

Emne: Ergospirometri	Dato:17.04.2013 Revision 17.04.2015	Retningslinje nummer: Sider: 4
Udarbejdet af: Johannes Schmid, Kristine Degn, Thomas Kromann Lund		

1.1 BAGGRUND

Mens lungefysiologiske undersøgelser i hvile er et vigtigt redskab til diagnosticering af obstruktive og restriktive lungesygdomme, afspejler resultaterne ikke nødvendigvis patientens evne til fysisk arbejde. Ergospirometri eller Cardiopulmonary exercise testing (CPET) giver en undersøgelse af alle organsystemer (pulmonal, kardiovaskulær, muskulær, neuropsykologisk, hæmatologisk), der er involveret i patientens respons på fysisk belastning. CPET korrelerer dermed bedre med patientens samlede sundhedstilstand og er "gold standard" for at undersøge aerob arbejdskapacitet og burde derfor bruges mere udbredt til f.eks. præoperativ vurdering, måling af effekt af forskellige interventioner, som f. eks. træning eller medicinsk behandling. På grund af stort ressourceforbrug bruges dog i klinisk dagligdag fortsat mere enkelte tests som 6-MWT og shuttle walk test.

Undersøgelsen bruges desuden regelmæssigt hos eliteidrætsudøvere til vurdering af deres form og vejledning om mest hensigtsmæssig træning..

1.2 INDIKATIONER

1.2.1 Uforklaret dyspnø

Måling af maksimal iltoptagelse (peak $\dot{V}O_2$) giver et objektive mål af om og hvor meget arbejdskapaciteten er nedsat. Undersøgelsen afslører funktions- limiterende faktorer (dyspnø, iskæmi, brystmerter, muskulære smerter, træthed, deconditionering, psykiske årsager). Undersøgelsen kan især bruges, hvis der er stor forskel mellem subjektive symptomer og målinger i hvile.

Der er en god relation mellem arbejdskapacitet og livskvalitet.

1.2.2 Lungesygdomme

Anstrengelsesudløst astma:

CPET kan bruges diagnostisk og til at planlægge fysisk træning.

KOL:

Måling af arbejdskapaciteten kan af

sløre komorbiditet, f.eks. iskæmisk hjertesygdom. Hypoksi og dynamisk hyperinflation bliver målt og kan bruges til at monitorere effekten af terapeutiske interventioner (medicin, rehabilitering, NIV).

Interstitiel lungesygdom:

CPET afslører meget tidlige ændringer i gastransporten i lungerne og kan derfor bruges til at stille en tidlig diagnose. Kan desuden bruges til monitorering af terapeutiske interventioner.

Pulmonal hypertension:

Reduktion i $\dot{V}O_2$ max korrelerer med sværhedsgrad, pulmonal vaskulær resistance og cardiac output.

Cystisk fibrose:

Reduktion i $\dot{V}O_2$ max er korreleret med dårlig prognose

1.2.3 Hjertesygdom

Nedsat $\dot{V}O_2$ max forudsiger en dårlig prognose af patienter med kardiomyopati og svært hjertesvigt. $\dot{V}O_2$ max kan bruges til monitorering af behandlingen af disse patienter og til at finde kandidater til hjertetransplantation. CPET anvendes i udredningen for iskæmisk hjertesygdom. Endelig bruges CPET i forbindelse med hjerterehabilitering til fastsættelse af belastningsgrad og træningsmål.

1.2.4 Præoperativ vurdering

CPET kan indgå i vurderingen af operabilitet ved planlagt lungekirurgi (lungecancerpatienter), hvis den beregnede postoperative FEV₁ eller D_LCO er <40% af forventet. $\dot{V}O_2$ max kan her bruges til at fastlægge operabilitet og størrelsen af det tålte indgreb (lobektomi, pneumektomi).

1.2.5 Prætransplantations vurdering

CPET bruges som rutineundersøgelse før hjertetransplantation. Ved kandidater til lunge- transplantation er der endnu ikke konsensus om værdien af CPET. Undersøgelsen kan bruges til monitorering af sygdoms- progression før, og som outcome mål efter transplantation.

1.3 METODER

1.3.1 Løbebånd

Fordele: ligner daglige aktiviteter, peak $\dot{V}O_2$ ligger typisk 5-10% højere end den målt ved cykelergometri

Ulemper: maksimalt arbejde er afhængigt af kropsvægt og kan ikke beregnes helt præcist.

1.3.2 Cykelergometer

Fordele: nemmere at beregne præcis arbejdsbelastning, nemmere at udføre andre målinger og undersøgelser under testen (a-gas, stetoskopi, EKG, mm.)

Ulemper: svært at gennemføre for patienter, der ikke er vant til at cykle, undervurderer i nogle tilfælde peak $\dot{V}O_2$

1.3.3 Valg af testmodalitet

Som udgangspunkt vælges den metode, der er nemmest at gennemføre for patienten. Ved mistanke om, at der kun er problemer ved maksimal belastning samt ved måling af maksimal arbejdskapacitet hos veltrænede sportsfolk, er løbebåndstest at foretrække. Ellers er cykelergometri første valg. Ved adipøse testpersoner vælges cykelergometri.

Der findes to hovedtyper af test-protokoller, som begge kan anvendes med løbebånd og cykelergometer:

1.3.4 Maximal incremental test

Standardprotokol til måling af peak $\dot{V}O_2$ og anaerob tærskel med:

- 3 min hvilefase
- 3 min cykling/gang uden belastning
- 10-15min med stigende belastning (trinvis eller kontinuerlig stigning)
- 10 min hvilefase

Den forventede stigning S i watt/minut kan estimeres

$$S = \frac{\dot{V}O_{2\max} - \dot{V}O_{2\text{baseline}}}{92,5}$$

Forventede værdier for $\dot{V}O_{2\max}$ og $\dot{V}O_{2\text{baseline}}$ kan findes i tabeller.

1.3.5 Constant workload test

- 3 min hvilefase
- 3 min cykling/gang uden belastning
- 10-15min med konstant belastning (ca. 2/3 af maximal arbejdskapacitet)
- 10 min hvilefase

Denne test er velegnet til monitorering af terapeutiske interventioner og til måling af dynamisk hyperinflation.

1.4. FØR TESTEN

1.4.1 Forundersøgelser:

- spirometri
- EKG
- rtg af thorax
- hæmoglobin
- pulsoximetri
- evt. A-gas
- evt. diffusionsmåling

1.4.2. Testpersonen

- ingen rygning i 8 timer før testen
- patienter bruger deres medicin
- passende påklædning

1.4.3 Kontraindikationer

Absolutte:

- AMI (3mdr)
- ustabil angina pectoris
- ukontrolleret arteriel hypertension
- nylig synkope
- ukontrollerede rytmeforstyrrelser
- symptomatisk aortastenose
- endo-, myo- eller perikarditis
- ukontrolleret hjertesvigt
- nylig lungeemboli
- ukontrolleret astma
- lungeødem
- hvilesaturation under 85% (udfør test med ilt)
- aktuel infektion
- akut nyresvigt
- ukontrollerede psykiatiske problemer

Relativ:

- relevant iskæmisk hjertesygdom
- hjerteklapsygdom
- svær pulmonal hypertension
- hypertrofisk kardiomyopati
- 2.-3.grads AV-blok
- taky- eller bradyarrytmi
- graviditet
- elektrolyt derangering
- orthopædiske problemer

1.4.4 Testen afbrydes ved

- brystsmerter suspekt for angina pectoris
- iskæmi i EKG
- 2.-3.grads AV-blok, SA-blok
- multifokale extrasystoler
- systolisk blodtryksfald > 20 mmHg under belastning
- hypertension > 250/120 mmHg
- desaturation < 80%
- pludselig bleghed
- konfusion

-svimmelhed/bevidsthedspåvirkning

1.5 MÅLINGER

1.5.1 Iltoptagelse - $\dot{V}O_2$

$\dot{V}O_2$ er lineær korreleret til muskelarbejdet, der udføres. Den er afhængig af:

- O_2 -bindingskapacitet i blod (hæmoglobin, SaO_2)
- ændringer i dissociationskurven (pH, CO_2 , temperatur)
- cardiac output
- fordeling af perifer perfusion
- iltoptagelse i perifere organer (kapillærtæthed, mitochondrier, diffusion)

1.5.2. $\dot{V}O_2$ -work rate slope

Stigningen i iltoptagelse per Watt arbejdsbelastning er normalt konstant mellem 8.5-11 ml/min/Watt og uafhængig af alder, køn og højde. Den er et mål for effektiviteten af at konvertere kemisk til mekanisk energi i musklen. Den er nedsat ved nedsat O_2 -transport.

1.5.3 $\dot{V}O_{2max}$ og $\dot{V}O_{2peak}$

Iltoptagelsen når et plateau, $\dot{V}O_{2max}$, når der nås en funktionsbegrænsende grænse i enten kardial funktion eller ilttransport. $\dot{V}O_{2max}$ er det bedste mål for aerob kapacitet og gold standard for måling af kardiopulmonal fitness. I kliniske sammenhæng optræder der tit funktionsbegrænsende symptomer, inden $\dot{V}O_2$ når sit plateau, og den maksimalt opnåede iltoptagelse er $\dot{V}O_{2peak}$. Klinisk bruger man begge værdier synonymt. $\dot{V}O_{2max}$ afhænger udover af pulmonal og kardial funktion også af muskelmasse, køn, alder, højde, vægt og træningstilstand, samt evnen til virkelig at yde maksimalt arbejde under testen. $\dot{V}O_{2max}/kg$ ("Kondital") kan bruges til at normalisere værdien af $\dot{V}O_{2max}$ men giver for lave værdier ved adipøse patienter.

1.5.4 $\dot{V}CO_2$

Ved svag til middel belastning ligger $\dot{V}CO_2$ typisk lidt under $\dot{V}O_2$. I denne fase produceres CO_2 ved aerob metabolisering af glykogen/glucose. Ved højere belastning bliver metabolismen tiltagende anaerob med lactat som substrat og tiltagende metabolisk acidose. Som konsekvens af bufferfunktionen afgives nu mere CO_2 end der optages O_2 . Skæringspunktet hvor $\dot{V}CO_2 > \dot{V}O_2$ er den *anaerobe tærskel*.

$\dot{V}CO_2$ er tæt korreleret til ventilationen og stiger også ved hyperventilation.

1.5.5 $\dot{V}CO_2/\dot{V}O_2$ ratio (RER)

Respiratory exchange ratio (RER) er under

steady state-betingelser et mål for den respiratoriske kvotient (RQ) og dermed udtryk for, hvad der bruges som energikilde ved arbejde. En værdi omkring 1 indikerer, at energibehovet dækkes med kulhydrater, mens den bliver mindre en 1, hvis der indgår fedt (RQ=0,7) eller protein (RQ=0,8) i energiomsætningen. Ved hyperventilation, og når arbejdet udføres over den anaerobe tærskel, øges RER til over 1.

1.5.6 Anaerob tærskel

Angiver den belastning, hvor der opstår en metabolisk acidose pga. tiltagende lactatkoncentration. Den angives i $\dot{V}O_2/\dot{V}O_{2max}$ predicted, og ligger normalt omkring 50-60%. Lactat stiger pga. tiltagende glycolyse frem for oxidation og fører til en metabolisk acidose. Denne påvirker muskelfunktionen, iltbindingskapaciteten i blodet og fører til øget ventilation. En lav anaerob tærskel prædikerer en lav maksimal arbejdskapacitet. Værdier under 40 % ses ved problemer med den perifere iltmætning ved lunge- og hjertesygdomme samt ved mitokondrial myopati.

Idet fysisk arbejde under den anaerobe tærskel kan udføres i lang tid, er værdien vigtig ved planlægning af træningsprogrammer, og den kan efterfølgende bruges til at måle effekten af træningen.

1.5.7 Pulsfrekvens (heart rate)

Hjertefrekvensen (HR) er normalt tæt korreleret til belastningen, og den alderssvarende normale maksimumværdi (220-alder) bruges tit til en vurdering af, om testpersonen har opnået en relevant arbejdsbelastning. $HR/\dot{V}O_2$ ratioen korrelerer negativt til slagvolumen. Ved lungesygdomme er ratioen oftest øget, tydende på et mindre slagvolumen sekundært til lungesygdommen. Ratioen vil også være forhøjet ved hypoksi, anæmi og dårlig form. Ved hjertepatienter kan HR være påvirket af medikamentel behandling (β -blokkere, calciumantagonister).

1.5.8 Ilt puls

Ratioen $\dot{V}O_2/HR$ kaldes ilt puls. Den angiver det perifere iltforbrug per hjerteslag. Da $\dot{V}O_2/HR = \text{slagvolumen} \times (\text{arteriel-venøs iltindhold})$, er den ved $\dot{V}O_{2max}$ et indirekte mål for slagvolumen ved maksimal arbejde, hvor den maksimale ilt ekstraktion fra blodet er nået.

1.5.9 Blodtryk

Normalt stiger blodtrykket med stigende belastning. Hvis stigning i blodtryk udebliver, blodtrykket falder eller stiger ekscessivt, bør testen afbrydes, og patienten udredes

nærmere for en kardial årsag til nedsat arbejdskapacitet (iskæmi, hjerteinsufficiens, aortastenose).

1.5.10 Ventilation

\dot{V}_E (eksspiratorisk volumen per minut) stiger med stigende belastning. Ved lavere belastning er denne stigning mest betinget af øget tidalvolumen (\dot{V}_T). Ved stigende belastning øges \dot{V}_E mere og mere gennem øget vejrtrækningsfrekvens f_R . Tidalvolumen stiger både gennem en stigning i endinspiratorisk lungevolumen (EILV) og et tiltagende fald i endeksspiratorisk lungevolumen (EELV), hvor sidstnævnte har den største effekt på tidalvolumen.

Ved stigende f_R falder både T_I (inspirations-tid) og T_E (eksspirationstid), men mest T_E .

1.5.11 Ventilatorisk reserve (Ventilatory reserve)

Den ventilatoriske reserve er ratioen mellem ventilatory demand ved maksimalt arbejde og den maksimale ventilationskapacitet hos testpersonen. Hos raske personer er ventilationen (ventilatory demand) ved maksimalt arbejde ca. 70% af den maksimale ventilationskapacitet. Ved KOL, ILS og pulmonal hypertension er den ventilatoriske kapacitet reduceret, mens ventilatory demand er øget, hvilket fører til reduceret respiratorisk reserve.

Ventilatory demand ved en given arbejdsbelastning kan beregnes:

$$\dot{V}_E = (863 \times \dot{V}_{CO_2}) / [Pa_{CO_2} \times (1 - V_{Deadspace}/V_{tidal})]$$

Den afhænger således mest af ventilationsmønster og graden af metabolisk acidose. Praktisk svarer denne værdi til peak \dot{V}_E ved maksimalt arbejde.

Den maksimale ventilationskapacitet kan enten måles ved maksimal voluntær ventilation i 12-15 sekunder, eller ved at gange FEV₁ med ca. 35. Disse metoder overestimerer dog ventilationskapaciteten ved neuromuskulære sygdomme og øget inspiratorisk modstand, f.eks. vocal chord dysfunction.

1.5.12 Symptomer

Forskellige symptomer kan bedst angives ved hjælp af en VAS-score, f. eks. dyspnø på Borg-skalaen. I og med at det typisk er symptomer som dyspnø, træthed, ubehag i benene osv., der begrænser arbejdskapaciteten, kan disse informationer være vigtige i forhold til at stille den rigtige diagnose.

1.5.13 Andre målinger

CPET leverer mange flere parametre, og

der findes mange flere fysiologiske mål, blandt andet vedrørende ændringer i flowvolumen kurver og af gasudveksling under fysisk arbejde. De fleste af disse metoder mangler at blive valideret og er derfor forbeholdt kontrollerede studier.

1.6 NORMALVÆRDIER

Eksisterende referenceværdier er baseret på små studiepopulationer og delvist fundet ved metaanalyse af flere små undersøgelser. Der mangler især normalværdier for de ikke helt basale værdier. Samtidigt kan mange af de fysiologiske værdier, der kan måles ved ergospirometri, variere i betydelig grad, afhængig af f.eks. træningsstatus. Det er derfor vigtigt at være opmærksom på, hvad der er lagt ind som normalværdier i det computerprogram, der genererer data output.

1.7. FORTOLKNING

1.7.1 Hjertelunge raske personer

Hos raske personer ses en ventilationsreserve og metabolisk reserve, også ved maksimal belastning. Derimod limiteres den maksimale arbejdskapacitet af iltafgivelsen i musklen. Denne er afhængig af cardiac output, Pa_{O₂} og perifer diffusion. Arteriel iltension og perifer diffusion er næsten konstant under arbejde, og det er således cardiac output, der er den vigtigste funktionslimerende faktor.

1.7.2 Pulmonal, kardial og neuromuskulær sygdom

Årsagen til nedsat arbejdskapacitet er oftest multifaktoriel. Således har mange lungepatienter sekundære hjerte-kar-problemer og nedsat perifer muskelstyrke. Kronisk hjertesygge patienter har også ofte nedsat muskelstyrke og påvirket central og perifer diffusion. Mange kronisk syge patienter er deconditionerede, dvs. har nedsat muskelmasse og er i dårlig træningstilstand. Tolkning af CPET kræver derfor en integrativ adgang til undersøgelsesresultatet, som bør vurderes i forhold til indikation, kliniske oplysninger, kvalitet af test, den opnåede arbejdskapacitet, limiterende symptomer osv.

1.8 KVALITETSSIKRING

Ergospirometri systemet bør kalibreres dagligt, både med en volumen- og en gaskalibrering. Det anbefales at føre en kalibreringslogbog for at opdage en trend i målingerne. Undersøgelsen bør kun udføres af

personale, der er oplært i brug og fortolkning af udstyr og undersøgelse..

1.9 LITTERATUR

1. ATS/ACCP statement on Cardiopulmonary Exercise Testing, Am. J. Resp. Crit. Care Med. 2003; 167: 211-277.
2. Clinical Exercise Testing, European Respiratory Monograph, issue 40, 2007.