

Statusartikel

Klinisk fysiologi og klassisk nuklearmedicin

Jane Simonsen^{1, 2}, Mads Radmer Jensen³ & Christian Høyer⁴

1) Nuklearmedicinsk Afdeling, Odense Universitetshospital, 2) Klinisk Institut, Syddansk Universitet, 3) Klinisk fysiologisk/Nuklearmedicinsk Afdeling, Københavns Universitetshospital – Bispebjerg og Frederiksberg Hospital, 4) Fysiologisk Klinik, Regionshospitalet Viborg, Hospitalsenhed Midt

Ugeskr Læger 2026;188:V10250798. doi: 10.61409/V10250798

HOVEDBUDSKABER

- Klinisk fysiologi og nuklearmedicin tilbyder mangeartede undersøgelser tilpasset den lokale efterspørgsel.
- Diagnostik og funktionsmåling udføres med eller uden ioniserende stråling.
- Funktionel og strukturel billeddannelse supplerer ofte hinanden.
- Radionuklidterapi er præcis strålebehandling.

Klinisk fysiologi og nuklearmedicin blev godkendt som lægeligt speciale af Sundhedsstyrelsen i 1982 [1]. Indtil da udførtes klinisk fysiologiske funktionsundersøgelser typisk i centrallaboratorier og radiokemiske analyser foruden billeddiagnostik i isotoplaboratorier. Fælles var en dybdegående forståelse af organfysiologi samt et solidt kendskab til strålebiologi og kinetik. Disse principper er stadig centrale inden for funktionsdiagnostik [2]. I takt med den hastige udvikling har PET fået en dominerende plads, men der findes fortsat en række indikationer, hvor klinisk fysiologiske og klassisk nuklearmedicinske undersøgelser spiller en vigtig rolle (Tabel 1).

TABEL 1 Oversigt over de mest almindelige undersøgelser inden for klinisk fysiologi og klassisk nuklearmedicin (PET-undersøgelser ej medtaget) fordelt på organsystemer. Listen er ikke udtømmende, og det skal bemærkes, at der kan være lokale forskelle på, hvilke undersøgelser der kan tilbydes.

Organsystem/ område	Undersøgelse	Mest almindelige indikation
Hjerte	Myokardieskintigrafi	Iskæmiudredning Abnormt afgående koronararterier
	Maksimal iltoptagelse med arbejds-ekg	Dyspnøudredning
	Amyloidoseskintigrafi	Kardiel ATTR-amyloidose
	Isotopkardiografi (MUGA)	LVEF-bestemmelse
	MIBG-skintigrafi	Hjertets innervering
	Vippelejetest	Synkopeudredning
Lunger	Lungefunktionsundersøgelse, evt. med reversibilitetstest	Dyspnøudredning
	Provokationstest (f.eks. eukapnisk voluntær hyperventilationstest)	Astmaudredning
	Ventilations-/perfusionsskintigrafi	Lungeemboli Højre/venstre-shunt
	Regional lungeskintigrafi	Planlagt lungekirurgi
Kredsløb	Distal blodtryksmåling på over- og under-ekstremiteter, evt. med gangbåndsbelastning	Perifer arteriel sygdom
	Hudperfusionstryk	Sårhelingspotentiale
	Transkutan iltension (tcpO ₂)	Sårhelingspotentiale
	Kuldeprovokation med fingerblodtryksmåling eller termografi	Raynauds fænomen
	Karultralud	Carotisstenose Venøs insufficiens Kontrol efter karkirurgi Nyrearteriestenose Dialysefistel
	Døgnblodtryk	Hypertension
	Blodvolumenbestemmelse	Bestemmelse af tørvægt hos dialysepatienter og hjertepatienter Karakteristik af myeloproliferative neoplasier
	Lymfeskintigrafi	Abnorm lymfedrænage Lymfekarlækage Sentinel node-diagnostik
	Kompartmenttrykmåling	Kronisk kompartmentsyndrom
Endokrinologi	Thyroideaskintigrafi	Hyperthyreose Knuder i glandula thyroidea
	Thyroideaultralud med finnålsaspiration	Knuder i glandula thyroidea
	Parathyroideaskintigrafi	Præoperativ lokaliseringsdiagnostik af parathyroideaadenom
	Binyremarvskintigrafi (MIBG)	Fækromocytom Neuroblastom
	Binyrebarkskintigrafi	Cushings syndrom Conns syndrom Hyperandrogenisme
Nyrer	Renografi	Funktionsfordeling Afløbshindring Nyrearteriestenose Nyregraft
	Miktionscystoureterografi	Vesikoureteral reflux
	Bestemmelse af glomerulær filtrationsrate	Præcis nyrefunktionsmåling
	Nyreskintigrafi	Pyelonefritis Nyreinfarkt

Fortsættes >

TABEL 1 FORTSAT Oversigt over de mest almindelige undersøgelser inden for klinisk fysiologi og klassisk nuklearmedicin (PET-undersøgelser ej medtaget) fordelt på organsystemer. Listen er ikke udtømmende, og det skal bemærkes, at der kan være lokale forskelle på, hvilke undersøgelser der kan tilbydes.

Organsystem/ område	Undersøgelse	Mest almindelige indikation
Knoglesystem	Knogleskintigrafi	Knoglemetastaseudredning Hypermetaboliske tilstande Proteseløshed Reumatologiske lidelser Komplekst regionalt smertesyndrom
	DXA-skanning	Osteoporose Bestemmelse af helkrops-sammensætning
Lever/ galdeveje	Galdevejsskintigrafi	Galdevejsobstruktion Galdelækage Galdevejsatresi hos nyfødte
	SeHCAT	Galdesyremalabsorption/-tab
	Levervenekateterisation	Estimering af portaltrykket
	Leverelastimetri	Bestemmelse af leverfibrosegrad
Gastro- intestinalt	Meckels divertikelskintigrafi	Meckels divertikel
	Ventrikeltømning	Gastroparese
	Miltskintigrafi	Påvisning af bimilte
	Spytkirtelskintigrafi	Spytkirteldysfunktion
	Splanchnicusperfusionsmåling	Kronisk mesenteriel iskæmi
	Blødningsskintigrafi	Lokalisation af pågående gastrointestinal blødning
Andet	Leukocytskintigrafi	Protesenære infektioner
	Tårevejsskintigrafi	Tåreflåd
Hjerne	DaT-skanning	Parkinsonudredning

ATTR = amyloid transthyretin amyloidose; DaT = dopamintransporter; DXA = dual-energy X-ray absorptiometry; LVEF = left ventricular ejection fraction; MIBG = metaiodobenzylguanidin; MUGA = multiple gated acquisition; SeHCAT = selenium homocholic acid taurine.

Billed- og laboratoriediagnostik

Nuklearmedicinske undersøgelser benytter tracerprincippet, hvor biodistributionen af et molekyle kan registreres efter kobling til et radionuklid. Med gammakamera kan gammaemissionen fra radioaktive henfald afbildes ved skintigrafi [3]. Derved gengives dynamiske processer i den levende organisme, og nuklearmedicin kaldes derfor også funktionel billeddiagnostik eller molecular imaging. Nogle radioisotoper har ingen eller ringe billeddannende egenskaber, og de detekteres i andre former for gammatællere. Stort set alle nuklearmedicinske undersøgelser kræver forudgående radiofarmaciarbejde i form af radioaktivitetsmærkning af sporstoffer.

Klinisk fysiologiske undersøgelsesmetoder omfatter måling af tryk, strømningshastighed, stofkoncentration,

stofskifte og rumfang m.m. En række af specialaets afdelinger råder over apparatur til bl.a. lungefunktionsundersøgelse, UL-skanning, iltoptagelsesmåling, invasiv og noninvasiv trykmåling, osteodensitometri (DXA) og adgang til interventionsstuer, se **Figur 1**. Flere af modaliteterne findes også i andre specialer, og lokale forhold har betydning for undersøgelsesudbuddet.

FIGUR 1 Eksempler på fysiologiske undersøgelser. **A.** Distal blodtryksmåling på tå- og ankelniveau med laser-Doppler-flowmetri. **B.** Maksimal iltoptagelsestest som led i dyspnø-udredning. Ud fra ændringer i gasudvekslingen under arbejdsbelastning kan en række kardielle og pulmonale parametre vurderes. **C.** Doppler-UL-skanning af halskar med henblik på stenoser. **D.** Levervenekateterisation til estimering af portaltrykket. Alle fotos bringes med patienters og personales tilladelse.



De avancerede laboratorier stiller høje krav til reproducerbarhed og validitet. Minutøs kvalitetskontrol udføres i et samarbejde mellem læger, fysikere, ingeniører, kemikere, farmaceuter, bioanalytikere, sygeplejersker, radiografer m.fl. og inspiceres af Lægemiddelstyrelsen og Statens Institut for Strålebeskyttelse.

Radioaktive lægemidler

Radioaktivt mærkede lægemidler kan være eksogene medikamina, der benytter kroppens transport- og optagelsesmekanismer, og endogene markører som f.eks. autologe blodkomponenter, signalstoffer eller receptorer. Principielt kan alle organsystemer og sygdomsprocesser undersøges, hvis der findes et egnet sporstof med en passende omsætningshastighed. Radionukliderne købes hjem i væske- eller kapselform eller elueres fra en generator. Sporstoffer kan indgives intravenøst, peroralt, intradermalt eller subkutant, og de kan instilleres i hulrum.

Som betegnelsen molekylær billeddannelse antyder, er der ofte tale om mærkning af ganske små doser lægemidler, idet detektorernes følsomhed tillader registrering af minimale mængder radioaktivitet. Det muliggør karakterisering af fysiologiske og patofysiologiske processer uden påvirkning af disse, hvilket er centralt for pålideligheden af resultatet og betyder, at bivirkninger er sjældne. Præcis registrering af små radioaktivitetsmængder gør det muligt at kvantificere aktiviteten.

De fleste undersøgelser er noninvasive. I nogle tilfælde ønsker man at vurdere, om sporstofudskillelsen kan stimuleres, og galdevejsskintigrafi kan udbygges med indtagelse af mælkeprodukter eller indgift af kolecystokininanalog, ligesom renografi kan suppleres med diuretikum, og spytkirtlernes respons på citronsaft indgår i en spytkirtelskintigrafi.

Billedoptagelse

Gammakameraer findes i forskellige størrelser og udgaver. På mange af dem er kamerahovederne bevægelige, hvilket muliggør skintigrafi hos sengeliggende, siddende eller stående patienter samt optagelser i forskellige vinkler, hvilket ikke lader sig gøre med PET. Ved at lade detektorerne bevæge sig langs patienten kan man lave helkropsoptagelser, og ved brug af mere langlivede isotoper kan man foretage skintigrafi flere dage efter sporstofindgift. Når radionuklidet er fordelt i vævet, kan billedoptagelse gentages uden yderligere strålebelastning til forskel fra røntgenundersøgelser, hvor hver gennemlysning bidrager til den samlede stråledosis.

Planare (todimensionelle) billeder gengiver gammaemissionerne direkte og øjeblikkeligt, hvilket gør dem særligt velegnede til fremstilling af dynamiske processer. Et eksempel er lymfeskintigrafi, hvor man efter indgift af en beskeden aktivitetsmængde f.eks. distalt på en ekstremitet følger lymfens løb proksimalt og derved får fremstillet eventuel abnorm lymfedrænage (**Figur 2**).

FIGUR 2 A. Lymfeskintigrafi af underekstremiteterne set forfra 120 minutter efter injektion af tracer intradermalt i tåinterstitierne (røde pile). Undersøgelsen viser svært patologisk lymfedrænage for højre underekstremitet med dermal backflow og manglende fremstilling af højresidige ingvinale lymfeknuder, mens der på venstre side ses hurtigt afløb fra injektionsområdet og sporstofoptagelse i de ingvinale lymfeknuder. Undersøgelsen er et eksempel på en modificeret helkropsoptagelse, hvor kamerahovederne kører langs kroppen og derved fremstiller et større område, end den enkelte detektor dækker. **B.** Klinisk foto af patienten. Foto bringes med patientens tilladelse.

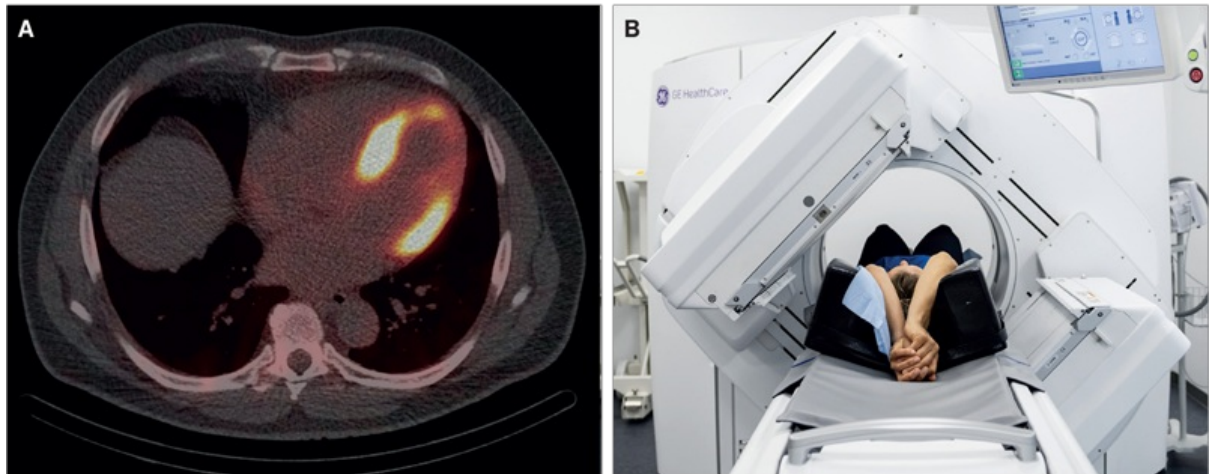


Tomografiske (tredimensionelle) billeder bliver til efter rekonstruktion af rådata optaget hele vejen rundt om patienten og kræver højere aktivitetsmængder for et passende forhold mellem signal og støj. Ved hybridbilleddannelse kombineres en single-photon emission computed tomography (SPECT) med en CT, og resultatet er både en anatomisk lokalisering af sporstofoptagelsen og en dæmpningskorrektur, der skalerer signalerne efter vævstykkelse. Et eksempel ses i **Figur 3**.

FIGUR 3 HjerTEAMYLOIDOSESKANNING med brug af knogletraceren bisfosfonat.

A. Myokardium med kraftig sporstofoptagelse, der sandsynliggør tilstedeværelsen af transthyretinamyloidaflejring og i visse tilfælde kan overflødig gøre hjertebiopsi.

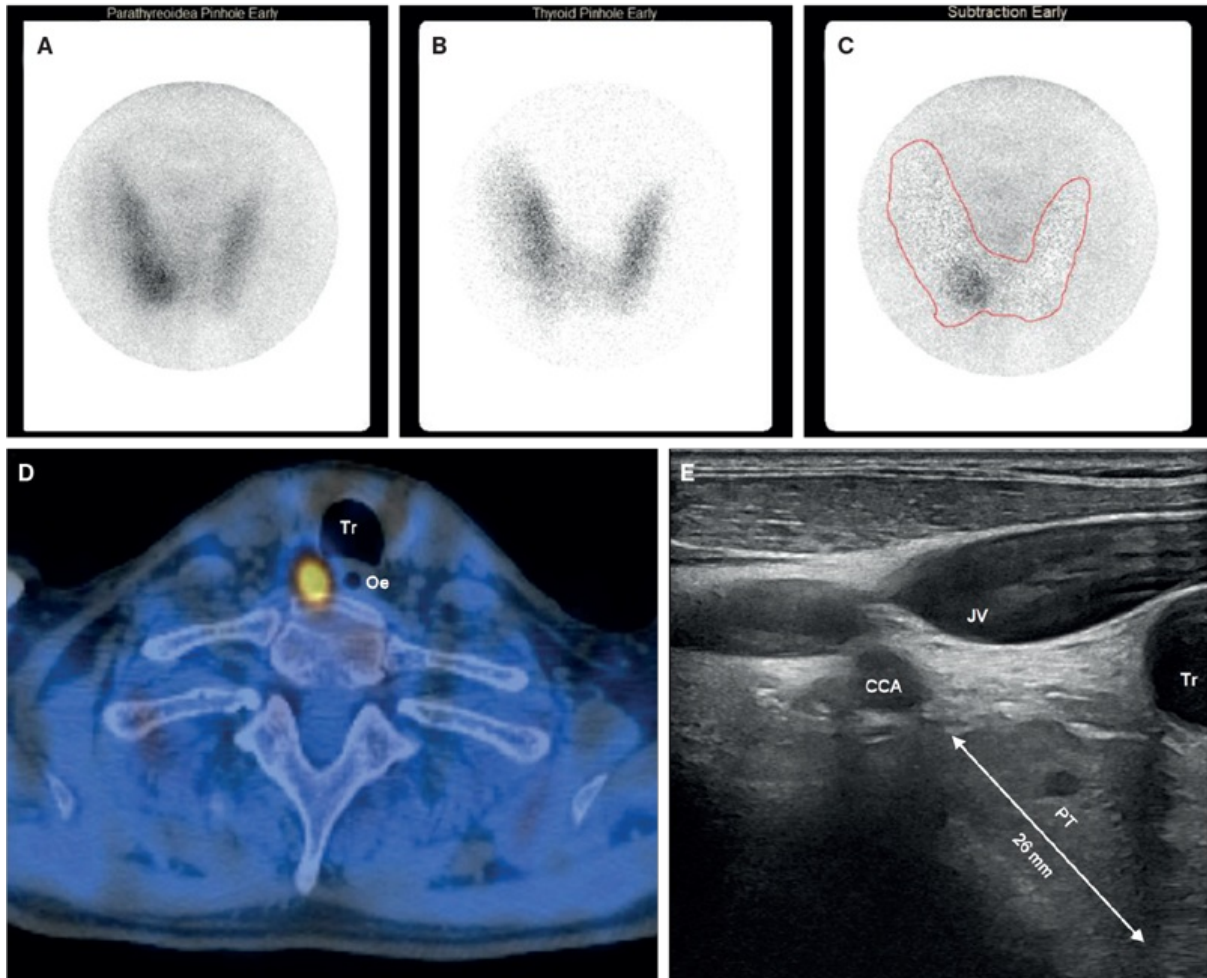
B. Undersøgelsen udføres på et tohovedet SPECT/CT-kamera og er et eksempel på hybridbilleddannelse, hvor de to gammadetektorer roterer om patienten og derved genererer en tredimensionel optagelse, der fusioneres med CT til nærmere lokaliseringsdiagnostik.



SPECT = single-photon emission computed tomography.

Modsat PET-skannere tillader gammakameraer simultan registrering af gammastråling med forskellige energier. Dette udnyttes ved dual isotopundersøgelser, hvor man sammenholder forskellige signaler i én optagelse og ved digital subtraktion fremstiller forskellene mellem dem. Det anvendes bl.a. ved lungeventilations- og perfusionsskintigrafi samt ved parathyroideaskintigrafi som vist i **Figur 4**.

FIGUR 4 Præoperativ påvisning af hyperfungerende gl. parathyroidea. **A. + B.** Indledende planar optagelse med simultan skintigrafi af technetium-99m-sestamibi, der optages i både gl. thyroidea og gl. parathyroidea, og iod-123, der optages i gl. thyroidea. **C.** Forskellen mellem A og B viser tegn på adenom ved højre thyroidealaps kaudale pol. **D.** Den nærmere lokalisering fremstilles ved subtraktions-SPECT/CT, der viser profund beliggenhed klos på trachea (Tr) og øsofagus (Oe). **E.** Ved UL er parathyroideaadenomet (PT) hypoekkoisk og tæt relateret til vitale strukturer som v. jugularis interna (JV) og a. carotis communis (CCA).



SPECT = single-photon emission computed tomography.

Klinisk brug

Klinisk fysiologi og nuklearmedicin finder bred anvendelse. Nogle undersøgelser er diagnostiske per se eller supplerende til anden diagnostik, som f.eks. når der ønskes en funktionsvurdering, efter de anatomiske forhold er fremstillet. Det kan være renografi med henblik på afløbshindring efter CT-påvist nyresten og/eller hydronefrose. I andre tilfælde bruges undersøgelserne til graduering af funktionsnedsættelse eller afgørelse af behandlingsbehov. Det gælder bl.a. ved lungefunktionsundersøgelse og galdesyreretentionsmåling. Bestemmelse af nyrernes glomerulære filtrationsrate er afgørende forud for visse typer kemoterapi, som doseres efter nyrefunktionen, ligesom løbende monitorering af hjertets uddrivningsfraktion kan være kritisk ved potentielt kardiotoxisk behandling. Myokardieskintigrafi er en undersøgelse med prognostisk men også

prædiktiv værdi, hvad angår resultat af koronar revaskularisering.

Undersøgelser af afgørende betydning i planlægning af operative indgreb er f.eks. måling af hudperfusionstryk og transkutan ilttension ved sår/amputationsproblematik. Tilsvarende gælder lungefunktionsmåling og regional lungeskintigrafi forud for lungekirurgi, idet de giver informationer om forventet postoperativ morbiditet. Sentinel node-diagnostik afgør niveauet af lymfeknudeeksstirpation ved flere kræftformer, og renografi udføres forud for abdominal strålebehandling, der kan involvere nyrerne. Flere af de klinisk fysiologiske og nuklearmedicinske metoder og teknikker er udviklet i Danmark i samarbejde med kliniske og parakliniske afdelinger. Brugere af undersøgelserne er både kliniske specialer i sygehusvæsenet og primærsektoren, og kontakthorizonten er stor. Knogleskintigrafi kan bidrage inden for både ortopædi, reumatologi, onkologi, kæbekirurgi, idrætsmedicin, pædiatri og endokrinologi. Lunge- og kredsløbsundersøgelser bruges bredt i gængs klinisk rutine men også inden for idrætsmedicin, højdemedicin og rummedicinsk forskning. Radionuklidterapi udføres i samarbejde med bl.a. endokrinologiske, urologiske, gastroenterologiske, onkologiske og hæmatologiske afdelinger.

Radionuklidterapi

Nogle lægemidler kan mærkes med forskellige radioisotoper til hhv. diagnostik og terapi. Tilsammen går de under betegnelsen theragnostics [4]. Til terapi anvendes typisk alfa- eller betaemittere, der har en rækkevidde på få millimeter. Isotoperne indbygges i kemiske forbindelser, der bindes og opkoncentreres i sygdomsprocesser eller organer, og strålebehandlingen gives derved meget præcist. Det har indtil videre fundet anvendelse inden for bl.a. maligne og benigne thyroideasygdomme, prostatacancer, neuroendokrine neoplasmer og lymfomsygdom. Patienter med primær eller sekundær levercancer kan gives målrettet behandling med radioaktivt mærkede mikrosfærer, som via et kateter injiceres i den arterielle karforsyning til det relevante område af leveren og derved giver en lokal effekt. Skintigrafi mellem behandlingerne bruges til monitorering af behandlingseffekten og beregning af den absorberede stråledosis i målområdet og i kritiske organer.

Udvikling

Klinisk fysiologi og nuklearmedicin har en lang forskningstradition med fokus på udvikling og afprøvning af metoder og medicinsk udstyr. I nogle tilfælde har et lægemiddels optagelsesmekanisme vist sig at åbne nye anvendelsesmuligheder. Knogletracere baseret på bisfosfonat, der via indbygning i hydroxyapatitkrystaller afspejler knoglenydannelse, har været benyttet til påvisning af mikrokalcifikationer i forbindelse med myokardieinfarkter, idiopatisk inflammatorisk myopati og calcifylaksiaflejring. Aktuelt finder klassisk knogleskintigrafi anvendelse ved mistanke om amyloid transthyretinamyloidose (ATTR) med kardiell involvering (Figur 3). Den er en billig, noninvasiv og patientvenlig undersøgelse, der med høj sikkerhed kan identificere amyloidosepatienter, der vil have gavn af målrettet behandling [5]. Skintigrafi med metaiodobenzylguanidin (MIBG), der i lighed med noradrenalin optages i neuroendokrine celler via et transportprotein i plasmamembranen, blev udviklet til påvisning af fæokromocytom/neuroblastom, men kan også fremstille hjertets innervation og har fået en anden berettigelse, efter man er blevet opmærksom på, at hjertets sympatiske nervefibre påvirkes tidligt ved Parkinsons sygdom [6].

Undersøgelse af myokardieperfusion, knoglemetabolisme, somatostatinreceptorbærende væv, basalgangliernes dopaminreuptake m.m. flyttes i stigende grad fra gammakameraer til PET-skannere. PET-billeder har en højere detaljeringsgrad end skintigrafi på gammakamera [7], og kortere forberedelse og optagelsestid gør ofte PET-skanningen mere patientvenlig. Hidtil har stråledosis typisk været højere end ved undersøgelse på gammakamera, men dette ændrer sig i takt med den teknologiske udvikling. Endelig er en stor fordel ved PET

dens kvantitative natur. SPECT/CT, som er et mere prisvenligt og tilgængeligt alternativ, er dog også i en vis udstrækning en kvantitativ undersøgelse [8] og vil i flertallet af de anførte undersøgelseseksempler ikke for nuværende kunne erstattes af PET.

Beredskab

Produktion og præparation af sporstoffer er omstændelige procedurer, ligesom opstart og kalibrering af apparaturet er tidskrævende. Da radioisotoperne henfalder, kan de ikke lagerføres, men bestilles hjem fra forskellige dele af verden med varierende leveringstid. Egenproduktion er ligeledes ikke tilgængelig på alle tidspunkter. Klinisk fysiologisk og nuklearmedicinske undersøgelser foretages som udgangspunkt i dagtid på hverdage. Specialet indgår dog i sygehusenes beredskab med undersøgelse og visitation af patienter, der har været udsat for ioniserende stråling fra åbne radioaktive kilder.

Konklusion

Klinisk fysiologisk og nuklearmedicinske undersøgelser spænder bredt. En stor del af undersøgelsesudbuddet er gennemgående, mens nogle afdelinger derudover har specialiseret sig i særlige metoder. Samarbejdet med andre specialer er vigtigt, fordi behovsbestemt funktionel diagnostik og brugen af optimale metoder er afgørende for tilrettelæggelse af den bedste udredning og behandling. Klinisk fysiologi og klassisk nuklearmedicin har fortsat sin berettigelse – og er stadig også meget andet end PET.

Korrespondance *Jane Simonsen*. E-mail: jane.simonsen@rsyd.dk

Antaget 8. januar 2026

Publiceret på ugeskriftet.dk 30. marts 2026

Interessekonflikter ingen. Alle forfattere har indsendt ICMJE Form for Disclosure of Potential Conflicts of Interest. Disse er tilgængelige sammen med artiklen på ugeskriftet.dk

Taksigelse Cheflæge *Søren Hess*, Odense Universitetshospital takkes for sparring og værdifulde forslag til manuskriptet, og fotograf *Agata Lenczewska-Madsen*, Hospitalsenhed Midt takkes for kliniske fotos

Referencer findes i artiklen publiceret på ugeskriftet.dk

Artikelreference Ugeskr Læger 2026;188:V10250798

doi 10.61409/V10250798

Open Access under Creative Commons License [CC BY-NC-ND 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

SUMMARY

Clinical physiology and classical nuclear medicine

The medical speciality clinical physiology and nuclear medicine utilises radioactive tracers and advanced laboratory techniques to investigate physiological and pathological processes. Despite the continuous advancements in PET (positron emission tomography), there is still a substantial role for classical nuclear medicine modalities in the diagnostic routine. Gamma cameras enable the visualisation of tracer biodistribution, facilitating diagnosis, therapy planning, and monitoring. Additionally, clinical physiological and other advanced laboratory tests are widely used within the speciality, as argued in this review.

REFERENCER

1. Hess S. Et strålende speciale – glimt af nuklearmedicinens historie i Danmark. Dan Medicinhistorisk Årbog. 2010;38:93-116.
2. Asmar A, Brinth LS, Gormsen LC, et al. Klinisk Nuklearmedicin. Forlaget Munksgaard; 2022.
3. Aw SE, Sundram FX, Tang KF, Goh AS. Nuclear medicine—an overview. Ann Acad Med Singap. 1982;11(3):464-468
4. Davis L, Smith AL, Aldridge MD, et al. Personalisation of molecular radiotherapy through optimisation of theragnostics. J Pers Med. 2020;10(4):174. <https://doi.org/10.3390/jpm10040174>
5. Waheed A, Dorbala S. Current status of radionuclide imaging of transthyretin cardiac amyloidosis. Heart Fail Clin. 2025;21(3):427-441. <https://doi.org/10.1016/j.hfc.2025.01.009>
6. Satoh A, Serita T, Seto M, et al. Loss of 123I-MIBG uptake by the heart in Parkinson's disease: assessment of cardiac sympathetic denervation and diagnostic value. J Nucl Med. 1999;40(3):371-375
7. Pandit-Taskar N, Basu E, Pirasteh A, et al. Lesion analysis of 18F-metafluorobenzylguanidine PET imaging in neuroblastoma. J Nucl Med. 2025;66(10):1568-1574. <https://doi.org/10.2967/jnumed.125.269833>
8. Thøgersen KF, Simonsen JA, Hvidsten S, et al. Quantitative 3D scintigraphy shows increased muscular uptake of pyrophosphate in idiopathic inflammatory myopathy. EJNMMI Res. 2017;7(1):97. <https://doi.org/10.1186/s13550-017-0348-2>