

27. Keuhkosairaudet ja liikunta

Heikki Tikkanen

Hengityksen fysiologiaa	333	Liikunta ja	
Keuhkojen toimintojen		keuhkojen sairaudet	338
arviointi	337		

- Fyysisen rasituksen aikana keuhkojen tuuletus lisääntyy suhteessa aineenvaihdon kiivautteen riittävän kaasujenvaihdon saavuttamiseksi, ja tämän ihminen tuntee hengästymisenä.
- Keuhkojen toiminnat eivät rajoita terveen normaalikuntoisen ihmisen suorituskykyä, mutta ne voivat osalla erittäin hyväkuntoisista kestävyysurheilijoista olla suoritusta rajoittavana tekijänä.
- Mikäli keuhkojen tuuletuskyky ei sairauden johdosta riitä, kokee ihminen rasitusoireena hengenahdistuksen tunnetta.
- Keuhkosairauden rajoittavuuden merkitystä rasituksen kannalta voidaan pyrkiä arvioimaan

levossa suoritettavin mittauksin, mutta kokonaiskuvan tilanteesta antaa vasta potilaan tutkiminen rasitustilanteessa.

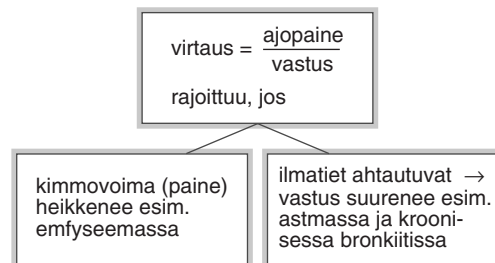
- Hengityselimistön reservi on niin suuri, että lieväasteinen keuhkosairaus haittaa vain harvoja liikunnan muotoja.
- Keuhkosairauksissa liikuntaharjoittelu ei paranna itse sairautta, mutta liikuntaharjoittelu on osoittautunut hyödylliseksi sekä estämään keuhkojen heikentyvän toimintakyvyn vaikutusta suorituskyvyn huononemiseen että palauttamaan jo heikentyntä suorituskykyä, ja siksi liikuntaa suositellaan osana keuhkopotilaan kuntoutusta.

Hengityksen fysiologiaa

Hengitys levossa

Sisäänhengitetty ilma puhdistuu, kostuu ja lämpiää (tai jäähtyy) ylemmissä hengitysteissä ja keuhkoputkissa. Keuhkojen paljetoiminnon saavat aikaan sisäänhengityksessä aktivoituvat lihakset, erityisesti pallea ja kylkiluuvälilihakset. Niiden hapenkulutus on levossa noin 1 % elimistön kokonaiskulutuksesta mutta rasituksessa jopa 5–10 %. Uloshengitys on lähes aina passiivista, eli rintakehän ja keuhkojen kimmovoimat puristavat ilman ulos keuhkoista. Ilman liikettä vastustavat hengitysteiden koosta ja muodosta riippuva virtausvastus ja rintakehän ja keuhkojen mekaaniset

voimat. Koska ilman virtauksen määrää ns. ajopaineen ja ilmäteissä vaikuttavan vas-



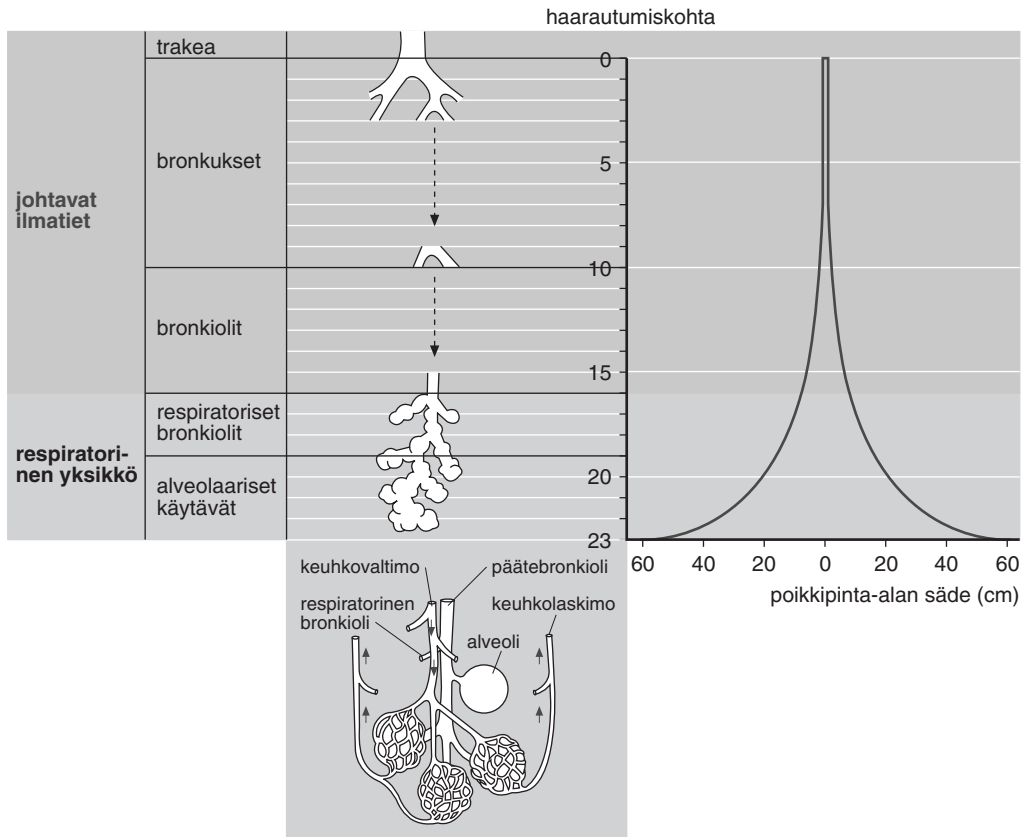
Kuva 1. Keuhkotuuletus huonontuu keuhkokudoksen kimmovoimien tai rintakehän voimien muututtua tai keuhkoputkia ahtaavissa sairaustiloissa.

tuksen suhde, on helppo ymmärtää, että keuhkotuuletus huonontuu sekä keuhkoputkia ahtaavissa sairaustiloissa että keuhkokudoksen kimmovoimien tai rintakehän voimien muututtua (kuva 1).

Keuhkot muuttavat niihin muualta elimistöstä palaavan runsaasti hiilidioksidia sisältävän laskimoveren koostumuksen valtimovereksi, jonka hapen ja hiilidioksidin osapaineet ovat mahdollisimman lähellä keuhkorakkuloiden kaasujen osapaineita. Kaasujen vaihdunta tapahtuu keuhkorakkuloissa eli alveoleissa, jotka sijaitsevat hiussuonien eli kapillaarien muodostamissa verkkokasseissa (kuva 2). Alveolit, kapillaarit ja niitä yhdistävä sidekudos muodostavat varsinaisen keuhkokudoksen, jonka ominaisuudet ratkaisevat, miten hyvin

happi voi siirtyä verenkiertoon ja vastavasti hiilidioksidi hengitysilmaan.

Terveissä keuhkoissa kudosis on melko samanlaista kaikkialla ja verenkierron ja kuitumisen eli perfuusion ratkaisevat painovoima ja verenkierron kulloinenkin minuuttitilavuus. Sairauksissa alveolit suurenevät ja repeilevät ja voivat täyttyä tulehdusnesteistä ja soluista. Kapillaarit voivat tuhoutua ja niiden määrä voi vähentyä tai ne voivat täyttyä verellä. Alveolien ja kapillaarien välitilaan eli interstitiumiin voi kertyä nestettä, mikrobeja ja tulehdus-soluja. Keuhkosairauksissa syntyy aina tilanteita, joissa ilmenee ventilaation ja perfuusion epäsuhtaa, mikä huonontaa kaasujen vaihduntaa.



Kuva 2. Hengitysteiden rakenne, haarautuminen ja poikkipinta-ala. Tavallisesti 17. haarautumiskohdasta lähtien alkaa *respiratoristen* yksiköiden alue. Oikealla keuhkoputkien yhteenlaskettu poikkipinta-ala kaavamaisesti. Poikkipinta-alan kasvaessa voimakkaasti ilman virtausnopeus hidastuu. Terveellä ihmisellä suurin osa hengitysteiden virtausvastuksesta aiheutuu suurista keuhkoputkista.

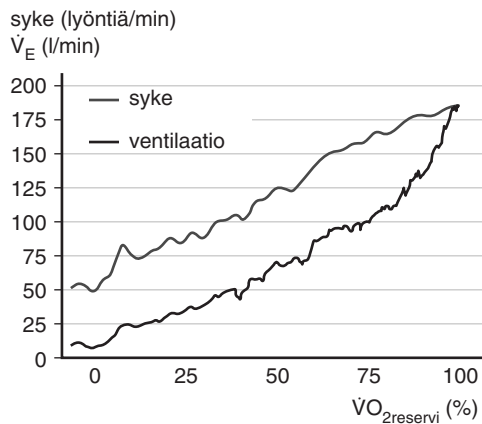
Hengitys rasiuksessa

Selviytyäkseen tehtävästään fyysisen rasituksen aikana keuhkojen tuuletuksen (ventilaation) täytyy lisääntyä suhteessa aineenvaihdunnan kiivauteen. Paitsi ventilaatio myös kaasujen siirtyminen keuhkorakkuloista verenkiertoon (kaasujen diffuusio) vaikuttaa keuhkojen onnistuneeseen tehtävään. Normaalisti keuhkojen toiminta säätyy liikunnan aikana vastaamaan kulloistakin rasiustasoa. Mikäli näin ei sairauden vuoksi tapahdu, ihminen kokee rasiusoireita. Hengityksen säätely levossa tunnetaan hyvin mutta liikunnassa huomommin.

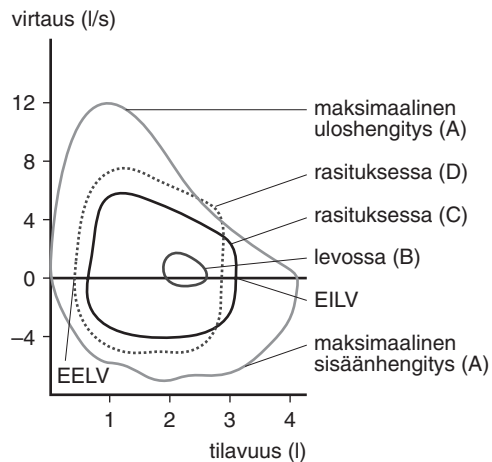
Ventilaation kasvu kuormituksen lisääntyessä johtuu sekä kertahengitystilavuuden (tidal volume, V_T) että hengitystiheyden (fb) kasvusta. Kevyessä kuormituksessa molemmat osallistuvat ventilaation kasvuun, mutta kertahengitystilavuuden osuus on yleensä hallitsevampi. Kertahengitystilavuus jatkaa yleensä kasvuaan, kunnes se saavuttaa noin 50–60 %:n tason henkilön vitaalikapasiteetista. Normaalisti kertahengitystilavuus kasvaa 3–5-kertaiseksi siirryttäessä levosta maksimirasiukseen (esim. 0,5 l → 2,5 l), mutta kasvu voi harjoittelulla olla suurempikin.

Raskaassa kuormituksessa ventilaation kasvu johtuu lähes yksinomaan hengitystiheyden nopeutumisesta. Hengitystiheys kasvaa maksimirasiukseen siirryttäessä vähintään 2–3-kertaiseksi (12 krt/min → 35 krt/min), mutta voi hyväkuntoisilla kasvaa huomattavasti enemmän (esim. 6 krt/min → 60 krt/min). Siten maksimiventilaatio voi harjoittelemattomalla ja harjoittelulla henkilöllä poiketa huomattavasti toisistaan (nuorilla miehillä 120 l/min vs. 200 l/min). Toisin kuin syke, ventilaatio lisääntyy kuormituksen kasvaessa epälineaarisesti etenkin kovassa kuormituksessa (kuva 3).

Liikunnan aikaisen kertahengitystilavuuden kasvu johtuu sekä uloshengityksen



Kuva 3. Tyypillinen keuhkotuuletus- ja sykeaste hyväkuntoisella henkilöllä progressiivisessa kuormituskokeessa. Erityisesti harjoitelleilla henkilöillä keuhkotuuletus voi nousta vielä huomattavasti lähestyttäessä maksimisuorituskykyä, vaikka muutokset sykkeessä tällä alueella ovat enää pieniä. $VO_{2\text{reservi}} = VO_{2\text{max}} - VO_{2\text{lepo}}$



Kuva 4. Virtaus-tilavuussilmukka maksimaalisessa sisään- ja uloshengityksessä (A), levossa (B) ja rasiuksessa, jossa ei ilmene (C) ja ilmenee (D) virtausrajoittuneisuus. EELV = uloshengityksen lopputilavuus, EILV = sisäänhengityksen lopputilavuus.

lopputilavuuden (end-expiratory lung volume, EELV) pienenemisestä että sisäänhengityksen lopputilavuuden (end-inspiratory lung volume, EILV) kasvusta (kuva 4). Kevyenkin liikunnan aiheuttama ventilaation kasvu pienentää EELV:tä, ja pieneneminen edeltää EILV:n kasvua. Yleensä EELV vakiintuu tälle uudelle tasolle,

joka on noin 0,4–0,7 l alle lepotason, ja kertahengitystilavuuden kasvu tämän jälkeen johtuu yleensä yksinomaan EILV:n kasvusta. Jos rasiutustasoa nostetaan ja ventilaatio edelleen kasvaa, voi EELV suurentua takaisin lepotasolle tai jopa sen yli. Tällöin EELV:n kasvu johtuu uloshengityksen virtauksen rajoittuneisuudesta ja suurenemisesta on hyötyä, koska se sallii suurempien uloshengitysvirtausten muodostumisen. Tämä kuitenkin lisää sisäänhengityslihasten kuormittumista kasvattamalla sitä painetta, joka lihasten pitää muodostaa, ja toisaalta heikentää niiden paineenmuodostuskykyä lihasten voima-putuussuhteen muuttuessa.

Sisäänhengityksen virtausta rajoittaakin ensisijaisesti sisäänhengityslihasten kyky muodostaa painetta. Uloshengityksen virtausta rajoittaa sen sijaan hengitysteiden mekaniikka, ei uloshengityslihasten paineenmuodostuskyky. Levossa sisäänhengityksen huippuvirtaus saavutetaan yleensä hengityksen puolivälissä, kun taas uloshengityksen virtaus vähenee loppua kohti alun huippuarvostaan. Kun ventilaatio rasiutuksen aikana kasvaa, muuttuvat sekä sisään- että uloshengityksen virtausprofiilit enemmän neliön mallisiksi.

Sisäänhengitysilman puhdistuksen, lämmityksen ja kostutuksen kannalta olisi rasiutuksessaakin edullista hengittää pääasiassa nenän kautta. Siirryttäessä levosta hyvin kevyeen rasiutukseen tämä tavoite vielä jollain tavoin onnistuu, mutta ventilaation saavuttaessa tason noin 20–40 l/min on ventilaation lisääminen mahdollista ainoastaan hengittämällä kaikki tarvittava lisäilma suun kautta. Syynä tähän on suun kautta hengittämisen pienempi vastus, joka on levossa noin neljä kertaa ja rasiutuksessa noin yhdeksän kertaa pienempi kuin nenän kautta hengitettäessä. Lisäksi liikunnan aiheuttama hengitysvastuksen väheneminen ylähengitysteissä on suurempaa suun kuin nenän kautta hengitettäessä. Hengitystiet laajenevat myös alempana,

kun hermopäätteistä lähtevät refleksit aloittavat keuhkojen laajentamisen eli bronkodilataation, jota sympaattisen ja parasympaattisen hermotuksen muutokset ja katekoliaamiinit täydentävät.

Hemoglobiinin happikyllästeisyys rasiutuksessa

Terveillä suorituskyvyltään keskitasoisilla ihmisillä hengityselimistö pystyy sopeutumaan rasiutuksen aiheuttamaan ventilaation kasvuun merenpinnan tasolla ja valtimoveren hemoglobiinin happikyllästeisyys (S_aO_2 -%) pysyy lähellä lepotilannetta kevyessä, kohtalaisessa ja raskaassa kuormituksessa. Hyväkuntoisilla kestävyysurheilijoilla voi esiintyä valtimoveren happikyllästeisyyden pienenemistä raskaassa kuormituksessa ja heillä matalimmat merenpinnan tasolla raportoidut S_aO_2 -prosentit ovat 80–85.

Terveillä hyväkuntoisilla ihmisillä suuritehoisen kuormituksen aiheuttamaan hypoksemiaan vaikuttavat keuhkorakkuloiden ja niistä lähtevän valtimoveren välinen hyvin suuri $(A-a)O_2$ -ero, riittämätön hyperventilaatio ja hemoglobiinin O_2 -dissosiaatiokäyrän siirtyminen oikealle. Kuormituksen aiheuttaman suuren $(A-a)O_2$ -eron syy voi olla ventilaatio-perfuusioepäsuhta, diffuusion rajoittuneisuus tai oikovirtaus. Riittämätön hyperventilaatio voi olla hyväkuntoisilla naisilla yleisempää kuin miehillä, koska V_T ja ventilaatio voivat heillä olla mekaanisesti rajoittuneet rasiutuksen aikaisen uloshengityksen virtaustilavuussilmukan saavuttaessa maksimitasoa (kuva 4).

Heikentynyt kaasujen vaihto alveolin ja veren välillä aiheuttaa maksimaalisen hapenkulutuksen ($\dot{V}O_{2max}$) pienenemistä siten, että 1 %:n vähenemä S_aO_2 -%:ssa vastaa 1–2 %:n heikennystä $\dot{V}O_{2max}$:ssa. Valtimoveren happikyllästeisyyden väheneminen (arteriaalinen desaturaatio, hapen vapautuminen verestä kudosten käytettäväk-

Taulukko 1: Hapenpuutteen syitä eräissä keuhkosairauksissa.

Syy	Riittämätön hyperventilaatio	Oikovirtaus oikealta vasemmalle	Ventilaatio-perfuusio-epäsuhta	Diffuusio-rajoittuneisuus
Esimerkki sairaustilasta	<ul style="list-style-type: none"> Obstruktio (virtausrajoittuneisuus) Rintakehän deformatio (restriktio) 	<ul style="list-style-type: none"> Eräissä synnynnäisissä sydänvicioissa 	<ul style="list-style-type: none"> Voimakas obstruktio Keuhkoembolia 	<ul style="list-style-type: none"> Interstitiilit keuhkosairaudet

si) on kääntäen verrannollinen $\dot{V}O_{2max}$:iin, eli niillä, joilla on suuri $\dot{V}O_{2max}$, valtimoveren happikyllästeisyys voi pienentyä eniten. Rasituksen aiheuttamaa arteriaalista desaturaatiota esiintyy siis osalla täysin terveitä hyväkuntoisia ihmisiä, joilla on hyvin suuri sydämen minuuttitilavuus ja sen seurauksena diffuusion käytettävissä oleva aika on hyvin lyhyt. Tällöin valtimoveren happipitoisuuden vähenemiseen johtavien syiden mekanismit poikkeavat sairauksien aiheuttamasta hypoksemiasta, josta esimerkkejä on taulukossa 1.

Keuhkojen toimintojen arviointi

Levossa suoritettavilla mittauksilla selvittää keuhkosairauden luonne ja vaikeusaste (taulukko 2). Ventilaatiota ja siihen mahdollisesti vaikuttavaa obstruktiota (ilmateiden ahtautumista) tai restriktiota (keuhkojen ja ilmateiden laajenemisen rajoittumista) voidaan arvioida virtaus-tilavuusspirometrian perusteella. Kokonaiskuvan sairauden merkityksestä

Taulukko 2. Eräiden keuhkojen toimintaa kuvastavien tutkimusten käyttö keuhkopotilaan sairautta ja liikuntakykyä arvioitaessa.

Tutkimus	Tietoarvo
PEF-puhallus	<ul style="list-style-type: none"> Astman perustutkimus ja hoidon seurannan apuväline myös kotiooloissa. Kuvastaa huippuvirtausta mutta ei muita uloshengityksen virtauksia.
Spirometria ja bronkodilataatiokoe	<ul style="list-style-type: none"> Ventilaatiofunktion laboratorio-oloissa suoritettava perusmittaus, joka kuvastaa ilman virtausta keuhkoputkissa. Kuvastaa ventilaatiota mutta ei kaasujen vaihduntaa.
Epäspesifiset altistuskokeet histamiinilla tai metakoliinilla	<ul style="list-style-type: none"> Keuhkoputkien supistumisherkkyyden arviointi.
Diffuusiokapasiteetin mittaus	<ul style="list-style-type: none"> Kuvastaa kaasujen diffuusiota alveolien ja keuhkokapillaarien välillä.
Kliininen rasituskoe <ul style="list-style-type: none"> polkupyöräergometri tai juoksumatto 	<ul style="list-style-type: none"> Kuvastaa potilaan rasituksensietoa, josta saadaan tarkempi kliininen kuva esitietoja täydentämään. Lisämittauksena oksimetria kertoo keuhkojen hapetustoiminnan kyvystä. Yhdistettynä PEF –mittaukseen tai spirometriaan spesifinen astman diagnostiikassa.
Spiroergometria	<ul style="list-style-type: none"> Antaa tulosprofiilin potilaan rasituksen aikaisesta ventilaatiosta, kaasujenvaihdunnasta sekä lihasaineenvaihdunnasta.

liikunnan kannalta antaa kuitenkin kliinisen rasituskokeen tulos. Parhaiten tietoa sekä oireista että tulosprofiilista saadaan spiroergometrialla, jossa mitataan sydämen toimintojen lisäksi rasituksen aikaiset hengitystapahtumat.

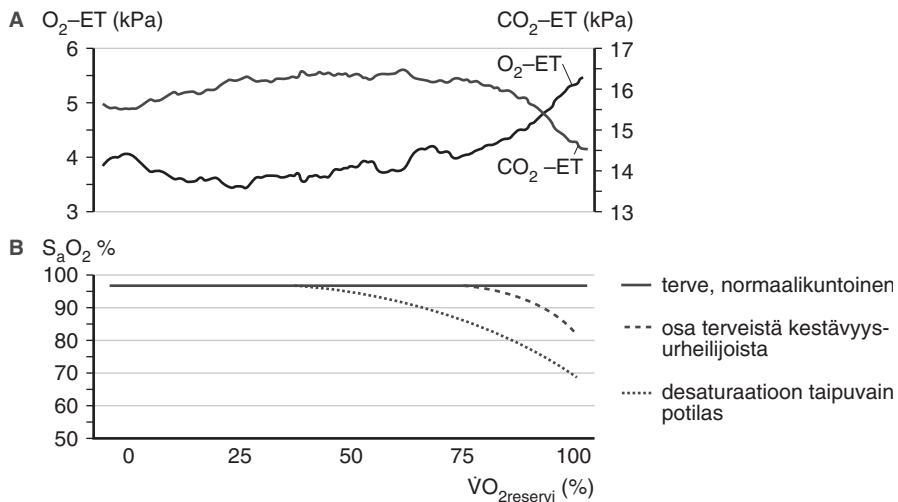
Spirometriasta saatavalla sekuntikapasiteetilla (FEV_1) voidaan arvioida potilaan maksimaalinen tahdonalainen ventilaatio-kyky (MVV) kertomalla FEV_1 40:llä. MVV voidaan myös mitata rekisteröimällä maksimaalinen ventilaatio 6–15 s:n ajalta ja muuttamalla se l/min-arvoksi. Rasituksen aikainen ventilaatio on rajoittunut, jos potilaan ventilaatio maksimissaan on hyvin lähellä tai jopa yli MVV:n. Terveellä ihmisellä ventilaatioon jää reserviä (MVV-VE) 15–20 l/min eli 10–20 % MVV:stä. Vielä tarkemmin ventilaation rajoittuneisuutta voidaan arvioida ja mitata, mikäli käytössä on mahdollisuus rekisteröidä rasituksen aikaisia virtaus-tilavuussilmukoita (kuva 4) ja verrata niitä levossa mitattuun maksimaaliseen virtaus-tilavuuskäyrään.

Levossa keuhkojen diffuusiokapasiteetti saattaa olla huomattavasti pienentynyt en-

nen kuin diffuusio rasituksen aikana muodostuu rajoittavaksi tekijäksi ja johtaa PaO_2 :n ja valtimoveren happikylläisyyden vähenemiseen. Tarkimman tiedon riittävästä kaasujen vaihdunnasta antaisi verikaasuanalyysien suorittaminen valtimoverestä rasituksen aikana, mutta helpoimmin riittävää hapetusta voidaan rasituksessa seurata pulssioksimetrin avulla. Jos käytävissä on hengitys-hengitykseltä (breath-by-breath) mittaava hengityskaasuanalysaattori, sen avulla mitatuista loppuhenkäyksen (end tidal) O_2 - ja CO_2 -arvoista voidaan myös päätellä hengityksen riittävyttä (kuva 5).

Liikunta ja keuhkojen sairaudet

Sellaisessa liikunnassa, jossa elimistöllä on mahdollisuus saavuttaa *vakaa tila* (steady state), kiihtyy hengitys nopeasti työn alussa ja vakiintuu sitten työn vaatimalle tasolle. Liikunnan kuormittaessa hy-



Kuva 5. Kovassa rasituksessa alveoli-ilman happiosapainetta (PaO_2) kuvaava uloshengityksen lopun happiosapaine (O_2 ET) kasvaa. Ventilaation ollessa riittävää uloshengityksen loppuosan hiilidioksidiosapaine (CO_2 ET) alenee (A). Alveoli-ilman happiosapaineen kasvu mahdollistaa valtimoveren happiosapaineen säilymisen lähes muuttumattomana. Erittäin kovassa rasituksessa se voi laskea, mutta hemoglobiinin dissosiaatiokäyrän muoto kuitenkin takaa sen, että huolimatta alentuneesta valtimoveren happiosapaineesta hemoglobiinin happisaturaatio (S_aO_2 %) säilyy rasituksen voimistuessa pitkään lähes lepotasolla. Keuhkopotilaan valtimoveren happiosapaineen alenema ja desaturatio voi olla merkittävää jo tasamaakävelyssä (B).

vin suurta osaa suorituskyvystä ei ventilaatio tasaannu, vaan jatkaa kasvuaan maksimiin asti. Terve ihminen tuntee tämän voimakkaana tarpeena hengittää nopeasti ja syvään (takypnea, hyperpnea, hyperventilaatio), ja hän ilmaisee sen hengästy-misen tunteena.

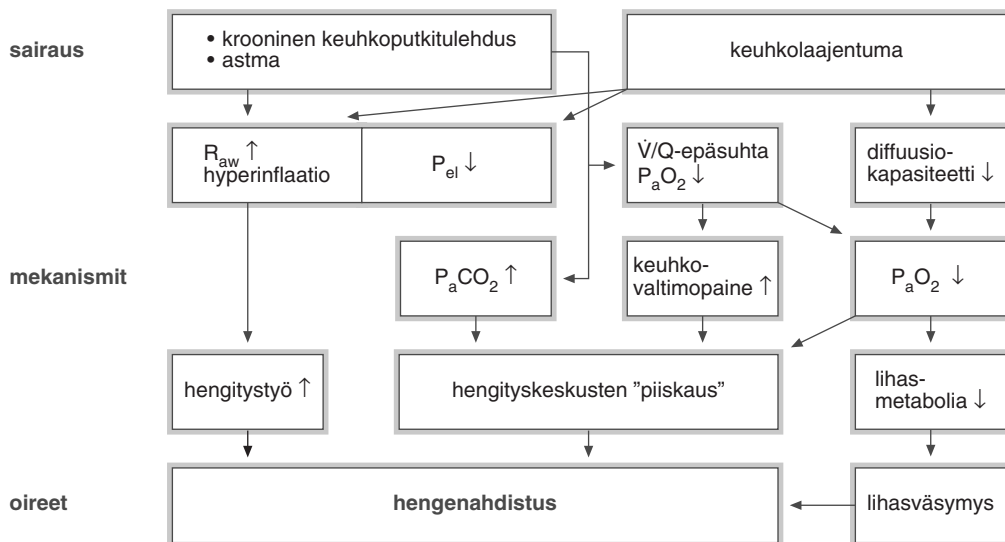
Sairaustiloissa rasituksen vaatiman ventilaation lisäämiselle tulee este(itä) ja ihminen tuntee tämän hengenahdistuksena (dyspnea, breathlessness, shortness of breath). Sen neurofysiologiset mekanismit ovat puutteellisesti tunnettuja. Mikäli ventilaatio on ollut riittämätöntä rasitus-tason vaatimuksiin nähden, oire helpot-taa vasta kun aiheutettu häiriö on korjaan-tunut. Hengenahdistuksen patofysiologi-sia mekanismeja on kaavamaisesti esitetty kuvassa 6.

Hapen ja hiilidioksidin siirtoketjussa voivat hengitystoiminnot tulla rajoittavaksi tekijäksi yhdessä tai useammassa kohdassa. Keuhkosairaiden suorituskykyä voivat heikentää ventilaation rajoittuneisuus, rasituksessa kehittyvä hypoksia, verenkiertoelimistön toiminnan häiriö ja luurankoli-haksen toimintakapasiteetin vähenemi-

nen. Ventilaation määrä voi olla rajoittunut uloshengityksen osalta ahtaiden keuhkoputkien ja niissä ilmenevän vaikeutuneen ilmavirtauksen vuoksi. Ilmavirtauksen suuruuden määräävät toisaalta ns. ajopaine ja toisaalta ilmäteiden koosta ja muodosta riippuva virtausvastus. Siten ilmäteitä tukkeavat ja ahtauttavat (obstruktiiviset) keuhkosairaudet, kuten astma ja keuhkohtaumatauti (krooninen ahtauttava keuhkosairaus, COPD), suurentavat vastusta. Sen sijaan keuhkokudoksen menettäessä elastisuuttaan, kuten keuhkolaajentumassa tapahtuu, keuhkojen mekaanisen kimmovoiman väheneminen pienentää ajopainetta ja siten virtausta (kuva 1).

Hengitysfrekvenssin kasvaessa ihminen pyrkii normaalisti lyhentämään uloshengityksen aikaa, mutta obstruktiivisessa tilanteessa tämä ei onnistukaan normaalilla tavalla. Tällaisessa tilanteessa potilas pyrkii lisäämään EELV:tä (kuva 4). Tämä helpottaa uloshengitysilman kulkua, mutta laajentaa samalla paikallisesti keuhkoja tai keuhkorakkuloita.

Ventilaatio voi olla rajoittunut myös restriktiivisissä tiloissa, joista keuhkofib-



Kuva 6. Hengenahdistuksen patofysiologisia mekanismeja kroonisessa keuhkoputkitulehduksessa, astmassa ja keuhkolaajentumassa. Raw = virtausvastus, Pel = elastinen palautumispaine (Sovijärvi 1994).

roosi vähentää keuhkojen ja rintakehän epämuotoisuutta rintakehän myötäävyyttä (komplianssia) ja laajenemista. Näissä tiloissa V_T :n kasvattaminen on räsitus-tilanteessa rajallista, ja silloin ainoa mahdollisuus suurentaa ventilaatiota tarpeelliselle tasolle on tihentää hengitystä. Keuhkofibroosissa tai -laajentumassa myös keuhkojen parenkyymiä voi olla tuhoutunut niin, että se johtaa keuhkorakkula-kapillaaripinta-alan menetykseen ja heikentää kaasujen vaihdun- ta räsituksessa, vaikka vähentynyt diffuusio vielä levossa riittäisikin normaaliin kaasujen vaihdun- taan. Näissä sairauksissa samoin kuin interstitiaalisissa keuhkosairauksissa diffuusio- vajeen aiheuttama hypoksemia, eikä niinkään ventilaatio, rajoittaa useimmin suorituskykyä. Hypoksemian korjaus esimerkiksi lisähapella voi parantaa suorituskykyä.

Keuhkoja ahtaavissa sairauksissa keuhkojen ventilaation ja verenkierron jakautuminen, ventilaatio-perfuusiosuhde (\dot{V}_A/Q), voi olla epätasaista. Tämä johtaa epäta- loudelliseen ventilaatioon kuolleen tilan ventilaation (V_D) kasvaessa suhteessa V_T :hen. Tällöin kokonaisventilaation täytyy kasvaa, jotta alveolien ventilaatio pysyisi riittävänä kaasujen vaihdun- nan kannalta. Mikäli ventilaatio ei riitä, räsituksessa nopeutuva keuhkojen verenkierto yhdessä kaasujen vähentyneen diffuusionopeuden kanssa pienentää happikylläisyyttä.

Ventilaation mekaaniset poikkeavuudet johtavat hengitystyön kasvuun. Normaalisti hengityslihasten hapenkulutus on vähemmän kuin 5 % kokonaishapenkulutus- sesta. Uloshengitys on levossa ja kevyessä räsituksessa passiivista, mutta voimakkaassa räsituksessa hengitystiheyden ja kertahengityksen suurentuessa, ts. ventilaation kasvaessa, myös uloshengityksen apulihakset ovat tarpeelliset avustamaan ilman ulosvirtausta. Keuhkosairailta hengityslihasten hapenkulutuksen osuus voi lisääntyä jopa 20 %:iin, kun se terveellä henkilöllä voi kovassa kuormituksessa olla

10–15 %. Tämä voi johtaa hengityslihasten väsymiseen, mutta tällä hetkellä ei ole varmuutta, voiko hengityslihasten väsyminen todella rajoittaa suorituskykyä. Pikemminkin vaikuttaa siltä, että hengityslihasten lisääntyvä verenkierron ja hapenkulutuksen tarve vähentää verenkiertoa muista työskentelevistä lihaksista, mikä heikentää suorituskykyä.

Ahtaavassa keuhkosairaudessa voi huonontunut suorituskyky johtua myös sydämen oikean tai vasemman puoliskon heikentyneestä toiminnasta. Myös interstitiaalisissa keuhkosairauksissa sydämen toiminta voi olla poikkeavaa. Tärkeä syy kardiovaskulaarisen toiminnan häiriöön on keuhkosairaudesta johtuva keuhkovaltimopaineen nousu räsituksen aikana. Myös lihasten heikentynyt suorituskyky huonontaa osaltaan suorituskykyä kroonisessa obstruktiivisessa keuhkosairaudessa.

Liikunta ja keuhkojen sairaudet

Keuhkosairauksissa liikuntaharjoittelu ei paranna itse sairautta eikä vaikuta sen kulkuun. Hengityselimistön reservi on myös niin suuri, että lieväästeinen keuhkosairaus haittaa vain harvoja liikunnan muotoja. Jos oireita kuitenkin ilmenee, liikuntaharjoittelulla voidaan vaikuttaa siihen, kuinka paljon keuhkojen alentunut toimintakyky vaikuttaa potilaan räsituksensietoon. Liikuntaharjoittelu on osoittautunut hyödylliseksi sekä estämään keuhkojen heikentyneen toimintakyvyn vaikutusta suorituskyvyn huononemiseen että palauttamaan jo heikentynyttä suorituskykyä. Siksi liikuntaa suositellaan osaksi keuhkopotilaan kuntoutusta.

Lihasten heikentynyttä suorituskykyä voidaan kohentaa ala- ja yläraajojen voima- ja kestävyys- harjoittelulla, ja lihaksiston suorituskyvyn parantaminen harjoittelulla onkin tärkeä osa keuhkopotilaan kuntoutusta. Parantunut lihastoiminta puolestaan

helpottaa hengityselimistön ja muun elimistön sopeutumista räsitusilanteissa nostamalla hengenahdistuksen kynnystasoa ja antamalla näin lisää toimintakapasiteettia. Harjoittelulla on voitu vähentää keuhkosairaudesta aiheutuneen inaktiivisuuden seurausvaikutuksia, ja osana muuta kuntoutusta harjoittelun on todettu vaikuttavan paitsi toimintakykyyn myös elämisen laatuun, joissain tutkimuksissa jopa merkittävämmän kuin lääkityksen (kuva 7).

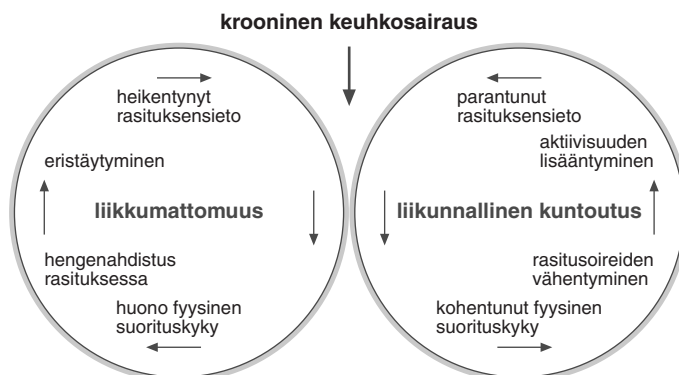
Terveellä ihmisellä keuhkojen toimintakapasiteetti on suuri ja maksimaalisessa räsituksessakin ventilaatioon jää reserviä. Siten sairauksissa lievä keuhkojen toiminnan pysyvä tai vaihteleva heikentyminen ei vielä välttämättä vaikuta suorituskykyyn, ja tällöin liikuntaa voi harrastaa rajoituksetta. Jos toiminnan heikentyminen on keskivaikeaa tasoa, se aiheuttaa usein kovemmassa räsituksessa hengenahdistusoireita ja rajoittaa suorituskykyä. Viimeistään tällöin olisi hyvä mitata suorituskyky ja arvioida kapasiteetin vähenemisen merkitys sekä tarkentaa rajoittava(t) tekijä(t). Keskivaikeassa ja erityisesti vaikeassa keuhkojen toiminnan heikentymässä hengenahdistusoire rajoittaa liikuntaa. Tällöin liikunnan avulla olisi erityisen tärkeää pitää hengästymisen aiheuttama räsitusaste mahdollisimman korkealla, jotteivät oireet rajoittaisi arkipäivän ruumiillisia toimintoja.

Lihaskunnan ylläpito muodostuu tärkeäksi liikuntaharjoittelun tavoitteeksi. Jos keuhkojen toimintahäiriö on vaihteleva, kuten astmassa, on huomio kiinnitettävä myös oikeaan ja riittävään lääkitykseen liikunnan yhteydessä. Keuhkoputkien supistuminen voi ilmetä jo suorituksen aikana sekä submaksimaalisessa että maksimaalisessa räsituksessa eikä pelkästään tyypillisenä suorituksen jälkeisenä räsitusastmareaktionä.

Koska liikunnan aiheuttama hengästymisen tai jokin liikuntaympäristön tekijä (kylmä ilma, allergia-älistus) voi laukaista astmareaktion, on liikuntaan liittyvä neuvonta oleellinen osa hoitoa muun hoidon ohjauksen lisäksi. Astmaa sairastavan tavallisen liikunnanharrastajan tavoitteena on kohottaa fyysistä suorituskykyään niin, että ilmäteiden supistumisen kynnyks nousee ja vähentynyt oireilu lisää fyysistä aktiiviteettia sekä arkiaskareissa että vapaa-aikana. Useimmissa tapauksissa keuhkopotilaan kokonaisvaltaiseen hoitoon voidaan ja tulisi liittää ohjaus liikunnan tehokkaaseen ja turvalliseen harrastamiseen. Taulukkoon 3 on kerätty käytännön vihjeitä potilaan liikunnan ohjaamiseen.

Akuutit hengitystieinfektiot

Äkillisistä hengitystietulehduksista suurin osa on virusinfektioita, joista terve elimistö



Kuva 7. Sairauden aiheuttaman liikkumattomuuden kierrettä voidaan pyrkiä katkaisemaan liikunnallisella kuntotutuksella.

Taulukko 3: Liikuntaan liittyviä ohjeita annettavaksi keuhkopotilaille.

- Valitse tuttu ja mieleinen liikuntamuoto.
- Ota liikuntaharrastuksestasi huolimatta lääkkeesi sovitusti.
- Jos käytät keuhkoputkia avaavia ja niitä auki pitäviä lääkkeitä, ota lääkitys riittävän varhain ennen liikuntaa (15 min–30 min) ja pidä nopeavaikutteinen (avaava) lääke aina mukana ja saatavilla ja käytä sitä tarvittaessa ensiapulääkityksenä.
- Vältä nopeaa, voimakasta liikunnan aloitusta etenkin, jos olet aloittelija tai huonokuntoinen tai tottumaton liikkuja.
- Suorita huolellinen lämmittely ennen rasitusta, jotta vältyt äkilliseltä hengästymiseltä.
- Varaudu, vältä, suojaudu tai jätä liikunta hetkeksi
 - * pakkasella (suojaudu)
 - * allergia-aikana (lääkitys)
 - * infektioiden aikana (pidä lepoa).
- Jos sairautesi hoitotasapaino on huono, vältä kovatehoista liikuntaa ennen kuin hyvä hoitotasapaino on saavutettu uudelleen.

selviytyy hyvin. Virusinfektiot ovat tavallisesti myös yleissairauksia, ja niiden seurauksena voi ilmetä esimerkiksi lihasten, sydämen tai verisuoniston tulehduksia, joiden pahenemista on yritettävä estää (ks. luku 38, Infektiot). Haittojen minimoimiseksi on akuutin hengitystieinfektion aikana syytä välttää rasittavaa liikuntaa. Nopeasti kehittyvien oireiden (yleinen sairauden tunne, kuume, yskä, yskökset, hengityksen vinkuminen) ilmaannuttua on syytä pidättäytyä ylimääräisestä liikunnasta.

Tulehduksen aikana hengitysteiden solujen limantuotanto kasvaa. Mikrobin lisääntyminen ja erilaisten välittäjäaineiden vapautuminen ärsyttävät hermopäätteitä ja aiheuttavat yskää ja keuhkoputkien supistumista. Värekarvojen toiminta heikenee, ja lima tukkii pieniä keuhkoputkia. Ventilaation ja perfuusion epäsuhta suurenee, ja ahtautuneen keuhkoputkiston vastus voi olla niin paljon normaalia suurempi, että hengittäminen tuntuu raskaalta. Vaikka akuutti oireisto menee tavallisesti muutaman vuorokauden kuluessa ohi, on keuhkojen toiminta yleensä häiriintynyt pitempään. Pisimpään säilyy keuhkoputkien voimistunut supistumisärsyntyvyys. Se voi tulla esille hengityksen vaikeutumisenä vielä useita viikkoja akuutin vaiheen jälkeen etenkin astmaatikoilla. Se ilmenee etenkin, jos liikuntaan sisältyy jokin lisäärsyke, kuten kylmä tai kuiva ilma, savu

tai pöly. Keuhkoputkien supistumista estävät ja limakalvoja hoitavat lääkkeet voivat olla tilapäisesti tarpeellisia tai ainakin hyödyllisiä. Tilanteen merkitys on korostunut kilpaurheilijoilla. Ennestään keuhkosairailta akuuttivaiheet voivat olla voimakkaampia ja pitempikestoisia ja lisäseuraukset vaikeampia kuin terveillä henkilöillä. Keuhkosairailta myös levon merkitys korostuu ja usein joudutaan tehostamaan lääkehoitoa.

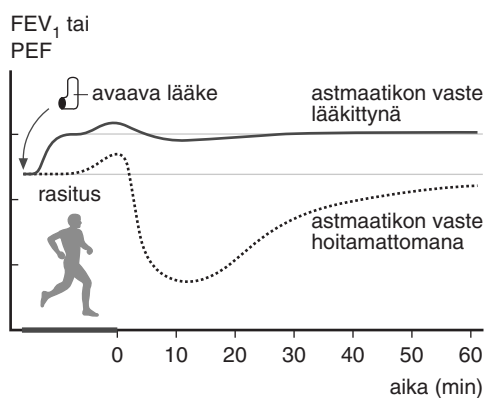
Astma

Astma on yleisimpiä sairauksia maassamme. Koko väestössä sen yleisyys on lasketavasta riippuvasti 4–7 %. Se on nykyisin erityisen yleinen lapsilla ja nuorilla, joilla valtaosalla on atooppinen eli allergiseen taipumukseen liittyvä astma. Atooppista astmaa sairastavilla oireilu saattaa ilmetä vain siitepölyaikana. Osalla astmaa sairastavista, noin 10 %:lla astmaatikoista, oireilu voi ilmetä vain fyysiseen rasitukseen liittyvänä ohimenevänä hengitysteiden supistumisena eli rasisusastmana. Kaikki astmaatikot voivat kuitenkin saada rasituksesta reaktion etenkin, jos lääkehoito ei ole tasapainossa. Useiden tutkimusten mukaan noin 10–15 %:lla urheilua harrastavista on todettavissa rasisusastmalle tyypillinen reagentitaiipumus. Erityisen yleistä tämä on kestävyyslajeissa ja talviurheilulajeissa, jois-

sa ulkoiset olosuhteet, kylmä ja kuiva ilma, altistavat oireille. Mitään näyttöä ei kuitenkaan ole siitä, että urheilu sinänsä aiheuttaisi astmaa. Urheilu vain tuo piilevän oireilun selvemmin esille.

Astman diagnoosi perustuu edelleen kliinisiin havaintoihin, joita tukevat keuhkojen toimintakokeet ja erityisesti allergisen taipumuksen osoittaminen. Astmapotilas kärsii ajoittaisesta hengitysteiden ahtaumisesta. Aiemmin korostettiin keuhkoputkien supistumisen eli spasmin merkitystä. Nykyisin tiedetään, että taudin patofysiologisena erityispiirteenä on tulehdus eli inflammaatio, joka ilmenee hengitysteiden epiteelin muutoksina ja keuhkokuodon tulehdussolujen lisääntymisenä erilaisten ärsykkeiden (usein allergeenien) vaikutuksesta. Tulehduksen vuoksi soluisia (eosinofiilit, makrofagit) vapautuu erilaisia välittäjäaineita, jolloin keuhkoputkien sileä lihaksisto supistuu ja limaneritys kiihtyy. Hengitystiet ahtaautuvat niin, että hengitys, varsinkin uloshengitys, vaikeutuu pahimmillaan korvin kuultavaksi vinkunaksi. Lievemmissä tapauksissa oireena on yskää ja hengityksen raskauden tunnetta. Tarttuvat hengitystiesairaudet voimistavat muutoksia, myös supistelutaipumusta, kuten edellä on kuvattu.

Rasituksen liittyvän astmareaktion oletetaan syntyvän äkillisesti lisääntyneen ven-



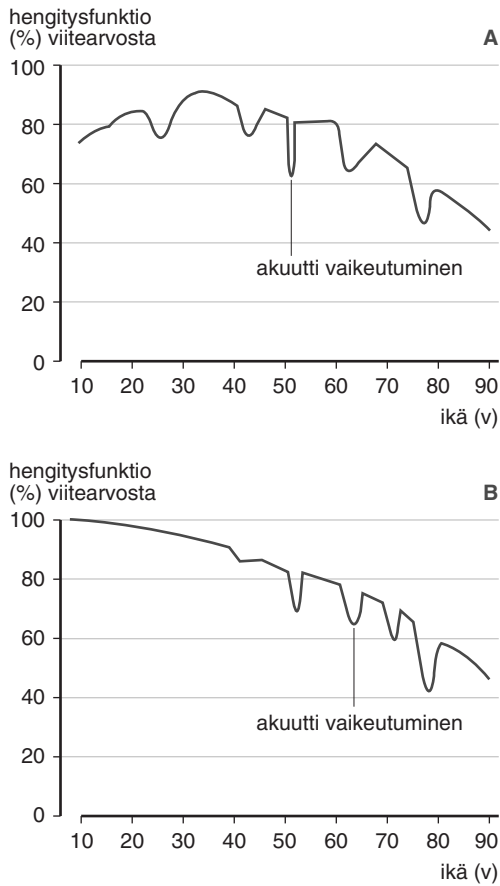
Kuva 8. Astmaatikon keuhkopuhallusarvojen muutokset rasituksen yhteydessä ilman lääkitystä ja lääkitynä.

tilaation aiheuttamasta hengitysteiden nopeasta kuivumisesta ja jäähtymisestä. Rasitusastmareaktio tuleekin yleensä helpoimmin muutaman minuutin mittaisen, lähes maksimaalisen juoksun tai vastaavan rasituksen johdosta (kuva 8). Sen vuoksi tutkimuslaboratorioissa bronkospasmi pyritään saamaan esille juoksuttamalla tutkittavaa henkilöä juoksumatolla, kun hän samalla hengittää kylmää ja kuivaa ilmaa. Mahdollisesti myös kehon ja keuhkojen voimakas liike ja värinä saavat aikaan keuhkoputkien supistumiseen johtavien välittäjäaineiden vapautumista. Myös pelkkä voimakas kuivan ja kylmän ilman hengittäminen saattaa saada aikaan bronkospasmin. Keuhkoputkien supistuminen voi ilmetä jo suorituksen aikana submaksimaalisessa tai maksimaalisessa rasituksessa tai vielä tyypillisemmin pelkästään suorituksen jälkeen.

Usein astman oireet tulevat esille jo lapsuus- ja nuoruusiässä, jolloin ihminen on luonnostaan aktiivisimmillaan ja siksi altis rasitusreaktioille (ks. myös luku 10, Liikunta lapsena ja nuorena). Oireet ovat tuolloin myös voimakkaita, koska hengitysteiden poikkileikkausmitat ovat pienet. Oireet saattavat vähentyä murrosiässä ja voivat kokonaan hävitä, kunnes ne tulevat esille keski-ikässä keuhkotoimintojen luonnostaan heikentyessä iän myötä (kuva 9).

Astmaatikolla suorituskyky paranee kuten muillakin liikuntaa harrastavilla ja hengästymiskynnys siirtyy suuremmalle rasitustasolle liikuntaharjoittelun avulla. Tämä vähentää rasitukseen liittyvää oireilua arkielämässä. Itse sairauden kulkuun ja eteneeseen sekä kuolleisuuteen vaikutukset ovat epävarmoja, mutta vaikutuksia elämänlaatuun on todettu.

Hyvän kunnon hankkiminen liikunnalla on suositeltavaa myös astmaatikolle. Ennen rasittavan liikunnan aloittamista tulisi kuitenkin huolehtia astmaa pahentavien tekijöiden välttämisestä ja tehokkaan hoidon toteuttamisesta erikoislääkärin ohjeiden mukaan. Hoidon perustana on hengitys-



Kuva 9. Astmaa (A) ja kroonista bronkiittia (B) sairastavan hengitysfunktio elinkaaren kuluessa ja sairauden pahenemisvaiheissa.

teiden limakalvon hyvä hoito, joka vähentää keuhkoputkien supisteluaipeumusta. Ylimääräisen keuhkoputkia avaavan ja aukkipitävän lääkesuihkeen otto ennen rasi- tusta auttaa tavallisesti liikunnanharastajaa välttämään astmareaktion niin suorituksen aikana kuin sen jälkeenkin (kuva 8).

Hyvä verryttely ennen voimakasta liikuntaa on suositeltavaa, ja sen jälkeen voi varsinainen pitempi suoritus olla oireeton, vaikka lääkitys olisi vähäisempää tai sitä ei käyttäisi ollenkaan. Hyvä ensiapukeino mahdollisten rasitusoireiden ilmaantuessa on hengityksen tiheyden tietoinen hidastaminen ja samalla ulosvirtauksen hidastaminen osittain suljettujen huulien läpi hengittämällä. Tämä muuttaa virtaus- ja

painesuhteita edullisemmiksi niin, että raskas fyysinen suoritus onnistuu lievästä bronkospasmista huolimatta. Astmaatikon on hyvä muistaa, että urheilu kylmässä ilmassa (pakkasessa) voimistaa astmareaktiota. Lisäksi usein toistuva hyvin kylmän ilman hengittäminen fyysisen ponnistuksen yhteydessä voi aiheuttaa hengitysteiden pitempikestoisen ärsytys- ja tulehdustilan niin, että hengitysteiden ahtautumista ilmenee tavallista helpommin myös muulloin. Siksi pakkasella tapahtuvassa liikunnassa on suotavaa ainakin kokeilla lämmönvaihtimella varustettuja hengityssuojaimia, jotka lämmittävät ja kostuttavat sisään hengitettävää ilmaa.

Melkein kaikki liikuntamuodot sopivat astmaatikoille. Uintia pidetään heille erityisen sopivana liikuntamuotona, koska sen aikana hengitysilma on kosteaa ja usein myös melko lämmintä eikä allergia- altistus ole todennäköinen suorituksen aikana. Uinnissa hengitystapa on myös yleensä kontrolloitu ja hidas uloshengitys vähentää hengitysvastusta. Lisäksi uloshengitys veteen puhallettuna aiheuttaa vastapaineen, joka saattaa helpottaa keuhkoputkien auki pysymistä uloshengityksen aikana.

Astmaatikoille kiellettyinä voidaan pitää vain sellaisia liikuntamuotoja, joissa ilmenevä astmareaktio on hengenvaarallinen joko potilaalle itselleen tai muille. Tällaisia lajeja ovat esim. sukeltaminen, vuorikiipeily ja riippuliito. Jotkut harvat astmapotilaat saavat astmareaktion lisäksi hyvin voimakkaan kurkunpään ahtauman ja nielun turvotuksen (etenkin allergia- altistukseen liittyvän), jonka hoitaminen voi vaatia välitöntä ensiapua ja adrenaliiniruisketta sekä hengityksen avustamista. Tällaisten astmaatikkojen ei pidä urheilla yksin, ja heillä tulee olla ensiapulääkitys aina saatavilla.

Keuhkoahtaumatauti (krooninen obstrukttiivinen keuhkosairaus, COPD)

Keuhkoahtaumatautia sairastavilla on krooninen keuhkoputken tulehdus tai keuh-

kolaajentuma tai niiden erilaisia yhdistelmiä. Myös osa pitkään astmaa sairastaneista voi kuulua tähän ryhmään. Potilaat ovat yleensä keski-ikäisiä tai vanhempia ihmisiä, lähes aina nykyisiä tai entisiä tupakoitsijoita. Heillä on vaihtelevassa määrin yskää ja ysköksiä merkinä kroonisesta keuhkoputkien tulehduksesta sekä sairauden edetessä rasiuksessa ilmenevää hengenahdistusta. Keuhkohtaumaa sairastavia potilaita on eri tutkimusten mukaan 10–15 % aikuisväestöstämme.

Keuhkoputkien pitkään kestäneen tulehduksen ja keuhkokudoksen tuhoutumisen takia erityisesti uloshengitys on vaikeutunut ja rintakehä on usein laajentunut, tynnyrimäinen. Sairauden etenemiselle on luonteenomaista sekuntikapasiteetin pieneneminen (kuva 9). Spirometriassa todetaan ekspiratorinen ahtauma etenkin suhteessa keuhkojen tilavuuteen ($FEV_1/FVC \% < 70$ sopimuksen mukaisena rajana). Ahtauma lieventyy keuhkoputkia avaavien lääkkeiden (astmalääkkeiden) vaikutuksesta vain niukasti. Röntgenkuvassa tyypillistä on rintakehän sisäisen tilavuuden suureneminen, pallean litteys ja keuhkovaltimoiden paksuuntuminen.

Keuhkolaajentuman lisääntyessä ilmenee myös kaasujen vaihdunnan häiriö, joka on mitattavissa diffuusiokapasiteetin pienemisenä ja havaittavissa sairauden edetessä myös valtimoveren happipitoisuuden vähenemisenä ensin rasiuksessa ja myöhemmin myös levossa (kuva 10).

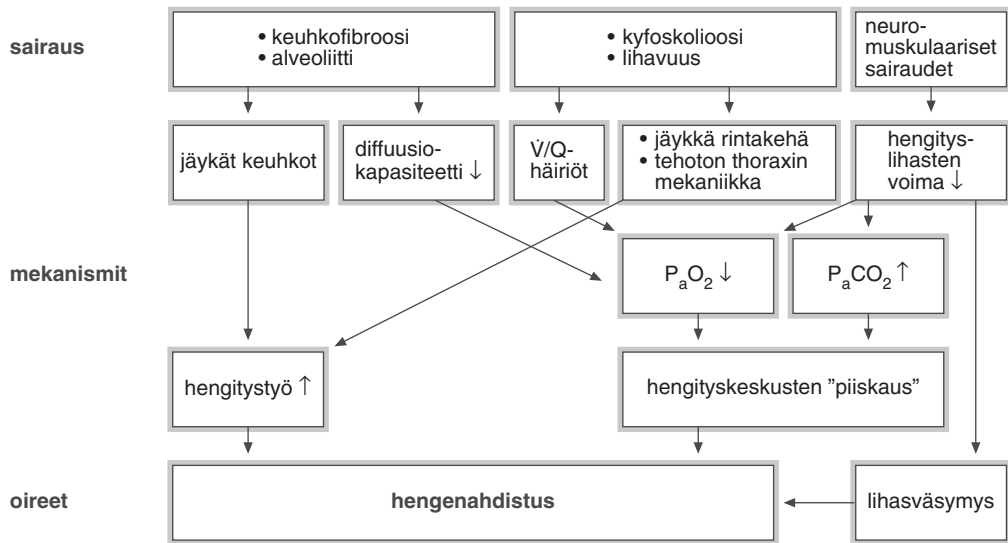
Hiljalleen voimistuva hengenahdistus on se oire, joka saa potilaan tuntemaan itsensä sairaaksi. Keuhkojen ventilaation huonontuessa heikkenee myös keuhkojen verenkierto varsinkin niillä potilailla, joiden keuhkokudosta tuhoutuu. Tällöin keuhkovaltimopaine suurenee ja sydämen oikea puoli kuormittuu. Keuhkojen ventilaation ja perfuusion suhde on tässä potilasryhmässä tunnusomaisesti epäedullinen, mistä on seurauksena veren happipitoisuuden pieneneminen. Tämä ilmenee ihon ja

limakalvojen sinisyytenä, ja ongelma koo-rostuu makuuasennossa ja erityisesti yöllä nukkuessa sekä rasiuksessa.

Hengenahdistuksen vuoksi rasitus ja liikunta jäävät usein vähäisiksi. Sen vuoksi yleinen lihaskunto huononee. Lisähaitaksi saattaa kehittyä lihavuus varsinkin tupakanpolton lopettamisen jälkeen. Sairauden edettyä vielä pitemmälle suurin osa potilaista kuitenkin laihtuu.

Keuhkohtaumatautia sairastavia pyritään kuntouttamaan monin keinoin. Tavoitteena on hidastaa sairauden etenemistä ja toisaalta parantaa potilaiden fyysistä ja henkistä selviytymistä mahdollisimman pitkään. Tässä liikunnallisella kuntouttamisella on nykykäsityksen mukaan suuri merkitys. Potilaille tulisi suositella kaikkea sitä liikuntaa, jota he haluavat ja jaksavat harrastaa. Hengenahdistus rajoittaa raskaita suorituksia niin tehokkaasti, ettei muita rajoituksia yleensä tarvita. Tehtävät, joissa tarvitaan paljon voimaa ja sen vuoksi hengityksen pidättämistä, voivat olla vaikeita, koska keuhkoissa vallitsevan paineen suureneminen hidastaa voimakkaasti entisestäään huonontunutta verenkiertoa. Osa potilaista oppii spontaanisti hidastamaan uloshengitystä huulillaan, ja muillekin olisi syytä tekniikka opettaa, koska sen avulla hengitys voi sujua paremmin, varsinkin rasiuksessa.

Keuhkohtaumasairautta voidaan hidastaa hoitamalla pahenemisvaiheet mahdollisimman tehokkaasti. Tupakoinnin lopettamisella on keskeinen merkitys. Liikunta-harjoittelulla voidaan parantaa yleistä lihaskuntaa ja selviytymistä rasiustilanteissa, vaikka maksimaalinen hapenottokyky ei yleensä merkitsevästi paraneakaan. Kun sairaus on lieväasteinen, eivät monetkaan potilaat tunne itseään kovin huonokuntoiseksi, vaan kokevat voivansa harrastaa liikuntaa. Sen intensiteetti ja harrastuskerrat kuitenkin vähenevät voimakkaasti sairauden vaikeutuessa vuosi vuodelta, vaikka lihaskuntaa ja eri tehtävistä suoriutumista pitäisi ylläpitää (kuva 7).



Kuva 10. Hengenhadistuksen patofysiologisia mekanismeja interstitiaalisissa keuhkosairauksissa, rintakehän liikkuvuutta rajoittavissa tiloissa ja hermo-lihassairauksissa (Sovijärvi 1994).

Kun valtimoveren happiosapaine on le-vossa laskenut alle 7,5 kPa:n, kannattaa potilaalle antaa lisähappia jatkuvasti nenäviiksillä, jotta liikuntakyky säilyisi mahdollisimman pitkään. Suomessa on noin 1 000 tällaista potilasta, jotka saavat jatkuvaa koti-happihoitoa. Monilla potilaista, jotka ovat iäkkäitä, on myös jokin sydämen ja verenkiertoelimistön sairaus, mikä on hyvä pitää mielessä kun potilaita kuntoutetaan. Toisaalta sepelvaltimotauti tai perifeerinen valtimosairaus katkokävelyoireineen voi rajoittaa suorituskykyä ensisijaisesti eikä potilas huomaa keuhkosairaudesta johtuvaa haittaa eikä siihen tule kiinnitettyä huomiota.

Kirjallisuutta

- Beck K C, Offord K P, Scanlon P D. Broncho constriction occurring during exercise in asthmatic subjects. *Am J Respir Crit Care Med* 1994; 149: 352–7.
- Cooper C B. Determining the role of exercise in patients with chronic pulmonary disease. *Med Sci Sports Exerc* 1995; 27: 147–57.
- Dempsey J A, Wagner P D. Exercise-induced arterial hypoxemia. *J Appl Physiol* 1999; 87 (6): 1997–2006.

Muut keuhkosairaudet

Rintakehän epämuotoisuus, hengityselinten toimintaa vaikeuttavat tilat ja keuhkokuodosta jäykistävät sairaudet suurentavat hengitystyötä, aiheuttavat hengenhadistusta rasituksessa ja usein myös voimakasta hypoksemiaa (kuva 10). Fyysinen harjoittelu ja mahdollisimman monipuolinen liikunta, joka pitää yllä verenkierron ja lihasten toimintaa, on tarpeen sairauksien aiheuttamien haittojen minimoimiseksi.

- Folgering H v, Herwaarden C. Exercise limitations in patients with pulmonary diseases. *Int J Sports Med* 1994; 15: 107–11.

- Hallstrand T S, Bates P W, Schoene R B. Aerobic conditioning in mild asthma decreases the hyperpnea of exercise and improves exercise and ventilatory capacity. *Chest* 2000; 118 (5): 1460–9.

- Harms C A, Wetter T J, St Croix C M, Pegelow D F, Dempsey J A. Effects of respiratory muscle work on exercise performance. *J Appl Physiol* 2000; 89 (1): 131–8.
- Johnson B D, Weisman I M, Zeballos R J, Beck K C. Emerging concepts in the evaluation of ventilatory limitation during exercise: the exercise tidal flow-volume loop. *Chest* 1999; 116 (2): 488–503.
- Kinnula V, Tukiainen P, Laitinen L A, toim. Keuhkosairaudet. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim, 1997.
- Kotaniemi J, Rintamäki H. Miten pakkaneen puree hengitykseen? – Astma ja keuhkohtaumatauti kylmässä ilmastossa. *Duodecim* 2005; 121: 44–8.
- Kyle J M. Exercise-induced pulmonary syndromes. Kirjassa: *Sports Medicine. Med Clin N Am* 1994; 78: 2.
- Lacasse Y, Brosseau I, Miln S ym. Pulmonary rehabilitation for chronic obstructive pulmonary disease: *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2002 (3).
- Manning H L, Schwartzstein R M. Pathophysiology of dyspnea. *N Eng J of Med* 1995; 333 (23): 1547–53.
- McFadden E R, Gilbert I A. Exercise-induced asthma. *N Eng J Med* 1994; 330: 1362–7.
- Puolanne M, Tikkanen H. Astma ja liikunta. Kirjassa: Laitinen L A, Juntunen-Backman K, Hedman J, Ojaniemi S, toim. *Astma*. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim, 2000, s. 68–83.
- Ram F S F, Robinson S M, Black P N. Effects of physical training in asthma: a systematic review. *Br J Sports Med* 2000; 34: 162–7.
- Ram F S F, Robinson S M, Black P N. Physical training for asthma. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2004.
- Rundell K W, Randall L W, Lemske R F Jr, toim. Exercise-induced asthma. *Pathophysiology and treatment*. Champaign, IL: Human Kinetics Publisher, 2002.
- Salman G F, Mosier M C, Beasley B W, Calkins D R. Rehabilitation for patients with chronic obstructive pulmonary disease: meta-analysis of randomized controlled trials. *J Gen Intern Med* 2003; 18: 213–21.
- Sovijärvi A, Uusitalo A, Länsimies E, Vuori I, toim. *Kliininen fysiologia*. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim, 1994.
- Tikkanen H, Peltonen J. Liikunta ja keuhkot. *Duodecim* 2001; 117: 639–46.
- Wasserman K, Hansen J E, Sue D, Whip B J, Casaburi R. *Principles of exercise testing and interpretation*. Philadelphia: Lea & Faebiger, 1994.