal LD et al. Humoral and T-cell response 12 months after the first BNT162b2 vaccination in solid organ transplant recipients and controls: kinetics, associated factors, and role of SARS-CoV-2 infection. *Front Immunol.* 2023;13:1075423. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2022.1075423>
9. Holden IK, Bistrup C, Nilsson AC et al. Immunogenicity of SARS-CoV-2 mRNA vaccine in solid organ transplant recipients. *J Intern Med.* 2021;290(6):1264-1267. <https://doi.org/10.1111/joim.13361>
10. Balsby D, Nilsson AC, Petersen I et al. Humoral immune response following a third SARS-CoV-2 mRNA vaccine dose in solid organ transplant recipients compared with matched controls. *Front Immunol.* 2022;13:1039245. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2022.1039245>
11. Hamm SR, Rezahosseini O, Møller DL et al. Incidence and severity of SARS-CoV-2 infections in liver and kidney transplant recipients in the post-vaccination era: real-life data from Denmark. *Am J Transplant.* 2022;22(11):2637-2650. <https://doi.org/10.1111/ajt.17141>
12. Dansk Selskab for Infektionsmedicin; Dansk Transplantationsselskab. Vaccination af voksne kandidater og recipienter til solid organtransplantation, 2022. <https://infmed.dk/guidelines> (25. mar 2025)
13. UpToDate. Immunizations in solid organ transplant candidates and recipients, 2025. <https://www.uptodate.com/contents/immunizations-in-solid-organ-transplant-candidates-and-recipients> (25. mar 2025)
14. Bahakel H, Feldman AG, Danziger-Isakov L. Immunization of solid organ transplant candidates and recipients: a 2022 update. *Infect Dis Clin North Am.* 2023;37(3):427-441. <https://doi.org/10.1016/j.idc.2023.03.004>
15. Rubin LG, Levin MJ, Ljungman P et al. 2013 IDSA clinical practice guideline for vaccination of the immunocompromised host. *Clin Infect Dis.* 2014;58(3):e44-100. <https://doi.org/10.1093/cid/cit684>
16. Danziger-Isakov L, Kumar D. Vaccination of solid organ transplant candidates and recipients: guidelines from the American society of transplantation infectious diseases community of practice. *Clin Transplant.* 2019;33(9):e13563. <https://doi.org/10.1111/ctr.13563>
17. Harboe ZB, Hald A, Ekenberg C et al. Implementation of a vaccination clinic for adult solid organ transplant candidates: a single-center experience. *Vaccine.* 2023;41(45):6637-6644. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2023.09.036>
18. Hornung LB, Hamm SR, Hald A et al. Post-transplantation seroprotection rates in liver, lung, and heart transplant recipients vaccinated pre-transplantation against hepatitis B virus and invasive pneumococcal disease. *Vaccines (Basel).* 2024;12(10):1092. <https://doi.org/10.3390/vaccines12101092>
19. Jack AD, Hall AJ, Maine N et al. What level of hepatitis B antibody is protective? *J Infect Dis.* 1999;179(2):489-92. <https://doi.org/10.1086/314578>
20. Andrews NJ, Waight PA, Burbidge P et al. Serotype-specific effectiveness and correlates of protection for the 13-valent pneumococcal conjugate vaccine: a postlicensure indirect cohort study. *Lancet Infect Dis.* 2014;14(9):839-46. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(14\)70822-9](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(14)70822-9)
21. Larsen L, Bistrup C, Sørensen SS et al. Durability of antibody response after primary pneumococcal double-dose prime-boost vaccination in adult kidney transplant recipients and candidates: 18-month follow-up in a non-blinded, randomised clinical trial. *Vaccines (Basel).* 2022;10(7):1091. <https://doi.org/10.3390/vaccines10071091>
22. Karaba AH, Hage C, Sengsøuk I et al. Antibody response to respiratory syncytial virus vaccination in immunocompromised persons. *JAMA.* 2025;333(5):429-432. <https://doi.org/10.1001/jama.2024.25395>
23. Møller DL, Sørensen SS, Rezahosseini O et al. Prediction of herpes virus infections after solid organ transplantation: a prospective study of immune function. *Front Immunol.* 2023;14:1183703. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2023.1183703>
24. Permar SR, Schleiss MR, Plotkin SA. A vaccine against cytomegalovirus: how close are we? *J Clin Invest.* 2025;135(1):e182317. <https://doi.org/10.1172/JCI182317>

25. Heldman MR, Boeckh MJ, Limaye AP. Current and future strategies for the prevention and treatment of cytomegalovirus infections in transplantation. *Clin Infect Dis*. 2024:ciae535. <https://doi.org/10.1093/cid/ciae535>
26. Viganò M, Beretta M, Lepore M et al. Vaccination recommendations in solid organ transplant adult candidates and recipients. *Vaccines (Basel)*. 2023;11(10):1611. <https://doi.org/10.3390/vaccines11101611>
27. Larsen L, Bistrup C, Sørensen SS et al. The coverage of influenza and pneumococcal vaccination among kidney transplant recipients and waiting list patients: a cross-sectional survey in Denmark. *Transpl Infect Dis*. 2021;23(3):e13537. <https://doi.org/10.1111/tid.13537>
28. Mulley WR, Dendle C, Ling JEH, Knight SR. Does vaccination in solid-organ transplant recipients result in adverse immunologic sequelae? A systematic review and meta-analysis. *J Heart Lung Transplant*. 2018;37(7):844-852. <https://doi.org/10.1016/j.healun.2018.03.001>
29. Alhumaid S, Rabaan AA, Dhama K et al. Solid organ rejection following SARS-CoV-2 vaccination or COVID-19 infection: a systematic review and meta-analysis. *Vaccines (Basel)*. 2022;10(8):1289. <https://doi.org/10.3390/vaccines10081289>
30. Feredj E, Audureau E, Boueilh A et al. Impact of a dedicated pretransplant infectious disease consultation on respiratory tract infections in kidney allograft recipients: a retrospective study of 516 recipients. *Pathogens*. 2023;12(1):74. <https://doi.org/10.3390/pathogens12010074>