

Tuberkulose und andere durch Luft übertragbare Infektionserkrankungen: Krankenhaushygiene zur Vermeidung und Eindämmung

Helga Haefner und Martin Eikenberg

Inhalt

1	Tröpfcheninfektion („droplet infection“) vs. aerogene Infektion („airborne transmission“)	1
2	Tuberkulose	2
2.1	Epidemiologie	2
2.2	Erreger und Reservoir	2
2.3	Übertragung und Übertragungswege	3
2.4	Pathogenese	3
2.5	Resistenzen und Multiresistenzen bei <i>M. tuberculosis</i>	4
2.6	Lungentuberkulose und extrapulmonale/nicht respiratorische Tuberkulose	4
2.7	Infektiosität und Kontagiosität	4
2.8	Nosokomiale Übertragungen und Infektionen	5
2.9	Patienten mit besonderen Risiken	5
2.10	Schnelles Erkennen der Tuberkulose	6
2.11	Prävention	6
2.12	Tuberkulose in speziellen Fachbereichen	9
2.13	Präventionsempfehlungen	10
3	Andere durch Luft übertragbare Erkrankungen	10
3.1	Durch Luft übertragbare virale Infektionen	10
3.2	Luft als Vektor für bakterielle Infektionen?	11
4	Pilzinfektionen bei immunsupprimierten Patienten	11
4.1	Invasive Aspergillose	11
Literatur	14

► Die Tuberkulose (TB) gehört weltweit zu den am häufigsten auftretenden Infektionskrankheiten und wird fast ausschließlich über die Luft (aerogen) übertragen. Nachdem in Deutschland die Lungentuberkulosefallzahlen über Jahre hinweg stagnierten, ist seit 2013 wieder ein Anstieg

H. Haefner (✉)
Uniklinik RWTH Aachen, Zentralbereich für Krankenhaushygiene und Infektiologie, Aachen, Deutschland
E-Mail: hhaefner@ukaachen.de

M. Eikenberg
Klinikum Bremen-Mitte gGmbH, Allgemeine Hygiene, Krankenhaus und Umwelthygiene, Bremen, Deutschland
E-Mail: martin.eikenberg@klinikum-bremen-mitte.de

der Inzidenzen zu verzeichnen (RKI 2016). Als Ursache hierfür werden die aktuellen demographischen Entwicklungen (Migration und Mobilität) gesehen. Die Kenntnis der epidemiologischen Situation ist von zentraler Bedeutung, um bei Vorliegen der Verdachtsdiagnose Tuberkulose sowie der Einbeziehung einer möglichen Resistenzproblematik frühzeitig adäquate krankenhaushygienische Maßnahmen einzuleiten. Als aerogen übertragbar werden auch die Aspergillose sowie Masern, Windpocken und Herpes zoster eingestuft (CDC 2007). Die Aspergillose ist eine relativ seltene, aber häufig letal verlaufende Pilzinfektion, die überwiegend bei immunsupprimierten Patienten auftritt. Krankenhaushygienische Schutzmaßnahmen können die Risiken einer Exposition und somit das Erkrankungsrisiko minimieren. Die zentralen Maßnahmen zur Kontrolle und Prävention von aerogen übertragbaren Infektionen sind Gegenstand dieses Kapitels.

1 Tröpfcheninfektion („droplet infection“) vs. aerogene Infektion („airborne transmission“)

Die Bedeutung der Luft als Vektor für Infektionen wird nicht selten überschätzt. Nur wenige Erkrankungen wie die offene Lungentuberkulose, die Aspergillose sowie Masern, Windpocken und Herpes zoster sind als aerogen übertragbar eingestuft (CDC 2007). Verwechselt werden häufig die beiden unterschiedlichen Übertragungsmechanismen Tröpfcheninfektion und aerogene Infektion, im englischen Sprachgebrauch als „droplet infection“ und „airborne transmission“ bezeichnet. Eine Einteilung von Infektionserregern in diese Kategorien kann Tab. 1 entnommen werden.

Tröpfcheninfektion („droplet infection“)

Beim Niesen, Husten oder tiefem Ausatmen wird eine Wolke erregerhaltiger Tröpfchen (hauptsächlich 5–10 µm Durch-

Tab. 1 Einteilung von Infektionserkrankungen nach Übertragungswegen

Große Tröpfchen (droplet infection)	Tröpfchenkerne (airborne transmission)	Sporenhaltige Luft
Diphtherie Influenza RSV (respiratory syncytial virus) Pertussis Haemophilus influenzae (bei Epiglottitis) S. pyogenes (bei Pharyngitis, Scharlach) Röteln SARS (schweres akutes respiratorische Syndrom) MERS (middle east respiratory syndrome)	Tuberkulose Masern Windpocken Zoster	Aspergillose Mukormykosen Weitere Schimmelpilzinfektionen

messer) ausgestoßen. Aufgrund ihrer Größe und Schwere sedimentieren diese relativ schnell auf die unmittelbare Umgebung, wo sie je nach Erreger Stunden bis Tage überleben können. Durch ungünstige Luftführung (Klimaanlage, Durchzug, Staubsauger etc.) können die Erreger aufgewirbelt werden und die Luft kann somit kurzfristig erneut als Vektor für eine Übertragung dienen. Dieser Transmissionsweg ist definitionsgemäß jedoch nicht als „airborne transmission“ anzusehen (CDC 2007). Typischerweise treffen bei der Tröpfcheninfektion die Erreger direkt auf die Schleimhäute (Augen, Nase, Mund) von Kontaktpersonen.

Aerogene Infektion („airborne transmission“)

Tröpfchenkerne („droplet nuclei“) sind Residuen von kleinen Tröpfchen, die durch einen Nies-, Husten- oder Sprechvorgang in die Luft freigesetzt werden. Kleinste Tröpfchen sind in der Lage, über längere Zeit in der Luft zu schweben. Während sie nur langsam sedimentieren, kann die äußere Wasserhülle verdunsten (Aerosolbildung). Zurück bleiben die Tröpfchenkerne (1–5 µm), die

- lange in der Luft schweben,
- längere Strecken zurücklegen können,
- lebende Erreger enthalten können.

Aufgrund ihrer geringen Größe können Tröpfchenkerne in den tieferen Respirationstrakt eindringen, während „große Tröpfchen“ bereits von den Schleimhäuten des oberen Respirationstrakts aufgefangen werden.

Die Aspergillose ist im Gegensatz zu den anderen aerogen übertragbaren Infektionen nicht von Mensch zu Mensch übertragbar. *Aspergillus-fumigatus*-Sporen sind in der Umwelt ubiquitär verbreitet, sind im Durchmesser nur 2–3 µm groß und können mit dem Luftstrom, ähnlich wie Tröpfchenkerne, über weite Strecken transportiert werden. Da die Sporen nur etwa einen Meter pro Stunde sedimentieren und zudem austrocknungsresistent sind, ist die Luft als Hauptvektor für eine Übertragung anzusehen (CDC 2003b).

Tipp

Zum jetzigen Zeitpunkt kann ein aerogener Übertragungsweg angenommen werden für die Tuberkulose und Asper-

gillose, unter bestimmten Bedingungen aber auch für Masern, Windpocken und Herpes zoster (CDC 2007). Mit Ausnahme der an einer Aspergillose erkrankten Patienten gilt die Unterbringung in einem Einzelzimmer, möglichst mit negativer Druckführung, als wichtigste Hygienemaßnahme. Ist dies nicht möglich, so muss zumindest eine Luftzirkulation in die benachbarten Räumlichkeiten unterbunden werden (Kap. ► „Technische Hygiene“).

2 Tuberkulose

2.1 Epidemiologie

Die Tuberkulose ist eine Infektionskrankheit, die fast ausschließlich über die Luft übertragen wird. Sie ist weltweit verbreitet (ca. ein Drittel der Weltbevölkerung sind latent infiziert) und ist mit jährlich ca. 1,5 Millionen Todesfällen die am häufigsten zum Tode führende therapierbare bakterielle Infektionskrankheit (oft im Zusammenhang mit HIV-Infektionen). Bei den Erregern der Tuberkulose werden zunehmend Resistenzen und Multiresistenzen beobachtet vor allem aus Hochinzidenzregionen wie den Neuen Unabhängigen Staaten oder der Russischen Föderation (WHO 2015). Durch Flüchtlingsbewegungen und Migration erhöhen sich seit 2013 die Inzidenzen in Deutschland wieder, und der langjährige Trend zu weiter sinkender Häufigkeit ist gestoppt. Des Weiteren treten auch in Deutschland, Österreich und der Schweiz Stämme mit Resistenzen und Multiresistenzen auf. Im Zusammenhang mit weiteren Risikofaktoren wie Armut, Obdachlosigkeit und HIV bleibt die Tuberkulose eine Herausforderung für das Hygienemanagement in Krankenhäusern und für das öffentliche Gesundheitswesen.

Im Folgenden werden die wichtigsten krankenhaushygienischen Präventionsmaßnahmen beschrieben.

2.2 Erreger und Reservoir

Die Erreger der Tuberkulose sind Mykobakterien des *Mycobacterium-tuberculosis*-Komplexes. Mykobakterien sind aerobe, nichtsporenbildende Stäbchen, die durch ihre Alkohol- und Säurefestigkeit in der Ziehl-Neelsen oder Kinyoun-Färbung

als „säurefeste Stäbchen“ erscheinen. Der *Mycobacterium-tuberculosis*-Komplex besteht aktuell aus *M. tuberculosis*, *M. bovis* (ssp. *bovis*, ssp. *caprae* und dem BCG-Impfstamm), *M. africanum*, *M. microti*, *M. canetti* und *M. pinnepedii*.

Die Tuberkulose in Mitteleuropa wird größtenteils durch *M. tuberculosis* hervorgerufen, seltener durch *M. bovis* und *M. africanum*. Allen Mykobakterien des *Mycobacterium-tuberculosis*-Komplexes ist die lange Generationszeit gemeinsam (*M. tuberculosis*, *M. bovis* und *M. africanum* 12–20 Stunden). Die Kulturergebnisse liegen daher frühestens nach 10–14 Tagen, häufig erst nach mehreren Wochen vor. Die Bakterien des *Mycobacterium-tuberculosis*-Komplexes benötigen zur Kultivierung besondere Nährmedien und Laborbedingungen. Bei Laboranforderungen müssen deshalb gezielt auf Tuberkulose angefordert werden.

Einziges Reservoir für *M. tuberculosis* und *M. africanum* ist der Mensch. *M. bovis* kommt bei Rindern und Wildtieren vor. *M. microti* wurde in einigen Warmblütlern (Maus, Lama, Schwein, Katze) gefunden. *M. pinnepedii* kommt bei Seehunden vor. Bei *M. canetti* ist das Erregerreservoir unbekannt.

2.3 Übertragung und Übertragungswege

Die Tuberkulose wird in Mitteleuropa fast ausschließlich von Mensch zu Mensch durch erregerrhaltige kleinste Tröpfchen (Tröpfchenkerne; Abschn. 1) aerogen übertragen. Tröpfchenkerne werden beim Husten, Niesen, Sprechen oder Singen von Patienten mit offener Lungentuberkulose oder Kehlkopftuberkulose freigesetzt. Tröpfchenkerne können über längere Zeit in der Luft verbleiben und auch über die Luft fortgeleitet werden. Werden sie von einem Wirt eingeatmet, können sie aufgrund ihrer geringen Größe leicht in die Alveolen gelangen und eine Infektion verursachen (Yates et al. 2016). Die Wahrscheinlichkeit für die Übertragung einer Tuberkulose ist abhängig von der Menge der ausgeschiedenen Erreger, dem Grad der Aerosolisierung, der Expositionsdauer, der Art der Exposition und der Abwehrlage des Wirtes. Die Übertragungswahrscheinlichkeit ist besonders hoch bei längeren Kontakten in (kleinen) geschlossenen Räumen mit Patienten, die große Mengen infektiöser Tröpfchenkerne ausscheiden. Außerhalb geschlossener Räume ist eine Übertragung bei engem Kontakt zu infektiösen Aerosolen möglich.

Die Übertragung über kontaminierte Lebensmittel (z. B. Kuhmilch) spielt aufgrund der tuberkulosefreien Rinderbestände und der Pasteurisation der Milch hierzulande heute kaum eine Rolle mehr. Weitere sehr seltene Übertragungswege sind möglich beim Auftreffen infektiöser Sputumtröpfchen auf nicht intakte Haut oder in Wunden (Heilman und Muschenheim 1965), die diaplazentale Übertragung und die Übertragung durch infektiöse Milch beim Stillen.

Die Übertragungswege bei den Organtuberkulosen sind abhängig von den erregerrhaltigen Materialien, die nach außen freigesetzt werden (Urin, Stuhl, Wundsekret). Die Übertra-

gungswege und die Präventionsmaßnahmen unterscheiden sich bei den außerrespiratorischen Organtuberkulosen nicht von denen anderer Infektionskrankheiten dieser Organsysteme.

2.4 Pathogenese

M. tuberculosis ist ein obligat pathogener Erreger und kann deshalb prinzipiell immer eine Infektion auslösen. Erreger, die in die tiefen Atemwege gelangen, werden dort von Makrophagen aufgenommen, in denen sie überleben und sich sogar vermehren können. Die Makrophagen transportieren die Erreger über die Lymphgefäße in die zugehörigen Lymphknoten. Es entsteht der Primärkomplex. Hierin können die Tuberkuloseerreger durch das zellvermittelte Immunsystem an einer weiteren Vermehrung und Ausbreitung gehindert werden und die Läsionen ausheilen.

Die Tuberkelbakterien können lebend in den Zellen persistieren. Dieser Zustand wird als latente Tuberkuloseinfektion (LTBI) bezeichnet.

► Wichtig

Die latente Tuberkulose ist eine Infektion durch *M. tuberculosis* und ist asymptomatisch, und die Patienten sind nicht infektiös!

In Abhängigkeit von der Immunitätslage kann es vom Lymphknoten aus zur lymphogenen oder nach Anschluss an die Blutbahn zur hämatogenen Verbreitung der Erreger in alle Organsysteme kommen. Kann die Infektion nicht eingedämmt werden, entsteht die aktive Tuberkulose.

Ungefähr 5–10 % der Infizierten entwickeln in Mitteleuropa aus einer latenten Tuberkulose eine aktive Tuberkulose. Von diesen Patienten erkrankt die Hälfte in den ersten 2 Jahren nach der Infektion, die andere Hälfte später, zum Teil Jahrzehnte nach der primären Infektion, wenn durch Alter, Krankheit oder immunsuppressive Therapien die Immunabwehr nachlässt. Patienten mit Abwehrschwäche (z. B. HIV-Infektion) entwickeln häufiger eine aktive Tuberkulose.

► Cave

Beim Nachweis einer aktiven Tuberkulose sollte eine Untersuchung auf HIV angedacht werden.

Durch die Reaktion des Immunsystems bei Kontakt mit Mykobakterien entstehen die positiven Reaktionen im Tuberkulin-Hauttest (THT, TST) und im Interferon- γ -Release-Assay (IGRA).

► Wichtig

Positive Reaktionen im THT oder IGRA erlauben keine Rückschlüsse hinsichtlich der Infektiosität des Patienten oder des Vorliegens einer aktiven Tuberkulose.

2.5 Resistenzen und Multiresistenzen bei *M. tuberculosis*

Die Tuberkulose wird in der Regel über mindestens 6 Monate und zu Beginn (z. B. die ersten 2 Monate) mit einer Kombination der 4 Erstrang-Medikamente Isoniazid (INH), Rifampicin (RMP), Ethambutol (EMB) und Pyrazinamid (PZA), später (die letzten 4 Monate) mit INH und RMP behandelt. Erstrang-Antituberkulotika sind Mittel mit hoher Wirksamkeit, relativ guter Verträglichkeit und eindeutigen Studiendaten. Innerhalb der Erstrang-Medikamente haben INH und RMP aufgrund ihrer bakteriziden und resistenzvermeidenden Eigenschaften eine besondere Bedeutung. Durch die Therapie mit mehreren Mitteln soll eine Selektion resistenter Mykobakterien verhindert bzw. verzögert werden. Resistenzen können gegen alle wirksamen Mittel unter der Therapie durch Mutationen entstehen.

Die WHO (2013) definiert die in Tab. 2 genannten Resistenztypen für bestätigte *M. tuberculosis*.

Die Definitionen der Resistenzen beziehen sich korrekterweise auf die Erreger und nicht auf die Erkrankungen, die dann z. B. als multidrug-resistant TB (MDR-TB) oder extensively-resistant TB (XDR-TB) bezeichnet werden. Multiresistenzen entstehen bei Mykobakterien vor allem, wenn die Therapie nicht richtig durchgeführt wird, die Einnahme nicht regulär erfolgt, unterbrochen oder sogar vorzeitig abgebrochen wird. Eine Vorbehandlung mit Antituberkulotika sowie die Herkunft aus einer Region mit endemischen Vorkommen von MDR-TB wie zum Beispiel Neue Unabhängige Staaten (NUS; verschiedene Nachfolgestaaten der Sowjetunion) sind Risikofaktoren für MDR-TB und XDR-TB.

Multiresistente *M. tuberculosis*-Stämme werden nicht leichter übertragen und sind nicht virulenter als sensible Stämme. Es besteht aber ein längeres Übertragungsrisiko, weil die Therapie nicht zu einer schnellen Reduktion der Ausscheidung von Erregern führt. Die schwerwiegenden Folgen beim Eintreten einer Infektion mit multiresistenten *M. tuberculosis*-Erregern, mit den ungleich größeren Schwierigkeiten bei der Therapie, rechtfertigen erhöhte Präventionsmaßnahmen bei MDR-TB und XDR-TB (s. unten).

2.6 Lungentuberkulose und extrapulmonale/nicht respiratorische Tuberkulose

Die Tuberkulose kann alle Organsysteme befallen. Am häufigsten ist mit über 80 % die Lungentuberkulose, während Lymphknotentuberkulose, Urogenitaltuberkulose, Knochentuberkulose, Hauttuberkulose, tuberkulöse Meningitis und andere Tuberkuloseformen erheblich seltener sind. Können Tuberkuloseerreger vom Ort der Infektion nach außen gelangen (z. B. über das Einbrechen einer Kaverne in einen Bron-

Tab. 2 Resistenztypen für *M. tuberculosis* (WHO 2013)

Resistenz	Definition
Monoresistenz (monoresistance)	Resistenz gegen nur ein Erstrang-Anti-TB-Medikament
Polyresistenz (polyresistance) (PR)	Resistenz gegen mehr als nur ein Erstrang-Anti-TB-Medikament (aber nicht INH und RMP zusammen)
Multidrug resistance (MDR)	Resistenz gegen mindestens INH und RMP
Extensive drug resistance (XDR)	Resistenz INH und RMP und gegen eines der Fluorchinolone und mindestens eines der drei injizierbaren Zweitrang-Medikamente (Capreomycin, Kanamycin und Amikacin)
Rifampicinresistenz (rifampicin resistance, RR)	Resistenz gegen Rifampicin (bestimmt mit phenotypischen oder genotypischen Methoden) unabhängig von weiteren Resistenzen

chus, Fistelbildung nach außen bei Lymphknotentuberkulose) spricht man von einer offenen Tuberkulose.

► Wichtig

Nur die offene Tuberkulose ist infektiös. Eine besondere Infektionsgefahr geht von der offenen Tuberkulose der Atemwege (Kehlkopf, Lunge) aus, die aerogen übertragen wird. Die anderen offenen Organtuberkulosen sind mit den üblichen Standardhygienemaßnahmen zu beherrschen. Geschlossene Tuberkulosen sind nicht infektiös und erfordern keine speziellen Hygienemaßnahmen.

► Cave

Beim Vorliegen einer Organtuberkulose sollte stets eine offene Lungentuberkulose ausgeschlossen werden.

2.7 Infektiosität und Kontagiosität

Die Anzahl für eine Infektion erforderlicher TB-Bakterien ist nicht genau bekannt. Wahrscheinlich ist sie sehr gering, und ein Bakterium kann für eine Infektion ausreichen. Die Anzahl der von Patienten mit offener Lungentuberkulose beim Husten freigesetzten Tröpfchenkerne ist variabel. Insbesondere offen tuberkulöse Patienten mit Kavernen scheiden viele infektiöse Tröpfchen und Tröpfchenkerne aus und sind hochgradig infektiös (Fennelly et al. 2004; Yates et al. 2016).

Die Infektiosität von Patienten mit einem mikroskopischen Nachweis von säurefesten Stäbchen in respiratorischen Sekreten oder Magensaft muss als hoch angesehen werden (die Nachweisgrenze der Mikroskopie befindet sich ungefähr bei einer Keimzahl von 10^4 /ml). Patienten mit einer nur kulturell nachgewiesenen Tuberkulose in diesen Materialien oder Nucleinsäurenachweis mit Amplifikation (PCR, Gensonde) sind deutlich weniger infektiös, von einer Infektiosität ist aber

auszugehen (Behr et al. 1999). Der mikroskopische Nachweis säurefester Stäbchen ist wie der Nukleinsäurenachweis nur ein Hinweis, aber kein Beweis für das Vorhandensein infektiöser TB-Bakterien. Für den Nachweis einer bestehenden Infektiosität ist ein kultureller Nachweis erforderlich.

Säuglinge, Kleinkinder und Kinder scheiden in der Regel weniger TB-Bakterien aus und sind im Allgemeinen als kaum infektiös anzusehen.

Das höchste Risiko für eine Übertragung geht von Patienten mit offener Lungentuberkulose oder Kehlkopftuberkulose aus, die Husten, Niesen oder bei denen die Sputumproduktion provoziert oder Aerosolbildung durch diagnostische Maßnahmen (z. B. Bronchoskopie) induziert wird. Bei den Organtuberkulosen können infektiöse Aerosole entstehen, wenn z. B. Wunden oder Abszesse gespült werden.

2.8 Nosokomiale Übertragungen und Infektionen

Nosokomiale Übertragungen einer Tuberkulose betreffen Patienten, Personal und Besucher von Patienten. Die Infektionen erfolgen im Krankenhaus zumeist über die zuvor beschriebenen Infektionswege. Zusätzlich werden im Krankenhaus durch die speziellen Bedingungen Übertragungen erleichtert bzw. auch durch medizinische Maßnahmen erst ermöglicht. Die hierbei verantwortlichen Risikofaktoren finden sich in Tab. 3 einschließlich der Maßnahmen zur Reduktion.

Neben der im Vordergrund stehenden aerogenen Übertragung sind Übertragungen durch Bronchoskope (Ramsey et al. 2002; Agerton et al. 1997), Nadelstiche (Kramer et al. 1993), medizinischen Abfall (Johnson et al. 2000) sowie Kontaktinfektionen der Haut bei Mund-zu-Mund-Beatmung (Heilman und Muschenheim 1965) beschrieben worden. Mit medizinischen Eingriffen standen nosokomiale Infektionen im Zusammenhang mit endotrachealer Intubation und endotrachealem Absaugen (Ehrenkranz und Kicklighter 1972), Spülungen offener Abszesse (Hutton et al. 1990), Sputum induzierende und Husten provozierende Maßnahmen (CDC 1989; Beck-Sague et al. 1992) und Autopsien (Lundgren et al. 1987). Diese publizierten nosokomialen Infektionen wären durch adäquate Hygienemaßnahmen vermeidbar gewesen!

Da die Infektion als latente Tuberkulose erst spät einsetzt und asymptomatisch ist, werden nosokomiale Infektionen meist nur erkannt, wenn Personal erkrankt. Die Diagnostik mit dem Tuberkulinhauttest erfasst nicht alle Infektionen von exponierten Personen. Später auftretende aktive Tuberkulosen werden nicht mehr in einen Zusammenhang mit dem Krankenhausaufenthalt gebracht. Die Anzahl der nosokomialen TB-Infektionen ist mit Sicherheit größer als bisher angenommen.

Tab. 3 Fördernde Faktoren für nosokomiale Tuberkulose

Fördernde Faktoren	Präventionsmaßnahmen
Bekannte und unbekannte Patienten mit offener (Lungen-) Tuberkulose	Einbeziehen der TB in die Differenzialdiagnostik; schnelle TB-Diagnostik, Resistenzbestimmung und Therapie, räumliche Isolierung
Durchführung Sputum-provozierender oder Aerosol-induzierender Maßnahmen (z. B. Bronchoskopien, In- und Extubation, Sputumprovokation, Instillationen von Abszessen und Wunden), Verbandswechsel größerer Wunden	Einhalten der Hygienemaßnahmen zur Infektionsprävention insbesondere bei allen TB-Patienten, TB-Verdachts- und Ausschlussfällen (z. B. FFP2-Maske, Schutzkleidung) Falls möglich TB-Diagnostik vor planbaren Bronchoskopien
Übertragungsmöglichkeit durch nicht sachgerecht durchgeführte Instrumentenaufbereitung (z. B. Endoskope)	Korrekte Aufbereitung (Reinigung, Desinfektion und ggf. Sterilisation) aller Instrumente; thermische bzw. chemothermische maschinelle Verfahren bevorzugen
Patienten mit herabgesetzter Immunität gegen TB (HIV-Patienten, Patienten unter Chemotherapie, Immunsupprimierte)	Isolierungs- und Distanzierungsmaßnahmen, ggf. Chemoprophylaxe (z. B. bei Therapie mit TNF- α -Inhibitoren)
Patienten mit vermehrter Ausscheidung bzw. verlängerter Ausscheidung von TB durch verminderte Abwehrlage der Patienten (s. oben)	Isolierungs- und Distanzierungsmaßnahmen
Patienten mit vermehrter Ausscheidung bzw. verlängerter Ausscheidung von TB durch multiresistente <i>Mycobacterium tuberculosis</i>	Isolierungs- und Distanzierungsmaßnahmen Schnelle Resistenzbestimmung, schnelle resistenzgerechte Therapie, besondere Präventionsmaßnahmen

2.9 Patienten mit besonderen Risiken

Die Mechanismen, die zu einer Disposition für TB-Infektionen und Erkrankungen führen, sind noch nicht in allen Einzelheiten geklärt. Patienten mit verminderter zellulärer Abwehr sind empfänglicher für TB. Die wichtigste Gruppe stellen die HIV-Positiven dar. HIV-Patienten standen häufig im Zusammenhang mit nosokomialen Ausbrüchen von TB (DiPerry et al. 1989; Wischniewski und Mielke 2006).

Weitere Risikogruppen sind Patienten mit immunsuppressiven Therapien (Patienten unter TNF- α -Inhibitoren-Therapie, Chemotherapie oder hochdosierter Kortisontherapie oder mit Diabetes mellitus, Transplantatempfänger) sowie Säuglinge, Kleinkinder und Kinder.

Tipp

Patienten mit besonderen Risiken sollten nicht in unmittelbarer Nähe (z. B. in benachbarten Zimmern) zu Patienten mit offener Lungentuberkulose behandelt werden.

2.10 Schnelles Erkennen der Tuberkulose

Die Einleitung von Präventionsmaßnahmen setzt das schnelle Erkennen der Tuberkulose voraus. Hierfür ist das Denken an die Tuberkulose, das heißt das Einbeziehen der Tuberkulose in die Differenzialdiagnostik, sowie die schnelle TB-Diagnostik einschließlich Kultur und Resistenzbestimmung erforderlich.

Tipp

Die TB-Diagnostik muss in der Regel gezielt angefordert werden, da für den kulturellen Nachweis besondere Kulturmedien und eine besondere Laborausstattung (S3-Labor) erforderlich sind.

► Wichtig

Die schnelle Identifizierung von Patienten mit infektiöser Tuberkulose ist die wichtigste Maßnahme zur Prävention von Tuberkuloseinfektionen sowohl innerhalb als auch außerhalb des Krankenhauses.

2.11 Prävention

Die Maßnahmen zur Prävention von Infektionen mit TB bestehen aus räumlicher Isolierung, respiratorischer Isolierung, Desinfektionsmaßnahmen und technischen Maßnahmen zur Reduktion der Exposition gegenüber Tuberkuloseerregern.

2.11.1 Isolierungsmaßnahmen

Räumliche Isolierung

Die räumliche Isolierung von Patienten mit offener Lungentuberkulose hat oberste Priorität unter den Präventionsmaßnahmen. Idealerweise stehen hierfür Einzelzimmer mit einem Vorraum mit Schleusenfunktion zur Verfügung. Die Zimmertüren müssen dicht schließen und geschlossen gehalten werden. Eine Fensterlüftung darf nur bei geschlossenen Türen (einschließlich der Schleusentüren) erfolgen. Die Zahl des behandelnden Personals im Zimmer und Besuche sollte auf das notwendige Maß reduziert werden.

Tipp

Zur Erleichterung der Isolierung sollten den Patienten Vergünstigungen (z. B. Telefon, Fernseher, Radio, Wunschkost) zur Verfügung gestellt oder angeboten werden.

Kohortenisolierung

Die Kohortenisolierung ist problematisch und sollte auf Ausnahmen beschränkt sein, da Übertragungen von *M. tuberculosis*-Stämmen mit unterschiedlicher Resistenz möglich sind und die Antibiogramme in der Regel frühestens nach 14–21

Tagen vorliegen. Patienten sollten nur in Kohorten isoliert werden, wenn sie bereits erfolgreich antherapiert sind und die Resistenzmuster der Stämme beider Patienten vorliegen und identisch sind (z. B. bei Eltern und Kindern). Das Vorliegen genetisch gleicher Stämme ist hierbei nicht ausreichend, da auch bei solchen Stämmen unterschiedliche Resistenzen vorliegen können.

► Cave

Auf keinen Fall dürfen Patienten mit offener Lungentuberkulose mit Patienten, bei denen lediglich ein Verdacht auf eine (offene) Lungentuberkulose besteht, in Kohorten isoliert werden.

Patienten mit klinischem Verdacht auf Tuberkulose

Bei Patienten, bei denen ein Verdacht auf Vorliegen einer offenen Tuberkulose der Atemwege besteht, müssen bis zum Beweis des Gegenteils die gleichen Präventionsmaßnahmen durchgeführt werden wie bei den Patienten mit bewiesener offener Tuberkulose.

Schutzmasken („respiratorische Isolierung“)

Schutzmasken müssen sowohl die kleinen Tröpfchenkerne als auch an Flüssigkeit (z. B. Sputumtröpfchen) gebundene Mykobakterien zurückhalten können. Hierfür sind partikelfiltrierende Halbmasken mindestens der Klasse FFP2 nach DIN EN 149 erforderlich.

Bei der Frage, wann FFP2-Masken oder die höherwertigeren FFP3-Masken verwendet werden sollen, gibt es von den Fachgesellschaften unterschiedliche Empfehlungen. Das Deutsche Zentralkomitee zur Bekämpfung der Tuberkulose (DZK) empfiehlt mittlerweile zur Vereinfachung generell FFP2-Masken für Kontaktpersonen von Patienten mit offener Lungentuberkulose, fordert aber eine gesonderte Gefährdungsbeurteilung in speziellen Situationen. Die Empfehlungen gründen auf theoretischen Überlegungen und sind nicht durch prospektive kontrollierte Studien belegt (DZK 2012).

Andere Fachgesellschaften (z. B. NICE 2016) empfehlen bei MDR-TB und XDR-TB grundsätzlich FFP3-Masken. Aus Gründen des Personalschutzes werden in der TRBA 250 „Biologische Arbeitsstoffe im Gesundheitswesen und in der Wohlfahrtspflege“ vom März 2014 für den Umgang mit Patienten mit offener Lungentuberkulose bzw. vom Ausschuss für biologische Arbeitsstoffe (ABAS) im Beschluss 45 für den Fall der Möglichkeit einer aerogenen Übertragung von biologischen Arbeitsstoffen der Risikogruppe 3 (wozu *M. tuberculosis* gehört) partikelfiltrierende Halbmasken der Klasse FFP3, mindestens aber FFP2 gefordert. Die Verwendung von Atemschutzmasken mit Ausatemventil kann dem Personal die Atmung bei längeren Aufenthalten im Patientenzimmer erleichtern und die Compliance erhöhen. Entscheidend ist natürlich der korrekte Sitz dieser Masken.

Während das DZK (2012) das Tragen von FFP-Masken von derselben Person über einen längeren Zeitraum auch in der Versorgung mehrerer Personen für möglich hält, sind nach ABAS (2014) und AWMF (2016) FFP-Masken nach der Benutzung zu entsorgen.

► **Cave**

Auch bei der Verwendung von hochwertigen partikelfiltrierenden Schutzmasken bleibt eine gewisse Gesamtleckage und damit ein Restrisiko für eine Infektion.

Verwendung von Atemschutzmasken

Atemschutzmasken für das Personal sind bei folgenden Tätigkeiten erforderlich:

- Aufenthalt in einem Patientenzimmer mit offener TB der Atemwege
- Durchführung aerosolproduzierender Eingriffe (z. B. Bronchoskopie, offenes endotracheales Absaugen, zahnärztliche Eingriffe, Inhalationen, Eingriffe im Hals-, Nasen-, Rachenraum, In- und Extubation, am Patienten mit offener Tuberkulose, Verdacht auf offene Tuberkulose oder bei Patienten, bei denen eine offene Tuberkulose des Respirationstraktes ausgeschlossen werden soll)
- Spülungen tuberkulöser Abszesse und Wunden, Blasen- spülungen bei urogenitaler Tuberkulose sowie beim Verbandwechsel größerer tuberkulöser Wunden
- Durchführung von Transporten, pflegerischen und therapeutischen Maßnahmen und anderen Untersuchungen (z. B. Röntgen) bei Patienten mit offener Tuberkulose der Atemwege

Schutzkleidung und Handschuhe

Die Verwendung von Schutzkleidung und Handschuhen erfolgt nach den üblichen Standardhygienemaßnahmen (Kap. ► „Basishygienemaßnahmen im Krankenhaus“).

Verhalten beim Husten und Niesen von Patienten (Hustenhygiene)

Eine optimale Aufklärung von Patient und Angehörigen ist essenziell.

Aufklärung und Information der Patienten und der Angehörigen Patienten mit offener TB husten oder niesen am besten in Zellstoff oder Einwegpapiertaschentücher hinein. Bei Anwesenheit anderer Personen sollten sich die Patienten von diesen abwenden. Die kontaminierten Tücher werden sofort nach Benutzung als infektiöser Abfall abgeworfen und die Hände desinfiziert.

Die Patienten müssen in diese Maßnahmen eingewiesen werden Sowohl bei der Einweisung der Patienten als auch bei anderen Informationen kommt es gelegentlich, zum Bei-

spiel bei Risikopatienten mit Migrationshintergrund, zu soziokulturellen und/oder auch sprachlichen Problemen. Informationen und Aufklärung können durch neue Medien wie Smartphones, Tablett-PCs etc. über das Projekt „Explain TB“ vermittelt werden. Das Projekt ist unter www.explain-tb.org im Internet aufrufbar und bietet in zahlreichen Sprachen Informationen in Schrift, Bild, Videos und Audiodateien, die über eine App geladen werden können.

Verlassen des Isolierzimmers

Der Patient sollte nach Möglichkeit das Zimmer nicht verlassen. Untersuchungen und therapeutische Maßnahmen sollten soweit möglich im Isolierzimmer durchgeführt werden.

Patienten mit offener Tuberkulose der Atemwege tragen beim Verlassen des Patientenzimmers dichtsitzende mehrlagige chirurgische Gesichtsmasken oder FFP1-Masken (RKI 2006). Hierbei wird der Atemwiderstand im Vergleich zu FFP2-Masken weniger erhöht.

Patienten mit MDR-TB oder XDR-TB sollten FFP2- oder FFP3-Masken tragen. Innerhalb des Patientenzimmers ist das Tragen einer Maske für den Patienten nicht erforderlich. Bei Anwesenheit weiterer Personen im Zimmer (z. B. Besucher) kann das Risiko einer Übertragung von TB jedoch durch das Tragen von Masken durch die Patienten zusätzlich reduziert werden und wird daher empfohlen.

Nach hustenprovozierenden Maßnahmen sollte der Transport erst nach Abklingen des Hustenreizes durchgeführt werden.

► **Cave**

Patienten keine Feinstaubmasken mit Ausatemventil geben. Diese Masken filtern das Expirat nicht und halten infektiöse Tröpfchen und Tröpfchenkerne nicht zurück. Bei der Verwendung aller Masken muss auf den korrekten Dichtsitz geachtet werden. Probleme entstehen hierbei vor allem bei Barträgern und bei der Verwendung von chirurgischen Gesichtsmasken, wenn sie den Gesichtskonturen weniger gut angepasst werden können.

Tipp

Es sollten zur besseren Anpassung an die Gesichtskonturen FFP2- bzw. FFP3-Masken ggf. in verschiedenen Größen zur Verfügung stehen.

Besucher

Besuche sollten streng auf nahestehende Personen limitiert bleiben. Kinder sollten möglichst keinen Zutritt zum Isolierzimmer erhalten. Die Besucher müssen über die Präventionsmaßnahmen aufgeklärt und in die exakte Durchführung eingewiesen werden. Besondere Bedeutung kommt hierbei dem korrekten Anlegen der FFP2- bzw. FFP3-Masken zu.

Aufhebung der Isolierungsmaßnahmen

Unter einer wirksamen Therapie ist nach 2–3 Wochen die Infektiosität der Patienten deutlich herabgesetzt (Jindani et al. 1980). In dieser Zeit liegt meistens auch bereits das Ergebnis der Resistenzbestimmung vor, anhand dessen die Effektivität der Therapie abgeschätzt werden kann. Die Entscheidung ist individuell zu treffen. Die Isolierung kann in der Regel aufgehoben werden, wenn alle folgenden Kriterien erfüllt sind (modifiziert nach CDC 2005):

- Deutliche klinische Besserung unter der Therapie.
- Patient hustet nicht und hat kein Fieber.
- Therapie ist resistenzgerecht, und es gibt keinen Verdacht oder Hinweis auf MDR-TB/XDR-TB.
- In 3 aufeinander folgenden Sputum- oder Magensaftuntersuchungen von 3 aufeinander folgenden Tagen (Morgensputum bzw. -magensaft) sind mikroskopisch keine säurefesten Stäbchen nachweisbar.

Bei schweren Verläufen (MDR-TB/XDR-TB, Patienten mit Kavernen, hohe Erregerdichte im Ziehl-Neelsen-Präparat, ggf. bei HIV-Patienten) kann die Ausscheidung von Mykobakterien verlängert sein. Die Patienten sollten (insbesondere bei MDR-TB/XDR-TB) erst beim Vorliegen negativer Kulturen aus der räumlichen Isolierung entlassen werden. Es muss bei Entlassungen dieser Patienten auch die Empfänglichkeit der Umgebung des Patienten mit berücksichtigt werden (Säuglinge, Kinder, HIV-Patienten, Obdachlose etc.; ggf. Kontaktaufnahme mit dem Gesundheitsamt).

2.11.2 Desinfektionsmaßnahmen

Geschirr Eine Übertragung der Tuberkulose findet nicht durch sorgfältig gereinigtes Geschirr statt. Das Geschirr kann in (thermisch desinfizierenden) Geschirrspülmaschinen auf der Station gereinigt oder in einer desinfizierenden zentralen Anlage gespült werden. Eine gesonderte (Vor-)Desinfektion in einer Desinfektionsmittelwanne auf der Station oder ein genereller Einsatz von Einweggeschirr ist aus hygienischer Sicht nicht erforderlich.

Wäsche Kontaminierte Wäsche wird in gekennzeichneten Säcken in der Schleuse oder im Zimmer in als infektiös gekennzeichneten geeigneten Wäschesäcken abgeworfen und einem desinfizierenden Waschverfahren für infektiöse Wäsche zugeführt.

Abfall Abfall wird im Patientenzimmer gesammelt. Mit infektiösem Material kontaminierte Abfälle werden nach Abfallschlüssel AS 180103 der Abfallverzeichnisverordnung als infektiöser Abfall in einem geeigneten Behälter oder Sack gesammelt und entsorgt.

Ausscheidungen Urin und Stuhl werden über thermische Steckbeckenspülautomaten der Kanalisation zugeführt. Eine vorherige Desinfektion der Ausscheidungen ist nicht erforderlich (keine Seuchengefahr für die Öffentlichkeit). Die Steckbecken und Urinsammelgefäße werden im Steckbeckenspülautomaten gereinigt und thermisch desinfiziert. Gefäße oder Becher zum Sammeln von Sputum können ebenfalls über Steckbeckenspülautomaten oder im Reinigungs- und Desinfektionsgerät (RDG) gereinigt und desinfiziert werden, sofern nicht besser Einwegmaterialien hierfür eingesetzt werden.

Händedesinfektion Für die Händedesinfektion geben die Hersteller zum Teil eine verlängerte Einwirkzeit (doppelte Händedesinfektion) bei den herkömmlichen alkoholischen Einreibepreparaten an.

Instrumentendesinfektion Die Instrumentendesinfektion muss mit validierten Verfahren nach Möglichkeit maschinell und thermisch oder ggf. chemothermisch erfolgen. Insbesondere die Aufbereitung der Endoskope ist sorgfältig durchzuführen, um nosokomiale Infektionen und Fehldiagnosen zu vermeiden (Kap. ► „Medizinprodukte: Sichere und umweltschonende Aufbereitung“).

Flächendesinfektion Die Übertragung der TB über kontaminierte Flächen ist unwahrscheinlich. Die CDC empfehlen daher keine gesonderten TB-wirksamen Flächendesinfektionsmittel. Für die routinemäßige Desinfektion, bei der gezielten Desinfektion nach Kontamination und bei der Schlussdesinfektion muss ein mykobakterienwirksames Flächendesinfektionsmittel verwendet werden. Bei der Desinfektion jeder offenen Tuberkulose (auch der offenen Lungentuberkulose mit multiresistenten Mykobakterien!) ist die Wischdesinfektion Mittel der Wahl. Eine Formaldehydvernebelung ist in aller Regel nicht erforderlich.

2.11.3 Technische Maßnahmen

Raumluftechnische (RLT-)Anlage

Die CDC-Guidelines (CDC 2005) empfehlen zur Reduktion erregerrhaltiger Aerosole in der Raumluf die Isolierung der Patienten in einem Raum mit RLT-Anlage mit HEPA-Filtern, Unterdruck im Patientenzimmer gegenüber der Umgebung und ≥ 6 -fachen (bei neuen oder renovierten ≥ 12 -fachen) Luftwechsel pro Stunde. In spezialisierten Krankenhäusern, in denen Risikopatienten (z. B. HIV-Patienten) und Tuberkulosepatienten mit multiresistenten TB behandelt werden, sind Isolierzimmer mit solcher Ausstattung angezeigt. In den meisten Krankenhäusern wird man die Isolierung auch in Räumen ohne RLT-Anlage durchführen müssen und können. Sollten die Isolierzimmer über eine raumluftechnische Anlage oder eine Belüftungsanlage mit anderen Räumen oder Arealen mit Publikumsverkehr in Verbindung stehen und

nicht mit bakteriendichten Schwebstofffiltern ausgerüstet sein oder kann die Anlage nur mit Überdruck betrieben werden, so muss die Klimatisierung bzw. Belüftung abgeschaltet werden, um eine Verteilung und Verbreitung infektiöser Aerosole über die Belüftungsanlage oder den Stationsflur zu verhindern. Der Luftaustausch in diesen Zimmern muss dann über häufige Fensterlüftung bei geschlossenen Türen erfolgen. Abluft aus den Isolierzimmern, die nicht HEPA-filtriert wird, darf nicht direkt in Bereiche mit Publikumsverkehr abgeführt werden. Auch bei der Fensterlüftung ist auf Verkehrsfreiheit zu achten. Eine HEPA-Filtration durch (ggf. mobile) Umluftgeräte im Isolierzimmer kann die Erregerkonzentration ebenfalls senken.

Desinfektion mit UV-Licht

Die Desinfektion der Raumluft durch UV-Licht ist allenfalls als zusätzliche Maßnahme zur Reduktion der Erregerkonzentration einzusetzen. Sie bietet gegenüber der HEPA-Filtration keine Vorteile und kann bei Exponierten zu Schädigungen führen.

2.12 Tuberkulose in speziellen Fachbereichen

2.12.1 Kinderheilkunde

Obwohl Kinder im Vergleich zu Erwachsenen nur wenige TB-Bakterien ausscheiden, sind sie besonders empfänglich für die Tuberkulose. Auf Säuglings- und Kinderstationen sollten Säuglinge und Kinder daher wie Erwachsene räumlich isoliert werden. Der Infektionsstatus der Eltern und Kontaktpersonen muss berücksichtigt werden. Die begleitenden Eltern und Besucher müssen in die Hygienemaßnahmen eingewiesen werden.

2.12.2 Endoskopie

Bei Bronchoskopien werden infektiöse Aerosole und Tröpfchenkerne in die Raumluft freigesetzt, die beim Personal und nachfolgenden Patienten Infektionen verursachen können. Nach der Bronchoskopie eines Patienten mit offener Tuberkulose (einschließlich Verdachts- und Ausschlussfällen) ist daher ein Luftwechsel im Raum erforderlich. Anschließend müssen die patientennahen Flächen wischdesinfiziert werden (mykobakterienwirksames Mittel, Konzentration des Einstundenwertes, RKI-Konzentration (RKI 2013) und Verfahren nicht erforderlich). Endoskopieräume mit HEPA-filtrierender RLT-Anlage mit mindestens 6-fachem Luftaustausch pro Stunde bieten hier Vorteile gegenüber der Fensterlüftung, die zumeist mit einer Unterbrechung des Untersuchungsprogramms verbunden ist. Ein Unterdruck im Endoskopieraum reduziert die Weiterverbreitung von Aerosolen in die angren-

zenden Räumlichkeiten.

Bei der Durchführung aerosolbildender Untersuchungen müssen partikelfiltrierende Halbmasken (mindestens FFP2) getragen werden (Personalschutz).

Die Aufbereitung der Endoskope muss ordnungsgemäß (vorzugsweise maschinell) erfolgen.

Bei fehlerhafter Aufbereitung sind nicht nur nosokomiale Infektionen mit *M. tuberculosis* möglich, sondern auch fehlerhafte Diagnosen (falsch positiver kultureller Nachweis oder falsch positiver molekularbiologischer Nachweis [PCR, Gensonde] von *M. tuberculosis*).

2.12.3 Operative Eingriffe

Patienten mit offener Lungentuberkulose oder Organtuberkulose können operiert werden. Die Operation muss aus hygienischer Sicht nicht in einem septischen OP-Saal durchgeführt werden.

Organtuberkulosen außerhalb der Atemwege

Die Übertragung von Infektionen der nicht respiratorischen Organtuberkulosen erfolgt über erregerhaltige Materialien (Eiter, Urin, Fäzes, Genitalsekrete etc.) und wird nur mit diesen verteilt (d. h. nicht als aerogen übertragbare Tröpfchenkerne oder Aerosole, sofern keine Spülungen infizierter Organe durchgeführt wurden). Für die Desinfektion werden daher die üblichen Verfahren (patientennahe Flächen, begangene Flächen) angewendet. Der Saal kann nach Trocknung des Desinfektionsmittels weiter genutzt werden. Eine Operation am Ende des OP-Programms ist nicht notwendig. Chirurgische Gesichtsmasken sind ausreichend.

Offene Tuberkulose der Atemwege

Das Personal trägt FFP2- oder FFP3-Masken (während der Operation aus Gründen des Patientenschutzes ohne Ausatemventil!), wenn infektiöse Aerosole freigesetzt werden können.

Insbesondere während der Extubation ist eine erhöhte Infektionsgefahr gegeben. Die Operation sollte nach Möglichkeit in einem OP-Saal mit RLT-Anlage (Kriterien s. oben) durchgeführt werden, um einen schnellen Luftwechsel zu erreichen. Nach Durchführung der Desinfektionsmaßnahmen und Antrocknen des Desinfektionsmittels sollte der Luftaustausch bei in der Regel deutlich über 6-fachem Luftwechsel pro Stunde erfolgt sein, und der Saal kann weiter genutzt werden. Nach dem Eingriff müssen die Patienten getrennt von anderen Patienten ausgeleitet und überwacht werden. Es kann aus organisatorischen Gründen sinnvoll sein, die Patienten am Ende eines OP-Programms zu operieren und sie im OP-Saal oder alleine im Aufwachraum zu überwachen.

2.12.4 Tuberkulose auf der Intensivstation

Sollte ein Patient mit offener Tuberkulose des Respirationstraktes intensivpflichtig werden, muss auch auf der Intensivstation eine räumliche Isolierung in einem geschlossenen (Einzel-)Zimmer durchgeführt werden. Die Klimatisierung muss überprüft und ggf. abgestellt oder ein Unterdruck hergestellt werden (Unterdruck möglich?, Gefahr der Verbreitung infektiöser Aerosole über nicht HEPA-filtrierte Luftverteilung der RLT-Anlage?). Beim Abschalten der Klimaanlage muss eine häufige Fensterlüftung bei geschlossenen Türen durchgeführt werden. Der Abschluss des Isolierzimmers zu den anderen Bereichen (Flur) ist beim Lüften durch Schließen der Türen zu gewährleisten. Es werden mindestens FFP2-Schutzmasken eingesetzt. Ausnahmen sind nur möglich bei

- geschlossenem Beatmungssystem (keine Diskonnektion wie beim konventionellen Absaugen),
- Verwendung eines geschlossenen Absaugsystems,
- endständigem bakteriendichten Filter im Expirationschenkel.

2.13 Präventionsempfehlungen

Hinsichtlich Empfehlungen zur Prävention siehe AWMF 2009; CDC 2005; DZK 2009, 2012 und NICE 2016.

3 Andere durch Luft übertragbare Erkrankungen

3.1 Durch Luft übertragbare virale Infektionen

Masern, Windpocken und Herpes zoster (in dissimierter Form oder lokalisiert bei immunsupprimierten Patienten) können über mehrere Wege übertragen werden, hauptsächlich jedoch über Aerosole. Eine Infektion durch Kontakt mit Bläscheninhalt bei Windpocken und Herpes zoster ist möglich. Jahrelang wurde kontrovers diskutiert, ob eine aerogene Form der Übertragung zu berücksichtigen sei. Aufgrund zahlreicher Publikationen haben die CDC (2003b) beide Infektionen als aerogen übertragbar eingestuft. So berichten beispielsweise Sawyer et al. (1994) über den mehrfachen Nachweis von VZV-DNA in Luftproben, entnommen in 2,5 m Entfernung von Patienten mit Windpocken sowie außerhalb des Patientenzimmers. Auf einen Zusammenhang mit ungünstiger Luftführung (RLT-Anlage, Verwendung von Staubsaugern im Zimmer eines Kindes mit Varizellenpneumonie) und Auftreten von nosokomialen VZV-Infektionen weisen mehrere Publikationen hin (Gustafson et al. 1982; Leclair et al. 1980; Ehresmann et al. 1995).

3.1.1 Weiterhin in Diskussion

Influenza-Virusinfektion

Der klassische Übertragungsweg einer Influenza-Virusinfektion ist die Tröpfcheninfektion. Auf Flächen können die Erreger je nach Beschaffenheit (Tische, Türgriffe etc.) Stunden bis Tage überleben (auf Händen nur 5 Minuten), das heißt, die Kontaktübertragung stellt einen weiteren potenziellen Übertragungsmodus dar. Eine aerogene Übertragung wird seit Jahren kontrovers diskutiert. Ein klarer Beweis konnte bisher nicht erbracht werden (Seto 2015).

Gleiche Übertragungsmodi wie bei Influenza können auch für Infektionen mit Rhinovirus, Enterovirus, Respiratory Syncytial Virus (RSV) und Norovirus angenommen werden (Ijaz et al. 2016).

Tipp

Bei der Bronchoskopie und Intubation können respiratorische Viren kurzfristig in aerosolierter Form in der Luft vorliegen. Dennoch bleibt die Tröpfchenübertragung der Hauptinfektionsweg. Das Tragen von effizienten Schutzmasken ist hier angeraten.

Schweres akutes respiratorische Syndrom (SARS)

Das schwere akute respiratorische Syndrom wird verursacht durch das SARS-Coronavirus (SARS-CoV), das sowohl Tiere als auch Menschen infizieren kann. Die Erkrankung wurde erstmalig 2003 in Asien diagnostiziert und verbreitete sich rasch in über 24 Ländern in Asien, Europa, Nord- und Südamerika. Aktuell sind keine Krankheitsfälle bei Menschen bekannt, dennoch kann das Virus im Tierreich zirkulieren, und ein erneutes Auftreten von Krankheitsfällen bei Menschen ist nicht auszuschließen.

Obwohl für die meisten Fälle einer Mensch-zu-Mensch-Übertragung eine Infektion durch Tröpfchen oder auch Kontakt angenommen werden kann, ist eine Übertragung durch Aerosol generierende Tätigkeiten wie Intubation oder Bronchoskopie nicht auszuschließen. Die WHO und CDC stufen SARS zwar **nicht** als eine aerogen übertragbare Erkrankung ein, fordern aufgrund der hohen Letalitätsrate (ca. 10–15 %) jedoch eine Isolierung dieser Patienten in Einzelzimmern mit Vorraum/Schleuse bzw. in Zimmern mit negativer Druckführung (WHO 2015; CDC 2007; Tran et al. 2012; RKI 2015a; Kap. ► „Medizinprodukte: Sichere und umweltschonende Aufbereitung“).

Middle East Respiratory Syndrome (MERS)

Seit Sommer 2012 sind schwere respiratorische Infektionen (Middle East Respiratory Syndrome) durch das neue MERS-Coronavirus (MERS-CoV) besonders in der arabischen Welt aufgetreten. Eine Übertragung von Mensch zu Mensch ist selten, aber möglich. Als primäre Infektionsquelle werden Dromedare angesehen. Aufgrund der Schwere des Krankheitsbildes (Letalität 30 %) wird empfohlen, die gleichen Hygienemaßnahmen wie bei SARS-CoV einzuhalten (RKI 2015a, b; CDC 2015).

Virales hämorrhagisches Fieber (VHF)

In der Natur können Erreger des viralen hämorrhagischen Fiebers (Ebola-, Marburg-, Lassa-Fieber-, Krim-Kongo-Virus sowie Hantaviren) über die Luft verbreitet werden, für eine aerogene Übertragung in Krankenhäusern gibt es bisher jedoch keine konkreten Hinweise (CDC 2003b; Rewar und Mirdha 2014). Obwohl Hantaviren in aerolisierter Form (z. B. kothaltiger Staub von Nagetieren) infektiös sind, wurde bisher kein Fall einer Mensch-zu-Mensch-Übertragung beschrieben. Beim viralen hämorrhagischen Fieber sind insbesondere Blut und bluthaltige Körperflüssigkeiten als infektiös anzusehen.

3.2 Luft als Vektor für bakterielle Infektionen?

Die zuvor beschriebene Tuberkulose ist das klassische Beispiel für eine aerogen übertragbare bakterielle Infektion. Grampositive Kokken (z. B. *S. aureus*, *S. pyogenes*) sind sehr austrocknungsresistent und können in der unbelebten Umwelt mehrere Tage bis Wochen überleben. Eine Verbreitung erfolgt bei *Staphylococcus aureus* meist über eine direkte Kontaktübertragung (z. B. Hände) und bei *Streptococcus pyogenes* über „große Tröpfchen“ (face to face). In der Literatur gibt es jedoch Einzelfallberichte einer Übertragung beider Erreger über den Luftweg im Zusammenhang mit Wundinfektionen. In mehreren Fällen konnte eine Stammidentität für Isolate aus Wunde, Luft und vom OP-Personal (Rachen bzw. Hautschuppen) nachgewiesen werden (CDC 2003b). Eine sekundäre Aerolisierung durch ungünstige Luftführung ist in diesen Fällen jedoch am ehesten als Übertragungsmechanismus zu erwägen.

4 Pilzinfektionen bei immunsupprimierten Patienten

Immunsupprimierte Patienten sind besonders gefährdet, Infektionen mit fakultativ pathogenen Erregern niedriger Virulenz zu erwerben. Mehr als 90 % aller invasiven Pilzinfektionen werden durch die Gattungen *Candida* und *Aspergillus* verursacht, wobei die Kandidosen deutlich überwiegen (>90 %). Während Sprosspilzinfektionen eher einen endogenen Ursprung aufweisen, spielt die Luft für die Entstehung der invasiven pulmonalen Aspergillose (IPA) die wichtigste Rolle. Aber auch andere Schimmelpilze wie *Fusarium* spp., *Scedosporium* spp., *Pseudallescheria boydii* und Pilze der Gattung *Mucorales* (*Mucor* spp., *Rhizopus* spp.) können auf aerogenem Weg Infektionen verursachen (Munoz et al. 2001; CDC 2003b).

4.1 Invasive Aspergillose

Wegen ihrer besonderen klinischen und krankenhaushygienischen Relevanz wird im Folgenden die invasive Aspergillose (IA) ausführlich beschrieben. Es handelt sich um eine seltene, häufig aber letal verlaufende Pilzinfektion, die trotz adäquater Therapie mit einer hohen Letalität einhergeht. Die invasive Aspergilluspneumonie (IPA), meist verursacht durch *Aspergillus fumigatus*, stellt die häufigste Manifestationsart dar. Durch invasives Wachstum kann es zu einer hämatogenen Streuung kommen; ein ZNS-Befall ist eine gefürchtete Komplikation.

Wegen des ubiquitären Vorkommens von *Aspergillus*-Sporen sind diese Pilzinfektionen nicht gänzlich vermeidbar.

Tipp

Die Inkubationszeit der IPA ist nicht bekannt. Erkrankungen, die im Rahmen eines stationären Aufenthaltes auftreten, können durchaus ambulanten Ursprungs sein. Treten jedoch Häufungen von IPA auf, so muss eine Quelle im Krankenhaus bzw. auf der Station in Betracht gezogen werden. Krankenhaushygienische Schutzmaßnahmen können die Risiken einer Exposition minimieren (CDC 2003b; Weber et al. 2009).

4.1.1 Vorkommen und potenzielle Infektionsquellen

Aspergillen sind Fadenpilze und in der Natur und auch im häuslichen Umfeld weit verbreitet. Reservoir sind unter anderem biologische Abfälle, Blumenerde von Zimmerpflanzen, Fäkalien von Stubenvögeln, durchfeuchtete Zimmerwände, Staub und Lebensmittel (überreife Früchte, Gemüse, Gewürze etc.) (Exner und Engelhardt 1995). Unter den ca. 160 *Aspergillus*-Arten ist *Aspergillus fumigatus* mit einem Anteil von ca. 90 % der häufigste Erreger invasiver Aspergillosen, gefolgt von *Aspergillus flavus* und *Aspergillus terreus* (Köhler et al. 2001; Gregg und Kauffman 2015).

Aufgrund des geringen Durchmessers von *Aspergillus fumigatus*-Sporen (2–3 µm) können diese, im Gegensatz zu den meisten anderen *Aspergillus*-Arten, über die Atemluft bis in die kleinsten Lungenalveolen vordringen (Latgé 1999). Für immunkompetente Personen stellen Schimmelpilzsporen jedoch in der Regel keine Gefahr dar.

Nosokomial erworbene invasive Aspergillosen sind häufig mit erhöhten Sporenkonzentrationen der Luft im Patientenumfeld assoziiert. Über die Infektionsdosis und die Inkubationszeit gibt es bisher keine gesicherten Daten. Da die Latenzphase zwischen Exposition und Auftreten der Erkrankung zwischen Tagen und Monaten variieren kann, ist eine Festlegung des Ausgangspunktes der Infektion (nosokomial oder ambulant erworben) oft sehr schwierig (Kontoyannis und Bodey 2002).

4.1.2 Risikopatienten

Risikopatienten für eine lebensbedrohliche invasive Aspergillose sind vor allem hämatookologische, neutropenische und chronisch immunsupprimierte Patienten. In erster Linie (>80 %) sind Patienten mit allogener Stammzelltransplantation, insbesondere bei akuter myeloischer Leukämie (AML), betroffen, gefolgt von Patienten mit lymphatischer Leukämie. Hierbei korreliert eine lang andauernde Granulozytopenie (>10 Tage) mit der Häufigkeit einer Infektion (Füssle 2012; KRINKO 2010).

Prinzipiell sind auch alle organtransplantierte Patienten einem Aspergilloserisiko ausgesetzt, die Erkrankungsrate ist jedoch unter den Lungen-, Leber- und Herztransplantierten am höchsten (CDC 2003a). Ein erhöhtes Risiko haben auch Patienten mit einer CMV- oder HIV-Infektion (besonders bei CD4-Zellen $<50/\text{mm}^3$), einer immunsuppressiven Therapie (lang dauernde Glukokortikoidmedikation, monoklonale Antikörper wie TNF- α -Blocker [z. B. Rituximab, Infliximab]), mit einer granulomatösen Erkrankung oder Verbrennungskrankheit (Weber et al. 2009; Lass-Flörl und Thalhammer 2009).

4.1.3 Infektionsquellen

Da *Aspergillus*-Sporen ubiquitär vorkommen, sollte eine entsprechende Exposition bei prädisponierten Patienten sowohl im Krankenhaus als auch im häuslichen Umfeld minimiert werden.

Exogene Erregerreservoirs

(Nach: Anaissie und Costa 2001; Warris et al. 2003; Lass-Flörl und Dietrich 2004; KRINKO 2010)

- Bau-, Umbau- und Renovierungsmaßnahmen im Innen- und Außenbereich
- Straßenbauarbeiten
- Eröffnung von Zwischendeckenbereichen
- Kontaminierte RLT-Anlagen
- Klimaanlage ohne adäquate Luftfilterung
- Kontamination von Wasch- und Duschwasser
- Topf- und Zimmerpflanzen
- Aufwirbeln von verrottetem Laub
- Aerosolisierter Taubenkot
- Verschimmelte bzw. kontaminierte Nahrungsmittel (z. B. Nüsse, Pfeffer)
- Biotonne

Ausbrüche mit nosokomialen *Aspergillus*-Infektionen sind sehr selten; gut belegt ist jedoch der Zusammenhang mit Baumaßnahmen (Neubau-, Umbau- und Renovierungsmaßnahmen, Straßenbauarbeiten etc.) im nahen Patientenumfeld bei fehlenden Schutzmaßnahmen (Weber et al. 2009; KRINKO 2010; Kap. ► „Kosten nosokomialer Infek-

tionen“). Es ist davon auszugehen, dass bei Bewegung von kontaminiertem Erdreich bzw. Abriss von Mauerwänden oder Decken *Aspergillus*-Sporen in hohen Konzentrationen freigesetzt werden. Von einer Assoziation zwischen erhöhten *Aspergillus*-Sporenkonzentrationen und Auftreten von invasiven Aspergillose muss aufgrund von epidemiologischen Berichten ausgegangen werden (Willinger und Aspöck 1998; Exner und Engelhardt 1995; Denning 1998).

► Cave

Bei Bau-, Umbau- und Renovierungsarbeiten und fehlenden Schutzmaßnahmen können durch hohe Pilzsporenbelastungen der Luft nosokomiale Aspergillose entstehen.

4.1.4 Luftkeimzahl

Bisher existieren keine gesicherten Daten bezüglich Korrelation von Sporengehalt der Luft und Entstehung einer Aspergillose; vielmehr scheint die Wirtsabwehr (Grad der Immunsuppression) der entscheidende Faktor zu sein (Denning 1998). Auch eine nur kurzandauernde Exposition gegenüber hohen Pilzsporenkonzentrationen in der Atemluft kann bei Risikopatienten für eine Infektionsentstehung ausreichend sein. Ausbruchsanalysen belegen, dass es nicht möglich ist, einen ungefährlichen Grenzwert (z. B. $<10/\text{mm}^3$) anzugeben (KRINKO 2010).

In Gebäuden ohne RLT-Anlage ist die Luftkeimzahl in den Innenräumen meist ähnlich hoch wie in der Außenluft. Liegen die Innenraumwerte deutlich über den Werten der Außenluft, so muss eine interne Quelle vermutet werden (Wild et al. 2001). Mehrfache Luftkeimmessungen des gleichen Umfeldes können jedoch zu höchst unterschiedlichen Sporenzahlen führen. Es ist unklar, ob der Sporengehalt der Luft tatsächlich entsprechende Varianzen aufweist oder ob dies auf eine technische Limitierung der Luftkeimsammler zurückzuführen ist (Wenzel 1997). Messungen mit unterschiedlichen Luftkeimsammlern führen zusätzlich zu sehr unterschiedlichen Messwerten (Wild et al. 2001), sodass das Festlegen von Grenzwerten schwer ist. Die durchschnittliche Außenluftbelastung liegt zwischen 1 und 15 KBE/ m^3 , Belastungsspitzen können in Abhängigkeit von Temperatur, Luftbewegung, Feuchtigkeit und Lichteinfluss erheblich höher liegen, überschreiten aber nur selten 100 KBE/ m^3 (Wild et al. 2001). Um aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten, sollten immer mehrere Messungen vorgenommen werden.

Mit einer dreistufigen RLT-Anlage, das heißt bei Vorhandensein eines endständigen Schwebstofffilters (HEPA = High-Efficiency Particular Air), kann der Sporengehalt auf $<0,1$ KBE/ m^3 reduziert werden (Kap. ► „Technische Hygiene“).

4.1.5 Präventive Maßnahmen

Risikopatienten können im Krankenhaus in gewissem Maße durch Beseitigung von Infektionsquellen und zusätzlichen

Schutzmaßnahmen vor einer Sporenbelastung geschützt werden. Es besteht Konsens, dass durch Beseitigung von Infektionsquellen (Bautätigkeit, Zimmerpflanzen, Teppiche etc.) bzw. durch zusätzliche Schutzmaßnahmen (HEPA-Filter, ggf. auch Laminar Air Flow) Risikopatienten vor erhöhten Sporenbelastungen geschützt werden können. Ferner wird immer wieder der multidisziplinäre Ansatz mit früher Diagnostik, adäquater antimykotischer Prophylaxe und krankenhaushygienischen Präventionsstrategien zur Infektionskontrolle betont (Wild et al. 2001).

Baulich-funktionelle Maßnahmen bei der Unterbringung immunsupprimierter Patienten

Für Patienten mit schwerer und sehr schwerer Immunsuppression (Risikogruppe 2 und 3) wird eine Unterbringung in Räumlichkeiten mit endständigen Schwebstofffiltern (HEPA-Filter) und positivem Druck im Vergleich zu den angrenzenden Räumen gefordert. Zur Aufrechterhaltung der Druckverhältnisse ist entweder ein Vorraum (Schleuse) erforderlich (in dem auch Kittel, Handschuhe etc. abgelegt werden können), oder auch der Flurbereich muss mit filtrierter Luft versorgt werden. Eine regelmäßige Wartung der RLT-Anlage muss sichergestellt werden (KRINKO 2010).

Baumaßnahmen im Krankenhaus

Ein gehäuftes Auftreten von IA nach Baumaßnahmen im Innenbereich oder im Umfeld (Straßenbauarbeiten) von Krankenhäusern (Kap. ► „Baumaßnahmen und Krankenhaushygiene“) ist Gegenstand zahlreicher Publikationen (Exner und Engelhardt 1995; Wild et al. 2001). Daher sollten alle Umbaubaumaßnahmen, Renovierungsarbeiten und Abrissarbeiten im Umfeld von Stationen mit Hochrisikopatienten mit dem Hygienefachpersonal abgestimmt werden. Lassen sich entsprechende Schutzmaßnahmen nicht realisieren, muss eine vorübergehende Einstellung entsprechender Therapieverfahren (z. B. HSZT) oder eine Verlegung von Patienten aus diesen Risikobereichen erwogen werden. Patientenbereiche, die einer erhöhten Staubexposition ausgesetzt sind, müssen mindestens einmal arbeitstäglich feucht gereinigt werden (CDC 2003a; Willinger und Aspöck 1998; KRINKO 2010).

Weitere Maßnahmen sind in der nachfolgenden Übersicht dargestellt.

Empfehlungen zur Prävention und Kontrolle nosokomialer Aspergillus-Infektionen (CDC 2003a; Lass-Flörl und Dietrich 2004; KRINKO 2010)

Mitarbeiterschulung

- Bewusstseinsbildung und Mitarbeiterschulung betreffend Risikogruppen, Infektionsquellen und Schutzmaßnahmen

Überwachung

- Erhöhtes Risikobewusstsein und diagnostische Beobachtung (Kap. ► „Augenheilkunde: Hygienische Maßnahmen“)
- Etablierung eines Surveillancesystems (bei HSZT-Patienten z. B. ONKO-KISS; Kap. ► „Surveillance nosokomialer Infektionen“): Meldung von *Aspergillus*-spp.-Befunden durch die Mikrobiologie/Pathologie

Baulich-funktionelle Maßnahmen

- Stationen und Spezialambulanzen sollten möglichst keine Durchgangsbereiche/-stationen sein
- Keine Polstermöbel und Teppichböden
- Keine Frisch-/Trockenblumen oder Topfpflanzen
- Ausreichende Belüftung der Sanitäräume sowie desinfizierende Reinigung
- Eigener Sanitärraum zumindest für Patienten der Risikogruppe 3
- Keine klinikeigenen Kompostierungs- und Müllverarbeitungsanlagen in der Nähe von Abteilungen mit hochgradig immunsupprimierten Patienten

Anforderungen an die Raumluft

- Räumlichkeiten mit HEPA-gefilterter Luft (Filterklasse H13) für Patienten der Risikogruppe 2 oder 3
- Zimmer mit positivem Druck (und ggf. Schleuse, wenn angrenzender stationärer Flurbereich nicht HEPA-filtrierte Luft vorhält)
- RLT-Anlage regelmäßig kontrollieren
- Bei Fehlen von zentralen RLT-Anlagen: dezentrale mobile oder festinstallierte HEPA-Filtrationsgeräte, vor allem während Bau- und Renovierungsarbeiten

Umbaumaßnahmen und Abrissarbeiten (Kap. ► „Baumaßnahmen und Krankenhaushygiene“)

- Vor Beginn: Erstellung eines Konzepts zum Schutz der Hochrisikopatienten, Maßnahmen sind durch Hygienefachpersonal zu überwachen
- Vermeidung des Eindringens von Feinstaub (Staubschutzwände, Abdichten von Fenstern, Schutzplanen bei Arbeiten an der Außenfassade)
- Minimierung des Personenverkehrs, um häufiges Türöffnen sowie Einschleppen von Staub zu verhindern
- Umfassende feuchte Reinigung des angrenzenden stationären Bereichs während und nach Beendigung der Baumaßnahmen
- Ggf. Aussetzen kritischer Eingriffe oder Verlegung der Risikopatienten in einen nicht gefährdeten Bereich

Allgemeine sinnvolle Maßnahmen

- Besucherfrequenz einschränken
- Verlassen des Isolierzimmers nur, wenn notwendig; ggf. Tragen einer dichtsitzenden Feinstaubfiltermaske (FFP2 mit Ausatemventil)
- Adäquate Reinigungsmethoden
 - Tägliche desinfizierende Nassreinigung horizontaler Flächen
 - Vermeidung von Staub aufwirbelnden Putztechniken (z. B. Staubwedel)
 - Staubsauger regelmäßig warten (nur Geräte mit HEPA-Filtern einsetzen)
- Patientenaufklärung über mögliche Streuquellen im Krankenhausbereich und im Haushaltsbereich

Maßnahmen bei vermehrtem Auftreten von invasiven Aspergillosen

- Prospektive und retrospektive Erfassung der Fälle mit Aspergillose
- Exogene Infektionsquellen suchen, z. B. RLT-Anlage, Umbau- oder Renovierungsarbeiten
- Sanierung der Infektionsquelle

Literatur

- ABAS (2014) Ausschuss für Biologische Arbeitsstoffe TRBA 250 Biologische Arbeitsstoffe im Gesundheitswesen und in der Wohlfahrts-pflege, Ausgabe März 2014 GMBI 2014, Nr. 10/11 vom 27.03.2014 Änderung vom 22.05.2014, GMBI Nr. 25 Änderung vom 21.07.2015, GMBI Nr. 29
- Agerton T, Valway S, Gore B, Pozsik C, Plikaytis B, Woodley C, Onorato I (1997) Transmission of a highly drug-resistant strain (strain W1) of *Mycobacterium tuberculosis*. Community outbreak and nosokomial transmission via a contaminated bronchoscope. *JAMA* 278:1073–1077
- Anaissie EJ, Costa SF (2001) Nosocomial aspergillosis is waterborn. *Clin Infect Dis* 33:1546–1548
- AWMF (2009) Infektionsverhütung bei Verdacht auf und bei diagnostizierter Tuberkulose (Tb), 06.2009, (aktuell in Überarbeitung!)
- AWMF (2016) Arbeitskreis „Krankenhaus- & Praxishygiene“ der AWMF, Hygieneanforderungen bei ausgewählten respiratorisch übertragbaren Infektions-Erkrankungen (aerogen und Tröpfchen), AWMF online – Empfehlungen Krankenhaushygiene: Hygieneanforderungen bei respiratorisch übertragbaren Infektionen
- Beck-Sague C, Dooley SW, Hutton MD et al (1992) Outbreak of multidrug-resistant *Mycobacterium tuberculosis* infections in a hospital: transmission to patients with HIV infection and stuff. *JAMA* 268:1280–1286
- Behr MA, Warren SA, Salamon H, Hopewell PC, Ponce de Leon A, Daley CL, Small PM (1999) Transmission of *Mycobacterium tuberculosis* from patients smear-negative for acid-fast bacilli. *Lancet* 353:444–449
- CDC (1989) Centers for Disease Control and Prevention. *Mycobacterium tuberculosis* transmission in a health clinic Florida 1988. *MMWR* 38:256–258, 263–264
- CDC (2003a) Centers for Disease Control and Prevention. Guidelines for preventing health-care-associated pneumonia. *MMWR* 53, No. RR03. <http://www.cdc.gov/mmwr/PDF/RR/RR5303.pdf>. Zugegriffen am 05.08.2016
- CDC (2003b) Centers for Disease Control and Prevention. Guidelines for environmental infection control in health-care facilities. *MMWR* 52, No. RR10;1. <http://www.cdc.gov/mmwr/PDF/RR/RR5210.pdf>. Zugegriffen am 05.08.2016
- CDC (2005) Guidelines for preventing the transmission of *Mycobacterium tuberculosis* in health-care settings. *MMWR* 54, No. RR-17. Corrected Reprint
- CDC (2007) Centers for Disease Control and Prevention. Guideline for isolation precautions: Preventing transmission of infectious agents in healthcare settings. <http://www.cdc.gov/hicpac/pdf/isolation/Isolation2007.pdf>. Zugegriffen am 05.08.2016
- CDC (2015) Centers for Disease Control and Prevention. Interim infection prevention and control recommendations for hospitalized patients with Middle East respiratory syndrome coronavirus (MERS-CoV). <http://www.cdc.gov/coronavirus/mers/infection-prevention-control.html>. Zugegriffen am 05.08.2016
- Denning DW (1998) Invasive aspergillosis. Review. *Clin Infect Dis* 26:781–803
- DiPerry G, Cruciani M, Danzi MC, Luzzati R et al (1989) Nosocomial epidemic of active TB among HIV-infected patients. *Lancet* 2:1502–1504
- DZK (2009) Diel R et al (2009) Empfehlungen für das Tuberkulose-screening vor Gabe von TNF- α -Inhibitoren bei rheumatischen Erkrankungen. *Pneumologie* 63:329–334
- DZK (2012) Ziegler R et al (2012) Infektionsprävention bei Tuberkulose – Empfehlungen des DZK. *Pneumologie* 66:269–282
- Ehrenkranz NJ, Kicklighter JL (1972) Tuberculosis outbreak in a general hospital: evidence of airborne spread of infection. *Ann Intern Med* 77:377–382
- Ehresmann KR, Hedberg CW, Grimm MB, Norton CA, MacDonald KL, Osterholm MT (1995) An outbreak of measles at an international sporting event with airborne transmission in a domed stadium. *J Infect Dis* 175:679–683
- Exner M, Engelhardt S (1995) Epidemiologie und Prävention der invasiven Aspergillus-Infektion. *Hyg Med* 20:567–581
- Fennelly KP, Martyny JW, Fulton KE, Orme IM, Cave DM, Heifets LB (2004) Cough-generated aerosols of *Mycobacterium tuberculosis*. *Am J Respir Crit Care Med* 169:604–609
- Füssle R (2012) Invasive Pilzinfektionen bei kritisch kranken Patienten. *Anästh Intensivmed* 53:523–537
- Gregg KS, Kauffman CA (2015) Invasive aspergillosis: epidemiology, clinical aspects, and treatment. *Semin Respir Crit Care Med* 36(5):662–672
- Gustafson TL, Lavelly GB, Brawner ER, Hutcheson RH, Wright PF, Schaffner W (1982) An outbreak of airborne nosocomial varicella. *Pediatrics* 70:550–556
- Heilman KM, Muschenheim C (1965) Primary cutaneous tuberculosis resulting from mouth to mouth respiration. *N Engl J Med* 273:1035–1036
- Hutton MD, Stead WW, Cauthen GM, Bloch AB, Ewing WM (1990) Nosocomial transmission of tuberculosis associated with a draining tuberculous abscess. *J Infect Dis* 161:286–295
- Ijaz MK, Zargar B, Wright KE, Rubino JR, Sattar SA (2016) Generic aspects of the airborne spread of human pathogens indoors and emerging air decontamination technologies. *Am J Infect Control* 44(9 Suppl):109–120
- Jindani A, Baer VR, Edwards EA, Mitchison DA (1980) The early bactericidal activity of drugs in patients with pulmonary tuberculosis. *Am Rev Respir Dis* 121:939–949
- Johnson KR, Braden CR, Cairns KL et al (2000) Transmission of *Mycobacterium tuberculosis* from medical waste. *JAMA* 284:1683–1688

- Köhler W, Eggers HJ, Fleischer B, Marre R, Pfister H, Pulverer G (2001) Medizinische Mikrobiologie, 8. Aufl. Urban & Fischer, München
- Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention (KRINKO) beim Robert Koch-Institut (RKI) (2010) Anforderungen an die Hygiene bei der medizinischen Versorgung von immunsupprimierten Patienten. Bundesgesundheitsblatt 53(4):357–388
- Kontoyiannis DP, Bodey GP (2002) Invasive aspergillosis in 2002: an update. Eur J Clin Microbiol Infect Dis 21:161–171
- Kramer F, Sasse SA, Simms JC et al (1993) Primary cutaneous tuberculosis after needlestick injury from a patient with AIDS and undiagnosed tuberculosis. Ann Intern Med 119:594–595
- Lass-Flörl C, Dietrich M (2004) Epidemiologie und Expositionsprophylaxe nosokomialer Aspergillus-Infektionen bei hämato-onkologischen Patienten. Bundesgesundheitsblatt 47:379–383
- Lass-Flörl C, Thalhammer F (2009) Antimykotische Therapie – Consensus Statement. Österr Ärztezeitung (12):Supplementum: 4:1–12
- Latgé JP (1999) Aspergillus fumigatus and aspergillosis. Clin Microbiol Rev 12:310–350
- Leclair JM, Zaia JA, Congdon RG, Goldmann DA (1980) Air borne transmission of chickenpox in a hospital. N Engl J Med 302:450–453
- Lundgren R, Norrman E, Asberg I (1987) Tuberculous infection transmitted at autopsy. Tubercle 68:147–150
- Munoz P, Burillo A, Bouza E (2001) Environmental surveillance and other control measures in the prevention of nosocomial fungal infections. Clin Microbiol Infect 7:38–45
- NICE (2016) National Institute for Health and Care Excellence (NICE) guideline tuberculosis. Update May 2016
- Ramsey AH, Oemig TV, Davis JP, Massey JP, Török TJ (2002) An outbreak of bronchoscopy-related Mycobacterium tuberculosis infections due to lack of bronchoscope leak testing. Chest 121:976–981
- Rewar S, Mirdha D (2014) Transmission of ebola virus disease: an overview. Ann Glob Health 80(6):444–451
- Robert Koch-Institut (RKI) (2006) Mitteilung des RKI zur Infektionsprävention beim Transport von Patienten mit offener Lungentuberkulose. Epidemiol Bull 20:156
- Robert Koch-Institut (RKI) (2013) Liste der vom Robert Koch-Institut geprüften und anerkannten Desinfektionsmittel und -verfahren. Bundesgesundheitsblatt 56:1702–1705
- Robert Koch-Institut (RKI) (2015a) Empfehlungen des Robert Koch-Institutes für die Hygienemaßnahmen und Infektionskontrolle bei Patienten mit Schwerem Akutem Respiratorischem Syndrom (SARS). Stand: 09.07.2015
- Robert Koch-Institut (RKI) (2015) Aktuelles zu MERS-CoV (Middle East Respiratory Coronavirus). Epidemiol Bull 28(26)
- Robert Koch-Institut (RKI) (2016) Welttuberkulosetag 2016: Gemeinsam gegen Tuberkulose. Epidemiol Bull 10(11)
- Sawyer MH, Chamberlin CJ, Wu YN, Aintablian N, Wallace MR (1994) Detection of varicella-zoster virus DNA in air samples from hospital rooms. J Infect Dis 169:91–94
- Seto WH (2015) Airborne transmissions and precautions: facts and myths. J Hosp Infect 89:225–228
- Tran K, Cimon K, Severn M, Pessoa-Silva CL, Conly J (2012) Aerosol generating procedures and risk of transmission of acute respiratory infections to healthcare workers: a systematic review. PLoS One 7(4):e35797
- Warris A, Klaassen CH, Meis JF, De Ruiter MT, De Valk HA, Abrahamsen TG, Gaustad P, Verweij PE (2003) Molecular epidemiology of Aspergillus fumigatus isolates recovered from water, air, and patients shows two clusters of genetically distinct strains. J Clin Microbiol 41:4101–4116
- Weber DJ, Peppercom A, Miller MB, Sickbert-Benett E, Rutala WA (2009) Preventing healthcare-associated Aspergillus infections: review of recent CDC/HICPAC recommendations. Med Mycol 47(1):199–209
- Wenzel RP (1997) Prevention and control of nosocomial infections, 3. Aufl. Williams & Wilkins, Baltimore
- WHO (2013) Definitions and reporting framework for tuberculosis – 2013 revision (updated December 2014). WHO Press, World Health Organization, Geneva
- WHO (2015) Global tuberculosis report 2015. WHO Press, World Health Organization, Geneva
- Wild C, Jonas S, Frank W, Traunmüller F (2001) Aspergillose – Stand des Wissens zu Diagnose, Therapie, Umweltbedingungen – Ein Assessment. Endbericht, Institut für Technikfolgen-Abschätzung, Wien. <http://www.oeaw.ac.at/ita/ebene5/d2-2b18.pdf>
- Willinger B, Aspöck C (1998) Hospitalismus durch Aspergillus. Ein Überblick über Ursachen und Möglichkeiten der Prävention. Wien Klin Wochenschr 110(11):388–392
- Wischniewski N, Mielke M (2006) Prävention der nosokomialen Übertragung der Tuberkulose. Hyg Med 31(3):84–92
- Yates TA, Khan PY, Knight GM et al (2016) The transmission of Mycobacterium tuberculosis in high burden settings. Lancet Infect Dis 16(2):227–238