

Arbetsrelateret katarakt

Jens Peter Ellekilde Bonde

Jakob Bjerager

Ingrid Alethe

Sivesind Mehlum

Stinna Skaaby

Arbejds- og Miljømedicinsk Afdeling
Bispebjerg og Frederiksberg Universitetshospital



GÖTEBORGS UNIVERSITET

ARBETS- OCH MILJÖMEDICIN

Första upplagan år 2025
© Göteborgs universitet & Författarna

ISBN 978-91-85971-92-3-0
ISSN 0346-7821

Första upplagan år 2025
© Göteborgs universitet & Författarna

ISBN 978-91-85971-92-3
ISSN 0346-7821

CHEFREDAKTÖR
Kjell Torén, Göteborgs universitet

REDAKTION
Maria Albin, Stockholm
Lotta Dellve, Göteborg
Henrik Kolstad, Århus
Roger Persson, Lund
Kristin Svendsen, Trondheim
Mathias Holm, Göteborg

REDAKTIONSASSISTENT
Ulrika Sjö Dahl,
Göteborgs universitet

REDAKTIONSRÅD
Kristina Alexanderson, Stockholm
Berit Bakke, Oslo
Lars Barregård, Göteborg
Jens Peter Bonde, Köpenhamn
Jörgen Eklund, Stockholm
Mats Hagberg, Göteborg
Kari Heldal, Oslo
Kristina Jakobsson, Göteborg
Malin Josephson, Stockholm
Bengt Järvholm, Umeå
Anette Kærgaard, Herning
Carola Lidén, Stockholm
Svend Erik Mathiassen, Gävle
Catarina Nordander, Lund
Torben Sigsgaard, Århus
Gerd Sällsten, Göteborg
Ewa Wikström, Göteborg
Eva Vingård, Stockholm

E-post:
arbeteochhalsa@amm.gu.se
Telefon: 031-786 68 54

INDHOLDSFORTEGNELSE

FORORD	4
ORDLISTE	8
SAMMENFATNING	9
Baggrund	9
Epidemiologi og patofysiologi	9
Ioniserende stråling	9
Ultraviolet stråling	10
Kemiske eksponeringer	11
Ulykker	11
Kongenit katarakt	11
Konklusion	11
EPIDEMIOLOGI OG PATOFYSIOLOGI	12
Epidemiologi	13
Patofysiologi	15
Medicinske risikofaktorer	16
Behandling	17
METODER	18
IONISERENDE STRÅLING	19
Definition og måleenheder	19
Forekomst	19
Sammenhæng med katarakt	20
Eksponering i arbejdsmiljøet	20
Sundhedssektoren	21
Luft- og rumfart	25
Industriel radiografi	25
Atomindustri	26
ULTRAVIOLET STRÅLING	27
Definition og måleenheder	27
Forekomst	27
Sammenhæng med katarakt generelt	29
Udendørs arbejde	30
Metalsvejsning	36
INFRARØD STRÅLING	38
MIKROBØLGER	38
KEMISK ARBEJDSMILJØEKSPONERING	38
Metaller	38

Trinitrotoluen	39
ULYKKER	40
Elektrisk katarakt.....	40
Traumatisk katarakt.....	40
KONGENIT KATARAKT.....	40
Maternel eksponering under graviditet.....	40
Paternel eksponering forud for graviditet.....	41
OVERORDNET KONKLUSION.....	41
BILAG A. SØGESTRENGE VED SYSTEMATISK LITTERATUR SØGNING	43
REFERENCER (ikke editeret – afventer plain text uden makro).....	45

Redaktörernas förord

Denna utgåva ingår i den serie av systematiska kunskapssammanställningar som ges ut av Göteborgs Universitet. Dessa kunskapssammanställningar hade ursprungligen sin bakgrund i ett behov att ange riktlinjer för hur man fastställer samband i arbetsskedeförsäkringen. Arbetet inleddes 1981 när en grupp ortopedier, yrkesmedicinare, andra arbetsmiljöforskare och läkare från LO i Läkartidningen diskuterade en modell för bedömning av vilka arbetsställningar som utgjorde skadlig inverkan för besvär i bröst och ländrygg. Gruppen pekade också på vikten av att systematiskt ställa samman kunskap inom området (Andersson 1981). Därefter publicerades flera systematiska kunskapssammanställningar med avsikt ge riktlinjer för förekomst av skadlig inverkan vid arbetsskadebedömningar (Westerholm 1995, 2002, Hansson & Westerholm 2001).

AFA Försäkring finansierar sedan 2008 ett långsiktigt projekt med avsikt att ta fram nya kunskapssammanställningar inom arbetsmiljöområdet. Arbetet samordnas av Arbets- och miljömedicin vid Sahlgrenska Akademien/Göteborgs Universitet. Dessa systematiska kunskapssammanställningar har som syfte att beskriva arbetsmiljöns betydelse för uppkomst eller försämring av sjukdom eller symptom i ett bredare perspektiv. Tillämpningen av resultaten får ske inom berörda myndigheter, arbetsplatser och försäkringsbolag.

Den nya serien av systematiska kunskapssammanställningar inleddes 2008 med en uppdaterad översikt om psykisk arbetsskada (Westerholm 2008), som sedan följdes av sammanställningar om fukt och mögel, helkroppsvibrationer och arbetets betydelse för uppkomst av depression (uppdatering), stroke, Parkinsons sjukdom, ALS, Alzheimers sjukdom, prostatacancer, reumatoid artrit, arbete i värme, effekter av att arbeta med armarna ovan axelhöjd, riskfaktorer i arbetslivet för suicid, riskfaktorer för "slidigt i tommelens rodled", arbete efter hjärtinfarkt och en analys av olika kunskapsöversikter inom arbetsmiljöområdet (Torén 2010, Burström 2012, Lundberg 2013, Jakobsson 2013, Gunnarsson 2014, 2015a, 2015b, Knutsson 2017, Kuklane 2017, Kjellström 2017, Milner 2018, Bach Lund 2018, Koch 2019, Gustavsson 2019, Järvholm 2020, Ilar 2020). Dessutom finns ett mycket efterfrågat dokument om hur diabetiker klarar av olika påfrestande arbetsmiljöer (Knutsson 2013). Under 2016 presenterades ett uppmärksammat dokument om skador efter exponering för handöverförda vibrationer (Nilsson 2016).

Eftersom kunskapsläget förändras finns det ett behov av uppdateringar av gamla kunskapssammanställningar, samtidigt som det finns ett behov av kunskapssammanställningar inom nya områden. Under de senaste åren har det publicerats analyser om arbete efter stroke (Jood 2021), spridning av luftvägsvirus vid arbetsplatser (Löndahl 2021), samband mellan exponering för handöverförda vibrationer och uppkomst av Dupuytrens sjukdom, samt ett dokument om prevention av handeksem (Nilsson 2022, Agner 2022) och arbetsrelaterade riskfaktorer för hudcancer (malignt melanom och skivepitelcancer) (Järvholm 2024) och arbete i kyla vid sjukdom (Stjernbrandt 2024).

Denna kunskapsöversikt syftar till att sprida kunskap om hur man bäst kan förebygga uppkomst av arbetsrelaterad katarakt (grå starr). En vanlig sjukdom och ett sannolikt alltför lite uppmärksammat område i arbetsmiljösammanhang. Externa referenter har varit docent Jonas Brisman, Göteborg, och professor Anders Behndig, Umeå universitet, Umeå. Vi är tacksamma för författarnas gedigna arbete liksom de värdefulla och konstruktiva bidrag som referenterna har tillfört.

Göteborg, Umeå och Lund mars 2025

Kjell Torén, Bengt Järvholm och Maria Albin

Referenser

Agner T, Ebbelhøj NE. Hand eczema. With focus on irritant contact dermatitis and prevention. *Arbete och Hälsa* 2012;56(5).

Andersson G, Bjurvall M, Bolinder E, Frykman G, Jonsson B, Kihlbom Å, Lagerlöf E, Michaëlsson G, Nyström Å, Olbe G, Roslund J, Rydell N, Sundell J, Westerholm P. Modell för bedömning av ryggskada i enlighet med arbetsskadeförsäkringen. *Läkartidningen* 1981;78:2765-2767.

Bach Lund C, Mikkelsen S, Frølund Thomsen J. Systematiska kunskapsöversikter; 12. Arbejdsrelaterede risikofaktorer for slidgigt i tommelens rodled. *Arbete och Hälsa* 2018;52(4).

Burström L, Nilsson T, Wahlström J. Exponering för helkroppsvibrationer och uppkomst av ländryggssjuklighet. *Arbete och Hälsa* 2012;46(2).

Gunnarsson LG, Bodin L. Systematiska kunskapsöversikter; 6. Epidemiologiskt påvisade samband mellan Parkinsons sjukdom och faktorer i arbetsmiljön. *Arbete och Hälsa* 2014;48(1).

Gunnarsson LG, Bodin L. Systematiska kunskapsöversikter; 7. Epidemiologiskt påvisade samband mellan ALS och faktorer i arbetsmiljön. *Arbete och Hälsa* 2015a;49(1).

Gunnarsson LG, Bodin L. Epidemiologiskt undersökta samband mellan Alzheimers sjukdom och faktorer i arbetsmiljön. *Arbete och Hälsa* 2015b;49(3).

Gustavsson P, Ljungman P. Arbete efter hjärtinfarkt – en kunskapssammanställning. *Arbete och Hälsa* 2019;53(3).

Hansson T, Westerholm P. Arbete och besvär i rörelseorganen. En vetenskaplig värdering av frågor om samband. *Arbete och Hälsa* 2001;12.

Ilar A, Klareskog L, Alfredsson L. Sambandet mellan kemiska exponeringar i arbetsmiljön och risken att utveckla ledgångsreumatism. *Arbete och Hälsa* 2020;54(3).

Jakobsson K, Gustavsson P. Systematiska kunskapsöversikter; 5. Arbetsmiljöexponeringar och stroke – en kritisk granskning av evidens för samband mellan exponeringar i arbetsmiljön och stroke. *Arbete och Hälsa* 2013;47(4).

Jood K, Fransson E. Faktorer i arbetslivet och återgång till arbete efter stroke eller risk för ny stroke: En kunskapsöversikt. *Arbete och Hälsa* 2021;55(1).

Järvholm B. Kunskapsöversikter inom arbetslivsområdet. *Arbete och Hälsa* 2020;54(1).

Järvholm B, Larkö O. Arbetsrelaterad hudcancer. *Arbete och Hälsa* 2024;58(1).

Koch M, Wærsted M, Veiersted KB. Systematiska kunskapsöversikter; 14. Kan arbeid over skulderhøyde forårsake skulderlidelser – en systematisk litteraturgjennomgang. *Arbete och Hälsa* 2019;53(1).

Kjellström T, Lemke B. Systematiska kunskapsöversikter; 11. Health impacts of workplace heat on persons with existing ill health. *Arbete och Hälsa* 2017;51(8).

Knutsson A, Kempe A. Systematiska kunskapsöversikter; 4. Diabetes och arbete. *Arbete och Hälsa* 2013;47(3).

Knutsson A, Krstev S. Arbetsmiljö och prostatacancer. *Arbete och Hälsa* 2017;51(1).

Kuklane K, Gao C. Systematiska kunskapsöversikter; 10. Occupational heat exposure. *Arbete och Hälsa* 2017;51(7).

Lundberg I, Allebeck P, Forsell Y, Westerholm P. Kan arbetsvillkor orsaka depressionstillstånd. En systematisk översikt över longitudinella studier i den vetenskapliga litteraturen 1998-2012. *Arbete och Hälsa* 2013;47(1).

Löndahl J, Alsved M, Thuresson S, Fraenkel C-J. Luftvägsvirus vid arbetsplatser. Smittvägar, riskfaktorer och skyddsåtgärder. *Arbete och Hälsa* 2021;55(2).

Milner A, LaMontagne AD. Systematiska kunskapsöversikter; 13. Suicide in the employed population: A review of epidemiology, risk factors and prevention activities. *Arbete och Hälsa* 2018;52(5).

Nilsson T, Wahlström J, Burström L. Systematiska kunskapsöversikter 9. Kärl och nervskador i relation till exponering för handöverförda vibrationer. *Arbete och Hälsa* 2016;49(4).

Nilsson T, Wahlström J, Reiherth E, Burström L. Dupuytren's sjukdom i relation till exponering för handöverförda vibrationer. *Arbete och Hälsa* 2022;56(1).

Stjernbrandt A, Reiherth E, Nilsson T. Arbete i kyla med sjukdom. *Arbete och Hälsa* 2024;58(3).

Torén K, Albin M, Järvholm B. Systematiska kunskapsöversikter; 1. Betydelsen av fukt och mögel i inomhusmiljön för astma hos vuxna. *Arbete och Hälsa* 2010;44(8).

Westerholm P. Arbetssjukdom – skadlig inverkan – samband med arbete. Ett vetenskapligt underlag för försäkringsmedicinska bedömningar (6 skadeområden). *Arbete och Hälsa* 1995;16.

Westerholm P. Arbetssjukdom – skadlig inverkan – samband med arbete. Ett vetenskapligt underlag för försäkringsmedicinska bedömningar (7 skadeområden). Andra, utökade och reviderade upplagan. *Arbete och Hälsa* 2002;15.

Westerholm P. Psykisk arbetsskada. *Arbete och Hälsa* 2008;42:1.

Denne gennemgang og præsentation af den aktuelle viden om arbejdsrelateret katarakt (grå stær) er på opdrag af redaktionskomiteen for Arbets- och Hälso utvärdering utförd i perioden 1.1.2024 – 30.10.2024 af en forskergruppe med ekspertise indenfor arbejdsmedicin, epidemiologi, statistik og øjenssygdomme.

Katarakt er uklarheder i øjets linse, som kan medføre synsnedsættelse. Globalt er katarakt den mest udbredte årsag til blindhed, og i Danmark foretages i størrelsesordenen ca. 75.000 kataraktoperationer årligt. Høj alder, en række medicinske sygdomme, sollys og ioniserende stråling er velkendte risikofaktorer for udvikling af katarakt, men der har været begrænset fokus på betydningen af erhvervsmæssige eksponeringer. Selvom katarakt som følge af udsættelse for stråleenergi kan anerkendes som arbejdsbetinget sygdom i Danmark, er der yderst få, om nogen, anmeldte eller anerkendte tilfælde de seneste år. Nyere studier har vist, at erhvervsmæssige eksponeringer måske spiller en hidtil upåagtet rolle for udvikling af katarakt, hvilket har aktualiseret behovet for en oversigt over arbejdsrelateret katarakt.

Denne rapport sammenfatter den aktuelle epidemiologiske viden om sammenhængen mellem forskellige typer af erhvervsmæssig eksponering og udvikling af katarakt og afdækker herved potentielle muligheder for forebyggelse af sygdommen via indsats på arbejdspladsen.

Forfatterne:

Jens Peter Ellekilde Bonde, Jakob Bjerager, Ingrid Alethe Sivesind Mehlum, Stinna Skaaby

Februar 2025

ORDLISTE

CI	Confidence Interval
SD	Standard Deviation
HR	Hazard Ratio
IARC	International Agency for Research on Cancer
ICD-10	International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems, 10th Revision
ILO	International Labour Organization
ICRP	International Commission on Radiological Protection
J	Joule (enhed for energi)
LOCS	Lens Opacities Classification System
OSHA	Occupational Safety and Health Administration
OR	Odds ratio
PSC	Posterior subkapsulær katarakt
PRISMA	Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses
PROSPERO	International Prospective Register of Systematic Reviews
RR	Relative risk
MED	Minimal Erythema Dose
SED	Standard Erythema Dose
UV-stråling	Ultraviolet stråling, elektromagnetisk stråling med bølgelængde 200-400 nm
UVA	Ultraviolet A, bølgelængde 320 - 400 nm
UVB	Ultraviolet B, bølgelængde 280 - 320 nm
UVC	Ultraviolet C, bølgelængde 200 – 280 nm
LET	Linear Energy Transfer
Gray (Gy)	Absorberet dosis. Energien afsat indenfor et givent volumen og gennemsnitligt indenfor hvert organ ("organdosis")
Sievert (Sv)	Biologisk effekt af ioniserende stråling. Absorberet dosis ganget med en faktor for, hvor skadelig strålingen er for vævet. For røntgen og γ -stråling er denne faktor 1, hvorfor Sv og Gy for disse typer ioniserende stråling er identiske
Hp(3)	Personlig dosisækvivalent ved 3mm bløddelsvæv. Anvendes som mål for bestråling mod øjets linse.
w_R	Strålevægtningstingsfaktor for biologisk effekt af ioniserende stråling
WHO	World Health Organization

SAMMENFATNING

Baggrund

Katarakt (grå stær) er langt den hyppigste årsag til nedsat syn efter 50-års alderen. Til trods for en del studier vedrørende betydningen af især ioniserende stråling og sollys, har der dog været begrænset fokus på arbejdsrelateret katarakt og dermed muligheder for forebyggelse via indsats på arbejdspladsen. Formålet med nærværende rapport er at sammenfatte og vurdere den aktuelle viden om arbejdsrelateret katarakt.

Epidemiologi og patofysiologi

Katarakt skyldes uklarheder i øjets linse, som kan medføre nedsat syn. De tre mest udbredte morfologiske former for katarakt er uklarheder i linsens kerne, i linsebarken eller bagerst i linsen under linsekapslen, benævnt henholdsvis nukleær, kortikal og posterior subkapsulær katarakt. Oxidativt stress relateret til metabolisme eller eksterne påvirkninger menes at spille en central rolle for udvikling af katarakt. Hyppigheden stiger eksponentielt efter 40-50 årsalderen og andre vigtige risikofaktorer er diabetes, behandling med kortikosteroider, atopisk lidelse og en række sjældnere medicinske sygdomme.

Ioniserende stråling

Øjets linse anses for et af organismens mest strålefølsomme væv. Store kohorteundersøgelser af ofre for de to A-bombe sprængninger i Japan i 1945, af arbejdere ved atomare produktionsanlæg, af Chernobyl oprydningsarbejdere samt af radiografer ligger til grund for, at katarakt af posterior subkapsulær og kortikal type længe har været anset for en veldokumenteret effekt af ioniserende stråling med lineær dosis-effekt sammenhæng. Om der eksisterer en tærskelværdi, hvorunder der ikke ses biologisk effekt er omdiskuteret. The International Commission on Radiological Protection (ICRP) har i 2012 anbefalet en betydelig reduktion af grænseværdien for erhvervsmæssig ækvivalent stråledosis for øjets linse fra 150 mSv/år til 20 mSv/år som et gennemsnit over fem år, hvilket svarer til 0,5 Gy gennem en 25-årig erhvervskarriere.

De vigtigste fag med potentiel eksponering for ioniserende stråling findes indenfor sundhedssektoren, teknisk radiografi, radiokemisk industri, atomkraftværker, forskningslaboratorier og lufttransport.

Radiografi. Et amerikansk studie af katarakt blandt mere end 35.000 radiografer fandt en lineær sammenhæng mellem livslang kumuleret ioniserende stråledosis og forekomst af selvrapporteret katarakt og forøget risiko den foreslåede tærskelværdi på 500 mSv (0,5 Gy). Disse fund er ikke bekræftet i lignende uafhængige undersøgelser i Norden og synes i modstrid med eksempelvis dosimetriovervågning af sundhedspersonale i Danmark, hvor der kun yderst sjældent ses udsættelse > 20 mS/år.

Nuklearmedicinsk personale kan vanskeligt undgå kontakt med radioaktive præparater i forbindelse med for eksempel positron-emissions-tomografi (PET), og der er beskrevet eksponering op til flere mSv årlig. Ved en amerikansk undersøgelse fandtes en let øget risiko for selvrapporteret katarakt blandt personale, der foretog nuklearmedicinske diagnostiske eller terapeutiske procedurer i forhold til personale, der aldrig var beskæftiget hermed.

Fluoroskopi. Der er derfor gennem de seneste par årtier kommet betydeligt fokus på risikoen for katarakt ved den hastigt voksende brug af fluoroskopiske procedurer (røntgengennemlysning), hvor eksponering for ioniserende stråling kan være betydelig. Ved en række overvejende små tværsnitsundersøgelser af kardiologisk intervenserende personalegrupper er fundet betydelig overhyppighed af især posterior subkapsulær linseklarhed, men resultaterne er ikke helt konsistente, og studierne er behæftet med betydelige metodologiske mangler. Da det er veldokumenteret, at eksponering ved fluoroskopi kan være betydelig, der behov for at monitorere eksponering fortløbende og træffe tekniske foranstaltninger og brug af personlige værnemidler, som nedbringe eksponering af øjnene mest muligt.

Flybesætninger og astronauter udsættes for kosmisk stråling. Dosis afhænger af flyhøjde, flyruter og solaktivitet og samlet tid højt i atmosfæren og udgør for flybesætninger årligt i gennemsnit 0,2-5 mSv, altså væsentligt under de niveauer som ICRP anser for skadelige for øjenlinsen.

Industriel radiografi. I 2020 var der i Danmark registreret godt 300 personer, der anvendte røntgen- eller γ -strålekilder i forbindelse med tekniske undersøgelser af materialer og produkter, herunder til kvalitetskontrol. Middelstråledosis er lav, omkring 0,5 mSv/årligt, men højere end middeldosis blandt alle dosimetri-overvågede i Danmark. Der foreligger ikke data om risiko for katarakt i denne erhvervsgruppe.

Atomindustri. Arbejde i den atomare industri kan medføre eksponering for ekstern γ -stråling, neutronstråling og radioaktive isotoper. Ved store studier af arbejdere ved nukleare produktionsvirksomheder i det sydlige Ural og af Chernobyl oprydningsarbejdere er fundet øget risiko for katarakt ved en kumulativ stråledosis på henholdsvis 250-500 mSv og 700 mGy. Det er åbenlyst, at beskæftigelse ved atomkraftværker og i den atomare industri forudsætter maksimale afskærmningsforanstaltninger og nøje monitorering af individuelle eksponeringsniveauer.

Ultraviolet stråling

Erhvervsmæssig udsættelse for UV-stråling forekommer ved udendørs arbejde, metalsvejsning og ved en række tekniske anvendelser som fx hærdning af plastmateriale, desinfektion, lasere i kirurgiske instrumenter og fremstilling af halvledere.

Sollys. Store befolkningsundersøgelser støttet af eksperimentelle data giver stærk evidens for, at solens UVB-stråling øger risikoen for katarakt.

Ved systematisk litteratursøgning i november 2023 fandtes i alt 13 studier, som belyser den alderskorrigerede risiko for katarakt ved udendørs arbejde i forhold til indendørs arbejde eller ved interne analyser af intensitet og varighed af arbejdsrelateret udsættelse for sollys. De mest informative studier med store undersøgelsespopulationer af højt eksponerede befolkningsgrupper som fiskere og bjergbønder, med detaljerede og udtømmende data om individuel livslang eksponering for sollys og med justering for de vigtigste kendte determinanter for katarakt fandt 2-3 gange højere risiko for katarakt blandt de mest udsatte arbejdere sammenlignet med de mindst udsatte. Resultaterne hverken støttes eller svækkes af andre fortrinsvis mindre tværsnits- og case-kontrol-studier, som typisk er baseret på simple mål for arbejdsrelateret UVB-eksponering og formentlig ofte med ringe eksponeringskontrast.

De fleste studier som har skelnet mellem morfologiske katarakttyper finder, at UVB primært fører til kortikal katarakt, hvilket er i overensstemmelse med, at UVB absorberes fra linsens forreste cortex og bagud med faldende gradient. Da der imidlertid i de forskellige studier er anvendt forskellige undersøgelses- og klassifikationsmetoder og forskellige definitioner af katarakt med varierende grader af synsnedsættelse, og da der ofte optræder uklarheder i flere af linsens zoner, kan det næppe afvises, at UVB kan bidrage til katarakt i andre dele af linsen end i cortex.

Metalsvejsning. Metalsvejsning er forbundet med substantiel risiko for direkte og indirekte UVB-eksponering af øjet. Ved systematisk litteratursøgning fandtes i november 2023 i alt 9 studier, som belyser den alderskorrigerede relative risiko for katarakt blandt svejsere i sammenligning med grupper uden svejsearbejde. Et amerikansk og et dansk studie fandt ikke konsistente holdepunkter for øget risiko for behandlingskrævende katarakt blandt svejsere, men begge studier har begrænsninger, som kan medføre falskt lave risikoestimer. I modsætning hertil er i en række tværsnitsstudier i Indien og Nigeria påvist markant øget risiko for linseklarhed eller katarakt blandt svejsere, men de fleste af disse studier har mindre robust design og begrænset statistisk styrke. Store forskelle i arbejdshygiejne og tilgængelighed og brug af effektive personlige værnemidler synes dog at være en oplagt forklaring på de forskellige fund i høj- og lavindkomstlande. Der mangler studier af risikoen ved bystander-eksponering, som kan være betydelig.

Kemiske eksponeringer

Metallerne bly, kadmium og arsenik er i enkelte befolkningsundersøgelser sat i forbindelse med forekomst af katarakt, men data er yderst sparsomme, og der foreligger ingen undersøgelser, som eksplicit adresserer erhvervsmæssig eksponering. Sprængstoffet trinitrotoluen (TNT, trotyl, 2-methyl-1,3,5-trinitrobenzene) har siden 1930'erne været sat i forbindelse med en særlig form for linseuklarhed blandt ammunitionsarbejdere i Østeuropa, som siden er beskrevet i både Finland, USA og Danmark.

Ulykker

Akutte højspændingsulykker ledsaget af svære forbrændinger er sat i forbindelse med bilateral katarakt udviklet i løbet af måneder eller op til ét år efter ulykken. En registerbaseret dansk kohorte-undersøgelse af fortrinsvis mindre alvorlige el-ulykker fandt ikke øget risiko for senere udvikling af katarakt efter 2-20 år. *Traumatisk katarakt* kan opstå som følge af både penetrerende og stumpe øjenskader og kan både opstå umiddelbart efter påvirkningen, hvilket indikerer skade på linsekapslen, eller udvikles langsomt i løbet af måneder til år senere, fx efter stumpe øjenskader.

Kongenit katarakt

Kongenit katarakt er en sjælden men alvorlig tilstand, som kan medføre varig blindhed, hvis den ikke behandles hurtigt. En undersøgelse af paternel eksponering for dioxin-forurenede klorfenoler i den Canadiske savværksindustri fandt øget risiko for kongenit katarakt med nogen holdepunkter for dosis-respons, men resultatet var baseret på 11 tilfælde og er ikke be- eller afkræftet i senere undersøgelser.

Konklusion

Katarakt er en hyppig lidelse med stor indvirkning på livskvalitet. Udover katarakt opstået i tilslutning til traumatiske øjenskader, er de relevante erhvervsmæssige eksponeringer overvejende ioniserende og ultraviolet stråling.

Brugen af fluoroskopiske procedurer i sundhedssektoren er hastigt voksende, og kan være forbundet med høj eksponering. Flere undersøgelser har rejst mistanke om betydelig risiko for katarakt ved fluoroskopi, og dermed peges på et behov for mere effektiv afskærmning og øjenbeskyttelse ved disse procedurer, og for mere indgående kortlægning af eksponeringsscenarier og kataraktrisiko.

UV-stråling er ligeledes en veletableret årsag til katarakt i den almindelige befolkning, og UVB-stråledosis ved arbejde udendørs kan være mange fold større end den gennemsnitlige eksponering i fritiden. Der er imidlertid kun god epidemiologisk evidens for øget forekomst af katarakt i særlige højtudsatte populationer, mens en række andre studier er mindre informative på grund af væsentlige metodologiske begrænsninger. Ikke desto mindre må det antages, at udendørs arbejde bidrager til den relative risiko for katarakt i et omfang bestemt af, hvor stor en andel af den samlede udsættelse for sollys gennem livet, der sker i arbejdstiden. Foranstaltninger til imødegåelse af arbejdsrelateret eksponering for sollys kan være en kombination af organisatoriske tiltag og brug af hat og briller. Metalsvejsning er forbundet med potentiel høj UVB-eksponering. Øjenafskærmning er essentiel, og flere undersøgelser i lavindkomstlande tyder på et stort behov for intensiveret forebyggelse.

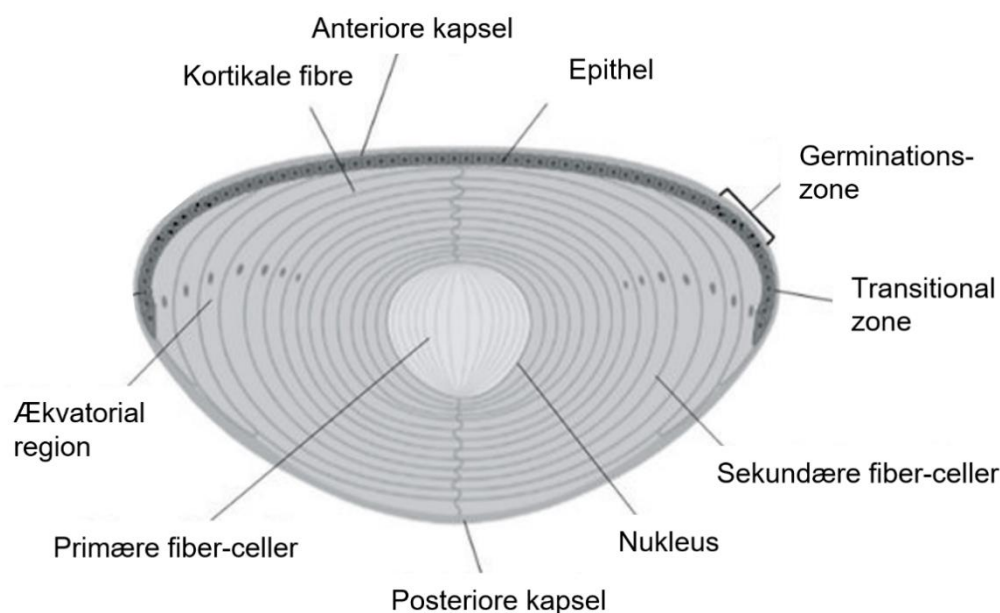
Samlet konkluderes, at trods ret omfattende viden om arbejdsrelaterede risikofaktorer for katarakt, har der kun i begrænset omfang været fokus på målrettet forebyggelse, og arbejdsbetinget katarakt anerkendes kun sjældent i arbejds-skadesystemet.

EPIDEMIOLOGI OG PATOFYSIOLOGI

Katarakt (grå stær) skyldes uklarheder i øjets linse, og er globalt den hyppigste årsag til blindhed (1). De klassiske symptomer er nedsat synsstyrke, tab af kontrastsyn, ændring af farvesyn, blændingsgener, nedsat syn i mørke, og dobbeltkontureret syn. Katarakt tegner sig for en uforholdsmæssig stor sygdomsbyrde i udviklingslandene, hvor 80% af verdens blinde befinder sig, og hvor katarakt er årsagen til blindhed i 90% af tilfældene (2, 3). Dette skyldes i overvejende grad ringe adgang til øjenlæger og kataraktoperation – måske i kombination med højere UV eksponering. Danmark har en af verdens laveste forekomster af blinde på ca. 0,2% af befolkningen, og under 0,1% af blindhed i Vesteuropa skyldes katarakt (4).

Katarakt ses helt overvejende i de ældre aldersklasser, men i Danmark og Sverige opereres ca. 30/100.000 børn også for katarakt (5). Opsporing af børnekatarakt er vigtig, da denne katarakt i modsætning til den aldersrelaterede type kan medføre blivende blindhed, hvis den ikke opereres hurtigt (6).

Linsen består af nukleus (kernen) omgivet af cortex (barken), som yderst omslutes af epitelceller og linsekapslen (Figur 1). Linsens væv er avaskulært, så ernæring og iltning foregår via øjets kammervæske. Membranpumper i linsens epitel opretholder linsens indre ion- og osmotiske miljø (7).



Figur 1. Den anatomiske struktur af øjets linse. Tilpasset fra Hidalgo-Alvarez et al. 2021 (8) med tilladelse ved kreditering uden yderligere begrænsninger under CC BY 4.0-licensen.

De tre mest udbredte morfologiske typer af katarakt er nukleær, kortikal og posterior subkapsulær katarakt (9) (Figur 2). Ikke sjældent ses blandingskatarakt, hvor to eller tre morfologiske typer ses sammen i indbyrdes varierende sværhedsgrader (10). Nukleær katarakt er en form for excessiv linsealdring, hvor linsens kerne fortættes og ofte ændrer refraktivt index, hvorved øjet brydningsstyrke ofte bliver mere nærsynet. Den kortikale katarakt begynder som små kløfter og vakuoler i linsebarken, som opstår som følge af overhydrering af vævet, og denne katarakt har ofte en kileformet, radiær facon. Ved posterior subkapsulær katarakt ses en fortætning på linsens bagside som følge af fibrøs metaplasie af linseepitelceller, som migrerer ind mod linsens centrum fra periferien (9, 11). Denne type katarakt kan selv ved små forandringer give markante synsgener, da den er tæt og ofte er placeret nær øjets optiske akse.

Figur 2. De mest almindelige typer af grå stær: nuklear (A), kortikal (B) og posterior subkapsulær (C). Foto delt med tilladelse til ikke-kommerciel brug under CC BY-NC-ND 3.0-licensen. (www.eyerounds.org)

A) Nukleær katarakt

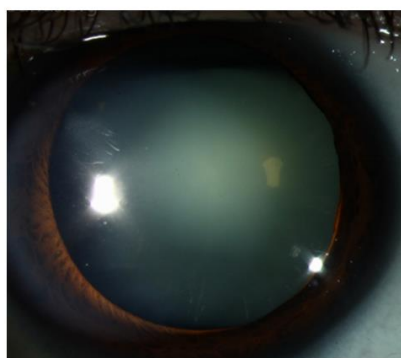


Foto af Jesse Vislissel, MD (contributor) og Brice Critser, CRA (fotograf), Eyerounds.org

B) Kortikal katarakt



Foto af: William Charles Caccamise, Sr, MD, Eyerounds.org

C) Bagre subkapsulær katarakt

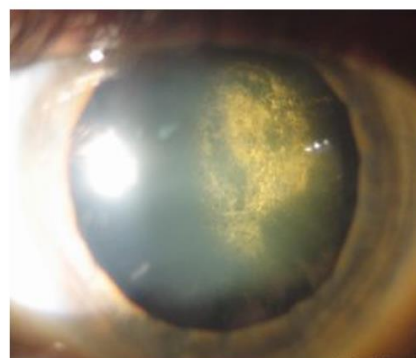
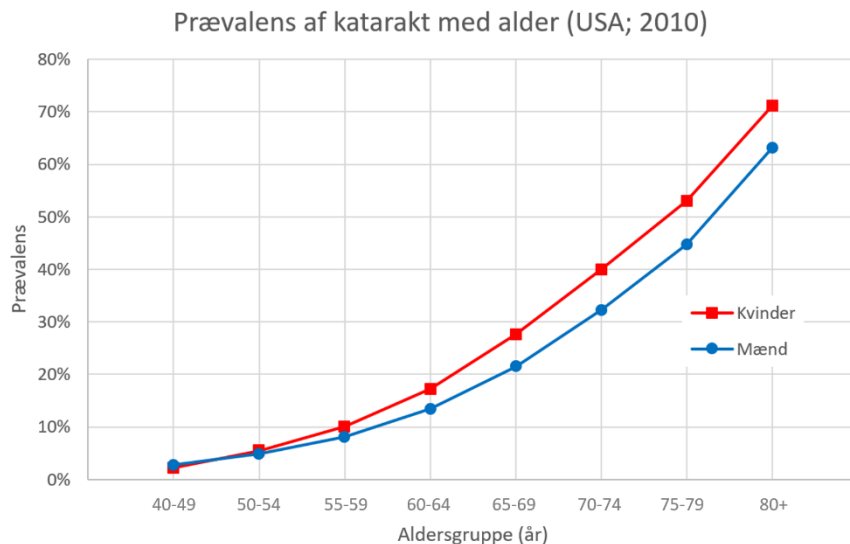


Foto af Jordan Graff, MD, Eyerounds.org

Epidemiologi

To store, populations-baserede studier har bidraget til nogle af de mest robuste epidemiologiske data vedrørende katarakt. I Beaver Dam Eye Study (Madison, Wisconsin, USA), blev 4926 personer i alderen 43-86 år undersøgt i årene 1988-1990. I Blue Mountains Eye Study (Blue Mountains region, New South Wales, Australien) blev 3654 personer i alderen 49-96 år inkluderet mellem 1992-1994. Begge studier fandt en tilnærmelsesvist eksponentiel stigende prævalens af både nukleær, kortikal og posterior subkapsulær katarakt med alder (10, 12), og sværhedsgraden af katarakt blev også eksponentielt mere udtalt med alderen (12). Begge studier fandt, at nukleær katarakt var hyppigst med en prævalens på 49-57% hos 75-84-årige, og dernæst kom kortikal katarakt med en prævalens på 42-47% og sidst posterior subkapsulær katarakt med 12-14% for samme aldersgruppe (12). Den eksponentielle stigning af katarakt med alder ses i Figur 3 på basis af data fra USA's National Eye Institute, 2010 (13).

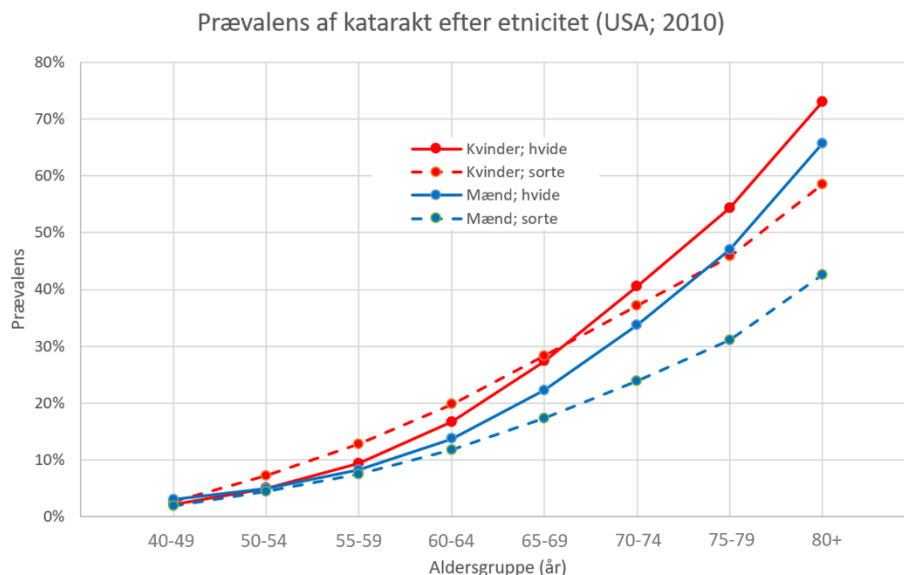


Figur 3. Forekomst af grå stær (alle typer) efter alder og køn, National Eye Institute, USA, 2010.

En mulig årsag til den aldersbetingede stigning i hyppighed af katarakt kan være nedsat antioxidantproduktion i den ældre sammenlignet med den yngre øjenlinse (14), samt at linsens voksende størrelse igennem livet medfører ringere diffusion af næringsstoffer til linsekernen. Se endvidere nedenfor om andre mekanismer.

Beaver Dam og Blue Mountains studierne fandt også en øget tendens til katarakt blandt kvinder, hvilket blev mere tydeligt i 10- og 15-års opfølgende studier, hvor man også fandt, at kvinder i højere grad blev kataraktopereret end mænd (15, 16). Den relative risiko for katarakt hos kvinder er på mellem 1,1 til 1,6 i forhold til mænd, og det er særligt risikoen for kortikal katarakt, der er forhøjet (17). Østrogen har en beskyttende effekt på kataraktudvikling, og fraværet af denne beskyttelse efter menopausen kan tænkes at være årsagen til øget forekomst af aldersbetinget katarakt blandt kvinder sammenlignet med mænd (18).

Andre studier har belyst etnicitet og risiko for katarakt. Afroamerikanere har i sammenligning med kaukasiere en lavere risiko for katarakt, som mest skyldes lavere risiko for nukleær katarakt, da risikoen for kortikal og posterior subkapsulær katarakt måske er højere (17). Et studie fra Singapore fandt, at katarakt var 1,5-2 gange hyppigere blandt asiater sammenlignet med kaukasiere (19). Hyppigheden af katarakt blandt latinoer er et sted midt imellem forekomsten blandt kaukasiere og afroamerikanere. Udvalgte data vedrørende etnicitet og kataraktprævalens fra USAs National Eye Institute er vist i Figur 4 (13).



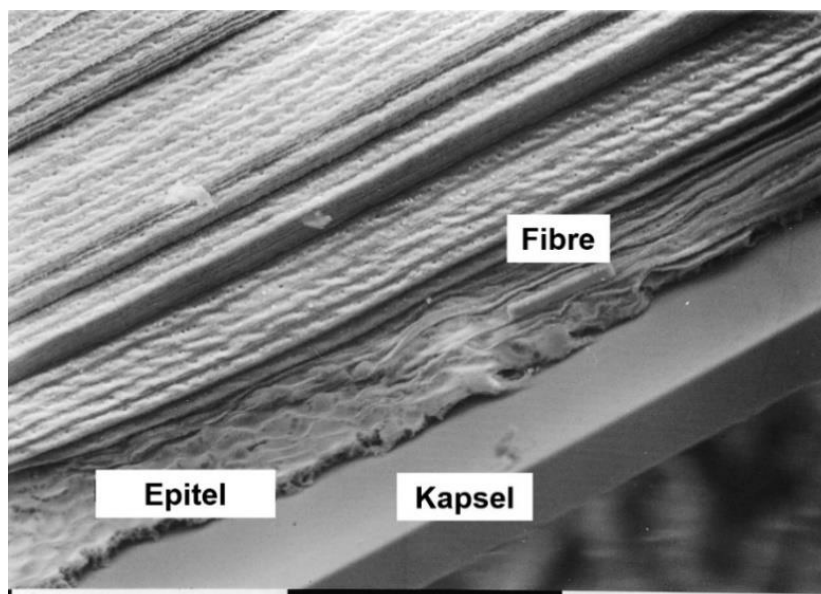
Figur 4. Forekomst af grå stær (alle typer) hos hvide og sorte, 2010, fra Cataract Tables, National Eye Institute (Bethesda, Maryland, USA) (<https://www.nei.nih.gov/learn-about-eye-health/eye-health-data-and-statistics/cataract-data-and-statistics/cataract-tables>)

Blue Mountains-studiet fandt også, at tobaksrygning øgede forekomsten af især posterior subkapsulær katarakt (justeret odds ratio for katarakt uanset type, for cigaretrygning 1,5 og for piberygning 3,1). Alkoholforbrug var ikke associeret med større risiko for katarakt, hvilket er bekræftet i en senere meta-analyse foretaget af kinesiske forskere med data fra 119.706 personer (20).

Det har været debatteret, om myopi også medfører en øget risiko for katarakt. En meta-analyse som inkluderede 12 populations-baserede studier med i alt 38.007 personer fandt en øget risiko for nukleær og posterior subkapsulær katarakt ved myopi, men kun i tværsnitstudier. I kohorte-studier kunne sammenhængen ikke påvises (21)

Patofysiologi

Oxidativt stress i væv opstår både som led i kroppens metabolisme og som følge af ydre påvirkninger og menes at spille en afgørende rolle for udvikling af katarakt. Hvis den spontane produktion af frie radikaler overstiger hastigheden af deres nedbrydning, kan der opstå reaktive ændringer i linsens molekyler, som kan medføre vævsbeskadigelse. Frie radikaler kan også introduceres af fx fødevarer, luftforurening, tobaksrøg og ioniserende stråling (14). Nye linseceller anlægges på ydersiden af linsen igennem hele livet, hvilket medfører sammenpresning af de centrale lag. For at blive transparente, nedbryder linsens fibre sine organeller, hvorved modstandskraften mod oxidativt stress falder. Dette medfører også, at beskadigede linsefibre ikke kan regenerere sig selv, og skader i vævet er derfor permanente (7). De degenerative ændringer forstyrrer fibrenes farve, form og deres ellers velordnede lagdeling, hvilket medfører optiske uklarheder (Figur 5).



Figur 5. Elektronmikroskopisk billede af kanten af en normal menneskelig linse ved høj forstørrelse (ca. 0,1 nm opløsning). Linsens optiske integritet afhænger af sunde, velordnede linsefibre. Foto af Terry Gruijters. Foto delt med tilladelse til ikke-kommerciel brug under CC BY-SA 4.0-licensen. ([https://en.wikipedia.org/wiki/Lens_\(vertebrate_anatomy\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Lens_(vertebrate_anatomy)))

Medicinske risikofaktorer

Diabetes medfører i gennemsnit en fem-fold øget risiko for katarakt (22), men afhænger af diabetesvarighed og blodsukkerregulering. En medvirkende årsag menes at være forøget aktivitet af enzymet aldose reductase i linsens celler, hvilket blandt andet medfører ophobning af sorbitol og øget oxidativt stress i cellerne (23). Der er også foreslået, at autoimmune mekanismer kan spille en rolle ved akut indsættende bilateral katarakt, som undertiden observeres hos personer med type 1 diabetes (24).

Atopiske sygdomme er også associeret med hyppigere og tidligere udvikling af katarakt, undertiden med en særlig skjold-lignende, anterior subkapsulær katarakt-variant. Ca. 10% af patienter med svær atopisk dermatitis udvikler katarakt i tidlig alder (25). Forstyrrelser i calcium-stofskiftet, herunder ved *hypoparathyroidisme*, kan forstyrre calcium-fosfat-balancen i linsen og øge glukose- og glykolyse-niveauet, hvilket kan give kataraktudvikling (11). Calciumniveauet i linsen stiger med alder og kataraktgrad, og calcium findes særligt aflejret i lokaliserede nukleære eller kortikale linseuklarheder (26). Studier tyder også på, at *D-vitaminmangel* kan medføre subkapsulær katarakt med calciumaflejringer (27). Hos patienter med *myotonisk dystrofi* kan der fra 30-års-alderen ses katarakt med særegne kortikale ukklarheder hos op mod 90% af patienter. *Neurofibromatose* medfører også katarakt fra tidlig voksenalder hos ca. 60% (25).

Katarakt kan også findes som følge af andre intraokulære sygdomme, herunder kronisk eller recidiverende regnbuebetændelse (*uveitis*), *høj-myopi* og en række arvelige nethindedystrofier. Medikamentelt udløste katarakter opstår primært som følge af behandling med binyrebarkhormon, enten i systemisk eller lokal form, idet *kortikosteroider* medfører øget proliferation og ændring i transmembran transport samt øgede niveauer af reaktive oxygenspecies i linsens celler (28). Da svær atopi og kronisk uveitis ofte behandles med kortikosteroider, sløres de tidligere nævnte årsagssammenhænge mellem disse sygdomme og kataraktudvikling (11), men der er formentlig tale om additive effekter. I Blue Mountains studiet fandtes der også associationer mellem katarakt og medikamenterne phenothiaziner, aspirin (kun ved brug i over 10 år) samt mepacrine (29).

Behandling

Der findes ingen medicinsk behandling af katarakt (30). Ved den moderne kataraktoperation anlægges to operationsporte igennem den perifere hornhinde, hvorefter linsens forreste kapsel åbnes, linsen knuses med ultralyd og suges ud, og der implanteres en kunstig intraokulær linse, oftest i akrylmateriale (31). Linseimplantater holder for det meste hele livet, men i sjældne tilfælde må de fjernes igen grundet komplikationer. I det offentlige, danske sundhedsvæsen anvendes i udgangspunktet monofokale linseimplantater, mens patienter med høj bygningsfejl eller yngre personer kan tilbydes mere komplekse linser, som sigter mod at give en større grad af brillefrihed efter operation.

I Danmark udføres ca. 55-60.000 kataraktoperationer om året, hvilket forventes at stige med 50% i år 2050 (32). Der er en tendens mod operation i tidligere alder end før (33). Moderne kataraktoperation betragtes generelt som sikker, men i sjældne tilfælde kan komplikationer forlænge operationen, medføre yderligere operationer, give forlænget synsrehabilitering eller i ekstremt sjældne tilfælde medføre permanent synstab. I det offentlige, danske sundhedsvæsen anbefales i hovedreglen først operation ved synsstyrke ≤ 0.5 (decimal visus), som også er synsgrænsen på bedste øje for privat kørekort, eller ved svære gener som fx dobbeltkontureret syn. Synsgevinsten og patienttilfredsheden ved katarakt operation er langt overvejende særdeles høj (34).

Katarakt har stor betydning for folkesundhed og livskvalitet (35). Katarakt medfører fx flere færdselsuheld (36), flere fald med hoftebrud (37) og generelt højere dødelighed, selv når der justeres for faktorer som uddannelsesniveau, depression, anden sygdom og kognitiv funktionsevne (38). Lysstimulering af nethinden spiller også en rolle for cerebrale processer, herunder muligvis døgnregulering. Kataraktoperation har signifikant positiv indvirkning på mentalt helbred, socialt engagement og fysisk funktionsniveau (39). Der er således store samfundsmæssige fordele ved kataraktoperationer, selvom disse hovedsageligt ikke direkte medfører øget produktivitet på arbejdsmarkedet, da majoriteten af opererede er i pensionsalderen (39).

METODER

Vi udførte initialt en systematisk litteratursøgning for at identificere fagfællebedømte videnskabelige publikationer, som frem til og med 15. november 2023 belyser sammenhængen mellem enhver form for erhvervsmæssig eksponering og katarakt. I søgningen indgik både reviews med kritisk gennemgang og vurdering af studier på et afgrænset område og originalartikler med kvantitative estimater af risiko for katarakt ved en given eksponering.

Søgningen blev foretaget i fire elektroniske bibliografiske databaser: Ovid MEDLINE, EMBASE, Cochrane Library og Web of Science og en grå litteraturdatabase. Derudover blev der uformelt søgt på en websøgemaskine (Google Scholar) med brede søgetermer, såsom "cataract and welding". En informationsspecialist bistod ved den systematiske litteratursøgning, og hele søgestrengen er vist i bilag A.

Udvælgelse af studier skete ved brug af Covidence software (Veritas Health Innovation, Melbourne, Australien). Resultatet af søgningerne blev hentet til Covidence, og dubletter blev slettet. To forfattere (SS og JPB) udvalgte studier til fuldttekst gennemgang efter at have screenet titler og abstracts. Uoverensstemmelser blev afklaret ved fornyet gennemgang. Brede og grove mål for erhvervsmæssig eksponering uden krav om kvantitativ eksponeringsdokumentation blev accepteret. Det kunne være fag, branche eller arbejdsopgaver eller selvrapporterede data. Katarakt-diagnosen omfattede både subkliniske linseklarheder og katarakt med synspåvirkning konstateret ved eventuelt selvrapporteret lægelig diagnostik.

Den samlede litteraturdatabase suppleredes med studier fundet i referencelister samt med enkelte undersøgelser publiceret efter 15. november 2023.

Ved den initiale systematiske litteratursøgning fremgik, at de relevante erhvervsmæssige eksponeringer primært er ioniserende stråling, ultraviolet stråling (udearbejde og metalsvejsning), infrarød stråling, øjentraumer samt enkelte andre fortrinsvis kemiske eksponeringer. Da der var stor forskel på omfanget af dokumentation vedrørende disse hovedtyper af eksponering, fastlagde vi tre metodiske fremgangsmåder for gennemgangen i denne rapport:

1. Velbelyste eksponeringer med flere nyere fyldestgørende systematiske reviews (ioniserende stråling): *Gennemgang af systematiske reviews* suppleret med nyeste litteratur men uden systematisk kritisk vurdering af originale artikler.
2. Velundersøgte eksponeringer men manglende fyldestgørende systematiske reviews (henholdsvis sollys ved udearbejde og lysbuesvejsning): *Systematisk gennemgang af original litteratur* med eventuel meta-analyse. I forbindelse hermed udarbejdedes 2 systematiske reviews med fuld dokumentation af database, kvalitetsvurdering og evidenssyntese i overensstemmelse med PROSPERO protokol (CRD42023481028) og PRISMA guidelines. Resultaterne heraf sammenfattes, men gengives ikke i sin helhed i denne rapport.
3. Sparsomt belyste eksponeringer (kemiske eksponeringer, el-ulykker, øjentraumer): Omtales og kommenteres på scoping review niveau.

IONISERENDE STRÅLING

Definition og måleenheder

Ioniserende stråling er partikulær eller elektromagnetisk stråling, som under stofpassage afsætter en så betydelig energimængde, at atomer eller molekyler tilføres eller mister elektroner (ioniseres) (40). De vigtigste former for ioniserende stråling er partikulær α - og β -stråling, som dannes ved henfald af radioaktive isotoper, elektromagnetisk γ -stråling, som dannes ved atomare processer samt røntgenstråling, som primært dannes ved acceleration af elektroner i forbindelse med tekniske anvendelser, herunder billeddiagnostiske undersøgelser.

Måleenheden for ioniserende strålingsdosis er *absorberet energi (Joule) per kg stof*, 1 gray (Gy) = 1 Joule/kg, tidligere RAD (1 RAD=0,01 Gy).

Da den biologiske effekt af en given stråledosis afhænger af typen af ioniserende stråling, fastsættes *strålevægtningstfaktorer*, w_R , med værdier fra 1 (γ - og røntgenstråling med høj vævspenetration) til 20 (α - og anden partikulær stråling med ringe vævspenetration). Produktet af stråledosis for et givet væv og strålevægtningstfaktoren w_R betegnes den *ækvivalente dosis* med enheden Sievert (1 Sv = 1 Gy $\cdot w_R$). For γ - og røntgenstråling er den ækvivalente dosis (Sv) derfor identisk med afsat energi (Gy).

Da den biologiske effekt udover dosis og strålingstype afhænger af hvilket organ eller væv, der bestråles, fastsættes *vævsvægtningstfaktorer*, w_T , som angiver den andel af den samlede biologiske effekt ved helkropsbestråling, der hidrører fra et givet organ. Den *effektive dosis* er summen af alle organers ækvivalente doser, og har måleenheden Sv. w_T afhænger både af et organs biologiske sårbarhed ved bestråling og organets relative masse. Selvom øjets linse sammen med knoglemarv og gonader er de mest strålingsfølsomme væv, bidrager øjenlinsen som følge af den ringe størrelse kun marginalt til den effektive dosis ved helkropsbestråling.

ICRP's aktuelle nominelle tærskelværdi på 0,5 Gy for γ - og røntgenstråling (og anden lav *Linear Energy Transfer* (LET) stråling) er tilsyneladende uafhængig af, hvor lang en tidsperiode en dosis påføres. Senest har ICRP i 2012 anbefalet en markant reduktion af grænseværdien for erhvervsmæssig ækvivalent stråledosis for øjets linse fra 150 mSv/år til 20 mSv/år som gennemsnit over 5 år og maksimalt 50 mSv i et enkelt år (41).

Forekomst

De nordiske befolkningers udsættelse for naturlig baggrundsstråling udgør årligt fra 1-3 mSv (Tabel 1) og skyldes overvejende den radioaktive ædelgas radon-222, γ -stråling fra undergrund og byggematerialer, og kosmisk stråling og andre kilder, herunder radioaktive isotoper i fødevarer (Tabel 1).

Tabel 1. Baggrunds-ioniserende stråling for befolkningerne i de nordiske lande. Gennemsnitlig årlig effektiv dosis, mSv/år, tilpasset fra (42).

Kilde	Island	Danmark	Norge	Sverige	Finland
Radon-222	0.2	1.0	1.7	1.9	2.0
γ -stråling fra grundfjeld og jord	0.2	0.3	0.5	0.5	0.5
Kosmisk stråling	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Andet	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3
Total	1.0	1.9	2.9	3.0	3.1

Radon står for det største bidrag. Radon findes i jordens undergrund, hvorfra gassen siver op til overfladen, opkoncentreres i bygninger uden effektiv terrænafskærmning og frigøres til luft og vand. Mængden af

radon varierer betydeligt med terræn og jordbundsforhold, og er størst i områder med klippegrund og moræner, hvilket betinger store forskelle i eksponeringer fra egn til egn og mellem de nordiske lande. Befolkningerne i Norge, Sverige og Finland er gennemsnitligt højt eksponerede og befolkningen i det vulkanske Island er meget lavt eksponeret (Tabel 1). I erhvervsmæssig sammenhæng er radon-eksponering særlig relevant i forbindelse med arbejde under jordoverfladen – fx ved tunnel- og grubearbejde.

Den vigtigste menneskeskabte eksponering er udsættelse for røntgenstråling og radioaktive isotoper i forbindelse med diagnostiske undersøgelser og behandlinger, hvilket udgør i størrelsesordenen 1 mSv/årligt – eller omkring 25-40% af den samlede baggrundseksponering. Den kosmiske stråling tiltager med højden over havoverfladen og er omkring 100 gange større i 10 km's højde. Erhvervsmæssig eksponering bidrager marginalt til den gennemsnitlige eksponering af befolkningen selvom eksponeringen kan være betydelig. Fraset flybesætninger udsat for kosmisk stråling er det relativt få personer, der er udsat for ioniserende stråling i deres arbejde. I Danmark var der i 2020 godt 15.500 arbejdstagere med dosimetri-overvågning, flest ansat ved billeddiagnostiske- og andre hospitalsafdelinger (43). Den gennemsnitlige årlige middeldosis var 0,12 mSv – højest blandt personale ved nuklearmedicinske afdelinger og ved industriel radiografi. Det er yderst sjældent, at en person i Danmark har været udsat for >20 mS/år.

Sammenhæng med katarakt

The International Commission on Radiological Protection (ICRP) har i mange år anset øjets linse for et af organismens mest strålefølsomme væv, og katarakt af posterior subkapsulær og kortikal type er en veldokumenteret effekt af ioniserende stråling (41). Det har hidtil været vurderingen, at katarakt opstår som følge af en strålebetinget *vævsreaktion* (tidligere benævnt *deterministisk effekt*) karakteriseret ved en dosis-effekt-sammenhæng samt en tærskelværdi for strålingsdosis, hvorunder der ikke forekommer biologisk effekt. Katarakt opfattes derfor ikke som en stokastisk effekt af ioniserende stråling uden dosis-effekt eller tærskelværdi, som fx cancer. Eksistensen af tærskelværdi er dog fortsat omdiskuteret (44). Alder, køn og genetiske forhold modificerer effekten af ioniserende stråling. Således har yngre personer, kvinder og personer med visse genetiske konstitutioner større risiko for udvikling af katarakt ved en given stråledosis (45).

Det første tilfælde af katarakt som følge af røntgenbestråling blev rapporteret i 1903, og de første systematiske opgørelser af katarakt kom i 1949 blandt henholdsvis overlevende japanske A-bombeofre og cyklotron-arbejdere. Siden er risikoen for katarakt ved udsættelse for ioniserende stråling undersøgt i op mod 100 epidemiologiske undersøgelser, hvoraf særligt fire store kohorteundersøgelser fra de seneste 20 år vurderes som særligt informative med hensyn til vurdering af dosis-respons sammenhænge ved forskellige typer af ioniserende stråling. Det drejer sig om en undersøgelse af 22.377 arbejdere ved Mayak, en russisk atomar-produktionsfacilitet i det sydlige Ural i perioden 1948-1982, med årlige helbredsundersøgelser frem til og med 2008 (46), en undersøgelse af 63-64.000 amerikanske radiologer og radiografer fra 1994-98 med gennemsnitligt ca. 13 års opfølgning (47) samt studier af henholdsvis A-bombe-overlevere (48) og Chernobyl oprydningsarbejdere (49). I alle disse 4 studier fandtes dosis-respons-sammenhæng mellem stråledosis og risikoen for katarakt.

Alt i alt er der således solid dokumentation for, at ioniserende stråling er årsagsmæssigt relateret til øget risiko for katarakt.

Eksponering i arbejdsmiljøet

De vigtigste fag og brancher med mulig eksponering for ioniserende stråling er anført i Tabel 2.

Tabel 2. Hovedbeskæftigelser og industrier med mulig eksponering for ioniserende stråling (modificeret fra Occupational Safety and Health Administration (OSHA) datablade)

Beskæftigelse og industrier
Hospitaller og medicinske centre • Radiologi • Nuklearmedicin • Onkologi • Fluoroskopi-vejledte diagnostiske og terapeutiske procedurer i radiologi, kardiologi og andre medicinske specialer
Tandpleje
Dyreklinikker
Flybesætninger og rumfart
Industrier, der bruger ioniserende stråling til at teste materialekvalitet, f.eks. svejsesømme
Kernekraftværker
Produktion af atomvåben (ikke i de nordiske lande)
Forskningslaboratorier
Radiokemiske anlæg

Sundhedssektoren

De største potentielt udsatte faggrupper har traditionelt været radiologisk og onkologisk personale med udsættelse for henholdsvis røntgenstråling ved diagnostiske undersøgelser og radioaktive isotoper samt røntgenstråling ved behandling af kræftsygdomme. Gennem de seneste par årtier er radiologer, kardiologer og andre faggrupper med tilhørende stabe af sundheds- og teknisk personale i tiltagende antal og grad blevet eksponeret for røntgenstråling i takt med, at nye fluoroskopi-vejledte diagnostiske og terapeutiske procedurer har vundet indpas. Medicinske undersøgelser og behandlinger med anvendelse af radionukleider, som kan give anledning til stråleskader efter optagelse i organismen, medfører dog næppe katarakt, da linsen har en lav metabolisk aktivitet.

Radiografi. Chodic et al. publicerede i 2008 et prospektivt kohortestudie omfattende 35.705 certificerede amerikanske radiografer (*radiologic technicians*), der blev fulgt omkring 20 år fra 1983-2004. Forfatterne fandt en lineær sammenhæng mellem livslang kumuleret erhvervsmæssig eksponering for ioniserende stråling ved gennemførelse af røntgenundersøgelser og forekomst af selvrapporteret katarakt (50). Blandt de højest udsatte radiografer med estimeret kumuleret livslang øjenlinse dosis på 60 mGy var den relative risiko for katarakt 1,8 (95% CI 0,99-1,40). Den gennemsnitlige akkumulerede erhvervsmæssige stråledosis gennem livet blandt alle radiografer var 21 mGy, og studiet tyder således på øget risiko for katarakt ved markant lavere stråledoser end den af IRCP udmeldte tærskelværdi på 500 mGy (20 mGy årligt i 25 år).

Undersøgelsens styrke er, udover design og størrelse, en yderst veldokumenteret minutiøs kvantitativ estimering af livslang individuel eksponering (51, 52) samt kontrol for en lang række kendte risikofaktorer, herunder egne røntgenundersøgelser, UV-udsættelse i fritiden og diabetes. En væsentlig begrænsning er selvrapporterede data om katarakt, som kan have svækket associationen mellem eksponering og udfald, idet det herved ikke har været muligt at skelne de forskellige typer af linseuklaheder. Det drejer sig blandt andet om den posteriore subkapsulære form for linseuklahed, som formodes i særlig grad at være relateret til ioniserende stråling. Omvendt kan selvrapportering af katarakt også have medført non-differentiel misklassifikation af udfaldet med inflaterede risikoestimerer såfremt de mest udsatte radiografer som følge heraf har været mere opmærksomme på synsnedsettelse. Det taler til dog til en vis grad imod recall bias, at resultaterne genfindes i analyser af radiografer, der havde fået foretaget linse-ekstraktion.

En senere opfølgning af den store amerikanske radiografi-kohorte med yderligere 10 års observationstid bekræftede de primære resultater, og fandt ydermere også øget risiko for katarakt i gruppen af radiografer med < 100 mSv kumulativ eksponering (53). Det større datamateriale kunne indikere faldende risiko per dosisenhed ved stigende kumulativt dosisniveau, men når interaktion med alder indgik i de statistiske

modeller, kunne afvigelse fra den tidligere af Chodick et al. (50) beskrive lineære sammenhæng ikke afkræftes.

Nuklearmedicin. Nuklearmedicinsk personale og plejepersonale, som har tæt kontakt med patienter, der har fået foretaget nuklearmedicinske undersøgelser eller behandlinger, udgør en mindre del af alt radiologisk personale, men er forholdsmæssigt mere udsat for ioniserende stråling, og kan vanskeligt undgå kontakt med radioaktive præparater i forbindelse med for eksempel positron-emissions-tomografi (PET). Der kan være tale om eksponering op til flere mSv årligt (54). En særskilt undersøgelse på basis af den store amerikanske radiografi-kohorte omhandlede risikoen for katarakt blandt nuklearmedicinsk personale. Der fandtes en let øget risiko for selvrapporteret katarakt blandt personale, der foretog nuklearmedicinske diagnostiske eller terapeutiske procedurer i forhold til personale, der aldrig var beskæftiget hermed (54).

Fluoroskopi. Indenfor sundhedssektoren har diagnostiske procedurer og terapeutiske indgreb vejledt af fluoroskopi (røntgen gennemlysning) i stort omfang erstattet invasive procedurer (55). Eksponering for ioniserende stråling er markant højere ved fluoroskopi end ved konventionelle røntgenoptagelser. Ved blandt andet kardiologiske fluoroskopi-vejlede indgreb er der målt betydelig eksponering for røntgenstråling – fx op til 38 mSv per 1000 diagnostiske kateterisationer (56). Det skyldes dels, at muligheden for personlig beskyttelse er markant lavere, idet personalet ikke kan forlade rummet under bestråling, men må opholde sig tæt ved patienten, og dels, at der anvendes kontinuerlig eksponering over længere tidsrum. Selvom personalet bærer blyforklæde ved gennemlysning eliminerer det naturligvis ikke stråling over blyforklædet, herunder ansigt og øjne (57).

Ved et stort hospital med mere end 5000 årlige kardiologiske procedurer fandtes i slutningen af 1980'erne under fluoroskopisk vejledt kateterisation eksponeringer på 100-300 mSv/md foran beskyttelsesforklæde, men gennemsnitligt 10 mSv/år bag beskyttelsesforklæde (57). Ved målrettet indsats, herunder træning og brug af loftshængte beskyttelseskærme, kunne bestrålingen af øjenlinsen reduceres til gennemsnitligt 1,2 mSv/år. En systematisk gennemgang af eksponeringsstudier fra 1970'erne viste dog kun en beskedne reduktion i eksponering over tid for nogle men ikke alle procedurer, og pegede på store forskelle mellem individuelle operatører. Endvidere fandtes stråledosis højere for venstre end for højre øje (56).

I andre medicinske specialer, som fx urologi, kan eksponeringen for ioniserende stråling være væsentligt mindre. Ved analyse af eksponeringsintensitet, tidsforbrug og antal procedurer, som fx ureterskopi og montering af stent i 780 konkrete tilfælde, var den årlige kumulative eksponering 0,75-1,0 mGy, altså langt under de niveauer, der er rapporteret i kardiologien og radiologien og langt under de af ICRP anbefalede niveauer (58).

Der er i perioden efter 2010 udført mindst 20 originale undersøgelser af risikoen for katarakt blandt sundhedspersonale i en række forskellige lande i Europa, Mellemøsten, Sydamerika, Asien og USA. Formålet har primært været vurdering af risiko i forbindelse med udsættelse for røntgenbestråling ved fluoroskopi i relation til diagnostiske og terapeutiske procedurer – fx ved endoskopi.

Undersøgelsesresultaterne er gennemgået i seks systematiske *reviews* (59-64). Det seneste review, publiceret i 2022, fandt ved en meta-analyse af 15 originale studier, at sundhedspersonale med eksponering for ioniserende stråling havde øget risiko for uspecificeret katarakt (vægtet gennemsnitlig RR 5,0, 95% CI 4,2-5,8) og posterior subkapsulær katarakt (vægtet gennemsnitlig RR 3,3, 95% CI 2,4-8,7), men ikke for kortikal katarakt eller nuklear linseklarhed (64), hvilket er i overensstemmelse med, at kortikal katarakt i højere grad skyldes UV stråling, mens nuklear katarakt primært er alders-relateret. De eksponerede grupper var overvejende intervenserende kardiologipersonale, og sammenligningsgruppen var i de fleste undersøgelser sundhedspersonale uden udsættelse for ioniserende stråling. De vigtigste karakteristika og resultater vedrørende studier med eksplicit fokus på fluoroskopi-vejlede procedurer indenfor kardiologien samt et større follow-up-studie af fluoroskopi-vejledt kateterisation, er gengivet i Tabel 3.

Selvom der rapporteres relativt konsistente holdepunkter for øget risiko for posterior subkapsulær katarakt, kan der peges på en række væsentlige metodologiske begrænsninger (59), og et review vurderer, at studierne er for inhomogene til at berettige kvantitativ meta-analyse (62). Der er overvejende tale om små tværsnitsstudier med uklart afgrænsede kildepopulationer (flere studier er fx baseret på deltagere i internationale konferencer) og lave deltagelsesprocenter. Andre problemer ved vurdering af den samlede evidens er knyttet til manglende eller dårligt dokumenterede mål for kumulativ eksponering af øjets linse for røntgenstråling samt forskellige metoder til vurdering af katarakt henholdsvis uklarheder i linsen, hvilket resulterer i stor variation i forekomsten af katarakt og subtyper af linseuklarheder. Mange resultater vedrører subkliniske forandringer i linsen med usikker relation til risiko for senere udvikling af synsnedsættelse. Nogle af disse problemer imødegås i en nyere stor follow-up-undersøgelse af selvrapporteret katarakt blandt amerikanske radiografer, hvor der fandtes dosis-respons-sammenhæng mellem det samlede antal gennemførte fluoroskopi-vejledte kateterisationer og katarakt [(65), se også Tabel 3]. Studiet er karakteriseret ved et robust design med en meget stor population, lang follow-up-periode og omfattende statistisk analyse med kontrol for en række potentielt skævvridende forhold, men mangler objektiv dokumentation af katarakt og kvantitative mål for risiko i forhold til stråledosis.

Tabel 3. Hovedresultaterne af én opfølgingsundersøgelse (65) og ni tværsnitsundersøgelser med estimater af risikoen for grå stær eller linseuklarhed hos interventionskardiologisk personale sammenlignet med ansatte uden erhvervsmæssig eksponering for ioniserende stråling.

Reference	Land	Antal eksponerede og kontroller	Katarakt-type	Dosis	Kontrast	Risiko-estimat	95% CI
Ciraj-Bjelac et al., 2010 (66)	Internationale konference-deltagere Kuala Lumpur 2009	Spaltelampe, modificeret Merriam-Focht-skala	Posterior linseforandringer	Median kumulativ linsedosis: Kardiologer: 1100 mSv Sygeplejersker: 640 mSv	Kardiologer (n=56) vs referencer Sygeplejersker (n=11) vs referencer	OR 5,7 5,0	1,5-22 1,2-21
Vano et al., 2010 (67)	Colombia og Uruguay, konference-deltagere ved regional kongres SOLACI	Spaltelampe, modificeret Merriam-Focht-skala	Posterior subkapsulær linseopacitet >0,5 (skala 0,0 – 3,0)	Median kumulativ linsedosis: Kardiologer: 6000 mSv Sygeplejersker: 1500 mSv	Kardiologer (n=58) vs referencer Associeret personale (n=58) vs referencer	RR 3,2 1,7	1,7-6,1 0,8-7,3
Ciraj-Bjelac et al., 2012 (68)	Internationale konference-deltagere Kuala Lumpur 2011	Spaltelampe, modificeret Merriam-Focht-skala	Posteriore linseforandringer >0,5 (skala 0,0 – 3,0)	Median kumulativ linsedosis: Kardiologer: 420 mSv Sygeplejersker: 260 mSv	Kardiologer (n=30) vs referencer Sygeplejersker (n=22) vs referencer	RR 2,6 2,2	1,2-5,4 1,0-4,9
Jacob et al., 2013 (69)	Interventionskardiologer fra 40 franske centre og ikke-eksponerede ikke-medicinske arbejdere fra IRSN	Spaltelampe, Lens Opacities Classification System III	Nuklear Kortikal Posterior subkapsulær (alle ≥ trin 1, skala 0-5/6)	ND	Eksponerede vs referencer	OR 0,60 0,58 3,85	0,3-1,1 0,3-1,2 1,3-11
Andreassi et al., 2016 (70)	Deltagere i italienske årlige videnskabelige møder for interventionskardiologi og elektrofysiologi 2011, 2012, 2014	Spørgeskema	Katarakt	Median kumulativ dosis: Kardiologer (n=45): 21 mSv Sygeplejersker (n=28): 7 mSv	Eksponerede vs referencer	OR 6,3	4,0-12,4
Matsubara et al., 2017 (71)	Interventionskardiologi-personale og kontrolgruppe, 2015 Thailand	Spaltelampe, modificeret Merriam-Focht-skala	Posterior subkapsulær linseopacitet, score > 1,0	Gennemsnitlig årlig Hp(3) dosis 5,7 mSv	Eksponerede vs referencer	RR 7,7	1,03 – 57
Karatasakis et al., 2018 (72)	Internationale konference-deltagere, Orlando, Florida, 2016	Spaltelampe, bedømmelse af linseopacitet, modificeret Merriam-Focht-skala	Kortikal og posterior subkapsulær opacitet	Gennemsnit 4,5 Sv (interval 0,1-22,5)	Eksponerede vs referencer	OR 6,1 Ingen dosis-respons	1,4-43
Domienik-Andrzejewska et al., 2019 (73)	Polen	Spaltelampe, Lens Opacities Classification System III	Enhver linseopacitet i et af øjnene	Venstre øje: 224 mSv Højre øje: 85 mSv	Eksponerede vs referencer	OR 1,47	0,6-3,6
Velazquez-Kronen et al., 2019 (65)	USA	Spørgeskema	Selvrapporteret lægediagnosticeret katarakt	ND	FGIP Aldrig 0 - < 1000 1000 - < 3000 3000 - < 5000 ≥ 5000	RR 1,00 1,10 1,14 1,21 1,38	- 1,0-1,2 1,0-1,3 1,1-1,4 1,2-1,5
Rose et al., 2022er (74)	Sydafrika	Spaltelampe, Verdenssundhedsorganisationens Simplified Cataracts Grading Score	Nuklear Kortikal Posterior subkapsulær	ND	Eksponerede vs referencer	OR 0,6 1,4 2,2	0,3-1,3 0,6-3,4 0,6-8,6

FGIP: Any fluoroscopically guided interventional procedure; ND: ingen data. OR: Odds ratio. RR: Relativ risiko.

Der er siden det seneste systematiske review publiceret et mindre sydafrikansk tværnsnitsstudie af intervenserende radiologer og kardiologer med resultater, som er konsistente med tidligere studier, men heller ikke dette studie uden estimater af individuel kumuleret eksponering bidrager til afklaring af dosis-respons-forhold (74).

Sammenfattende anføres, at det gennem mange år har været veldokumenteret, at ioniserende stråling kan forårsage posterior subkapsulær linseuklarhed samt katarakt. Få nye, store, velgennemførte prospektive studier af blandt andet radiografer i sundhedssektoren tyder på, at der er en risiko ved kumulativ eksponering under 500 mSv, som hidtil har været anset for en tærskel, hvorunder der ikke ses effekt. Det har det seneste par årtier givet anledning til fokus på den hastigt voksende brug af fluoroskopiske procedurer, hvor der kan være tale om en betydelig lavenergetisk røntgenstråling langt over de anbefalede grænser. Ved en række overvejende små tværnsnitsundersøgelser af kardiologisk intervenserende personale er der fundet betydelig overhyppighed af især posterior subkapsulær linseuklarhed, men resultaterne er ikke helt konsistente, og der er væsentlige metodologiske mangler, som svækker muligheden for at vurdere årsagssammenhænge. Således bidrager disse senere undersøgelser heller ikke til afklaring af tærskelværdier eller dosis-effekt og dosis-respons sammenhænge. Eksponering for ioniserende stråling ved fluoroskopi kan dog være høj, og i lyset af den samlede evidens bør det derfor have høj prioritet at monitorere eksponering fortløbende og træffe tekniske foranstaltninger samt at anvende personlige værnemidler med henblik på at nedbringe eksponeringen mest muligt.

Luft- og rumfart

Kosmisk stråling omfatter konstant høj-energetisk ekstragalaktisk proton- og α -partikel-stråling fra supernovaer og elektromagnetisk stråling fra hurtigt roterende neutronstjerner (pulsarer) samt i varierende grad intragalaktisk stråling primært fra solen. Jordens magnetfelt og atmosfære svækker den kosmiske stråling betydeligt. Eksponering af flybesætninger afhænger af flyvehøjde, flyruter, solaktivitet og samlet tid højt i atmosfæren og andrager i gennemsnit 0,2-5 mSv årligt, altså betydeligt under de af ICRP foreslåede grænseværdier (75), hvilket ikke udelukker at eksponeringen kan være højere for den enkelte. Den gennemsnitlige ækvivalente øjenlinsedosis blandt 295 amerikanske astronauter var fra 0,2 mSv hos de 6 astronauter, der som led i Gemini-programmet opholdt sig 1/3 dag i rummet, til 91 mSv hos de 7 astronauter, der som led i NASA-Mir-programmet opholdt sig 120 dage i rummet (76). Sidstnævnte er således næsten det dobbelte af den maksimale dosis på et enkelt år for øjenlinsen.

Ved en mindre tværnsnitsundersøgelse af amerikanske astronauter fandtes øget risiko for posterior subkapsulær linseuklarhed blandt astronauter med kumuleret eksponering over 10 mSv i sammenligning med øvrige astronauter (OR 2,23, 95% CI 1,2-4,3) (77), altså tilsyneladende effekt ved meget lav eksponering, som kunne tyde på, at den høj-energetiske high-LET kosmiske stråling har anden effekt end low-LET hidrørende fra røntgen- og γ -stråling i fx sundhedssektoren. Resultaterne blev ikke bekræftet ved en senere longitudinel opgørelse af den samme undersøgelsespopulation, hvilket dog kan skyldes den begrænsede populationsstørrelse og kort opfølgningstid på kun 5 år (78). De få andre undersøgelser af katarakt blandt astronauter og flypersonale, herunder en enkelt mindre tværnsnitsundersøgelse af piloter i civil luftfart, bidrager ikke afgørende til yderligere belysning af risikoen for katarakt ved flyvning og rumfart (59). Medio 2024 er den senest publicerede undersøgelse fra 2012 (78).

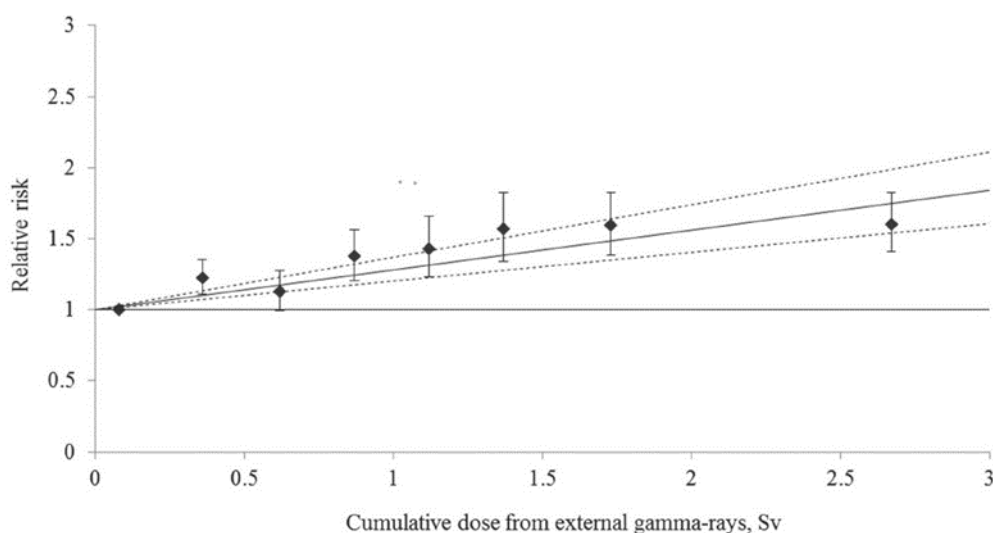
Industriel radiografi

I 2020 var der i Danmark registreret godt 300 personer, der anvendte røntgen- eller γ -strålekilder i forbindelse med tekniske undersøgelser af materialer og produkter, herunder til kvalitetskontrol. Røntgen anvendes altid fremfor γ -strålekilder, når det er muligt, idet stråling fra røntgenapparater i modsætning til γ -strålekilder ophører, når strømkilden afbrydes. I 2020 var middeldosis 0,43 mSv, 75% var udsat for <0,5

mSv. Til sammenligning var middeldosis for alle 15.500 dosimetri-overvågede arbejdstagere i Danmark i 2020 kun 0,12 mSv (79). Der er ikke fundet undersøgelser, som vedrører risiko for katarakt i denne mindre erhvervsgruppe.

Atomindustri

Arbejde i den atomare industri kan primært medføre eksponering for ekstern γ -stråling, men der kan tillige være tale om neutron-stråling og udsættelse for radioaktive isotoper. Det seneste og største studie af katarakt ved nukleare produktionsvirksomheder omfattede mere end 22.000 arbejdere beskæftiget ved det russiske Mayak anlæg i det sydlige Ural. Virksomheden blev bygget som led i det russiske atomvåbenprogram med fremstilling af plutonium, tritium og beriget uran (46, 80). Omtrent 1/5 af de ansatte i perioden 1948-1982 var udsat for mindst 1000 mSv ekstern γ -stråling i perioden. Der fandtes en lineær sammenhæng mellem risiko for katarakt og kumulativ γ -strålingsdosis (Figur 6), og risikoen i det næstlaveste dosisinterval på 250-500 mSv var signifikant forhøjet (RR 1,23, 95 % 1,11-1,35) i sammenligning med referencekategorien (0-250 mSv).



Figur 6. Den relative risiko for opstået katarakt efter kumulativ dosis af erhvervsmæssig γ -stråling blandt 22.377 arbejdere ansat på Mayak-kerneproduktionsanlægget nær Ozyorsk i Rusland 1948-82 med årlig opfølgning indtil 2008 (80). Gengivet uden ændringer fra (78) under CC BY 4.0 International med tilladelse fra PlosOne.

En undersøgelse af 8.607 arbejdere beskæftiget med oprydning efter Chernobyl reaktorulykken i 1986, med udsættelse for γ -stråling og β -partikler, fandt også en lineær sammenhæng mellem katarakt og kumuleret stråledosis. I denne population havde 98% en kumuleret eksponering på <700 mGy (49).

ULTRAVIOLET STRÅLING

Definition og måleenheder

Ultraviolet (UV) stråling er usynlige elektromagnetiske bølger med en bølgelængde fra 200-400 nm, som opdeles i følgende undergrupper

UVA: 320 – 400 nm

UVB: 280 – 320 nm

UVC: 200 – 280 nm

Sollys er den dominerende kilde til UV-stråling. Jordens atmosfære yder differentiell beskyttelse mod solens UV-stråling. Omkring 95% af UV-strålingen ved jordoverfladen er UVA og kun 5% er UVB, mens UVC omtrent fuldstændigt absorberes af ozon i atmosfæren.

Et radiometrisk mål for UV-stråledosis er energi overført per arealenhed, fx Joule/m². En ofte anvendt enhed i studier af solens UV-stråling er *standard erythema dose* (SED, 1 SED = 100 J/m²), som tager højde for, at den biologiske effekt af UV-stråling (rødme af huden som følge af strålebetinget inflammation) ved en given stråledosis afhænger af strålingens spektralsammensætning (81). Således varierer den biologiske effekt af UV-stråling med en faktor 4 indenfor bølgeområdet 280-400 nm. Med sollysets spektralsammensætning ved jordoverfladen i Danmark vil eksponering for 2 SED fremkalde rødme i huden dagen efter hos en meget solfølsom person og eksponering for 5 SED hos personer med gennemsnitlig følsomhed (82). Omvendt vil lys fra en UVA-lampe med samme energiindhold ikke fremkalde rødme af huden, fordi den lavfrekvente UVA-stråling kun har svag biologisk effekt. I større epidemiologiske feltstudier kan UVB-eksponering gennem hele dagen monitoreres med små bærbare dosimetre (83).

Forekomst

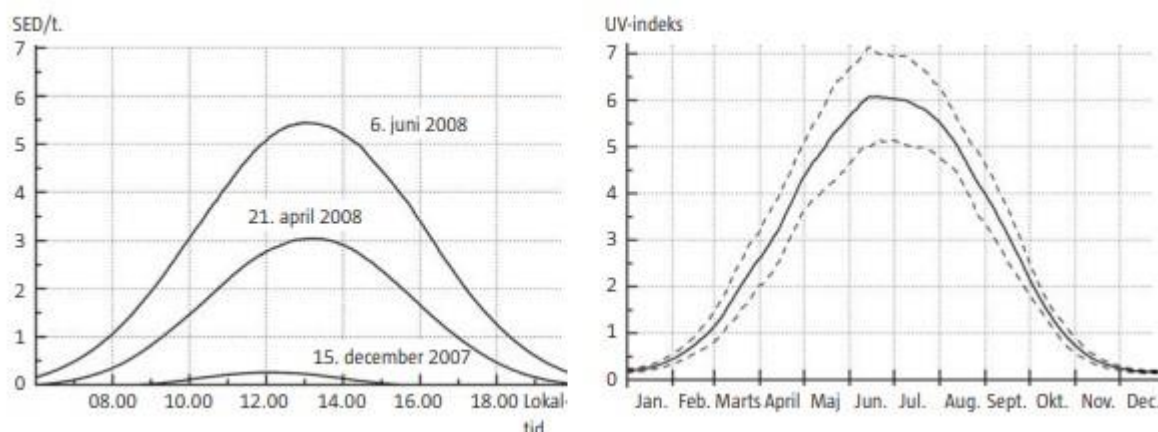
Alle mennesker er i stærkt varierende omfang udsat for UV-stråling via sollyset gennem hele livet, og udendørs arbejde er den dominerende erhvervsmæssige eksponeringskilde. Herudover er metalsvejsning af jern og metal en vigtig kilde til erhvervsmæssig eksponering. UV har tillige en række tekniske anvendelser som fx hærkning af plastmateriale, desinfektion, lasere i kirurgiske instrumenter og fremstilling af halvledere.

Sollys generelt. Sollysets intensitet og spektralsammensætning afhænger primært af breddegraden, årstiden og tid på døgnet. Ved lavere breddegrader nær ækvator er solintensiteten mere end dobbelt så høj som ved højere breddegrader (se Tabel 4), og andelen af UV-stråling med kort bølgelængde er større, fordi den mindre indstrålingsvinkel favoriserer den højfrekvente del af UV-strålingen.

Tabel 4. Omtrentlig døgn- og årlig sol-UVB-stråling ved jordoverfladen under skyfri himmel. Én MED (minimal erytemdosis) er en tidligere anvendt enhed, der svarer til standard erytemdosis (SED), men tager ikke hensyn til den spektrale sammensætning af sollyset. Tilpasset fra (84).

Geografisk breddegrad	Døgn MED			Årlig MED
	Sommer	Forår/efterår	Vinter	
20° N	25	20	14	6000
30° N	15	12	5	4000
40° N	12	7	2	2500
50° N	10	3	0.4	1500

UVB-intensitetens variation med årstid og tid på døgnet fremgår af Figur 7. Omkring halvdelen af døgnets UV-dosis om sommeren indtræffer i tidsrummet 12-15, mens eksponeringen i vintermånederne er væsentlig mindre, når man fraregner refleksion fra sne og isflader. Skydække kan reducere strålingsintensiteten med op til 50%. Selv om den direkte solstråling er afskærmet i helt overskyet vejr, vil der således kunne være en betydelig indirekte eksponering fra den spredte UV-stråling. UV-strålingen øges tillige med højden over havets overflade og ved ophold nær reflekterende flader, som hav og snedækkede arealer, hvor refleksionen kan udgøre en betydelig andel af den samlede udsættelse.



Figur 7. SED/time efter årstid og tid på døgnet i Danmark på en skyfri dag (venstre panel) samt gennemsnitlige UV-indeksniveauer over de sidste 10 år efter årstid (højre panel, stiplede linjer er 2 SD). Gengivet uden ændringer fra (82) i overensstemmelse med CC BY-NC-ND 4.0 tilladt af Ugeskr. Læg.

Intensiteten af UV-stråling på et givet tidspunkt og lokalitet måles og forudsiges af meteorologiske institutter og angives som et UV-indeks, der på en simpel måde vejleder om behovet for foranstaltninger til at imødegå soleksposering (82). UV-indekset er dimensionsløst, men svarer stort set til antal SED per time, når strålingsintensiteten er maksimal kl. 13.00. I Danmark er UV-indeks maksimalt 7 ved middagstid i sommermånederne, ved ækvator kan det være op til 16, og højt i snedækkede bjerge kan det blive 20. Ved UV-indeks over 2 tilrådes foranstaltninger for at begrænse eksponeringen.

Sollys ved udearbejde. Arbejdsmæssig eksponering for sollys sker ved udendørs arbejde. En udendørsarbejder defineres ofte som en person, der er udsat for solens stråling i mindst 75% af sin arbejdstid (1). Alene i EU er det anslået, at der er over 14 millioner udendørsarbejdere (1).

Den hidtil mest omfattende kortlægning af UV-stråling ved udendørs arbejde er tysk og omfattede 10.000 personer i 250 forskellige erhverv. Deltagerne bar små dataloggere, der registrerede UVA, UVB samt UVC hvert sekund, og dataindsamlingen fandt sted dagligt gennem 7 måneder, fra april til oktober, over en 6-årig periode (85). Antallet personer med målinger i hvert fag var fra 1-49, og antallet af måledage var > 100 i langt de fleste fag. Det oplyses ikke, hvordan undersøgelsespopulationen blev udvalgt og rekrutteret, men det er åbenlyst, at erhverv med helt overvejende indendørsarbejde ikke indgår (fx administrativt og andet kontorarbejde). Den gennemsnitlige årlige UV-eksponering i arbejdstiden varierede, fra omkring 50 SED blandt tjenere og bartender, til omkring 650 SED blandt frugtavlere. Overordnet var ansatte indenfor gartneri, landbrug, byggeri, vejarbejde og fiskeri mest udsat, mens ansatte i transportsektoren, rengøringspersonale og pædagogisk personale var mindre udsat. I de enkelte fag forekom dog betydelig intra- og interindividuel variation afhængigt af hvilke opgaver og typer af beskæftigelse, der var tale om. Fx var vuggestuepædagoger med mindre udeophold gennemsnitligt udsat for godt 50 SED årligt, mens børnehavepædagoger med mere ophold udendørs var udsat for omkring 130 SED årligt. Tilsvarende variation kunne konstateres indenfor mange andre erhverv. Eksempler på typiske fag med udendørsarbejde er gengivet i Tabel 5.

Tabel 5. Typiske fag ved udendørs arbejde.

Fag ved udendørs arbejde
Landmænd
Skovarbejdere og gartnere
Bygningsarbejdere
Fiskere- og sømænd
Livreddere
Asfaltarbejdere
Minearbejdere i åbne miner
Arbejdere med el- og vandforsyning
Udendørs sportsinstruktører
Udendørs sikkerhedsarbejde (fx patruljering)
Chauffører (lastbiler, offentlig transport mv)
Postbude
Udendørs læsning og losning
Gadesælgere
Lærere i vuggestuer og børnehaver

Ved en dansk undersøgelse af knapt 500 personer i sommerperioden fandtes halvårlig gennemsnitlig UV-eksponering blandt udendørs arbejdere på 215 SED, 130 SED blandt halvt inde- og halvt udearbejdende og 55 SED blandt indendørs arbejdende (83), men data er ikke direkte sammenlignelige med den tyske undersøgelse. Eksponering i fritiden var i samme størrelsesorden, 55-65 SED halvårlig, i fag med meget, noget og begrænset udendørsarbejde.

En persons UV-eksponering ved udearbejde vil udover de generelle forhold af betydning, såsom breddegrad, årstid og placering over havoverfladen, være påvirkelig af følgende faktorer:

- Samlet tid med udendørs arbejde
- Ophold i skygge
- Tidspunkt på dagen (højest 12-15)
- Refleksion fra overflader (hav, store vinduespartier, sne)
- Luftforurening (reducerer UV-eksponeringen)
- Brug af synskorrigerende briller, solbriller og hat

Sammenhæng med katarakt generelt

Det er biologisk plausibelt, at UV-stråling kan spille en rolle for udvikling af katarakt. I dyremodeller er vist, at UVA og UVB absorberes i linsen med en gradient, der falder fra linsens forside mod bagsiden, og langtidseksponering for UVB forårsager fotokemiske reaktioner i linsen, der sluttelig kan føre til protein denaturering og linseuklarheder (86, 87). Om dosis ved human eksponering for UVB via sollys er tilstrækkelig til at fremkalde katarakt, påkaldte sig interesse i løbet af 1970'erne, hvor de første, større epidemiologiske studier blev publiceret. Tre store befolkningsundersøgelser var baseret på den betydelige forskel i UV-stråling afhængig af breddegrad og højde over havets overflade. Den første undersøgte den oprindelige australske befolkning spredt over 5 regioner i hele Australien (88). Lidt senere fulgte en undersøgelse af befolkningen i Nepal inddelt efter bopæl højt i bjergene, henholdsvis i havniveau (89), og endelig opdelt i deltagerne i den nationale amerikanske befolkningsundersøgelse NHANES i 35 regioner på basis af breddegraden (90). Alle disse studier fandt en stærk sammenhæng mellem intensitet af sollys på hjemmegrunden og prævalens af katarakt – i det amerikanske studie specifikt kortikal katarakt. Sammenhængen mellem UVB-stråling og katarakt støttes yderligere af et japansk studie af lokaliseringen af tidlige stadier af

kortikal katarakt i 3 populationer på forskellige breddegrader, Reykjavik, Singapore og Melbourne (91). Her fandtes, at katarakt i nedre nasale kvadrant var mest udtalt i befolkninger ved lave breddegrader, hvilket er i overensstemmelse med, at denne del af linsen antages at være mest udsat for UV stråling.

I flere efterfølgende studier, hvor eksponeringskontrasten primært var baseret på individuelle data om fritidsvaner og arbejde, var sammenhængen mindre overbevisende, hvilket måske forklares af mindre klart dokumenterede katarakt-definitioner og grove proxymål for eksponering, som utvivlsomt er ledsaget af misklassifikations-bias og svækkede muligheder for at påvise faktiske sammenhænge. Hertil kommer formentlig utilstrækkelig kontrast i nogle studier [for en oversigt, se (92)]. Disse problemer blev adresseret i nyere studier med detaljerede og dokumenterede udtryk for kumulativ udsættelse for UVB (fraset i barndommen), der udover målinger af de lokale klimatiske forhold, tog højde for personlig adfærd og fritidsinteresser, arbejdsforhold og brug af synskorrigerende briller (glas henholdsvis plast), solbriller og hat. I Chesapeake Bay Waterman studiet af 838 amerikanske fiskere, med en dobbelt så høj gennemsnitlig UVB-eksponering som i en gennemsnitlig ældre amerikansk befolkningsgruppe (2,2% af *Maryland sun years* mod 1,1%), medførte en fordobling af den kumulative UVB-dosis en forøget risiko for kortikal katarakt (OR 1,60, 95% CI 1,01-2,64) (93). Disse resultater bekræftedes i lignende undersøgelser af befolkningsgrupper med lavere eksponering, nemlig dels et populationsstudie i Wisconsin, USA, hvor der dog kun fandtes øget risiko for katarakt blandt mænd (94), og dels et studie af 2520 personer i aldersgruppen 65-84 i Maryland, USA, hvor en stigning på 1% af et *Maryland sun year* var associeret med 10% stigning i risikoen for kortikal linseklarhed (95). I denne lavt eksponerede population bidrog sollys til 13% af den samlede forekomst af kortikal katarakt.

Resultaterne i ovennævnte studier, som vurderes at være de mest informative, anfægtes ikke af nyere studier. Et systematisk review med meta-analyse fra 2021 gennemgik 31 studier publiceret fra 1980 – 2020 og fandt en øget odds ratio for kortikal katarakt (og alle typer katarakt) ved sammenligning af soleksponerede med mindre soleksponerede. I meta-analysen indgik dog studier, hvor sammenhængen mellem soleksponerering og katarakt ikke var justeret for alder, og studier med grov eksponeringsvurdering blev vægtet på niveau med studier med veldokumenteret individuel eksponering, hvorfor hovedkonklusionerne er behæftet med nogen usikkerhed (96). Siden publikationen af ovenstående meta-analyse, har man i et studie af mere end 11.000 deltagere i *Korean National Health and Nutritional Examination Survey* ikke vist en sammenhæng mellem høj eksponering for sol (i mere end 5 timer om dagen) og katarakt, når der sammenlignes med soleksponerering under 5 timer (97). Også her savnes dog et mere præcist mål for eksponering.

Alt i alt må det anses for veldokumenteret, at udsættelse for UVB via sollys i den almindelige befolkning øger risikoen for kortikal katarakt hos både mænd og kvinder og hos alle undersøgte etniciteter – en vurdering der deles af WHO. I en større litteraturgennemgang af eksisterende viden om både erhvervsmæssig og privat udsættelse for sol findes tilstrækkelig evidens for, at udsættelse for sollys indebærer øget risiko for kortikal katarakt (98). Risikoen bestemmes af den samlede eksponering gennem livet, og der er ingen holdepunkter for tærskelværdier, hvorunder der ikke er risiko. På den baggrund er spørgsmålet om den erhvervsmæssige risiko ved udsættelse for sollys primært et spørgsmål om at kvantificere arbejdets relative bidrag til den samlede eksponering.

Udendørs arbejde

Ved systematisk søgning i både den videnskabelige og grå litteratur fandt vi november 2023 i alt 13 studier, som belyser den alderskorrigerede risiko for katarakt ved udendørsarbejde i forhold til indendørsarbejde eller ved interne analyser af intensitet og varighed af arbejdsrelateret udsættelse for sollys (Tabel 6). Mange undersøgelser af sammenhængen mellem UV-stråling og katarakt, som ikke eksplicit differentierer udsættelse ved udendørsarbejde i forhold til indendørsarbejde eller anden eksponering, indgår ikke

medmindre studiepopulationen er defineret som helt overvejende arbejdende udendørs (93, 99). Søgestrengen fremgår af bilag A.

En ældre tværsnitsundersøgelse af højt eksponerede fiskere (*watermen*) i Chesapeake Bay i Maryland, USA (93), refereres her i nogen detalje, fordi den betragtes som et af de mest informative studier vedrørende risiko for katarakt ved erhvervsmæssig udendørs UVB-stråling blandt de 13 studier som søgningen identificerede. I udvalgte geografiske områder blev inkluderet i alt 838 fiskere (deltagelse 70%) med fiskerilicens indenfor de seneste 10 år. Den individuelle årlige eksponering af øjelinsen for UVB-stråling fra 16-års-alderen blev beregnet ved at kombinere lokale sæsonspecifikke data om UVB-stråling på land og på vand med personlige interview-data, der tog højde for solstråling under arbejde og i fritiden og for dæmpning ved brug af briller og hat. Den årlige eksponering blev udtrykt som en andel af et *Maryland sun year*, som er den samlede UVB-stråledosis (Joule/m²) igennem et år på denne lokalitet. Den gennemsnitlige årlige øjeneksponering blandt fiskerne var 2,2% af et *Maryland sun year* (range 0,1% – 7,4%, det maksimalt mulige 9%). Den oftalmologiske undersøgelse var blændet for eksponeringsstatus, og blev foretaget med spaltelampe på dilateret pupil. Linseklarheder blev klassificeret efter anatomisk placering (nuklear, kortikal, subkapsulær) og sværhedsgrad (0-4). Den aldersjusterede risiko for kortikal katarakt var forhøjet i den højeste kvartil af kumulativ UVB-eksponering sammenlignet med den laveste (OR 3,30 (95% CI 0,90 – 9,97), med en vis indikation af dosis-respons, dog uden statistisk signifikante fund (Tabel 6). Der blev ikke observeret øget risiko for nukleær katarakt. Sammenfattende omfatter studiet en stor, homogen, højt eksponeret population med indgående vurdering af individuel kumulativ UVB-eksponering, høj eksponeringskontrast, opdeling af risiko efter undertyper af grå stær og statistisk analyse med aldersjustering. Undersøgelsen giver stærke holdepunkter for, at UVB-stråling er forbundet med øget risiko for kortikal katarakt, men skelner dog ikke eksplicit mellem erhvervsmæssig og fritidsmæssig eksponering. Da fiskerne overvejende arbejder ude, og i gennemsnit er markant højere eksponerede end den almindelige befolkning i samme region, tyder studiet således på, at UVB-eksponering ved udendørs arbejde (på havet) kan bidrage til udvikling af katarakt.

I overensstemmelse med Chesapeake Bay studiet fandt et kinesisk tværsnitsstudie af i alt 838 landbrugere i bjerggrige egne i godt 3,5 km højde over havets overflade, henholdsvis i lavtliggende områder, også en stærk sammenhæng mellem kumulativ UVB-eksponering og risiko for katarakt, se Tabel 6 (99). Dette studie har i kraft af sit design en stor eksponeringskontrast, og drager fordel af en detaljeret kortlægning af den samlede livslange eksponering for UVB, hvori indgår data om den lokale strålingsintensitet samt selvrapporteret information om udendørs ophold i givne perioder på døgnet gennem givne faser af livet. Selvom heller ikke dette studie eksplicit afgrænser erhvervsmæssigt udsættelse for sollys, anføres, at i netop denne population er den arbejdsrelaterede eksponering helt dominerende.

Ydermere fandt et mindre australsk case-kontrol-studie med data om livslangt udendørsarbejde en (stærk) sammenhæng mellem livslang arbejdsrelateret udsættelse for sollys og nukleær katarakt, men da eksponeringen er baseret på selvrapporterede skøn over udendørs arbejde, er rapporteringsbias med inflaterede risikoestimer sandsynlig (100). Og et spansk case-kontrol-studie, som ligeledes var baseret på omfattende delvist selvrapporterede mål for arbejdsrelateret, livslang kumulativ eksponering for sollys, fandt øget risiko for nukleær katarakt i de fire øverste kvintiler med den nederste kvartil som reference men uden dosis-respons (se Tabel 6) (101). Resultatet vurderes ikke at være i modstrid med ovennævnte tre studier, som viser en sammenhæng mellem udendørsarbejde og katarakt, idet arbejdsrelateret soleseksponering i denne population, der overvejende omfatter *housewives*, formentlig er lav, med begrænsede muligheder for at påvise effekter.

I det store populationsbaserede Beaver Dam Eye Study, der omfattede 4926 personer i alderen 43-84 år bosiddende i Wisconsin, USA, estimeredes den individuelle samlede livslange eksponering for UVB-stråling på basis af data om solintensitet i lokalområdet i kombination med detaljerede interviewdata om arbejde, fritid, og brug af briller, solbriller og hat. I overensstemmelse med Chesapeake Bay Watermen Study, fandtes øget risiko for kortikal katarakt blandt mænd med højere kumuleret UVB-eksponering (38% af

populationen) end blandt mænd med lavere eksponering (62% af populationen). Den aldersjusterede OR for den højeste versus den laveste eksponerede gruppe var 1,40 (95% CI 1,06 – 1,85) (94). Der fandtes ingen sammenhæng blandt kvinder, hvor væsentligt færre var højt udsatte, og der var ingen sammenhæng mellem grove mål for udendørsarbejde (se Tabel 6) og risiko for katarakt i denne population. Tilsvarende fandtes i et stort, koreansk populationsbaseret tværsnitsstudie af 11.591 personer i alderen 40+ år en sammenhæng mellem ophold udendørs i > 5 timer dagligt versus < 5 timer dagligt og katarakt, men associationen var svag (justeret OR 1,1, 95% CI 1,0 – 1,2), og gruppen af landmænd, fiskere og skovarbejdere (n=1539) havde ikke større forekomst af katarakt end en gruppe med kontorarbejde (n=883) (102). Alt i alt er studiet lidet informativt vedrørende erhvervsmæssig udsættelse for UV og risiko for katarakt på grund af grove eksponeringsoplysninger.

Indbyrdes modstridende resultater i en række andre tværsnitsstudier (103, 104) og case-kontrol-studier (105-109) er alle baseret på simple, oftest dikotome mål for eksponering, og mangler udtømmende mål for kumulativ eksponering for UV, og bidrager derfor marginalt til at belyse betydningen af erhvervsmæssig udsættelse for sollys.

Diskussion

Da store befolkningsundersøgelser giver stærk evidens for, at UVB-stråling øger risikoen for katarakt, og da dette støttes af eksperimentelle data, forekommer det evident, at udendørs arbejde under åben himmel bidrager til risikoen. Under forudsætning af samme indvirkning gennem livsforløbet, vil betydningen af arbejdsrelateret eksponering være bestemt af, hvor stor en andel af den samlede lysudsættelse, der sker i arbejdstiden. Hertil kommer dog, at dyreeksperimentelle studier ikke finder en simpel sammenhæng mellem UVB-dosis (produktet af intensitet og varighed) og risikoen for udvikling af kortikal katarakt (111). I rotteforsøg ses ganske vist som forventet stigende forekomst af linseklarhed ved stigende intensitet af UVB-bestråling (110), men ved samme lave intensitet afhænger effekten af varigheden, hvormed dosis administreres. Samme dosis opdelt i 2 portioner administreret i løbet af kort tid (få timer) har mindre effekt end samme dosis administreret i løbet af 1-2 dage, hvilket kan skyldes, at sidstnævnte i højere grad hæmmer reparationsprocesser (110). De anførte epidemiologiske studier baseret på kumulativ livslang eksponering beregnet som produkt af intensitet og tid tager ikke højde for disse komplekse dosis-effekt relationer, hvilket dog formentlig overvejende vil medføre bias mod nul som følge af misklassifikation af eksponering.

Der er imidlertid kun få studier som eksplicit belyser katarakt ved udendørs arbejde. De mest informative studier er baseret på særlige, højt eksponerede befolkningsgrupper som fiskere og bjergbønder, og disse viser, at den relative risiko blandt de mest udsatte er 2-3 gange højere end blandt de mindst udsatte. Disse resultater hverken støttes eller svækkes afgørende af andre studier, som er baseret på summariske og grove mål for arbejdsrelateret UVB-eksponering.

De fleste studier som har skelnet mellem morfologiske katarakttyper finder, at UVB-stråling primært fører til kortikal katarakt, hvilket er i overensstemmelse med dyreeksperimentelle studier og med, at UVB-stråling absorberes i cornea og fra linsens forreste cortex bagud med faldende gradient. Da der imidlertid i de forskellige studier anvendes forskellige undersøgelses- og klassifikationsmetoder, forskellige definitioner af katarakt med varierende grader af synsnedsættelse, og da der ofte optræder uklarheder i flere af linsens zoner, kan det næppe afvises, at UVB kan bidrage til katarakt i andre dele af linsen end i cortex.

Konklusion

Der er solid evidens for, at den gennem livet kumulerede UVB-stråledosis fra solen øger risikoen for katarakt og dermed for, at udendørs arbejde bidrager til risikoen, men der er kun få studier, som belyser den relative betydning af eksponering ved udendørs arbejde i forhold til øvrige eksponering for sollys.

Tabel 6. Studier vedrørende risiko for katarakt ved udendørs arbejde.

Reference	Land	Population	Katarakt undersøgelse/definition	Eksponerings-kontrast	Katarakt type	Risiko estimat (95% CI)
Case-control studier						
Perkins et al., 1985 (105)	USA	Tilfælde med senil katarakt henvist til en universitets øjenklinik for kataraktekstraktion (n=51) og køns- og aldersmatchede ambulante patienter henvist til rutineundersøgelse	Ophthalmolog / ND	Interview: Havde arbejde indendørs (n=90) eller udendørs (n=10)	Alle typer	OR 0,67 (0,18 – 2,52)
Leske et al., 1991 (106)	USA	Ambulante øjenpatienter med katarakt (n=945) uden katarakt (n=435)	Lens Opacity Classification System I kortikal: C1b eller C2, 1-2; nukleær 1-2; PSC 1-2; Mixed: Kombination af subtyper	Interview: Erhvervsmæssig eksponering for sollys i mindst 2 timer dagligt i mindst 2 måneder (40,1 % blandt kontroller) versus ingen eksponering.	Alle typer Nukleær Kortikal Posterior subkapsular	OR 0,80 (0,57 – 1,12) 0,61 (0,37 – 0,99) 0,91 (0,64 – 1,30) 1,28 (0,72 – 2,26)
The Italian-American cataract study group, 1991 (107)	Italien	Tilfælde i alderen 45-79 år med katarakt (n=1008) og kontrolpersoner (de ældste set samme uge uden katarakt, n=469) rekrutteret fortløbende fra tre øjenklinikere	Spaltelampeundersøgelse med vurdering af type og sværhedsgrad ifølge Lens Opacity Classification System I	Interview: Arbejdsplacering i sollys versus alle andre (ingen yderligere detaljer oplyst)	Blandet Nuklær Kortikal Posterior subkapsular	OR 1,75 (1,15 – 2,65) 0,65 (ND) 0,84 (ND) 1,75 (1,15 – 2,65)
Ughade et al., 1998 (109)	Indien	Tilfælde med katarakt (n=262) og kontroller uden katarakt (n=262) rekrutteret fra en hospitals-øjenafdeling	Katarakt med synsnedsettelse (ingen yderligere detaljer oplyst)	Interview: Eksponeret for sollys > 6 timer dagligt de sidste 10 år versus ikke eksponeret	Alle typer	OR 1,87 (0,94 – 3,71)
Neale et al., 2003 (112)	Australien	En undersøgelse indlejret i en interventionsundersøgelse om forebyggelse af hudkræft, 177 tilfælde og 143 kontroller	Graderede spaltelampe fotografier: nukleær opacitet grad 2,0 eller højere	Spørgeskema: Livslang soleksposering baseret på selvrapporteret tid brugt udendørs på arbejde (meget lav, lav, middel, høj) gennem livet	Nukleær uklarhed Meget lav Lav Medium Høj	OR 1,00 1,13 (0,53 – 2,41) 2,94 (1,14 – 7,60) 2,11 (0,74 – 5,98)
Pastor-Valero et al., 2007 (101)	Spanien	Tilfælde med katarakt (n=343) og frekvensmatchede kontroller (n=334) rekrutteret fra en ambulant øjenklinik	Spaltelampeundersøgelse: Lens Opacity Classification System II: kortikal og PSC ≥ 1, nukleær ≥ 2	Kumulativ måling af livslang erhvervsmæssig udendørs soleksposering under hensyn til tidspunkt for timer tilbragt udenfor, meteorologi, årstid, type af hat, briller og solbriller. År med erhvervsmæssig soleksposering korigeret for personlige beskyttelsesmidler med den laveste kvintil som reference	Alle typer, < 0,07 år 0,07 – 0,19 år 0,19 – 0,43 år 0,43 – 0,80 år > 0,80 år	OR 1,00 0,97 (0,56 – 1,68) 1,03 (0,60 – 1,76) 0,84 (0,48 – 1,45) 0,99 (0,57 – 1,73)

Theodoropoulou et al., 2011 (108)	Grækenland	Tilfælde (n=314) og kontroller (n=314) rekrutteret fra en øjenklinik	Spaltelampe undersøgelse: Katarakt ikke specificeret, synsskarphed < 20/50	Interview: Udsat for sollys på arbejde, ja/nej (ingen detaljer)	Alle typer	OR 2,03 (1,32 – 3,12)
Tværsnitstudier						
Taylor et al., 1988 (93)	USA	Watermen (fiskere) over 30 år i Maryland, USA, rekrutteret fra et samlet antal på 1203 watermen med en waterman-licens de sidste 10 år (n=838, deltagelse 70%)	Spaltelampe undersøgelse: Gradering af type og sværhedsgrad af katarakt ifølge forudbestemte kriterier	Individuel kumulativ øjeneksponering fra 16 års-alderen estimeret ved felt- og laboratoriemålinger kombineret med historik for erhvervsmæssig og fritidseksponering givet som gennemsnitlig andel af et Maryland solår (MS)	Kortikal katarakt < 13 ‰ MS –3 - 22 ‰ MS –3 - 32 ‰ MS ≥ 33 ‰ MS Nukleær katarakt < 13 ‰ MS –3 - 22 ‰ MS –3 - 32 ‰ MS ≥ 33 ‰ MS	OR 1,00 2,32 (0,70 - 7,73) 3,25 (0,98 - 10,8) 3,30 (0,90 - 9,97) OR 1,00 1,22 (0,51 - 2,91) 1,26 (0,52 - 3,06) 0,96 (0,36 - 2,60)
Cruickshanks et al., 1992 (94)	USA	Et udsnit af den almindelige befolkning ved Beaverdam, alder 43-84, 839 mænd og 2239 kvinder	Spaltelampe fotos: Gradering af type og sværhedsgrad af katarakt	Interview: Andel af arbejdstid tilbragt udendørs ≥50% versus andel af arbejdstid tilbragt udendørs <25%	Mænd Nukleær Kortikal Posterior subcapsular Kvinder Nukleær Kortikal Posterior subcapsular	OR 0,95 (0,70-1,31) 0,84 (0,68 - 1,03) 0,77 (0,50 - 1,19) OR 1,18 (0,86 - 1,62) 0,88 (0,68 - 1,13) 0,86 (0,51 - 1,44)
Athanasiov et al., 2008, (103)	Myanmar	Landsbyboere med alder 40+ (n=2044)	Dilateret spaltelampe, Lens Opacity Classification System III: Nukleær ≥ 4, kortikal og posterior subkapsulær ≥2	Interview: Landmænd (77% af mændene og 61% af kvinderne) versus ikke-landmænd (andre erhverv ikke taget i betragtning)	Alle typer Nukleær Kortikal Posterior subcapsular	OR 0,9 (0,6 - 1,4) 1,0 (0,6 - 1,8) 0,7 (0,3 - 1,7) 0,9 (0,3 - 2,9)
Megbele et al., 2012, (104)	Nigeria	Mandlige svejsere (n=117) og ikke-svejsende arbejdere (n=105) rekrutteret fra 5 virksomheder	Oftalmoskopi: ≥ 5% opacitet af linse-overfladen	Spørgeskema: Hovedsageligt arbejdet udendørs (n=47) eller ikke (n=50), ingen yderligere detaljer givet. Kun én arbejder udendørs med katarakt.	Alle typer	OR 0,09 (0,0 – 1,1)
Rim et al., 2014 (102)	Korea	1539 eksponerede og 883 ikke eksponerede personer i alderen > 40	Spaltelampe: Enhver type og subtype konstateret efter Lens	Interview: Jobtitel grupperet i brede industrielle kategorier:	Alle typer	OR 1,10 (1,0 – 1,2)

		år udvalgt blandt 11.591 deltagere i the Korean National Health and Nutrition Examination Survey	Opacity Classification System III	Fiskeri, landbrug og skovbrug versus administration, ledere og professionelle		
Yu et al., 2015 (99)	Kina	Lokalbefolkning i alderen 40+ i to landlige områder i Kina med høj eller lav højde over havets overflade (n= 813 deltagere)	Spaltelampe undersøgelse: Lens Opacity Classification System II grad >2 I et eller begge øjne.	Individuel UV-eksponering defineret som produktet af antal timers erytemal UV-eksponering (baseret på data om solstrålings intensitet og lokale daglige solskinstimer) og selvrapporteret gennemsnitligt antal timer dagligt med udendørs aktivitet, grupperet i 4 niveauer (J/m ²)	Alle typer < 1000 J/m ² 1000 – 1199 J/m ² 2000 – 2700 J/m ² > 2700 J/m ²	OR 1,0 1,22 (0,70 - 2,11) 0,88 (0,50 - 1,55) 2,61 (1,45 - 4,67)

Metalsvejsning

Efter 2. verdenskrig afløste metalsvejsning nitning som den dominerende teknologi ved sammenføjning af jern- og metaldele. Ved svejsning opvarmes fladerne, der skal sammenføjes, samt tilsatsmateriale til smeltepunktet med en elektrisk genereret lysbue, og der udsendes herved intenst synligt lys samt ultraviolet stråling. Selvom UV-strålingsintensiteten blandt andet afhænger af svejsemetode og dimensioner af metal og jerndeile, vil eksponeringen under alle omstændigheder overskride den foreslåede grænseværdi for UV på 3 mJ/cm^2 (The International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, 2004) i løbet af få sekunder, hvorfor brug af effektive, personlige værnemidler i form af svejseskærm, er helt afgørende for at forhindre øjenskade. Selvom svejsehjelm korrekt anvendt beskytter øjet, vil korte tidsrum i tilslutning til at svejsehjelm slås op/ned samt *bystander* eksponering fra svejsende kolleger kunne medføre betydelig udsættelse. Ved en omfattende undersøgelse af UV-eksponering blandt svejsere og andre metalarbejdere på et maskinværksted var den gennemsnitlige 8-timers UV-dosis på dosimetre placeret under svejsehjelm tættest på øjnene 15 mJ/cm^2 – altså væsentligt over den anbefalede grænseværdi (113).

Ved systematisk søgning i både den videnskabelige og grå litteratur fandt vi november 2023 i alt 9 studier, som belyser den alderskontrollerede relative risiko for katarakt blandt svejsere i sammenligning med grupper uden svejsearbejde (Tabel 7).

I et registerbaseret nationalt kohorte-studie af godt 4000 mandlige svejsere ved mere end 100 danske virksomheder, der overvejende bearbejdede rustfrit stål, fik 266 svejsere diagnosticeret katarakt ved sygehus eller privatklinik i perioden 1987-2012 (114). I sammenligning med mere end 500.000 fag- og ufaglærte mandlige arbejdere med samme fødselsårsfordeling fandtes en justeret relativ risiko (HR) for katarakt blandt svejsere på 1,08 (95% CI 0,95-1,22). Udover alder blev der justeret for diabetes og socialøkonomisk gruppe. Kumuleret svejserøgs-eksponering som proxy for kumuleret UV-eksponering af øjet var ikke relateret til risiko for katarakt. En begrænsning ved dette studie, som kan have medført falskt lave risikoestimer, er manglende præcisering af katarakttypen. Såfremt UV-stråling primært forårsager kortikal vil sammenblanding med den hyppigere aldersrelaterede nukleære katarakttype svække mulighederne for at påvise en effekt. Der var heller ikke mulighed for at vurdere brug af personlige værnemidler og indirekte *bystander* eksponering.

I et case-kontrol-studie ved en stor øjenklinik i Maryland, USA, indgik 168 cases med operation for posterior subkapsulær katarakt og 168 alders- og køns-matchedde kontroller uden denne type linseuklarhed rekrutteret fra samme øjenklinik. Metalsvejsning uanset varighed var forbundet med øget risiko for katarakt (OR 1,93, 95% CI 0,89 – 4,61, vores beregning). Studiet udmærker sig ved eksplicit at adressere posterior subkapsulær katarakt, men med kun 31 svejsere har studiet begrænset statistisk styrke. Et ældre amerikansk tværsnitsstudie fandt kun ét tilfælde af posterior subkapsulær katarakt hos en arbejder med *bystander* eksponering blandt i alt 210 undersøgte (115), og er derfor ikke informativt i forhold til den aktuelle problemstilling.

I perioden 2007-2022 er publiceret 4 indiske og 2 nigerianske tværsnitsundersøgelser, som alle med én undtagelse finder markant øget risiko af linseuklarhed eller katarakt blandt svejsere i sammenligning med ikke-svejsere, typisk arbejdere fra samme arbejdspladser og geografiske område (Tabel 7). Odds Ratio varierede mellem 1,21 og 8,74 med et gennemsnit vægtet med studiepopulationens størrelse på 2,95 (95% CI 1,68-5,19, vores beregning). Alle studier kontrollerede for alder, men omfattede relativt unge studiepopulationer ned til gennemsnitligt 28 år (116). Det begrænser eksponeringens varighed, men mindsker risiko for sløring som følge af alders-relateret katarakt. Ingen studier kvantificerede eksponering, som blev kategoriseret som svejsning nogensinde versus aldrig. Måling, definition og kategorisering af

udfaldet var i de fleste studier under anvendelse af ikke-standardiserede metoder. Prævalensen af udfaldet i referencegrupperne var mellem 0 og 12%. Alt i alt er disse undersøgelser således behæftet med mindre robuste designs, hvorfor resultaterne må fortolkes med nogen varsomhed.

Konklusion

Sammenfattende kan konkluderes, at metalsvejsning er forbundet med substantiel risiko for direkte og indirekte UVB-eksponering af øjet, men enkelte nyere studier i USA og Danmark viser ikke konsistente holdepunkter for øget risiko for behandlingskrævende katarakt blandt svejsere. Begge studier har begrænsninger, som kan medføre falsk lave risikoestimer. I modsætning hertil er i en række tværsnitstudier i Indien og Nigeria påvist markant øget risiko for linseuklarhed eller katarakt blandt svejsere, men de fleste af disse studier har mindre robuste designs og begrænset statistisk styrke. Store forskelle i arbejdshygiejne, tilgængelighed og brug af effektive personlige værnemidler synes at være en oplagt forklaring på de forskellige fund i høj- og lavindkomstlande. Der mangler studier af risikoen ved *bystander* eksponering, som kan være betydelig.

Tabel 7. Studier vedrørende risiko for katarakt relateret til metalsvejsning.

Studie	Land	Population	Katarakt undersøgelse /definition	Risiko estimat (95% CI)
Kohorte and case- control studier				
Slagor et al., 2016 (114)	Danmark	4.288 svejsere 512.151 kontrolpersoner	Hospitalsdiagnose/ alle typer katarakt	HR 1,08 (0,95 – 1,22)
Bochow et al., 2019 (117)	USA	168 cases 168 referencepersoner	Klinisk undersøgelse / Posterior subcapsular katarakt	OR 1,93 (0,89 – 4,61)
Tværsnitstudier				
Emmett et al., 1981(115)	USA	77 svejsere 58 ikke-eksponerede	Spaltelampe biomikroskopi / Posterior subcapsular katarakt og anterior capsular lens opacity	OR 0,75 (0,05 – 12,3)
Davies et al., 2007 (116)	Nigeria	110 eksponerede 85 referencepersoner	Spaltelampeundersøgelse / ikke angivet	OR 5,57 (0,28 – 109)
Megbele et al., 2012 (104)	Nigeria	117 eksponerede 105 referencepersoner	Ofthalmoskopi / $\geq 5\%$ uklarhed af linseoverfladen	OR 3,49 (0,37 – 32,7)
Bhumika et al., 2014 (118)	Indien	276 eksponerede 276 referencepersoner	Klinisk undersøgelse / NA	OR 3,60 (2,27 – 5,70)
Alexander et al., 2016 (119)	Indien	150 eksponerede 150 referencepersoner	Klinisk undersøgelse / NA	OR 3,71 (1,33-10,3)
Kumari et al., 2016 (120)	Indien	37 eksponerede 100 referencepersoner	Ofthalmoscopy / $\geq 5\%$ uklarhed af linseoverfladen	OR 8,74 (0,88 – 86,8)

Praveena et al., 2022 (121)	Indien	90 eksponerede 90 referencepersoner	Spaltelampe biomikroskop / NA	OR 1,21 (0,51 – 2,87)
-----------------------------------	--------	--	----------------------------------	-----------------------

INFRARØD STRÅLING

Infrarød stråling er ikke-synlig stråling med bølglængde mellem 760 nm og 1 mm. Erhvervsmæssig eksponering forekommer i stålværker og jernstøberier og ved glaspustning, acetylgas-svejsning og ved brug af nogle moderne laserapparater. Katarakt blandt glaspustere er en klassisk arbejdsbetinget lidelse, som har været kendt siden midten af 1700-tallet og anerkendt som arbejdsbetinget sygdom i England siden 1907 (122). Infrarød stråling medfører uklarheder i særligt den posteriore subkapsulære del af linsen og skyldes afsættelse af termisk energi (123) – måske overvejende indirekte via iris og cornea (122). Afskærmning og beskyttelsesbriller nedbragte forekomsten af katarakt som følge af infrarød bestråling dramatisk allerede i første halvdel af forrige århundrede. Selvom svenske undersøgelser af støberiarbejdere og glasværksarbejdere i 1980'erne rapporterede øget hyppighed af katarakt i disse grupper (124, 125), tyder andre data på at *furnace cataract* er sjælden i høj-indkomstlande (122). Situationen i andre dele af verden er ukendt. Nogle moderne laserinstrumenter anvender bølglængder inden for det infrarøde spektrum, men udgør formentlig kun en risiko ved accidentiel akut højdosis eksponering (122).

MIKROBØLGER

Mikrobølger (højfrekvent elektromagnetisk stråling) er ikke-synlig stråling med en bølglængde mellem 1 mm og 1 m. Erhvervsmæssig eksponering forekommer i sundhedsvæsenet ved diatermibehandling og endvidere i forbindelse med radaranlæg og satellitkommunikation, hvor ophold tæt ved antenner kan medføre udsættelse for høje stråleniveauer. Mistanke om udvikling af katarakt som følge af langvarig og gentagen udsættelse for mikrobølger (126) har ikke kunnet bekræftes i dyreeksperimentelle undersøgelser, herunder ved eksponering af primater (127, 128), men accidentiel akut høj udsættelse kan medføre forbrændinger og øjenskade, herunder linseuklarheder.

KEMISK ARBEJDSMILJØEKSPONERING

Metaller og methylocyanat

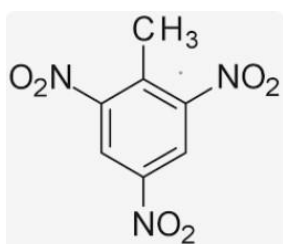
Nogle metaller som bly og cadmium er påvist i øjets linse i postmortem studier, og det er foreslået, at metaller kan føre til linseuklarhed via oxidative stressmekanismer (129). Der er ikke ved den systematiske litteratursøgning fundet undersøgelser, som eksplicit belyser om erhvervsmæssig eksponering for metaller er relateret til udvikling af katarakt, men enkelte populationsbaserede studier har fundet sammenhæng mellem katarakt og biomarkører for henholdsvis bly, cadmium og arsenik. Således fandtes i et studie af raske 60+ årige amerikanske mænd højere risiko for katarakt ved høj koncentration af bly i kortikal tibia knogle (som udtryk for livslang kumuleret eksponering), men uden holdepunkter for en dosis-respons-sammenhæng (130). Studiet er kritiseret for mulig bias som følge af social confounding (131). Et andet studie baseret på den store amerikanske NHANES undersøgelse fandt sammenhæng med cadmium i urin,

men ikke i blod (132), og endelig fandt et studie af en befolkningsgruppe i Taiwan med høj eksponering for arsenik i drikkevand en signifikant dosis-respons-sammenhæng mellem kumulativ arsenik eksponering og posterior subkapsulær katarakt (133).

Ovennævnte fund støttes af postmortem studier, som har fundet højere koncentration af blandt andet bly og cadmium i øjenlinser med katarakt (129), men alt i alt er det uafklaret om erhvervsmæssig eksponering for metaller spiller en rolle for udvikling af katarakt.

Methylisocyanat er et eksempel på en kemisk kraftig irritant som ved massiv akt luftbåren eksponering kan medføre øjenskade. Et opfølgingsstudie 3 år efter Bhopal katastrofen i Indien fandt fordoblet forekomst af katarakt blandt beboere i området med den højeste forekomst af methylisocyanat (134)

Trinitrotoluen



Trinitrotoluen (TNT, trotyl, 2-methyl-1,3,5-trinitrobenzene, Figur 8) er et fast gulligt eksplosivt sprængstof, som i mere end 100 år har været anvendt i ammunition verden over. Arbejdere udsættes primært for TNT i aerosol- og støvform. Stoffet kan optages gennem hud, luftveje og mave-tarm, kan påvises i urinen hos udsatte arbejdere, og er kendt for at kunne fremkalde svær toksisk hepatitis.

Figur 8. Kemisk formel for TNT.

TNT har helt fra 1930'erne været sat i forbindelse med en særlig form for linseuklarhed beskrevet hos ammunitionsarbejdere i primært østeuropæiske kasuistiske meddelelser, men først i 1967 forelå en systematisk og udtømmende beskrivelse på basis af prospektive studier med gentagne øjenundersøgelser af ammunitionsarbejdere, hvorved det var muligt at følge tilstandens udvikling over tid (135) og nu benævnt Tiukina katarakt. Der er tale om mørke, grumsede, ringformede partier, der som et bånd stækker sig langs linsens ækvator med skarp afgræsning mod pupillen og mindre skarp afgræsning mod linsens centrum, og som symmetrisk er til stede i begge øjne. Efterhånden bliver uklarhederne mere udtalte, flyder sammen og ledsages af uklarhed centralt i linsen. De perifere forandringer i de første stadier kan let overses medmindre pupillen dilateres maksimalt. Det er kun i det mest udtalte stadium, at der ifølge en dansk undersøgelse er nedsat syn (136). Tilstanden er beskrevet blandt ammunitionsarbejdere i flere lande som fx Polen (137) og Finland (138), men er kun dokumenteret i to systematiske blindede og kontrollerede studier. Et amerikansk tværnsitsstudie ved en universitets-oftalmologisk klinik fandt 'usædvanlig katarakt' (*peripheral flecks*) forenelig med tidligere beskrevne Tiukina-forandringer blandt 63% af ammunitionsarbejdere (n=61) udsat for TNT, i sammenligning med 14% blandt en gruppe arbejdere udsat for andre kemiske stoffer (n=56) (139). De diagnosticerede linseuklarheder var altså i dette studie ikke helt specifikke for TNT-eksponering, hvilket kan skyldes misklassifikation af eksponering og/eller katarakt. Derimod fandtes i et tilsvarende dansk studie kun fire tilfælde med de karakteristiske forandringer (136), og de forekom alle blandt TNT-eksponerede (n= 23), mens der i denne undersøgelse, hvor oftalmologen var blindet i forhold til eksponeringsstatus, ikke fandtes katarakttilfælde af Tiukina-typen i en større, sammenlignelig gruppe arbejdere fra en anden arbejdsplads (n=44). Dette studie støtter således hypotesen om, at TNT kan forårsage en specifik form for katarakt. Senest har et pakistansk studie fundet sammenhæng mellem TNT-metabolitter i urinen hos en gruppe ammunitionsarbejdere og forekomst af ringformet katarakt (140). Mekanismen er ukendt, men frigivelse af superradikaler i forbindelse med metabolisering af TNT er foreslået.

ULYKKER

Elektrisk katarakt

Der foreligger talrige kasuistiske beskrivelser af bilateral katarakt udviklet i løbet af måneder og op til et år efter akutte højspændingsulykker ledsaget af svære forbrændinger, som oftest men ikke altid involverende hoved eller hals (141, 142). Den tætte, tidsmæssige sammenhæng og i mange tilfælde hurtige progression til svært nedsat syn, taler for årsagsmæssig sammenhæng, men mekanismen er ukendt. Derimod fandt en registerbaseret opfølgning af fortrinsvis mindre alvorlige el-ulykker blandt danske elektrikere ikke øget risiko for forsinket udvikling af katarakt (143).

Traumatisk katarakt

Traumatisk katarakt kan opstå som følge af både penetrerende og stumpe øjenskader. Manuel forarbejdning af materialer som beton, glas, jern, metal, træ og lignende med roterende eller skærende håndværktøj kan frigøre brudstykker og splinter, der kan føre til øjenskade, såfremt der ikke anvendes relevant beskyttelsesbrille (144). Mange andre situationer i byggeri og industri kan føre til traumatisk øjenskade – eksempelvis brug af sømpistol og piskesmæld fra wire eller tråd, som brister under spænding. Ifølge en amerikansk opgørelse opstod katarakt i 1/3 af arbejdsrelaterede penetrerende øjenskader anmeldt til et nationalt øjentraume-register (145).

Penetrerende øjentraumer giver ofte en katarakt, som morfologisk svarer til det mekaniske traumes omfang i linsen, mens stumpe traumer ofte giver anledning til en karakteristisk rosette-lignende katarakt-type, som kan opstå grundet trykpåvirkning eller efterfølgende inflammation med eller uden brud på linsekapslens integritet (146). Traumatisk katarakt kan opstå umiddelbart efter påvirkningen, hvilket indikerer skade på linsekapslen, men kan også opstå tardivt måneder til år efter, ved fx piskesmældstraumer (146). Behandling af traumatisk katarakt kan være kompliceret på grund af øvrig okulær skade såsom hul på øjet, prolaps af iris eller glaslegeme, skade på zonulatråde eller linsens bagre kapsel samt linseluksation (146).

Langt hovedparten af tilfælde af traumatisk katarakt kan forhindres ved korrekt og konsekvent anvendelse af relevante beskyttelsesbriller. Når disse værnemidler ikke anvendes, kan det skyldes, at beskyttelsesudstyr ikke er til rådighed på arbejdspladsen eller at udstyr, som forefindes, er defekt, eller ikke er tilpasset arbejdsopgaven, men manglende uddannelse, forsømmelighed, ligegyldighed og ringe sikkerhedskultur kan også spille en rolle.

KONGENIT KATARAKT

Maternel eksponering under graviditet.

Kongenit katarakt er den hyppigste medfødte øjenlidelse, men udgjorde i et stort amerikansk misdannelsesregister kun omkring 1% af alle medfødte misdannelser (147). Et eksplorativt populationsbaseret multicenter case-kontrol-studie vedrørende maternel arbejdsrelateret risiko for medfødt misdannelse omfattede knapt 9.000 nyfødte med en medfødt misdannelse, og fandt øget risiko

for kongenit katarakt blandt en bred gruppe af kontoransatte samt blandt mødre ansat i halvlederindustrien (147) og førskolelærere (148). Sidstnævnte var dog kun baseret på 2-3 tilfælde, og alle associationer kan være tilfældige fund i dette studie med analyse af multiple eksponeringer og multiple udfald. Et senere studie baseret på det samme amerikanske misdannelsesregister – nu med > 18.000 medfødte misdannelser – havde fokus på maternal udsættelse for ioniserende stråling under graviditeten og fandt hverken øget risiko for kongenitte misdannelser samlet eller for kongenit katarakt. Den upræcise vurdering af eksponering, som alene var baseret på jobtitler, svækker dog muligheden for at påvise faktiske effekter (149).

Paternel eksponering forud for graviditet

Et stort amerikansk *nested case-referent* studie fokuserede eksplicit på risiko for negative graviditetsudfald, herunder medfødt misdannelse, som følge af paternel udsættelse for dioxin-forurenedede klorfenoler i den Canadiske savværksindustri. Som det mest markante fund fandtes øget risiko for kongenit katarakt, baseret på 11 tilfælde, og med nogen holdepunkter for dosis-respons (150). At dette resultat ikke blev bekræftet i en senere undersøgelse med væsentligt svagere statistisk styrke og simpelt mål for eksponering kan næppe tillægges stor vægt (151).

OPSAMLING, FORSKNINGSBEHOV OG FOREBYGGELSE

Vi har i denne rapport gennemgået og vurderet den aktuelle viden om risikoen for katarakt ved erhvervsmæssig eksponering. Udover katarakt opstået i tilknytning til traumatiske øjenskader, er de relevante eksponeringer især ioniserende stråling, ultraviolet stråling og infrarød stråling, mens katarakt blandt ammunitionsarbejdere udsat for trinitrotoluen formentlig er historisk – i det mindste i højindkomstlande.

Ioniserende stråling er en veletableret årsag til kortikal og posterior subkapsulær katarakt. Øget risiko er blandt andet påvist i faggrupper indenfor sundhedsvæsenet (radiografer, nukleærmedicinsk personale og personale beskæftiget med fluoroskopi) og i atomindustrien. I takt med fremkomst af nye epidemiologiske undersøgelser er de anbefalede grænseværdier for øjets linse successivt nedsat, og blev senest i 2012 af IRCP sat til 20 mSv/år som gennemsnit over 5 år og højst 50 mSv i et givet år. Afskærmning og fortløbende monitorering af stråledosis med personbårne dosimetre sikrer god kontrol med eksponeringen ved stationære kilder til stråling blandt fx sundhedspersonale, men en stor velgennemført amerikansk undersøgelse af radiografer i sundhedssektoren fandt øget risiko for katarakt ved kumulerede eksponeringsniveauer under de anbefalede grænseværdier. Såfremt disse resultater bekræftes i uafhængige undersøgelser, er der behov for at revurdere sikkerheden blandt røntgenpersonale i sundhedssektoren. Hertil kommer den hastigt voksende brug af fluoroskopiske procedurer, fortrinsvis indenfor kardiologi og radiologi, hvor der potentielt kan være en markant eksponering. En række mindre tværsnitsundersøgelser rejser mistanke om betydelig risiko for katarakt ved fluoroskopi, og dermed peges på et behov for både mere effektiv afskærmning og øjenbeskyttelse ved fluoroskopiske procedurer og for mere indgående kortlægning af eksponeringsscenarier og risiko for katarakt.

Flybesætninger er en stor faggruppe med potentiel eksponering for kosmisk stråling, som dog ligger langt under de senest anbefalede grænseværdier. For astronauter, der opholder sig i længere tid i rummet, kan der dog være behov for særlig beskyttelse af øjenlinsen.

UV-stråling, primært UVB, er ligeledes en veletableret årsag til fortrinsvist kortikal katarakt og er qua sollys en betydelig risikofaktor for den almindelige befolkning. De væsentligste arbejdsrelaterede eksponeringer

for UV-stråling er henholdsvis udearbejde og metalsvejsning. UVB-stråledosis ved udearbejde bestemmes af breddegrad, højde over havet, årstid, tidspunkt på døgnet, vejrlig, skyggeforhold, refleksion og brug af hat og briller, og kan være mangefold større end den gennemsnitlige eksponering i fritiden. Udearbejde forekommer især ved arbejde i gartneri, landbrug, byggeri, vejanlæg og fiskeri, men også arbejde i transportsektoren samt pædagogisk arbejde kan indebære betydeligt arbejde udendørs. Der er imidlertid kun god epidemiologisk evidens for øget forekomst af katarakt i særlige højtudsatte populationer såsom fiskere og bjergbønder på lavere breddegrader, mens en række mindre tværsnits- og case-kontrol-studier er mindre informative på grund af væsentlige metodologiske begrænsninger.

Metalsvejsning er forbundet med betydelig risiko for direkte og indirekte UVB-eksponering af øjets linse og dermed for udvikling af katarakt, såfremt øjenbeskyttelsen ikke er tilstrækkelig. Mens der i et fåtal studier ikke er fundet øget forekomst af behandlingskrævende katarakt ved svejsning i USA og Danmark, tyder flere undersøgelser i lavindkomstlande på et stort behov for intensiveret forebyggelse.

Samlet konkluderes, at katarakt er en hyppig lidelse med stor indvirkning på livskvalitet, som til trods for ret omfattende viden om arbejdsrelaterede risikofaktorer, kun i begrænset omfang har været genstand for målrettet forebyggelse, og som kun yderst sjældent anerkendes i arbejdsskadesystemet.

BILAG A. SØGESTRENGE VED SYSTEMATISK LITTERATUR SØGNING

Database or register	Search	Hits
Pubmed	((("outdoor"[All Fields] OR "outdoors"[All Fields]) AND ("Work"[MeSH Terms] OR "Work"[All Fields] OR "job"[All Fields] OR ("occupant"[All Fields] OR "occupant s"[All Fields] OR "occupants"[All Fields] OR "occupational"[All Fields] OR "Occupations"[MeSH Terms] OR "Occupations"[All Fields] OR "occupation"[All Fields]))) OR ("pilots*"[All Fields] OR "flight personnel"[All Fields] OR "cabin crew"[All Fields] OR "astronaut*"[All Fields] OR ("United States National Aeronautics and Space Administration"[MeSH Terms] OR ("united"[All Fields] AND "states"[All Fields] AND "national"[All Fields] AND "aeronautics"[All Fields] AND "space"[All Fields] AND "administration"[All Fields]) OR "United States National Aeronautics and Space Administration"[All Fields] OR "nasa"[All Fields]) OR "radium dial painter"[All Fields] OR ("chernobyl"[All Fields] OR "chernobyl s"[All Fields]) OR "Mayak"[All Fields] OR "air force"[All Fields] OR "navy"[All Fields] OR "urologist*"[All Fields] OR "anesthesiologist*"[All Fields] OR "anesthetist*"[All Fields] OR "cardiologist*"[All Fields] OR "urologist*"[All Fields] OR "endoscopist*"[All Fields] OR "orthopaedic*"[All Fields] OR "radiologic technologist*"[All Fields] OR "nuclear medicine personnel"[All Fields] OR "dental worker*"[All Fields] OR "dentist*"[All Fields] OR "dental staff"[All Fields] OR "radiographer*"[All Fields] OR "radiologist*"[All Fields] OR "metal worker*"[All Fields] OR "welder*"[All Fields] OR "silviculturist*"[All Fields] OR "horticulturist*"[All Fields] OR "farm worker*"[All Fields] OR "gardener*"[All Fields] OR "park worker*"[All Fields] OR "postmen"[All Fields]) OR ("Occupational Diseases"[MeSH Terms] OR "Occupational Exposure"[MeSH Terms] OR "Occupational Health"[MeSH Terms] OR "Occupations"[MeSH Terms] OR "Work"[MeSH Terms])) AND ("Cataract"[MeSH Terms] OR "cataract*"[Text Word])) AND ((humans[Filter]) AND (danish[Filter] OR english[Filter] OR norwegian[Filter] OR swedish[Filter]))	921
Embase	("occupational disease" or "occupational health" or occupation* or pilots* or "flight personnel" or "cabin crew" or astronaut* or NASA or "radium dial painter" or Chernobyl or Mayak or "air force" or "navy" or Urologist* or Anesthesiologist* or anesthetist* or cardiologist* or Urologist* or endoscopist* or orthopaedic* or "radiologic technologist*" or "nuclear medicine personnel" or "dental worker*" or dentist* or "dental staff" or radiographer* or radiologist* or "metal worker*" or welder* or silviculturist* or horticulturist* or "farm worker*" or gardener* or "park worker*" or postmen or "Outdoor work*").mp. [mp=title, abstract, heading word, drug trade name, original title, device manufacturer, drug manufacturer, device trade name, keyword heading word, floating subheading word, candidate term word] AND exp cataract/ or cataract*.mp. [mp=title, abstract, heading word, drug trade name, original title, device manufacturer, drug manufacturer, device trade name, keyword heading word, floating subheading word, candidate term word] LIMIT 30 to (human and (danish or english or norwegian or swedish))	1,378
Cochrane	#1 (cataract*):ti,ab,kw (Word variations have been searched) #2 MeSH descriptor: [Cataract] explode all trees #3 #1 OR #2 #4 MeSH descriptor: [Occupational Diseases] explode all trees #5 pilots* OR (flight NEXT personnel) OR "cabin crew" OR astronaut* OR NASA OR (radium NEXT dial NEXT painter) OR Chernobyl OR Mayak OR "air force" OR "navy" OR Urologist* OR Anesthesiologist* OR anesthetist* OR cardiologist* OR Urologist* OR endoscopist* OR orthopaedic* OR (radiologic NEXT technologist*) OR "nuclear medicine personnel" OR (dental NEXT worker*)	114

	OR dentist* OR "dental staff" OR radiographer* OR radiologist* OR (metal NEXT worker*) OR welder* OR silviculturist* OR horticulturist* OR (farm NEXT worker*) OR gardener* OR (park NEXT worker*) OR postmen OR (Outdoor NEXT work*) #6 MeSH descriptor: [Occupational Exposure] explode all trees #7 MeSH descriptor: [Occupational Health] explode all trees #8 MeSH descriptor: [Accidents, Occupational] explode all trees #9 MeSH descriptor: [Occupational Injuries] explode all trees #10 MeSH descriptor: [Occupations] explode all trees #11 MeSH descriptor: [Work] explode all trees #12 #4 OR #5 OR #6 OR #7 OR #8 OR #9 OR #10 OR #11 #13 #3 AND #12	
Web of science	("Occupational Exposure" OR "work exposure" OR pilots* OR "flight personnel" OR "cabin crew" OR astronaut* OR NASA OR "radium dial painter" OR Chernobyl OR Mayak OR "air force" OR navy or Urologist* OR Anesthesiologist* OR anesthetist* OR cardiologist* PR urologist* OR endoscopist* OR orthopaedic* OR "radiologic technologist*" OR "nuclear medicine personnel" OR "dental worker*" OR dentist* OR "dental staff" OR radiographer* OR radiologist* OR "metal worker*" OR welder* OR silviculturist* OR horticulturist* PR "farm worker*" OR gardener* OR "park worker*" OR postman OR "outdoor work*") AND ((TI=(cataract*)) OR AK=(cataract*)) OR AB=(cataract*) AND English (Languages)	617
BIOSIS	TS=("Occupational Exposure" OR "work exposure" OR pilots* OR "flight personnel" OR "cabin crew" OR astronaut* OR NASA OR "radium dial painter" OR Chernobyl OR Mayak OR "air force" OR navy or Urologist* OR Anesthesiologist* OR anesthetist* OR cardiologist* PR urologist* OR endoscopist* OR orthopaedic* OR "radiologic technologist*" OR "nuclear medicine personnel" OR "dental worker*" OR dentist* OR "dental staff" OR radiographer* OR radiologist* OR "metal worker*" OR welder* OR silviculturist* OR horticulturist* PR "farm worker*" OR gardener* OR "park worker*" OR postman OR "outdoor work*") AND ((TI=(cataract*)) OR AB=(cataract*)) OR MC=(cataract*) AND English (Languages)	246
Open Grey	"cataract"	56

REFERENCER

1. Who I. "Visual impairment and blindness." Fact Sheet (282). 2014.
2. Rao GN, Khanna R, Payal A. The global burden of cataract. *Current Opinion in Ophthalmology* 2011;22(1).
3. Ono K, Hiratsuka Y, Murakami A. Global Inequality in Eye Health: Country-Level Analysis From the Global Burden of Disease Study. *American Journal of Public Health* 2010;100(9):1784-8. doi: 10.2105/AJPH.2009.187930.
4. The International Agency for Prevention of B. Vision Atlas, Causes of Vision Loss, Cataract. 2020.
5. Magnusson G, Haargaard B, Basit S, Lundvall A, Nyström A, Rosensvärd A et al. The Paediatric Cataract Register (PECARE): an overview of operated childhood cataract in Sweden and Denmark. *Acta Ophthalmologica* 2018;96(1):51-5. doi: <https://doi.org/10.1111/aos.13497>.
6. Long E, Lin Z, Chen J, Liu Z, Cao Q, Lin H et al. Monitoring and Morphologic Classification of Pediatric Cataract Using Slit-Lamp-Adapted Photography. *Translational Vision Science & Technology* 2017;6(6):2-. doi: 10.1167/tvst.6.6.2.
7. Hejtmancik JF, Riazuddin SA, McGreal R, Liu W, Cvekl A, Shiels A. Chapter Eleven - Lens Biology and Biochemistry. In: Hejtmancik JF, Nickerson JM, editors. *Progress in Molecular Biology and Translational Science*. 134: Academic Press; 2015. p. 169-201.
8. Hidalgo-Alvarez V, Dhowre HS, Kingston OA, Sheridan CM, Levis HJ. Biofabrication of Artificial Stem Cell Niches in the Anterior Ocular Segment. *Bioengineering* 2021;8(10). doi: 10.3390/bioengineering8100135.
9. Liu Y-C, Wilkins M, Kim T, Malyugin B, Mehta JS. Cataracts. *The Lancet* 2017;390(10094):600-12. doi: 10.1016/S0140-6736(17)30544-5.
10. Klein BEK, Klein R, Lee KE. Incidence of Age-Related Cataract: The Beaver Dam Eye Study. *Archives of Ophthalmology* 1998;116(2):219-25. doi: 10.1001/archopht.116.2.219.
11. Richardson RB, Ainsbury EA, Prescott CR, Lovicu FJ. Etiology of posterior subcapsular cataracts based on a review of risk factors including aging, diabetes, and ionizing radiation. *International Journal of Radiation Biology* 2020;96(11):1339-61. doi: 10.1080/09553002.2020.1812759.
12. Mitchell P, Cumming RG, Attebo K, Panchapakesan J. Prevalence of Cataract in Australia: The Blue Mountains Eye Study. *Ophthalmology* 1997;104(4):581-8. doi: 10.1016/S0161-6420(97)30266-8.
13. The National Eye I. Cataract Tables. 2020.

14. Vinson JA. Oxidative stress in cataracts. *Pathophysiology* 2006;13(3):151-62. doi: <https://doi.org/10.1016/j.pathophys.2006.05.006>.
15. Kanthan GL, Wang JJ, Rochtchina E, Tan AG, Lee A, Chia E-M et al. Ten-Year Incidence of Age-Related Cataract and Cataract Surgery in an Older Australian Population: The Blue Mountains Eye Study. *Ophthalmology* 2008;115(5):808-14.e1. doi: 10.1016/j.ophtha.2007.07.008.
16. Klein BEK, Klein R, Lee KE, Gangnon RE. Incidence of Age-Related Cataract over a 15-Year Interval: The Beaver Dam Eye Study. *Ophthalmology* 2008;115(3):477-82. doi: 10.1016/j.ophtha.2007.11.024.
17. Ang MJ, Afshari NA. Cataract and systemic disease: A review. *Clinical & Experimental Ophthalmology* 2021;49(2):118-27. doi: <https://doi.org/10.1111/ceo.13892>.
18. Zetterberg M, Celojevic D. Gender and Cataract – The Role of Estrogen. *Current Eye Research* 2015;40(2):176-90. doi: 10.3109/02713683.2014.898774.
19. Chua J, Koh JY, Tan AG, Zhao W, Lamoureux E, Mitchell P et al. Ancestry, Socioeconomic Status, and Age-Related Cataract in Asians: The Singapore Epidemiology of Eye Diseases Study. *Ophthalmology* 2015;122(11):2169-78. doi: 10.1016/j.ophtha.2015.06.052.
20. Wang W, Zhang X. Alcohol Intake and the Risk of Age-Related Cataracts: A Meta-Analysis of Prospective Cohort Studies. *PloS one* 2014;9(9):e107820.
21. Pan C-W, Cheng C-y, Saw S-M, Wang JJ, Wong TY. Myopia and Age-Related Cataract: A Systematic Review and Meta-analysis. *American Journal of Ophthalmology* 2013;156(5):1021-33.e1. doi: 10.1016/j.ajo.2013.06.005.
22. Obrosova IG, Chung SSM, Kador PF. Diabetic cataracts: mechanisms and management. *Diabetes/Metabolism Research and Reviews* 2010;26(3):172-80. doi: <https://doi.org/10.1002/dmrr.1075>.
23. Kiziltoprak HTKIM, Goker YS. Cataract in diabetes mellitus. *World journal of diabetes* 2019:140-53.
24. Papadimitriou DT, Bothou C, Skarmoutsos F, Alexandrides TK, Papaevangelou V, Papadimitriou A. The autoimmune hypothesis for acute bilateral cataract in type 1 diabetes. *Diabetes & Metabolism* 2016;42(5):386-7. doi: <https://doi.org/10.1016/j.diabet.2016.04.006>.
25. Salmon JF. Kanski's Clinical Ophthalmology. Elsevier; 2020. p. 307-43.
26. Tang D, Borchman D, Yappert MC, Vrensen GFJM, Rasi V. Influence of Age, Diabetes, and Cataract on Calcium, Lipid-Calcium, and Protein-Calcium Relationships in Human Lenses. *Investigative Ophthalmology & Visual Science* 2003;44(5):2059-66. doi: 10.1167/iovs.02-0345.

27. Brown CJ, Akaichi F. Vitamin D deficiency and posterior subcapsular cataract. *Clinical Ophthalmology* 2015;9(null):1093-8. doi: 10.2147/OPTH.S84790.
28. James ER. The Etiology of Steroid Cataract. *Journal of Ocular Pharmacology and Therapeutics* 2007;23(5):403-20. doi: 10.1089/jop.2006.0067.
29. Cumming RG, Mitchell P. Medications and cataract: The blue mountains eye study. *Ophthalmology* 1998;105(9):1751-8. doi: 10.1016/S0161-6420(98)99049-2.
30. Heruye SH, Maffofou Nkenyi LN, Singh NU, Yalzadeh D, Ngele KK, Njie-Mbye Y-F et al. Current Trends in the Pharmacotherapy of Cataracts. *Pharmaceuticals* 2020;13(1). doi: 10.3390/ph13010015.
31. Linebarger EJ, Hardten DR, Shah GK, Lindstrom RL. Phacoemulsification and Modern Cataract Surgery. *Survey of Ophthalmology* 1999;44(2):123-47. doi: 10.1016/S0039-6257(99)00085-5.
32. Kessel L. Can we meet the future demands for cataract surgery? *Acta Ophthalmologica* 2011;89(3):e289-e90. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1755-3768.2009.01839.x>.
33. Bro T, Behndig A, Viberg A, Zetterberg M, Kugelberg M, Thorburn W et al. Two point four million cataract surgeries: 30-years with the Swedish National Cataract Register 1992-2021. *Journal of cataract and refractive surgery* 2023. doi: 10.1097/j.jcrs.0000000000001209.
34. Lundström M, Barry P, Henry Y, Rosen P, Stenevi U. Visual outcome of cataract surgery; Study from the European Registry of Quality Outcomes for Cataract and Refractive Surgery. *Journal of Cataract & Refractive Surgery* 2013;39(5).
35. Lamoureux EL, Fenwick E, Pesudovs K, Tan D. The impact of cataract surgery on quality of life. *Current Opinion in Ophthalmology* 2011;22(1).
36. Owsley C, Stalvey B, Wells J, Sloane ME. Older Drivers and Cataract: Driving Habits and Crash Risk. *The Journals of Gerontology: Series A* 1999;54(4):M203-M11. doi: 10.1093/gerona/54.4.M203.
37. Harwood RH, Foss AJE, Osborn F, Gregson RM, Zaman A, Masud T. Falls and health status in elderly women following first eye cataract surgery: a randomised controlled trial. *British Journal of Ophthalmology* 2005;89(1):53-. doi: 10.1136/bjo.2004.049478.
38. McGwin G, Owsley C, Gauthreaux S. The association between cataract and mortality among older adults. *Ophthalmic Epidemiology* 2003;10(2):107-19. doi: 10.1076/oep.10.2.107.13900.

39. Glick P, Luoto J, Orrs MS, Oliva MS, Tabin GC, Sanders DS et al. The individual and household impacts of cataract surgery on older blind adults in ethiopia. *Ophthalmic Epidemiology* 2019;26(1):7-18. doi: 10.1080/09286586.2018.1504310.
40. Sharo CMJ, FA;. Ionizing radiation. In: Baxter PT-C, Aw; Cockcroft,A; Durrington,P; Harrington,JM;; editor. *Hunter's diseases of occupations*. London: Hodder Arnold; 2010. p. 621-23.
41. Stewart FA, Akleyev AV, Hauer-Jensen M, Hendry JH, Kleiman NJ, Macvittie TJ et al. ICRP publication 118: ICRP statement on tissue reactions and early and late effects of radiation in normal tissues and organs- threshold doses for tissue reactions in a radiation protection context. *Ann ICRP* 2012;41(1-2):1-322. doi: 10.1016/j.icrp.2012.02.001.
42. Åkerblom gM, I.;Annamäki,M.; Magnusson,S.;Strand,T.; Ulbak,K.;. *Naturally Occurring Radioactivity in the Nordic Countries – Recommendations*. 2000.
43. *Strålebeskyttelse. Myndighedens årsberetning 2020*. København: 2021.
44. Ainsbury EA, Dalke C, Hamada N, Benadjaoud MA, Chumak V, Ginjaume M et al. Radiation-induced lens opacities: Epidemiological, clinical and experimental evidence, methodological issues, research gaps and strategy. *Environment international* 2021;146:106213. doi: 10.1016/j.envint.2020.106213.
45. Hamada N. Noncancer Effects of Ionizing Radiation Exposure on the Eye, the Circulatory System and beyond: Developments made since the 2011 ICRP Statement on Tissue Reactions. *Radiat Res* 2023;200(2):188-216. doi: 10.1667/rade-23-00030.1.
46. Azizova TV, Hamada N, Grigoryeva ES, Bragin EV. Risk of various types of cataracts in a cohort of Mayak workers following chronic occupational exposure to ionizing radiation. *European journal of epidemiology* 2018;33(12):1193-204. doi: 10.1007/s10654-018-0450-4.
47. Little MP, Cahoon EK, Kitahara CM, Simon SL, Hamada N, Linet MS. Occupational radiation exposure and excess additive risk of cataract incidence in a cohort of US radiologic technologists. *Occup Environ Med* 2020;77(1):1-8. doi: 10.1136/oemed-2019-105902.
48. Neriishi K, Nakashima E, Minamoto A, Fujiwara S, Akahoshi M, Mishima HK et al. Postoperative cataract cases among atomic bomb survivors: radiation dose response and threshold. *Radiat Res* 2007;168(4):404-8. doi: 10.1667/rr0928.1.
49. Worgul BV, Kundiye YI, Sergiyenko NM, Chumak VV, Vitte PM, Medvedovsky C et al. Cataracts among Chernobyl clean-up workers: implications regarding permissible eye exposures. *Radiat Res* 2007;167(2):233-43. doi: 10.1667/rr0298.1.

50. Chodick G, Bekiroglu N, Hauptmann M, Alexander BH, Freedman DM, Doody MM et al. Risk of cataract after exposure to low doses of ionizing radiation: a 20-year prospective cohort study among US radiologic technologists. *American journal of epidemiology* 2008;168(6):620-31. doi: 10.1093/aje/kwn171.
51. Simon SL, Weinstock RM, Doody MM, Preston DL, Kwon D, Alexander BH et al. Radiation Organ Doses Received by U.S. Radiologic Technologists: Estimation Methods and Findings. *Radiat Res* 2010. doi: 10.1667/rr2069.1.
52. Simon SL, Preston DL, Linet MS, Miller JS, Sigurdson AJ, Alexander BH et al. Radiation organ doses received in a nationwide cohort of U.S. radiologic technologists: methods and findings. *Radiat Res* 2014;182(5):507-28. doi: 10.1667/rr13542.1.
53. Little MP, Kitahara CM, Cahoon EK, Bernier MO, Velazquez-Kronen R, Doody MM et al. Occupational radiation exposure and risk of cataract incidence in a cohort of US radiologic technologists. *European journal of epidemiology* 2018;33(12):1179-91. doi: 10.1007/s10654-018-0435-3.
54. Bernier MO, Journy N, Villoing D, Doody MM, Alexander BH, Linet MS et al. Cataract Risk in a Cohort of U.S. Radiologic Technologists Performing Nuclear Medicine Procedures. *Radiology* 2018;286(2):592-601. doi: 10.1148/radiol.2017170683.
55. Lim H, Linet MS, Van Dyke ME, Miller DL, Simon SL, Sigurdson AJ et al. Changing Patterns in the Performance of Fluoroscopically Guided Interventional Procedures and Adherence to Radiation Safety Practices in a U.S. Cohort of Radiologic Technologists. *AJR Am J Roentgenol* 2016;207(6):1350-9. doi: 10.2214/ajr.15.15979.
56. Kim KP, Miller DL, Balter S, Kleinerman RA, Linet MS, Kwon D et al. Occupational radiation doses to operators performing cardiac catheterization procedures. *Health Phys* 2008;94(3):211-27. doi: 10.1097/01.Hp.0000290614.76386.35.
57. Vaño E, Gonzalez L, Fernandez JM, Alfonso F, Macaya C. Occupational radiation doses in interventional cardiology: a 15-year follow-up. *Br J Radiol* 2006;79(941):383-8. doi: 10.1259/bjr/26829723.
58. Patel R, Dubin J, Olweny EO, Elsamra SE, Weiss RE. Use of Fluoroscopy and Potential Long-Term Radiation Effects on Cataract Formation. *J Endourol* 2017;31(9):825-8. doi: 10.1089/end.2016.0454.
59. Hammer GP, Scheidemann-Wesp U, Samkange-Zeeb F, Wicke H, Neriishi K, Blettner M. Occupational exposure to low doses of ionizing radiation and cataract development: a systematic literature review and perspectives on future studies. *Radiat Environ Biophys* 2013;52(3):303-19. doi: 10.1007/s00411-013-0477-6.
60. Elmaraezy A, Ebraheem Morra M, Tarek Mohammed A, Al-Habaa A, Elgebaly A, Abdelmotaleb Ghazy A et al. Risk of cataract among interventional cardiologists and catheterization lab staff: A systematic review and meta-analysis. *Catheter Cardiovasc Interv* 2017;90(1):1-9. doi: 10.1002/ccd.27114.

61. Wang FF, Q.; Wan. J.;Yang, X.; Zhu, B.;. Positive association between low-dose ionizing radiation and cataract risk: results from a meta-analysis. *Int J Clin Exp Med* 2018;9(11):15.
62. Ko S, Kang S, Ha M, Kim J, Jun JK, Kong KA et al. Health Effects from Occupational Radiation Exposure among Fluoroscopy-Guided Interventional Medical Workers: A Systematic Review. *J Vasc Interv Radiol* 2018;29(3):353-66. doi: 10.1016/j.jvir.2017.10.008.
63. Della Vecchia E, Modenese A, Loney T, Muscatello M, Silva Paulo M, Rossi G et al. Risk of cataract in health care workers exposed to ionizing radiation: a systematic review. *Med Lav* 2020;111(4):269-84. doi: 10.23749/mdl.v111i4.9045.
64. Alhasan AS, Aalam WA. Eye lens opacities and cataracts among physicians and healthcare workers occupationally exposed to radiation: A systematic review and meta-analysis. *Saudi Med J* 2022;43(7):665-77. doi: 10.15537/smj.2022.43.7.20220022.
65. Velazquez-Kronen R, Borrego D, Gilbert ES, Miller DL, Moysich KB, Freudenheim JL et al. Cataract risk in US radiologic technologists assisting with fluoroscopically guided interventional procedures: a retrospective cohort study. *Occup Environ Med* 2019;76(5):317-25. doi: 10.1136/oemed-2018-105360.
66. Ciraj-Bjelac O, Rehani MM, Sim KH, Liew HB, Vano E, Kleiman NJ. Risk for radiation-induced cataract for staff in interventional cardiology: is there reason for concern? *Catheter Cardiovasc Interv* 2010;76(6):826-34. doi: 10.1002/ccd.22670.
67. Vano E, Kleiman NJ, Duran A, Rehani MM, Echeverri D, Cabrera M. Radiation cataract risk in interventional cardiology personnel. *Radiat Res* 2010;174(4):490-5. doi: 10.1667/rr2207.1.
68. Ciraj-Bjelac O, Rehani M, Minamoto A, Sim KH, Liew HB, Vano E. Radiation-induced eye lens changes and risk for cataract in interventional cardiology. *Cardiology* 2012;123(3):168-71. doi: 10.1159/000342458.
69. Jacob S, Boveda S, Bar O, Brézin A, Maccia C, Laurier D et al. Interventional cardiologists and risk of radiation-induced cataract: results of a French multicenter observational study. *Int J Cardiol* 2013;167(5):1843-7. doi: 10.1016/j.ijcard.2012.04.124.
70. Andreassi MG, Piccaluga E, Guagliumi G, Del Greco M, Gaita F, Picano E. Occupational Health Risks in Cardiac Catheterization Laboratory Workers. *Circ Cardiovasc Interv* 2016;9(4):e003273. doi: 10.1161/circinterventions.115.003273.
71. Matsubara K, Lertsuwunseri V, Srimahachota S, Krisanachinda A, Tulvatana W, Khambhiphant B et al. Eye lens dosimetry and the study on radiation cataract in interventional cardiologists. *Phys Med* 2017;44:232-5. doi: 10.1016/j.ejmp.2017.10.007.

72. Karatasakis A, Brilakis HS, Danek BA, Karacsonyi J, Martinez-Parachini JR, Nguyen-Trong PJ et al. Radiation-associated lens changes in the cardiac catheterization laboratory: Results from the IC-CATARACT (CATaracts Attributed to RAdiation in the CaTh lab) study. *Catheter Cardiovasc Interv* 2018;91(4):647-54. doi: 10.1002/ccd.27173.
73. Domienik-Andrzejewska J, Kałużny P, Piernik G, Jurewicz J. Occupational exposure to ionizing radiation and lens opacity in interventional cardiologists. *Int J Occup Med Environ Health* 2019;32(5):663-75. doi: 10.13075/ijomeh.1896.01456.
74. Rose A, Rae WID, Sweetlove MA, Ngetu L, Benadjaoud MA, Marais W. Radiation induced cataracts in interventionalists occupationally exposed to ionising radiation. *SA J Radiol* 2022;26(1):2495. doi: 10.4102/sajr.v26i1.2495.
75. Versant. Flight Crews and Radiation Exposure Michigan, USA: Versant Medical Physics & Radiation Safety.
76. Cucinotta FA, Manuel FK, Jones J, Iszard G, Murrey J, Djojonegro B et al. Space radiation and cataracts in astronauts. *Radiat Res* 2001;156(5 Pt 1):460-6. doi: 10.1667/0033-7587(2001)156[0460:srcia]2.0.co;2.
77. Chylack LT, Jr., Peterson LE, Feiveson AH, Wear ML, Manuel FK, Tung WH et al. NASA study of cataract in astronauts (NASCA). Report 1: Cross-sectional study of the relationship of exposure to space radiation and risk of lens opacity. *Radiat Res* 2009;172(1):10-20. doi: 10.1667/rr1580.1.
78. Chylack LT, Jr., Feiveson AH, Peterson LE, Tung WH, Wear ML, Marak LJ et al. NASCA report 2: Longitudinal study of relationship of exposure to space radiation and risk of lens opacity. *Radiat Res* 2012;178(1):25-32. doi: 10.1667/rr2876.1.
79. Strålebeskyttelse. Industriel radiografi. København: Sundhedsstyrelsen, 2021.
80. Azizova TV, Bragin EV, Hamada N, Bannikova MV. Risk of Cataract Incidence in a Cohort of Mayak PA Workers following Chronic Occupational Radiation Exposure. *PloS one* 2016;11(10):e0164357. doi: 10.1371/journal.pone.0164357.
81. Diffey BL, Jansén CT, Urbach F, Wulf HC. The standard erythema dose: a new photobiological concept. *Photodermatol Photoimmunol Photomed* 1997;13(1-2):64-6. doi: 10.1111/j.1600-0781.1997.tb00110.x.
82. Wulf HC, Eriksen P. [UV index and its implications]. *Ugeskrift for læger* 2010;172(17):1277-9.
83. Grandahl K, Eriksen P, Ibler KS, Bonde JP, Mortensen OS. Measurements of Solar Ultraviolet Radiation Exposure at Work and at Leisure in Danish Workers. *Photochemistry and photobiology* 2018;94(4):807-14. doi: 10.1111/php.12920.

84. Diffey BL. Solar ultraviolet radiation effects on biological systems. *Phys Med Biol* 1991;36(3):299-328. doi: 10.1088/0031-9155/36/3/001.
85. Wittlich M, Westerhausen S, Strehl B, Versteeg H, Stöppelmann W. The GENESIS-UV study on ultraviolet radiation exposure levels in 250 occupations to foster epidemiological and legislative efforts to combat nonmelanoma skin cancer. *The British journal of dermatology* 2023;188(3):350-60. doi: 10.1093/bjd/ljac093.
86. Pitts DG, Cullen AP, Hacker PD. Ocular effects of near ultraviolet radiation: literature review. *Am J Optom Physiol Opt* 1977;54(8):542-9. doi: 10.1097/00006324-197708000-00010.
87. Merriam JC, Löfgren S, Michael R, Söderberg P, Dillon J, Zheng L et al. An action spectrum for UV-B radiation and the rat lens. *Investigative ophthalmology & visual science* 2000;41(9):2642-7.
88. Hollows F, Moran D. Cataract--the ultraviolet risk factor. *Lancet (London, England)* 1981;2(8258):1249-50. doi: 10.1016/s0140-6736(81)91490-2.
89. Brilliant LB, Grasset NC, Pokhrel RP, Kolstad A, Lepkowski JM, Brilliant GE et al. Associations among cataract prevalence, sunlight hours, and altitude in the Himalayas. *American journal of epidemiology* 1983;118(2):250-64. doi: 10.1093/oxfordjournals.aje.a113632.
90. Hiller R, Sperduto RD, Ederer F. Epidemiologic associations with nuclear, cortical, and posterior subcapsular cataracts. *American journal of epidemiology* 1986;124(6):916-25. doi: 10.1093/oxfordjournals.aje.a114481.
91. Sasaki H, Kawakami Y, Ono M, Jonasson F, Shui YB, Cheng HM et al. Localization of cortical cataract in subjects of diverse races and latitude. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2003;44(10):4210-4. doi: 10.1167/iovs.01-1221.
92. West S. Ocular ultraviolet B exposure and lens opacities: a review. *J Epidemiol* 1999;9(6 Suppl):S97-101. doi: 10.2188/jea.9.6sup_97.
93. Taylor HR, West SK, Rosenthal FS, Muñoz B, Newland HS, Abbey H et al. Effect of ultraviolet radiation on cataract formation. *The New England journal of medicine* 1988;319(22):1429-33. doi: 10.1056/nejm198812013192201.
94. Cruickshanks KJ, Klein BE, Klein R. Ultraviolet light exposure and lens opacities: the Beaver Dam Eye Study. *Am J Public Health* 1992;82(12):1658-62. doi: 10.2105/ajph.82.12.1658.
95. West SK, Duncan DD, Muñoz B, Rubin GS, Fried LP, Bandeen-Roche K et al. Sunlight exposure and risk of lens opacities in a population-based study: the Salisbury Eye Evaluation project. *Jama* 1998;280(8):714-8. doi: 10.1001/jama.280.8.714.

96. Li X, Cao X, Yu Y, Bao Y. Correlation of Sunlight Exposure and Different Morphological Types of Age-Related Cataract. *Biomed Res Int* 2021;2021:8748463. doi: 10.1155/2021/8748463.
97. Lee J, Kang SK. Sunlight exposure, occupational group and eye disorders in an economically active population: data from the KNHANES 2008-2012. *Safety and Health at Work* 2022;13(Supplement):S128.
98. Lucas R, McMichael T, Smith W, Armstrong BK, Prüss-Üstün A, Organization WH. Solar ultraviolet radiation: global burden of disease from solar ultraviolet radiation: World Health Organization; 2006.
99. Yu JM, Yang DQ, Wang H, Xu J, Gao Q, Hu LW et al. Prevalence and risk factors of lens opacities in rural populations living at two different altitudes in China. *Int J Ophthalmol* 2016;9(4):610-6. doi: 10.18240/ijo.2016.04.23.
100. Neale RE, Lucas RM, Byrne SN, Hollestein L, Rhodes LE, Yazar S et al. The effects of exposure to solar radiation on human health. *Photochem Photobiol Sci* 2023;22(5):1011-47. doi: 10.1007/s43630-023-00375-8.
101. Pastor-Valero M, Fletcher AE, de Stavola BL, Chaqués-Alepúz V. Years of sunlight exposure and cataract: a case-control study in a Mediterranean population. *BMC Ophthalmol* 2007;7:18. doi: 10.1186/1471-2415-7-18.
102. Rim TH, Kim MH, Kim WC, Kim TI, Kim EK. Cataract subtype risk factors identified from the Korea National Health and Nutrition Examination survey 2008-2010. *BMC Ophthalmol* 2014;14:4. doi: 10.1186/1471-2415-14-4.
103. Athanasiov PA, Casson RJ, Sullivan T, Newland HS, Shein WK, Muecke JS et al. Cataract in rural Myanmar: prevalence and risk factors from the Meiktila Eye Study. *Br J Ophthalmol* 2008;92(9):1169-74. doi: 10.1136/bjo.2008.139725.
104. Megbele Y, Lam KB, Sadhra S. Risks of cataract in Nigerian metal arc welders. *Occupational medicine (Oxford, England)* 2012;62(5):331-6. doi: 10.1093/occmed/kqs034.
105. Perkins ES. The association between pinguecula, sunlight and cataract. *Ophthalmic Res* 1985;17(6):325-30. doi: 10.1159/000265395.
106. Leske MC, Chylack Jr LT, Wu SY. The Lens Opacities Case-Control Study. Risk factors for cataract. *Archives of Ophthalmology* 1991;109(2):244-51.
107. Risk factors for age-related cortical, nuclear, and posterior subcapsular cataracts. The Italian-American Cataract Study Group. *American journal of epidemiology* 1991;133(6):541-53.

108. Theodoropoulou S, Theodossiadis P, Samoli E, Vergados I, Lagiou P, Tzonou A. The epidemiology of cataract: a study in Greece. *Acta Ophthalmol* 2011;89(2):e167-73. doi: 10.1111/j.1755-3768.2009.01831.x.
109. Ughade SN, Zodpey SP, Khanolkar VA. Risk factors for cataract: a case control study. *Indian J Ophthalmol* 1998;46(4):221-7.
110. Michael R. Development and repair of cataract induced by ultraviolet radiation. *Ophthalmic Res* 2000;32 Suppl 1:ii-iii; 1-44.
111. Ayala MN, Michael R, Söderberg PG. Influence of exposure time for UV radiation-induced cataract. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2000;41(11):3539-43.
112. Neale RE, Purdie JL, Hirst LW, Green AC. Sun exposure as a risk factor for nuclear cataract. *Epidemiology (Cambridge, Mass)* 2003;14(6):707-12. doi: 10.1097/01.ede.0000086881.84657.98.
113. Tenkate TD. Optical radiation hazards of welding arcs. *Rev Environ Health* 1998;13:131-46.
114. Slagor RM, La Cour M, Bonde JP. The risk of cataract in relation to metal arc welding. *Scandinavian journal of work, environment & health* 2016;42(5):447-53. doi: 10.5271/sjweh.3572.
115. Emmett EA, Buncher CR, Suskind RB, Rowe KW, Jr. Skin and eye diseases among arc welders those exposed to welding operations. *J Occup Med* 1981;23(2):85-90. doi: 10.1097/00043764-198102000-00010.
116. Davies KG, Asanga U, Nku CO, Osim EE. Effect of chronic exposure to welding light on Calabar welders. *Niger J Physiol Sci* 2007;22(1-2):55-8. doi: 10.4314/njps.v22i1-2.54895.
117. Bochow TW, West SK, Azar A, Munoz B, Sommer A, Taylor HR. Ultraviolet light exposure and risk of posterior subcapsular cataracts. *Arch Ophthalmol* 1989;107(3):369-72. doi: 10.1001/archopht.1989.01070010379027.
118. Bhumika N, Prabhu GV, Ferreira AM, Kulkarni MK, Vaz FS, Singh Z. Respiratory morbidity among welders in the shipbuilding industry, Goa. *Indian J Occup Environ Med* 2012;16(2):63-5. doi: 10.4103/0019-5278.107069.
119. Alexander V, Sindhu KN, Zechariah P, Resu AV, Nair SR, Kattula D et al. Occupational safety measures and morbidity among welders in Vellore, Southern India. *International journal of occupational and environmental health* 2016;22(4):300-6. doi: 10.1080/10773525.2016.1228287.
120. Kumari RK, N.; Hazra, S.; Paul, U.; Bandyopadhyay, A.; . Risks of Cataract in Metal Arc Welders in Kishanganj, Bihar. *Int J Sci Stud* 2016;4(8):143-45.

121. Praveena, Manohar JM, Kumar A. Prevalence and pattern of ocular disorders due to chronic exposure to arc welding among occupational welders in Western Rajasthan. *J Family Med Prim Care* 2022;11(6):2620-6. doi: 10.4103/jfmpc.jfmpc_1880_21.
122. Vos JJ, van Norren D. Thermal cataract, from furnaces to lasers. *Clin Exp Optom* 2004;87(6):372-6. doi: 10.1111/j.1444-0938.2004.tb03097.x.
123. Söderberg PG, Talebizadeh N, Yu Z, Galichanin K. Does infrared or ultraviolet light damage the lens? *Eye (Lond)* 2016;30(2):241-6. doi: 10.1038/eye.2015.266.
124. Lydahl E, Philipson B. Infrared radiation and cataract. I. Epidemiologic investigation of iron- and steel-workers. *Acta Ophthalmol (Copenh)* 1984;62(6):961-75. doi: 10.1111/j.1755-3768.1984.tb08449.x.
125. Lydahl E, Philipson B. Infrared radiation and cataract II. Epidemiologic investigation of glass workers. *Acta Ophthalmol (Copenh)* 1984;62(6):976-92. doi: 10.1111/j.1755-3768.1984.tb08450.x.
126. Yu Y, Yao K. Non-thermal cellular effects of lowpower microwave radiation on the lens and lens epithelial cells. *J Int Med Res* 2010;38(3):729-36. doi: 10.1177/147323001003800301.
127. Elder JA. Ocular effects of radiofrequency energy. *Bioelectromagnetics* 2003;Suppl 6:S148-61. doi: 10.1002/bem.10117.
128. Vignal R, Crouzier D, Dabouis V, Debouzy JC. [Effects of mobile phones and radar radiofrequencies on the eye]. *Pathol Biol (Paris)* 2009;57(6):503-8. doi: 10.1016/j.patbio.2008.09.003.
129. Bede-Ojimadu O, Orish CN, Bocca B, Ruggieri F, Frazzoli C, Orisakwe OE. Trace elements exposure and risk in age-related eye diseases: a systematic review of epidemiological evidence. *J Environ Sci Health C Toxicol Carcinog* 2021;39(3):293-339. doi: 10.1080/26896583.2021.1916331.
130. Schaumberg DA, Mendes F, Balaram M, Dana MR, Sparrow D, Hu H. Accumulated lead exposure and risk of age-related cataract in men. *Jama* 2004;292(22):2750-4. doi: 10.1001/jama.292.22.2750.
131. Beebe DC. Lead exposure and cataract risk in men. *Jama* 2005;293(14):1724; author reply -5. doi: 10.1001/jama.293.14.1724-a.
132. Wang W, Schaumberg DA, Park SK. Cadmium and lead exposure and risk of cataract surgery in U.S. adults. *International journal of hygiene and environmental health* 2016;219(8):850-6. doi: 10.1016/j.ijheh.2016.07.012.
133. See LC, Chiou HY, Lee JS, Hsueh YM, Lin SM, Tu MC et al. Dose-response relationship between ingested arsenic and cataracts among residents in Southwestern Taiwan. *J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng* 2007;42(12):1843-51. doi: 10.1080/10934520701566884.

134. Andersson N, Ajwani MK, Mahashabde S, Tiwari MK, Muir MK, Mehra V et al. Delayed eye and other consequences from exposure to methyl isocyanate: 93% follow up of exposed and unexposed cohorts in Bhopal. *British journal of industrial medicine* 1990;47(8):553-8. doi: 10.1136/oem.47.8.553.
135. Tiukina GA. [Some peculiarities of the clinical aspects of trinitrotoluene cataract]. *Vestn Oftalmol* 1967;80(3):43-7.
136. Kruse A, Hertel M, Hindsholm M, Viskum S. Trinitrotoluene (TNT)-induced cataract in Danish arms factory workers. *Acta Ophthalmol Scand* 2005;83(1):26-30. doi: 10.1111/j.1600-0420.2005.00361.x.
137. Zhou AS. A clinical study of trinitrotoluene cataract. *Pol J Occup Med* 1990;3(2):171-6.
138. Härkönen H, Kärki M, Lahti A, Savolainen H. Early equatorial cataracts in workers exposed to trinitrotoluene. *Am J Ophthalmol* 1983;95(6):807-10. doi: 10.1016/0002-9394(83)90070-3.
139. Lewis-Younger CR, Mamalis N, Egger MJ, Wallace DO, Lu C. Lens opacifications detected by slitlamp biomicroscopy are associated with exposure to organic nitrate explosives. *Arch Ophthalmol* 2000;118(12):1653-9. doi: 10.1001/archopht.118.12.1653.
140. Sarwat S, Akhtar A, Dayan SFA, Shaheen N, Durrani HS, Usman T et al. Ring-shaped cataract and urinary metabolites among 2,4,6-trinitrotoluene exposed population of Pakistan. *Int Ophthalmol* 2022;42(8):2619-24. doi: 10.1007/s10792-022-02252-2.
141. Saffle JR, Crandall A, Warden GD. Cataracts: a long-term complication of electrical injury. *J Trauma* 1985;25(1):17-21.
142. Reddy SC. Electric cataract: a case report and review of the literature. *Eur J Ophthalmol* 1999;9(2):134-8. doi: 10.1177/112067219900900211.
143. Kaergaard A, Nielsen KJ, Carstensen O, Biering K. Electrical injury and the long-term risk of cataract: A prospective matched cohort study. *Acta Ophthalmol* 2023;101(1):e88-e94. doi: 10.1111/aos.15220.
144. Parihar J, Angra SK, Sen PR, Verma SC, Mann SS. STUDY OF TRAUMATIC CATARACT IN OCCUPATIONAL AND ENVIRONMENTAL TRAUMA AND ITS MANAGEMENT. *Med J Armed Forces India* 1998;54(1):41-3. doi: 10.1016/s0377-1237(17)30406-9.
145. Dannenberg AL, Parver LM, Brechner RJ, Khoo L. Penetration eye injuries in the workplace. The National Eye Trauma System Registry. *Arch Ophthalmol* 1992;110(6):843-8. doi: 10.1001/archopht.1992.01080180115038.
146. Okoye GS, Gurnani B. Traumatic Cataract 2023 2023/8//.

147. Herdt-Losavio ML, Lin S, Chapman BR, Hooiveld M, Olshan A, Liu X et al. Maternal occupation and the risk of birth defects: an overview from the National Birth Defects Prevention Study. *Occup Environ Med* 2010;67(1):58-66. doi: 10.1136/oem.2009.048256.

148. Lin S, Herdt-Losavio ML, Chapman BR, Munsie JP, Olshan AF, Druschel CM. Maternal occupation and the risk of major birth defects: a follow-up analysis from the National Birth Defects Prevention Study. *International journal of hygiene and environmental health* 2013;216(3):317-23. doi: 10.1016/j.ijheh.2012.05.006.

149. Lim H, Agopian AJ, Whitehead LW, Beasley CW, Langlois PH, Emery RJ et al. Maternal occupational exposure to ionizing radiation and major structural birth defects. *Birth Defects Res A Clin Mol Teratol* 2015;103(4):243-54. doi: 10.1002/bdra.23340.

150. Dimich-Ward H, Hertzman C, Teschke K, Hershler R, Marion SA, Ostry A et al. Reproductive effects of paternal exposure to chlorophenolate wood preservatives in the sawmill industry [see comments]

980. *Scandinavian journal of work, environment & health* 1996;22(4):267-73.

151. Desrosiers TA, Herring AH, Shapira SK, Hooiveld M, Luben TJ, Herdt-Losavio ML et al. Paternal occupation and birth defects: findings from the National Birth Defects Prevention Study. *Occup Environ Med* 2012;69(8):534-42. doi: 10.1136/oemed-2011-100372.