dr. Nagy László Béla

A KARDIOPULMONÁLIS TERHELÉSES VIZSGÁLAT ORVOSI ALKALMAZÁSA

Tartalom jegyzék

Előszó…… 4
Bevezetés…….6
Indikációk és kontraindikációk……9
Beteg biztonság…… .10
Eszközök……12
Minőségbiztosítás……...17
Terhelési protokollok……..24
Paraméterek ……30
Oxigén felvétel……32
Széndioxid leadás……37
Percventiláció……..39
Ventilációs tartalék……..42
Légzési minta……..43
Légzési térfogat-percventiláció összefüggés……..47
Légzési térfogat és a maximális áramlás-térfogat görbe……48
Oxigén-légzés……53
Szívfrekvencia……53
Szívfrekvencia tartalék……...55
Verővolumen……..57
A szív perctérfogata……...57
A szöveti oxigén extrakció…… 57
Oxigén pulzus……58
Vérnyomás……63
EKG……...67
A légzési ekvivalensek……..68

Fiziológiás holttér/légzési volumen aránya…….72
Alveoláris gáztenziók……..75
Alveolo-artériás gáztenzió különbségek……..79
Pulzoximetria……...80
Gázcsere arány…….82
Indirekt kalorimetria……82
Anaerob küszöb……...84
Nehézlégzés…….90
Betegségek …….91
Obstruktív tüdőbetegségek……..93
Intersticiális tüdőbetegség…….....…… 101
Koronária betegség……105
Krónikus szívelégtelenség…….106
Pulmonális vaszkuláris betegség……...110
Kronotróp inkompetencia……..111
Hipertónia……..116
Perifériás verőérbetegség……...120
Anémia……...123
Karboxihemoglobinémia……123
Obesitas……..124
Mellkasfali elváltozások…….127
Krónikus metabolikus acidózis……...131
Izomanyagcsere betegségei…….131
Anxietas, hiperventiláció…….134
Edzettség hiány……134
Nagyobb edzettség (sportolók)……137
Nem kellő erőlködés, kooperáció hiány…….. 140
Tévedési lehetőség……140
A kardiopulmonális terheléses vizsgálat szerepe a preoperatív kivizsgálásban… 144

A kardiopulmonálius terheléses vizsgálat szerepe a sportban …… 146
Normál értékek összefoglalása ……148
Ajánlott összefoglaló irodalom ……150

Előszó

A fizikai terhelés az ember életének alapvető része: munkavégzés során, sporttevékenységben egyaránt. A betegségek jelentős része korlátozza a fizikai terhelhetőséget. Érthető tehát, hogy a fizikai terhelhetőség vizsgálatának úgy az orvostudományban mint a munkaegészségügyben, de a sportban is jelentősége van. Egyik módszere a kardiopulmonális terheléses vizsgálat. Az első kerékpár ergométert 1896-ban alkották (Bouny). Ergométert spirográffal először 1929-ben kapcsoltak össze (Knipping), ekkor született a spiroergometria kifejezés is. A légzési gázokat ugyan már 1912-ben (Haldane), a vérgázokat 1924-ben (Van Slyke) vizsgálták, de az akkori műszerek nem voltak alkalmasak terhelés közbeni vizsgálatra. Jelentős technikai fejlődésre volt szükség a mai értelemben vett terheléses vizsgálat létrehozására. Ebben úttörő szerepe volt 1960-tól Karlman Wassermannak. Számítógépet is ő alkalmazott először (1964-ben) a terheléses módszer során. A légzésről légzésre (breath-by breath) mérési lehetőség 1973-ban teremtődött meg. Az 1980-as évektől terjedt el aztán világszerte ezen vizsgálat. Mivel már nemcsak ergometriáról és spirográfiáról van szó, hanem légzési és vérgázok méréséről is, ezért az eredeti spiroergometria elnevezést felváltotta a kardiopulmonális terheléses vizsgálat kifejezés. Ez helyesen fejezi ki a módszereket, de a vizsgálat komplexitását még ez sem tükrözi. Hiszen információkat szolgáltat a légzésen, szívműködésen, perifériás keringésen kívül a vérről, vázizomzatról, anyagcseréről és a pszichés tevékenységről is. Emiatt az értékelés nagyon össszetett. Adott paraméter változásának több oka is lehet, melyet a többi paraméter viselkedéséből kell

azonosítani. A való életben pedig az egyes betegségek okozta eltérések nem tisztán jelennek meg, hiszen egy betegnek több betegsége is lehet. A paraméterek viselkedése ez esetben az azonos vagy éppen ellenkező irányú befolyástól függően alakul. Ezt kell mint egy puzzle-t összerakni. Emiatt a módszer önálló művelése feltételezi a nyugalmi légzésélettan, légzés kórélettan, légzésfunkciós módszerek ismeretét, továbbá a szükséges mértékben a többi szervrendszer élettanának, kórélettanának az értelmezéshez szükséges mélységű ismeretét.
A kardiopulmonális terheléses vizsgálat fokozódó elterjedése várható hazánkban is. Egyre nagyobb jelentőségre tesz szert különböző szakterületeken. Továbbá minimumfeltétel kardiológiai osztályok, kardiológiai rehabilitáció, szívsebészet, szerv transzplantációk, tüdőgyógyászati osztályok, légzőszervi rehabilitáció területén. Ezért a drága műszer ellenére egyre több helyen létesül ilyen laboratórium. Ez egyre több szakembert igényel. Magyar nyelven azonban nem áll rendelkezésre olyan szakkönyv, mely a szükséges ismereteket a mai szinten tartalmazná. Jelen munkával azt a célt tűztem ki, hogy segítsem ezt a folyamatot. Kellő részletességgel tárgyalva a témát ahhoz, hogy segítségével el lehessen kezdeni önállóan. Természetesen a leleteket kézhez kapó kollégáknak is hasznos lehet utánanézni, hogy mi mit jelent.
A szükséges tapasztalatot az egykori miskolci Szent Ferenc kórházban (annak rehabilitációs szakkórházzá alakulása után) létrehozott kardiopulmonális terheléses laboratóriumában szereztem. Kívánom,hogy vegyék hasznát mindennapi munkájukban.

dr.Nagy László Béla

Bevezetés

Az ATP mint energiaforrás
A fizikai terhelés során az izmokban kémiai energia alakul át mechanikai energiává. A termodinamika törvényszerűségei szerint a lezajló biokémiai folyamatokhoz aktiválási energia szükséges. Az energia kinyerése a tápanyagokból indul oly módon, hogy az azokban lévő hidrogén oxidoredukciós folyamatokban speciális hidrogén (elektron) szállító molekulákba kerül. Utóbbiak közül a legfontosabb a NAD (nikotinsavamid-adenin-dinukleotid) és a FAD (flavin-adenin-dinukleotid). Aerob körülmények között a mitochondriumokban a redukált formáju NADH és $FADH_2$ a terminális oxidáció során oxidálódik, s az ADP(adenozin difoszfát) foszforilálásával ATP(adenozin trifoszfát),egy energia gazdag foszfát keletkezik. Utóbbi számos folyamat energia forrása. Az izommunka alatt az ATP folyamatosan felhasználódik és újratermelődik. Az energia raktározására a kreatinfoszfát alkalmas, mely tárolódik és amikor kreatinná defoszforilálódik biztosítja az energiát az ADP-ATP átalakuláshoz.
Aerob és anaerob izomanyagcsere
Aerob körülmének között az izomzatban zsírsav oxidáció és aerob glikolizis, míg anaerob viszonyok között anaerob glikolizis történik.
A zsírsavak oxidációja:
Az izmok számára nagyon fontos energiaforrás. A mitochondriumokban megy végbe. 1 molekula palmitinsav oxidációja során 129 molekula ATP jön létre.
Glikolízis:
Szintén a mitochondriumokban történik. 1 molekula glukózból 2 molekula piruvát keletkezik és közben ATP képződik. Aerob glikolízisben a piruvát főleg acetil-Coenzim-A-vá alakul és belép a citrátkörbe. Anaerob körülmények között a piruvát laktáttá redukálódik. Az aerob glikolízis folyamán 1 molekula glukóz felhasználásával 36-38 molekula ATP képződik. Ezzel szemben az anaerob glikolízis során 1 molekula glukózból mindössze 2 molekula ATP.
Vázizom rost tipusok
Az I. tipusu rostok mioglobinban gazdagok (vörös színüek), lassan húzódnak össze, sok mitochondriumot és oxidatív enzimet tartalmaznak. A II.b tipusuak mioglobinban szegények (ún. fehér rostok), gyorsan húzódnak össze, mitochondriumokban és oxidatív enzimekben szegények. A II.a tipusuak átmenetet képeznek, oxidatív típusuak, de gyorsan összehúzódók. Ezen rosttipusokban tehát eltérő az aerob ill. anaerob bontás aránya.
A terhelés élettani hatása
A terhelés kezdetén fokozatosan nő a tápanyagok oxidációja, mely regenerálja az ATP-t és fenntartja az izomrostok kontrakcióját. A sejtek fokozott anyagcsere szükséglete alkalmazkodási folyamatokat indít el a centrális (kardiopulmonális) és a perifériás rendszerek (vázizom rostok és anyagcsere válasz) területén. A légzőrendszerben fokozódik a ventiláció és a gázcsere, a kardiovaszkuláris rendszerben megnő a szív perctérfogata, hogy biztosítsa az oxigén transzportot. A

működő izmokban emelkedik az oxigén extrakciója a vérből. Bármely rendszer zavara a terheléshez való akut alkalmazkodási reakciót csökkenti, s ezt a zavart vizsgáljuk a kardiopulmonális terhelési teszttel.

A kardiopulmonális terhelés teszt

Korábban inkább az ergospirometria vagy a spiroergometria elnevezést használták. Ez a terhelés és spirometria együttes végzését jelenti nyelvtanilag. Újabban a kardiopulmonális terheléses vizsgálat (cardiopulmonary exercise test) elnevezést preferálják, tehát terhelés mellett a szív és tüdő vizsgálata. Egyik elnevezés sem fejezi ki a vizsgálat komplexitását: Terhelés közben nyerünk információt a kardiovaszkuláris, légzési, hematológiai, endokrin, anyagcsere, vázizomat, neuropszichiátriai funkciókról. A fizikai terhelés hatása ugyanis multifaktoriális. Emellett függ a feladattól, a tapasztalattól és a percepciótól is. Tehát egy igen komplex folyamat, melyet éppen komplex voltában igyekszünk felfogni.

Fizikai bevezető

Erő :

F= m.a ahol m a tömeg, a a gyorsulás

SI mértékegysége a Newton=kg.m/s2

Átszámítási faktor: kilopondról(kp) Newtonra: 9,80 Newtonról kilopondra: 0,102

Munka:

W=F.s ahol F az erő, s az út

SI mértékegysége a joule=Watt.secundum

Átszámítási faktor: kp.m-ről Joule-ra: 9,80 Joule-ról kp.m-re: 0,102

Teljesítmény:

P=W/t ahol W a munka, t az idő.

SI mértékegysége a Watt=joule/s

Átszámítási faktor: kp.m/min-ról Wattra:0,163 Wattról kp..m/min-ra: 6,12

Energia:

Munkavégző képesség. Különböző energiafajták vannak.

A hőenergia SI mértékegysége a joule. A fiziológiában a nagyságrend miatt a kJ-t használjuk.

A joule=kg.m2/s2

Átszámítási faktor: 1 kcal 4,2 kJ 1 kJ 0,24 kcal

Nyomás:

p=F/A ahol F az erő, A a felület. Itt a parciális nyomás fogalmát használjuk. Dalton törvénye szerint egy gázelegy nyomása egyenlő a gázelegyet alkotó gázok parciális nyomásának összegével.

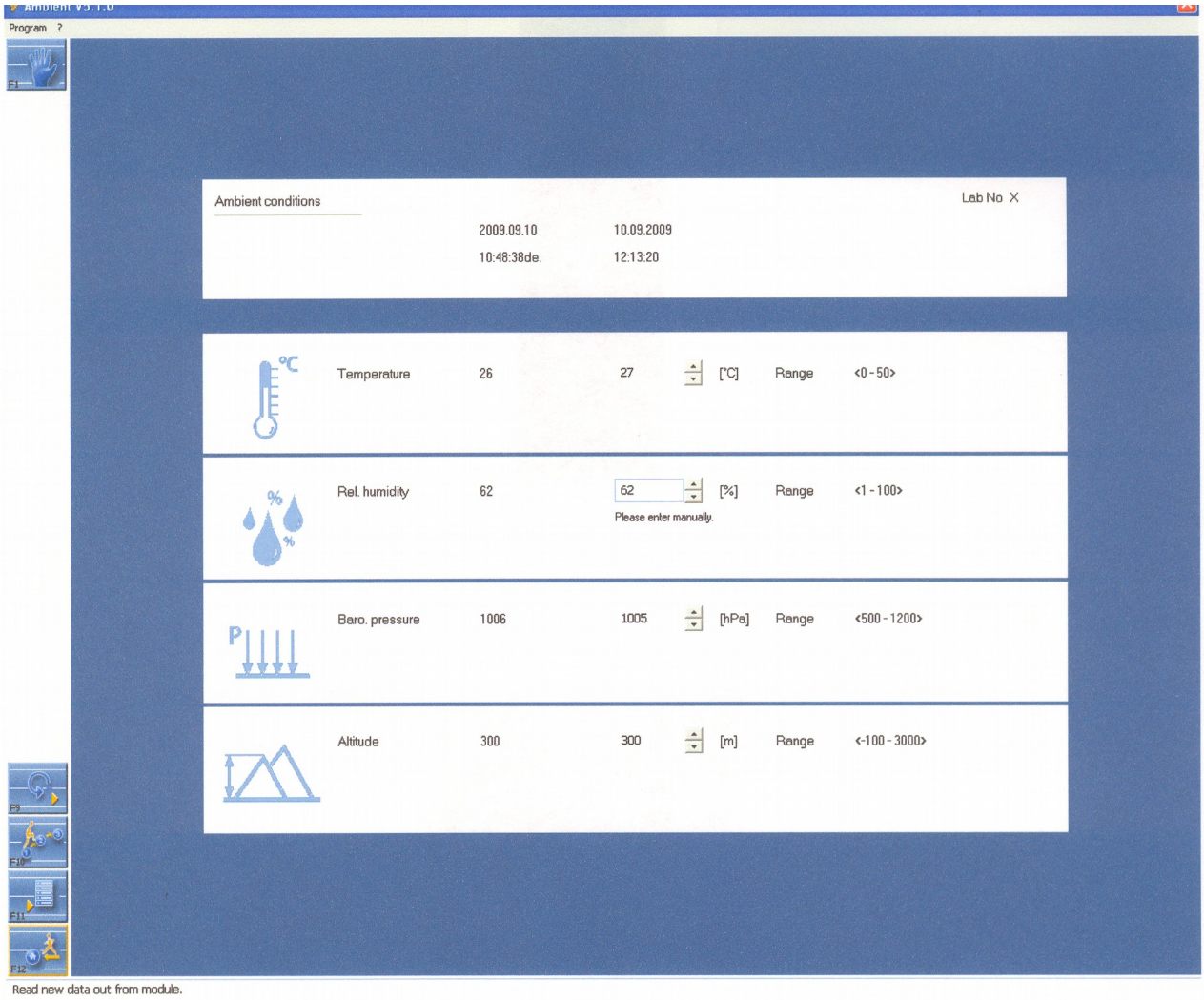
A nyomás SI mértékegysége a pascal=N/m2

Átszámítási faktor: Hgmm-ről kPa-ra: 0,133 kPa-ról Hgmm-re: 7,5

Standard körülmények:

Térfogatokat csak egyazon állapotra vonatkoztatva hasonlíthatunk össze, mivel a gázok térfogata függ a hőmérséklettől és a nyomástól, továbbá a kilégzett levegő

vízgőzzel telített (mely ha lecsapódik csökken a térfogat). Ezért amit nem a tüdőben uralkodó hőmérsékleti és vízgőz telítettségi körülmények között mérünk, azt át kell számítani az annak megfelelő BTPS viszonyokra. BTPS=Body temperature (barometric) pressure, saturated (with water vapour). Tehát testhőmérsékletre (37 C fokra), környezeti nyomásra és vízgőzzel telített viszonyokra.
Használják még az ATPS fogalmát: Ambient Temperature and Pressure, Saturated, azaz környezeti hőmérséklet, környezeti nyomás és vízgőzzel telített. Továbbá az STPD fogalmat: Standard Temperature and Pressure, Dry: Standard,azaz 0 C fok hőmérséklet, standard, azaz 760 Hgmm (101,3 kPa) nyomás és vízgőz nélküli.
Az ergospirometria során a mérés ATPS körülmények között történik, az adatközlés BTPS-re átszámítva. További számítások akkor pontosak, ha STPD-re átszámított értékekkel történik. Mindezt a számítógépes program elvégzi.



1. ábra: A környezeti paramétereket beállító képernyő

Indikációk és kontraindikációk

Cél

A fizikai terhelhetőség megállapítása, a terhelést korlátozó mechanizmusok, a terhelés közben fellépő esetleges kóros funkciózavarok felfedése.

Indikációk

A fizikai terhelhetőség megállapítása
Egészséges embereken, akár sportolókon is végezzük. A terhelhetőség nagyságának változásából következtetni lehet az edzés hatásosságára. A terhelhetőséget korlátozó mechanizmusok vizsgálata segítséget jelenthet az edzésterv kidolgozásában. Ugyanez kóros körülmények között is fontos: Megállapítható a terhelhetőség latens csökkenése, lemérhető a csökkenés mértéke és megállapíthatóak a terhelhetőséget korlátozó kóros mechanizmusok:
-kóros kardiovaszkuláris válasz
-zavart oxigén ellátás
-ventilációs korlátozottság
-kóros ventilációs válasz
-kóros légzésszabályozás
-károsodott gázcsere
-kóros izomanyagcsere
-kóros percepció
Munkadyspnoe, melynek oka nem ismert
A nyugalmi légzésfunkciós vizsgálatok kevéssé prediktívek a terhelés alatti funkcióra. Ezért sok esetben nem magyarázzák kellően a munkadyspnoe okát.
A kardiális és pulmonális nehézlégzés elkülönítése
A napi orvosi gyakorlatban gyakori dilemma, hogy a dyspnoe kardiális vagy pulmonális eredetű-e, illetve sokszor a kettő mechanizmus keveredve melyik milyen súllyal felelős a beteg panaszáért. A kardiopulmonális terheléses vizsgálat jellemző paraméterei alapján ez megállapítható.
Kardiovaszkuláris betegek vizsgálata
Prognosztikus értékű koronaria betegségben, ischaemiás és dilatatív kardiomyopátiában, kardiális dekompenzációban.
Pulmonológiai betegek vizsgálata
Alkalmas az obstruktív tüdőbetegek terhelhetőségének objektív megitélésére. Intersticiális tüdőbetegségekben a pulmonális gázcsere zavart más vizsgálatoknál korábban felismeri. Krónikus pulmonális vaszkuláris betegségben a súlyosság jó indikátora. Alkalmas a terhelés indukálta asthma vizsgálatára. Prognosztikus értékű COPD-ben, intersticiális tüdőbetegségben és pulmonális vaszkuláris betegségben.
Műtéti teherbírás megitélése
Nagy hasi műtét idős betegeken: Maga az életkor nem döntő, ellenben a

kardiopulmonális tartalék prediktív a mortalitás szempontjából.
Tüdőrák rezekciós mütét: Alacsony rizikóju betegeknél (2 liter feletti FEV_1 és normális diffúzió) elegendőek a nyugalmi légzésfunkciós vizsgálatok. Magas rizikóju betegeken azonban a posztoperatív szövődmények előrejelzésére alkalmasabb a kardiopulmonális terhelés. Ha a csúcs oxigén fogyasztás a kell érték 50-60%-a alatt van,az nagy mortalitás veszélyt jelez.
Tüdő volumen rezekció műtét és szív-tüdő transzplantáció: Elengedhetetlen a spiroergometria elvégzése is.

Terápia hatásának lemérése

Csökkent terhelhetőség vagy terhelés közbeni kóros funkciózavarok javulásának vizsgálata bármilyen terápia, pl.gyógyszeres terápia hatására.

Rehabilitáció indikációja és eredményének lemérése

Többoldalu szerepe van. Felmérhető a terheléssel a rehabilitációs tréning biztonságossága, terhelés során fellépő szövődmények veszélye. A tréning intenzitásának és tipusának kiválasztásában segít. Majd lemérhető vele a rehabilitáció hatásossága: Javul a terhelhetőség nagysága, csökken a ventilációs szükséglet, gyorsul az oxigén kinetika.

Munkaképesség csökkenésének vizsgálata

A nyugalmi kardiopulmonális mérések gyakran nem teszik lehetővé a munkaképesség objektív megitélését. Ez esetben a kardiopulmonális terhelés megbízhatóbb információkat ad.

Beteg biztonság

Szövődmények

Bár a vizsgálat relatíve biztonságos, de nem szövődménymentes. A vizsgálat közbeni hirtelen halál gyakorisága különböző felmérésekben 10 000 vizsgálatra 0 és 2,5 között mozog. 1375 centrumban végzett 518448 terhelés során a mortalitási ráta 20000 vizsgálatra esően 1. A szövődmény gyakorisága 10000 vizsgálatra 8,86. Ezek azonban átlag számok maximális és szubmaximális terhelések, különböző protokollok, eltérő beteganyagok, különböző kizárási feltételek keveréke.

Kontraindikációk

Abszolút kontraindikáció:

- nyugalomban fennálló globális légzési elégtelenség
- nyugalomban fennálló szívelégtelenség
- súlyosabb szív ritmuszavar, vezetési zavar
- friss szívinfarktus, tüdőembólia
- mély vénás trombózis
- effort angina pectoris, instabil angina
- súlyos aorta sztenózis, obstruktív kardiomiopátia
- aktív karditisz
- súlyosabb hypertónia
- olyan nem kardiopulmonális állapotok, melyeket a terhelés súlyosbíthat (pl.

veselégtelenség, thyreotoxicosis, infekció, pszichózis)

Relatív kontraindikáció:

- bal coronaria főág stenosisa
- jelentős pulmonális hipertenzió
- enyhébb obstruktív kardiomiopátia
- aneurizma
- hipokalémia
- nem kontrollált anyagcsere betegség
- antikoaguláns kezelés
- előrehaladott vagy szövődményes terhesség
- olyan mozgásszervi elváltozás, mely megakadályozza, hogy megfelelő nagyságu legyen a terhelés

Megszakítandó a terhelés

- súlyos fulladás
- 250/120 Hgmm felettire emelkedő vérnyomás
- 20 Hgmm-nél nagyobb vérnyomás esés
- angina pectoris fellépte
- EKG-n 2 mm-nél nagyobb horizontális vagy descendáló ST depresszió vagy- nagyságától függetlenül- ST-eleváció
- multifokális vagy csoportos kamrai extrasystolék
- vezetési zavar fellépte
- pulzoximéteren nagy oxigén szaturáció esés (85% alá)
- központi idegrendszeri tünet (zavartság, szédülés, ataxia, látászavar, stb)
- minden veszélyesnek tűnő jelenség
- a beteg kérésére

Biztonsági feltételek

- a terhelés alatt EKG-, vérnyomás- és pulzoximéter monitorozás
- rezuszcitációra és orvosi elsősegélynyújtásra megfelelő felszereltség: sürgősségi gyógyszer tálca, infúziós lehetőség, oxigén belégzési lehetőség, Ambu-ballon, szívó, intubációs felszerelés, EKG, defibrillátor, külső pacemaker
- rezuszcitációra kiképzett személyzet
- magas kockázatu beteg (pl. relatív ellenjavallat esetén) a vizsgálat folyamán orvosi jelenlét
- alacsony kockázatú esetben tapasztalt asszisztencia jelenléte elegendő, de feltétel orvos azonnali elérhetősége

Eszközök

Ma csaknem kizárólag gyors, pillanatnyi mérésre alkalmas eszközöket használunk, melyek légzésről-légzésre mérik a paramétereket. (Korábban -a gyors elemzők hiányában- összegyűjtött levegő mérését is alkalmazták).

Áramlás és térfogat mérés

Pneumotachográf (A legtöbb mai készülékben ezt alkalmazzák)
Nyílt rendszerű készülék. Áramlást mér és az áramlásból elektronikus úton állítják elő a térfogat értékét:

$$V = \int \dot{V}\, dt$$

Azaz a térfogat egyenlő az áramlás idő szerinti integráljával.

Egy- a külső levegővel összeköttetésben álló- érzékelőn keresztül megy végbe a belégzés és a kilégzés. Különböző fajtái vannak.
Differenciális érzékelő:
Elve az, hogy fix ellenálláson átáramoltatva a gázt a nyomáskülönbség egyenesen arányos a sebességgel. A nyomáskülönbséget két pont között differenciálmanométerrel mérjük. Fűtéssel 37 fokon tartjuk, hogy a kilégzett levegő vízgőz tartalma ne csapódjon le, mert megváltoztatná a mérést.
Az áramlás mérése a Venturi cső egyenletén alapul:

$$I = A_1 \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot \frac{p_1 - p_2}{\left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2 - 1}}$$

Ahol I az áramlás intenzitása, ρ a sűrűség, p a nyomás A a keresztmetszet.

A Fleisch tipusban az áramlás szenzor tubusában ellenállást adó szűkítésnek kapilláris csőköteget használnak. Egyetlen nagy átmérőjű csőben ugyanis az áramlás turbulens, ami megnöveli az ellenállást. A kis átmérőjű csövekben az áramlás lamináris marad (Ugyanakkor a csőköteg együttes keresztmetszete azonos a nagy átmérőjü csövével). Hátránya, hogy külön csövet kell használni a gyors ill. a lassú

áramláshoz.
A Silverman (vagy Lilly) típusnál egy vagy több hálót alkalmaznak ellenállásként. Tipusos a három háló egymással párhuzamosan. A középső az ellenállás, míg a külsők védik a középsőt és elősegítik, hogy az áramlás lamináris maradjon. Előnye, hogy szélesebb a mérési tartománya mint a Fleisch csőé.
Pitot csöves érzékelő:
Elve az, hogy mérik az áramlásra merőlegesen a nyomást és az áramlás oldalnyomását. Általában ugyanabba a szenzorba két szett Pitot csövet helyeznek el, hogy bidirekcionálisan tudja mérni az áramlást. Két különféle érzékenységű nyomásátalakítóval széles tartományban tudjuk az áramlást mérni.
Fűtőszálas érzékelő:
Ennek lényege, hogy egy fűtött fémszálat (aranyozott rozsdamentes acéldrótot vagy platinát) konstans hőmérsékleten tartanak. A levegő áramlás a fémszálat hűti. A hűtő hatás egyenesen arányos az áramlás intenzitásával. Minél nagyobb az áramlás, annál nagyobb a hűtő hatás, ennélfogva annál erősebb fűtés kell az állandó hőmérséklet tartásához. A fűtés intenzitását pedig a fűtő elektromos áram felhasznált mennyiségével könnyen tudjuk mérni. A fűtőszálat rendszerint háló védi a váladék lerakódásától, mivel az megváltoztatná a hőkarakterisztikáját. A fűtés egyúttal megelőzi a vízgőz lecsapódást. Egyes rendszerekben két fűtőszál van: Az egyik mér, a másik a referencia.
Turbinás mérő
Példája a Wright respirometer. Az áramlás egy forgólapátot (propellert) forgat. A forgólapát egy fényforrás fényét minden fordulatnál megszakítja. A felvillanásokat fotocella érzékeli. A forgás sebessége arányos a levegőáramlással. Így a fotocella elektromos jele is arányos vele. Azonban a propeller inerciája és disztorziója miatt a jel nem lineáris és ezért a turbinás érzékelő inkább szűrésre vagy monitorozásra alkalmas. Előnye,hogy nagy áramlások (pl terhelés közben)is mérhetők.
Ultrahangos érzékelő
Két ultrahang fej a cső falán elhelyezve ferde sugarat bocsát ki és érzékel a csövön keresztül. A két tranzit idő különbsége függ a csőben áramló levegő áramlási sebességétől.
Változó nyílású (blendés) áramlásmérő
A megnyílása arányos az áramlással. Terhelés közbeni mérésekre használatos.

Gázelemzők

Infravörös fény elnyelő képesség: A szénmonoxid, szén-dioxid, metán infravörös fény elnyelése adott hullámhosszokon érvényesül és arányos a koncentrációval. A műszer referencia gázhoz viszonyítja. Két infravörös sugár halad át két párhuzamos cellán. Az egyik cella a vizsgálandó gázt, a másik a referencia gázt tartalmazza. A két sugár egy infravörös érzékelőbe jut. Egy kis megszakító propeller pörög az infravörös fényforrás és a cellák között, felváltva megszakítva a sugarat hol az egyik, hol a másik cella előtt. Ha a referencia és a minta gáz koncentrációja azonos, akkor a

detektort érő fénysugár konstans. Ha a koncentráció eltérő, akkor a fénysugár ritmikusan pulzál. A detektort érő vibráció arányos a koncentráció különbséggel.

Oxigén elemzők:

Paramágneses

Egy tartályban mágneses mezőt hozunk létre. Az oxigén paramágneses tulajdonsága folytán -koncentrációjától függően- megváltoztatja a mágneses teret. Lassú a reakció ideje, ezért légzésről-légzésre mérésre nem alkalmas. Olyankor használjuk, amikor a kilégzett gázt Douglas zsákban vagy keverőkamrában gyűjtjük össze. Ismételt mintavétellel határozzuk meg az oxigén koncentrációt. A későbbi technikai fejlődés létrehozta a gyors reakcióidejü paramágneses mérőt, mely alkalmas már légzésről-légzésre mérésre. Ezen differenciális paramágneses mérő elve az, hogy a vizsgált és a referencia gáz oxigén nyomás különbségét alternáló nyomás jel alapján méri. A nyomás jel az oxigén és a váltakozó mágneses mező kölcsönhatásából származik.

Elektrokémiai

Hívják fűtőanyag vagy galván cellás módszernek is. Hasonló a polarográfiás módszerhez, de nem igényel polarizáló feszültséget. Az oxigén egy érzékelő membránon, majd egy vékony elektrolit rétegen diffundál át. A katódon elektron felvétellel redukálódik. Az anódról a katód felé áramló elektronok elektromos áramot hoznak létre. Az áramerősség arányos a gáz oxigén tartalmával. Folyamatos mintavételt tesz lehetővé, ilymódon alkalmas monitorozásra. Az elektrokémiai szenzor az évek alatt gyengül és 2-3 évente cserére szorul.

Polarográfiás

Az elektródok között állandó polarizáló feszültséget tartunk fenn.A keletkező elektromos áram ezt megváltoztatja. Gázpumpa konstans sebességgel fújja a mintát az elektródra. Felépítése hasonló a vérgáz analizis oxigén (Clark) elektródájához. Az oxigén redukálódik a parciális nyomásával arányosan. Ismert oxigén koncentrációkkal kalibrálják. Folyamatos mintavételre, tehát monitorozára alkalmas. Gyors reakcióideje lehetővé teszi a légzés közbeni folyamatos mérést.

Cirkónium oxidos

A cirkónium oxid magas hőmérsékletre fűtve ionizálódik és elektrolitként hat. Ha két oldalán eltérő az oxigén parciális nyomása, akkor a parciális nyomással arányos feszültség keletkezik a platina elektródák között. A bemelegedési idő 10-30 perc, de ezután gyors, folyamatos mérést tesz lehetővé.

Gázkromatográfiás

Ugyancsak alkalmas oxigén mérésre.

Lézer dióda abszorpciós spektroszkópia

Új módszer. Az oxigén 760 nm-en nem interferál más légzési gázokkal és a koncentrációtól függően nyeli el a lézer sugarat.

Tömegspektroszkóp

A kilégzett gázmintát előbb ionizálják, majd a molekulasúly-ionérték arány szerint szétszóródik. Elkülönítés után az adott gáz hatására ion detektorban a parciális nyomásával arányos áram keletkezik. A tömegspektroszkóp lineárisan mér,stabil,nagyon gyors reakcióidejű, de nagyon drága. Oxigén, széndioxid mellett

egyéb gázok mérésére is alkalmas.

Ergométerek

Kerékpár ergométer

Két fajtája van. A *mechanikailag fékezett* fékezése állítható surlódási szerkezettel történik. Az *elektromos fékezésűnél* a fékhatást eletromágneses úton érik el. Negatív feedback segítségével a terhelés fordítottan arányos a pedálozás frekvenciájával (azaz ha a fordulatszám változik, a program a fékező erőt ellentétesen változtatja, s ily módon a teljesítmény konstans marad), ennélfogva 40-80 közötti pedálozás frekvencia között stabilan tartja a terhelés nagyságát és ezzel pontosabb terhelést tesz lehetővé. Mindkét fajtánál ajánlatos időközönként kalibrálni megfelelő műszerrel.

Futószalag ergométer

Elektromotor futószőnyeget hajt. Utóbbi sebessége tág határok között állítható a lassú séta és futás között. Emellett működtethető vízszintesen és különböző meredekséggel. Ugyancsak igényel időszakos kalibrációt.

Kar ergométer

A kerékpár ergométernek megfelelő elven működik, de a pedált karral hajtjuk. Olyan betegeknél alkalmazzák, akik nem képesek kerékpár vagy futószalag vizsgálatra, illetve olyan sportolóknál, akiknél a kar ereje a lényeges.

Előnyök és hátrányok

Kerékpár ergométer	Futószalag ergométer
pontosabban méri a terhelést	a legtöbb ember számára természetesebb mozgás
kevesebb artefact a jelekben	nagyobb izomtömeget mozgat, ezért magasabb a csúcs oxigén fogyasztás
kevésbé befolyásolja a testsúly	
könnyebb a terhelés közbeni vérvétel	

A futószalag legnagyobb problémája az, hogyha azonos sebességgel és azonos állásszöggel terhelünk eltérő testsúlyu embert, akkor a terhelés nagysága nem azonos :a testsúly függvénye. Ugyancsak befolyásolja az aktuális munka számértékét az eltérő járási minta vagy lépéshossz, továbbá az, hogy a páciens a futószalag korlátjára támaszkodással is befolyásolhatja.Ugyanakkor ha nincs szükség a munka pontos, számszerű megadására, pl. terheléses EKG vagy terhelés indukálta asztma vizsgálatánál, akkor jobb a futószalag a kerékpárnál.

Mobil kardiopulmonális terhelés

A kardiopulmonális terheléses vizsgálatot a legtöbbször laboratóriumban, épületen belül, légkondicionált helységben végzik. Ez eltér a valódi életkörülmények között végzett munkától (hőmérséklet, páratartalom, por), nemcsak a körülményekben, hanem a végzett munka tipusában is. Mobil, telemetrikus berendezések állnak rendelkezésre, melyek a valódi viszonyok között végzett terhelést regisztrálják: arcmaszk, térfogat mérő, gázelemző, polár öv, hordozható érzékelő és adattároló egység (flash memória kártyával). Az ilymódon regisztrált paraméterek a laboratóriumi paraméterekkel szoros korrelációban vannak, de természetesen függenek a mozgásfajtásjától, vagy pl. tűző napon végzett terhelés eredményei természetesen eltérnek a légkondicionált körülmények között regisztráltaktól.

Szoftver

A mai értelemben vett kardiopulmonális terhelést a számítástechnika tette lehetővé. Döntő a megfelelő szoftver.Utóbbi az un. átlagoló módszert alkalmazza. Az egyes mérési adatok fluktuációját matematikailag csökkenti és így jelzi ki táblázatos számadatokban és grafikus ábrázolásban egyaránt. Alkalmaznak 5-7 légvétel illetve 20-60 másodperces időtartamok átlagolását. Ez megkönnyíti a horribilis adattömeg kezelését. Viszont az átlagolt értékek függenek attól, hogy mely átlagolási periódusok adatait nézzük.

2. ábra: Spiroergometriás munkahely: Bal oldalon a kerékpár ergométer, felette a (miniatűr) transzducer és szenzor egység. Jobb oldalon a számítógép a tartozékaival.

Minőségbiztosítás

Minőség-ellenőrzés

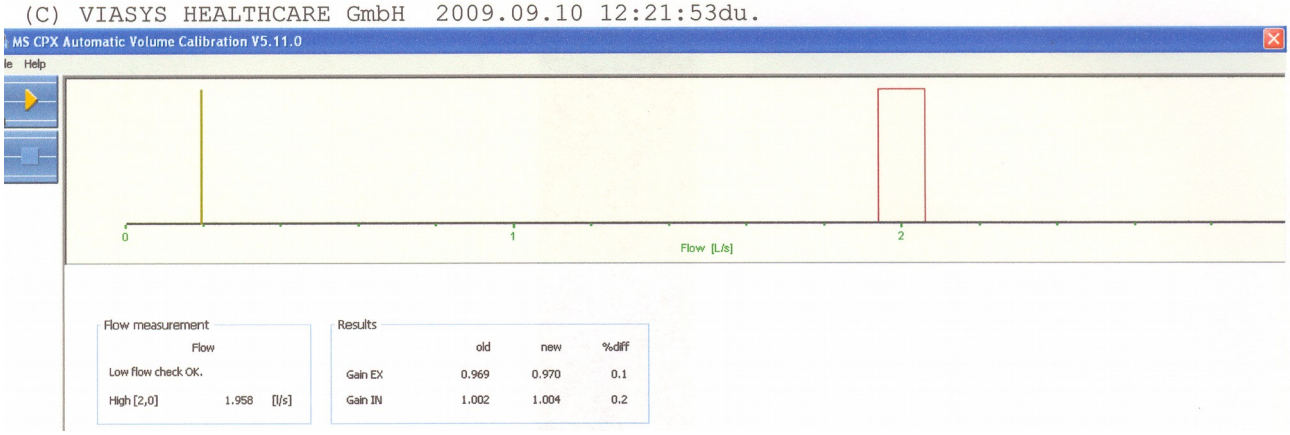
A műszereket gyártó cég felelőssége, hogy azok megfeleljenek a nemzetközi protokollokban előírt pontossági és megbízhatósági követelményeknek.

Kalibráció

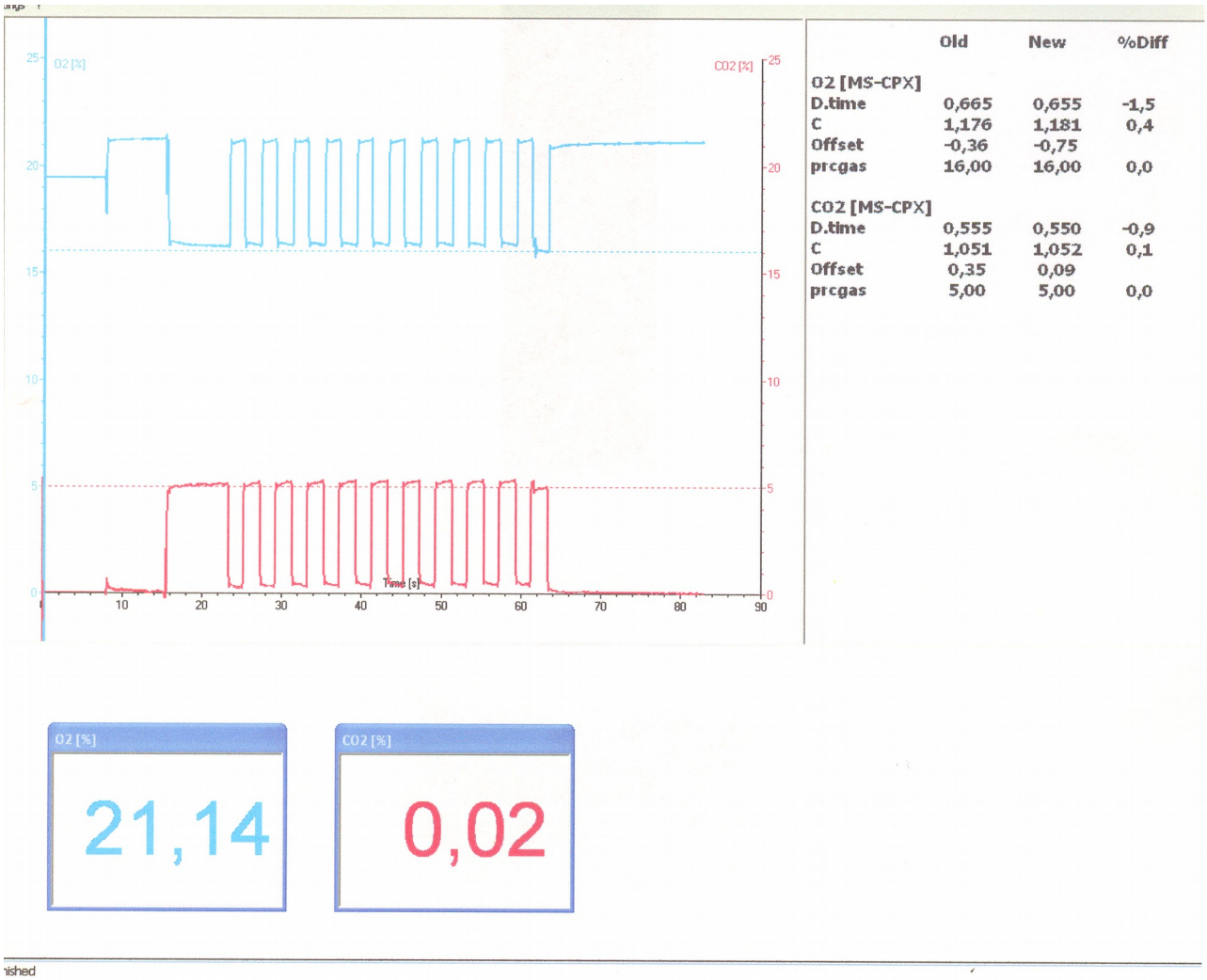
Ezzel szemben a felhasználó dolga a rendszeres kalibrálás.
Ideális a minden beteg vizsgálata előtti volna, de a gyakorlatban ennél ritkábban végezzük. Naponta egyszer kötelező.
Menete:
Bekapcsolás után bemelegedési idő (általában mintegy 20 perc).

A tényleges hőmérsékletet, páratartalmat és légnyomást vagy automatikus rendszer méri ,vagy manuálisan állítjuk be. A térfogat kalibrálás 3 literes pumpával történik különböző áramlásokkal. A gázanalizátor naponta 2 pontos kalibrálást igényel. Az egyik pont a szobalevegő, a másik preciziós gázkeverék (általában 15% oxigén, 5 % szén-dioxid, a többi nitrogén). A program automatikusan ellenőrzi a gázanalizátor fázis késését is: a gázmintavétel időpontja és a kijelzés között. Általában havonta kell a gázanalizátor linearitását ellenőrizni: Többpontos kalibrálás, azaz több ,különböző összetételű gáz mérése. Komplex ellenőrzés gázcsere szimulátorral lehetséges, melyet általában a gyártók, esetleg külön hitelesítő cégek végeznek.
Az ergométert évente szokták ellenőrizni. Az elektromosan fékezett kerékpár ergométert dinamométerrel.

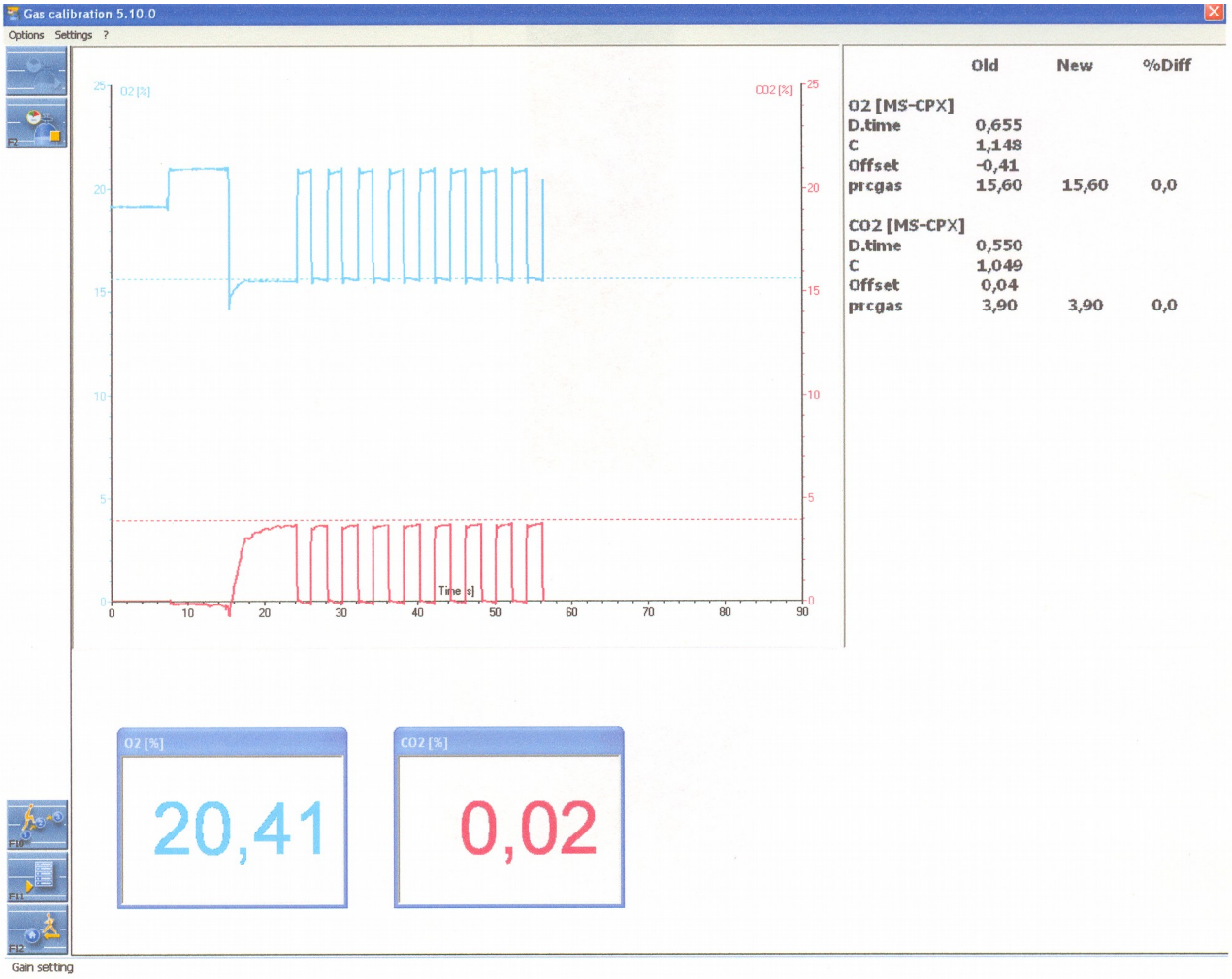
```
Szent Ferenc Kórház, Miskolc
Légzésfunkció

sml_JlabShort.xml
MasterScreen CPX,820547
ON:  MSCPx,JDDMSCPX.DeviceManager.1
     OxMobileFDR,JDDOXYCONMOBFDR.DeviceManager.1
     SerialBike,JDDPERIPHERALS.DeviceManager.1

CD-Version: JLAB 5.11.0.30
Animation              5.11.0.12      LAB Core               5.11.0.73
JAEGER ECG             5.11.0.16      Standard Pneumology    5.11.0.33
Extended Pneumology    5.11.0.51      Ergospirometry         5.11.0.56
Online Manual          5.11.0.23

(C) VIASYS HEALTHCARE GmbH  2009.09.10 12:21:53du.
```



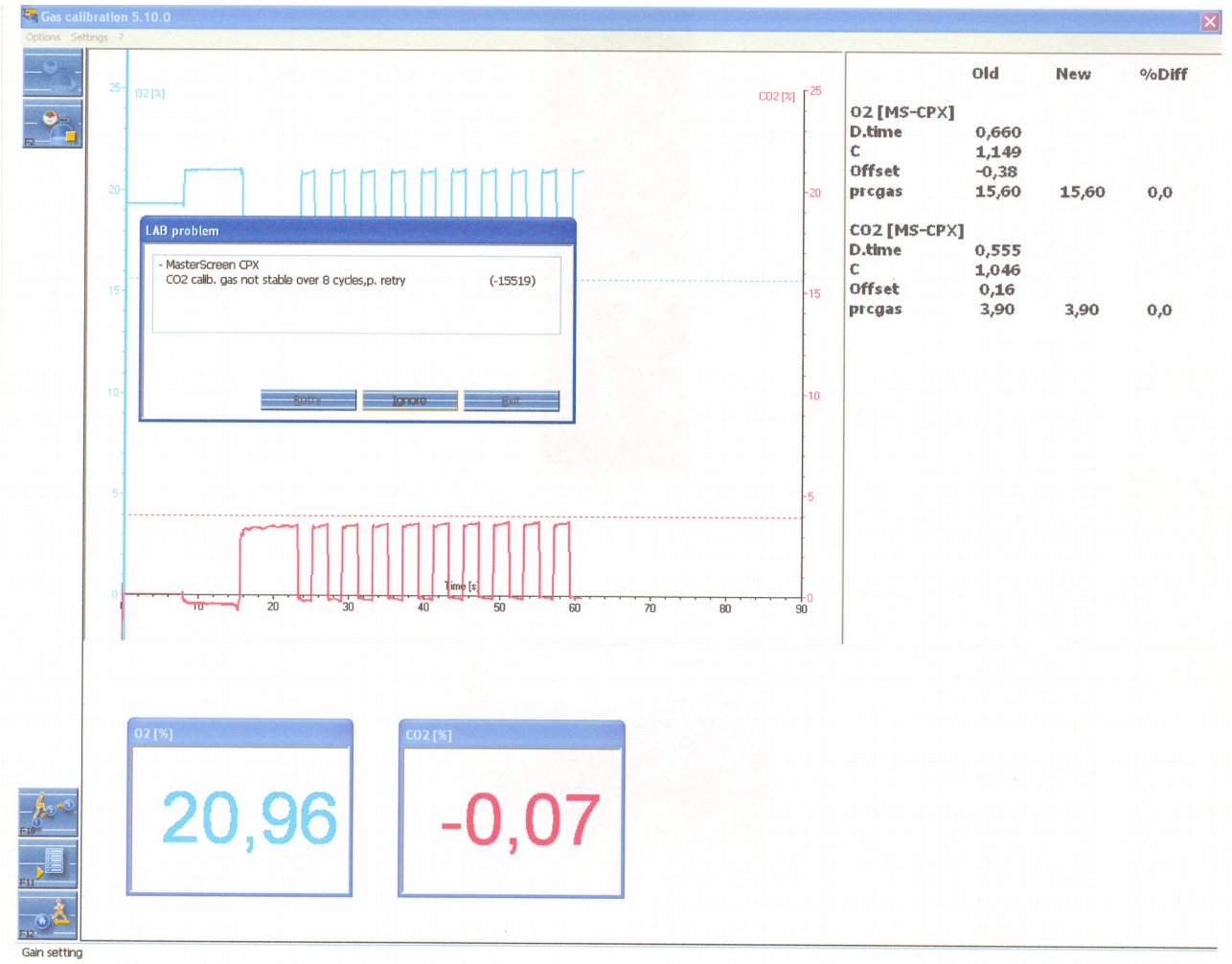
3. ábra: Térfogat és áramlás kalibráció.



4. ábra: Gázkoncentráció kalibráció: A tesztgázhoz viszonyított mérés pontos.



5. ábra: Gázkoncentráció kalibráció. A szelep beragadás miatt nehezen nyílik, ami az oxigén és a széndioxid grafikon elején is késést eredményez.



6. ábra: Gázkoncentráció kalibráció: a széndioxid koncentráció ingadozik, emiatt a kalibráció eredménye nem megfelelő.

Előkészítés

- anamnézis, előző leletek átnézése
- spirográfia, vérkép, szérum elektrolitok
- hipoxémia gyanú esetén vérgáz vizsgálata
- a terhelés előtt legalább 8 órán át ne dohányozzon, 2 órán át ne egyen (de ne legyen éhgyomorra sem). Aznap ne végezzen a vizsgálat előtt erős fizikai megterhelést
- ne legyen szoros a ruházata, célszerű a sportruházat és sportcipő
- a vizsgáló helység hőmérséklete 18-24 C fok közt legyen, páratartalma 30-60% között
- el kell magyarázni a vizsgálatot a páciensnek, bemutatva a berendezést is
- a kerékpár ergométer pedálját be kell állítani a páciens láb hosszúságához, hogy azt kényelmesen elérje és hajtani tudja
- az EKG elektródákat gondosan kell felhelyezni, hogy a terhelés okozta mozgás közben se váljanak le
- a vérnyomásmérő mandzsettát is gondosan kell rögzíteni, hogy terhelés közben se csúszkáljon
- az arcmaszknak rés nélkül kell illeszkednie. Ezt úgy ellenőrizzük, hogy az érzékelő csatlakoztatása nélkül az arcmaszk nyilását befogjuk és belégzésre szólítunk fel. Ha fals levegő van, akkor szükség esetén más méretű maszkot alkalmazunk

Személyi feltételek

Az orvos elsősorban pulmonológus vagy kardiológus. Rendelkezzen intenzív terápiás gyakorlattal, kellő ismerettel a terhelésélettan területén, gyakorlattal a kardiopulmonális terheléses vizsgálatban (önálló munkára 50 ellenőrzés mellett végzett vizsgálatot tartanak szükségesnek). Az asszisztens kapjon képzést és legyen gyakorlata a légzésfunkciós vizsgálatokban, terhelésélettanban, respirációs terápiában, újraélesztésben. Fel kell tudni ismernie EKG-n a kóros ritmuszavarokat és ST eltéréseket.

Reprodukálhatóság

Számos tényező befolyásolja. Az egyes paraméterekre vonatkozóan az alábbi irányszámok adhatók meg(a szakirodalmi vizsgálatokban eléggé eltérő adatok vannak):

Variációs koefficiens:

VO2 6%

VCO2 7 %

szívfrekvencia 3-4%

percventiláció 7-8%

légzési térfogat 6-7%

légzési frekvencia 7-8%

anaerob küszöb 10-11%
vérnyomás 5%
oxigén szaturáció 2,5%

Referencia értékek

Az adott páciensnél mért értéket referencia értékhez viszonyítjuk, figyelembe véve a nemet, életkort, testmagasságot és testsúlyt.
A nyugalmi légzésfunkciós paraméterek referencia értékeihez viszonyítva a terheléses referencia értékek kevésbbé kidolgozottak, értve ezalatt, hogy kisebb és kevésbbé megfelelő volt a mintavétel. A leggyakrabban Jones és Hansen felméréseinek adatait használják.

Terhelési protokollok

A terhelés lehet maximális és nem maximális (rendszerint szubmaximális), továbbá lehet progresszíven emelkedő és állandó. A maximális terhelés meghatározza a terhelhetőséget. A szubmaximális terhelés megfelelőbb olyan helyzetekben, ahol nem kívánatos az extrém megterhelés. A szubmaximális a maximális 75%-a körül van.
A terhelhetőség és a terhelési tolerancia eltérő fogalom. A *terhelhetőség* a maximális terhelés során a referencia értékhez viszonyított és abszolút értékben is megadott maximális illetve csúcs oxigén fogyasztás vagy Watt-szám. A *terhelési tolerancia* a terhelés és az idő szorzata. Az állóképességi idővel fejezzük ki. A terhelés és az idő összefüggése hiperbola. Az aszimptota adja meg a kritikus erőt vagy kimerülési küszöböt. Utóbbi alatt a még fenntartható terhelési domén határát értjük. A kritikus terhelés függ: oxigén raktárak, nagy energiáju foszfát raktárak, anaerob glikolizis. Ha az idő reciprokát vesszük, akkor az összefüggés egy egyenes. Csökkent terhelési tolerancia esetén ennek meredeksége lelapult.

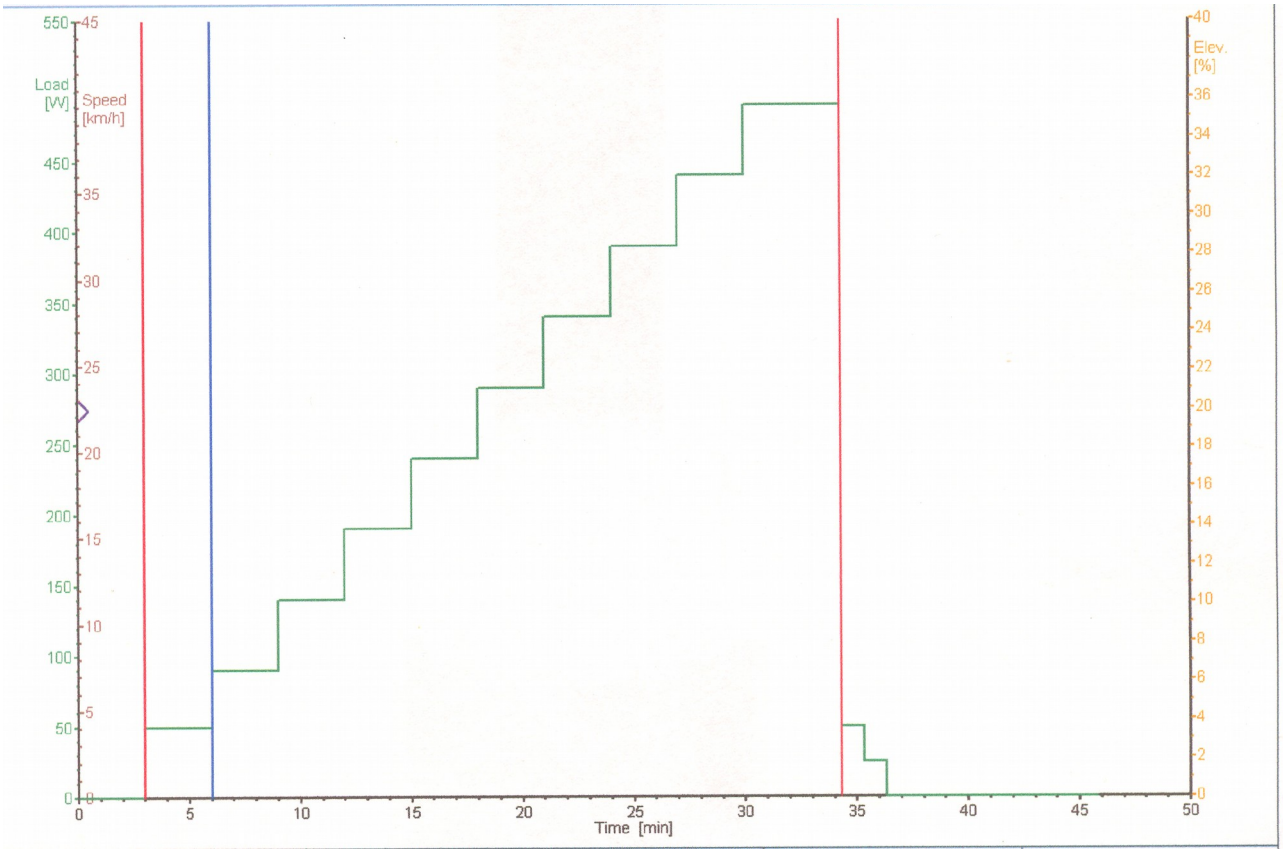
Progresszíven emelkedő terhelés

Azt jelenti, hogy a terhelés nagyságát egyre emeljük maximális terhelés esetén egészen addig, amíg a páciens bírja, vagy amíg valamelyik megszakítási indikáció fel nem lép. Szubmaximális terhelés esetén a megállapított paraméter eléréséig.

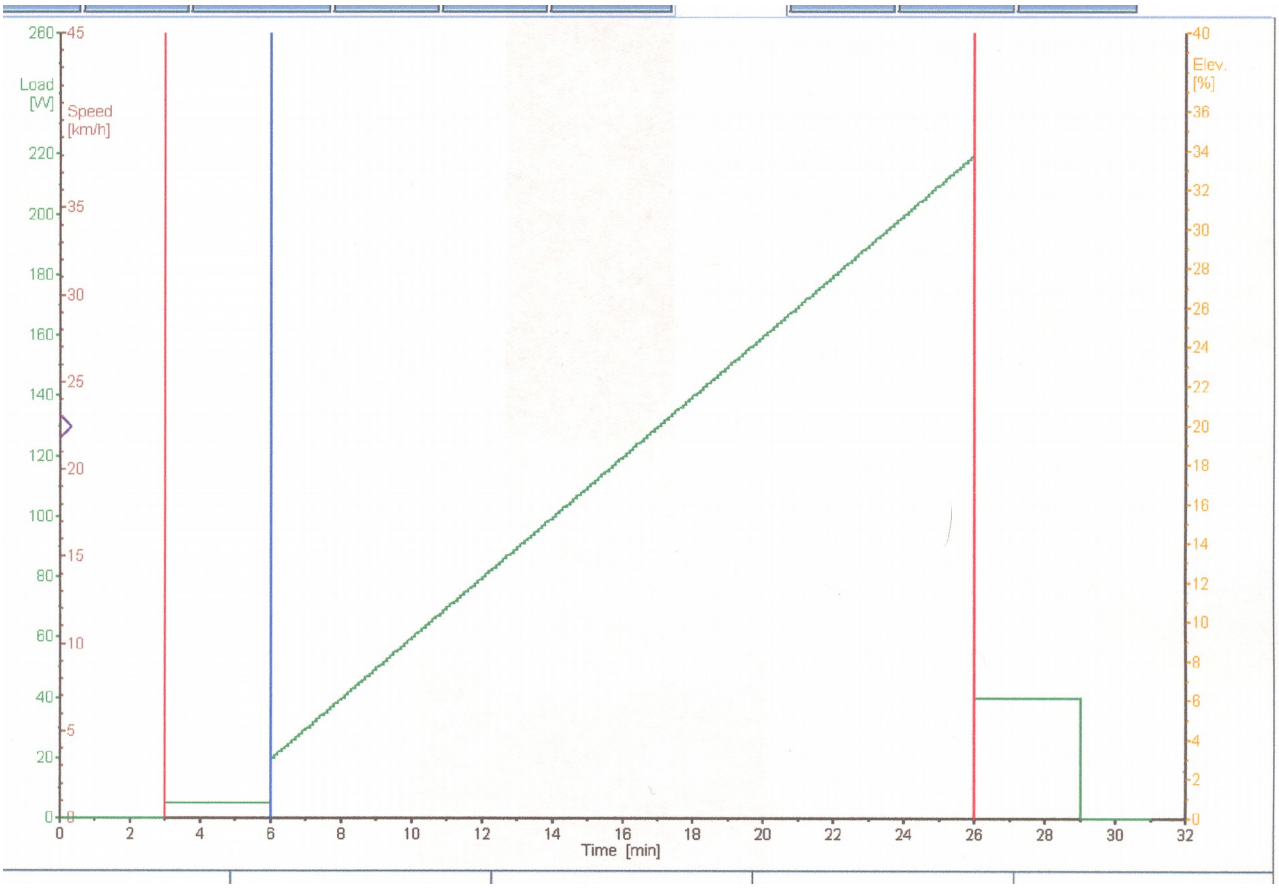
Terhelés kerékpár ergométerrel

3 perces nyugalmi fázissal kezdjük, melyet 3 perces 0 Watt terhelés melletti kerékpározás követ. 50-60 közti frekvenciával hajtja a páciens a kerékpárt. Majd vagy percenként emeljük a terhelés nagyságát, vagy pedig- a mai számítógépes programok birtokában- folyamatosan (1-2 másodpercenként) történik az emelés. Az emelés gyorsaságát úgy kell beállítani, hogy a terhelés teljes időtartama 10-12 perc legyen. Ehhez – az állapottól függően- percenkénti 5-25 Watt emelés szükséges. Kiszámítása: maximális oxigén fogyasztás referencia értéke- nyugalmi oxigén fogyasztás osztva 103–al: Wattban megadja a percenkénti terhelés emelést.
A maximum elérése után helyreállási fázis, -ismét terhelés nélküli 3 perc pedálozás, majd a kerékpáron nyugalom következik. A folyamatos emelésű terhelés előnye, hogy a terheléssel lineárisan nő az oxigén felvétel és a szívfrekvencia, ami pontosabb

további számításokat tesz lehetővé.
(Újabban kisérleteznek a terhelés exponenciális emelésével: A terhelést percenként az előző terhelés 15%-ával emelik. Egyelőre nem világos, hogy ennek van-e előnye.)



7. ábra: Lépcsőzetesen emelkedő terhelés



8. ábra: Folyamatosan emelkedő terhelés

Terhelés futószalagon

Nyugalmi regisztrálás után bazális terhelést végeznek a legalacsonyabb futószalag sebességgel (pl.0,6-1,0 mph). Majd fokozatosan emelik a terhelést a maximumig. A sebesség és a meredekség emelését illetően különböző protokollok vannak.

Astrand protokoll:

A sebesség állandó: 5 mph.3 perc vízszintesen, majd 2 percenként 2,5%-al nő a meredekség. Sportolók terhelésére való.

Bruce protokoll:

A sebesség és a meredekség is változik.1,7 mph 0-5-10% meredekség mellett, majd 3 percenként nő a sebesség 0,8 mph-al, a meredekség 2%-al. Gyors terhelés emelkedése miatt egészségeseknek vagy enyhén betegeknek megfelelő. Ugyanakkor

egyenlőtlen is a terhelés növelés, ami nem ideális, túlméri a csúcs oxigén fogyasztást. Ennek ellenére talán ez a leggyakrabban alkalmazott futószalag protokoll.
Balke protokoll:
A sebesség állandó: 3,3mph. A meredekség változik 1 perc 0 fokon, majd percenként 1%-al nő. A mérsékelten gyors terhelés emelés miatt reálisabban határozza meg a maximális oxigén felvételt. Megfelelőbb dekondicionált, idős vagy beteg ember számára.
Ellestad protokoll:
A kezdeti meredekség 10 %, a következő 15%. Ezen belül emelkedik a sebesség. Fiataloknak, egészségeseknek való.
Harbor protokoll:
3 perces kényelmes séta után a meredekség percenként emelkedik 1-2 vagy 3%-al.

Fentieken kívül még több, egyéb változat is van.

Megjegyzés:
mph=mérföld/óra. 1 mph=0,44704 m/s=1,609344 km/óra

Több fokozatú terhelés

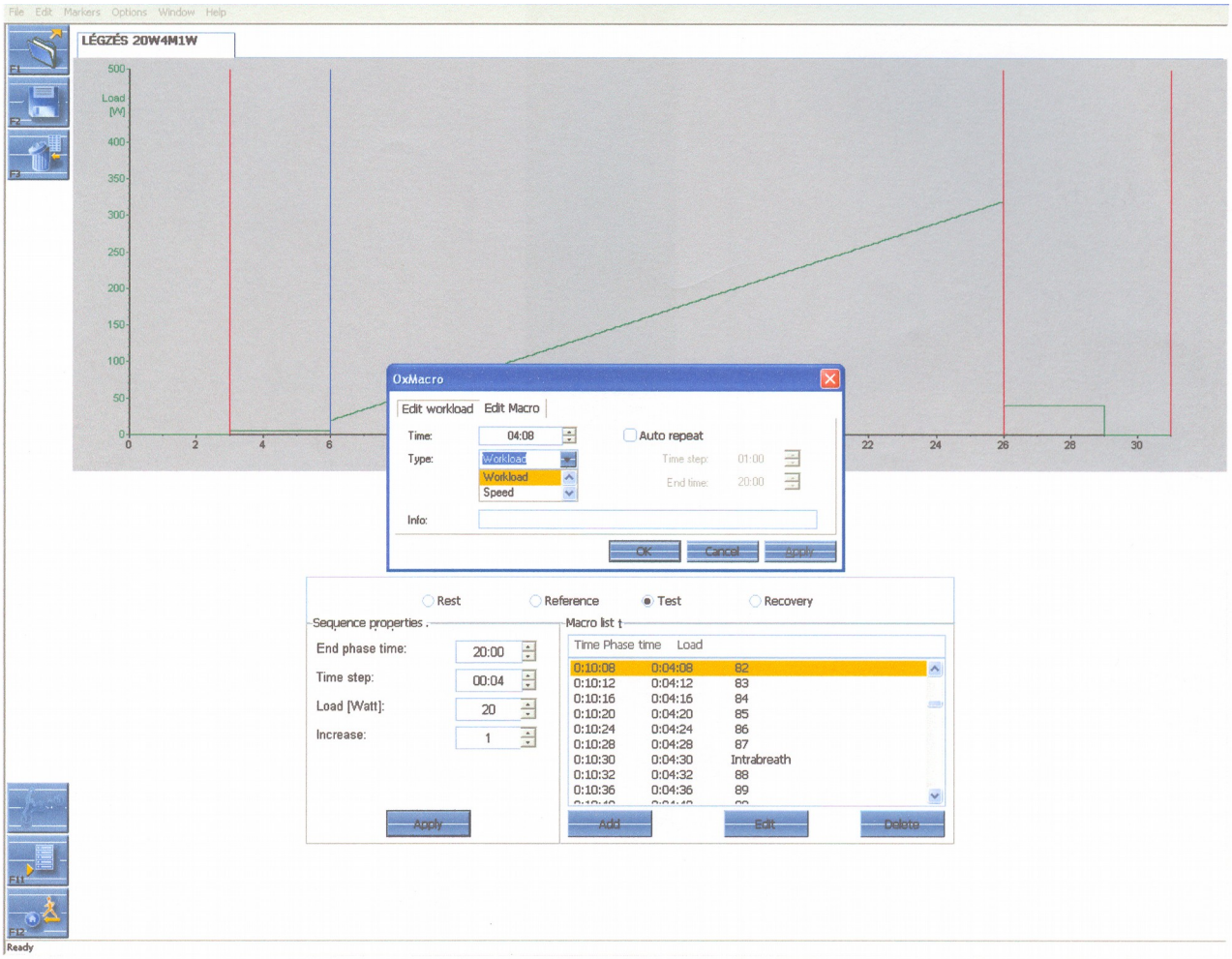
Naughton protokoll: 3 perces -fokozatos terhelést alkalmazó terhelési periódusok váltakoznak 3 perces nyugalmi periódusokkal. A terheléseknél nő a sebesség és a meredekség. Jól alkalmazható dekondicionált, idős vagy beteg embereken.

Megszakításos terhelés

Három fokozatban, fokozatonként 6 perces terhelés, a fokozatok között 10 perc szünettel. Nem igazolt a klinikai használhatósága.

Terhelés konstans terhelés nagysággal

Ha a terhelés nagysága mérsékeltebb, akkor a konstans terhelés mellett steady state állapot alakul ki. Intenzív terhelésnél viszont a paraméterek dinamikusan változnak. Ha a konstans terhelés nagyságát szubmaximális szintre állítjuk be, akkor alkalmas a beteg állapotának, az illető edzettségének, terápia hatásának lemérésére ismételt terhelésekkel. Értékes paraméter ekkor az állóképességi idő: ameddig a szubmaximális terhelést folytatni tudja.



9. ábra: A protokollt beállító képernyő

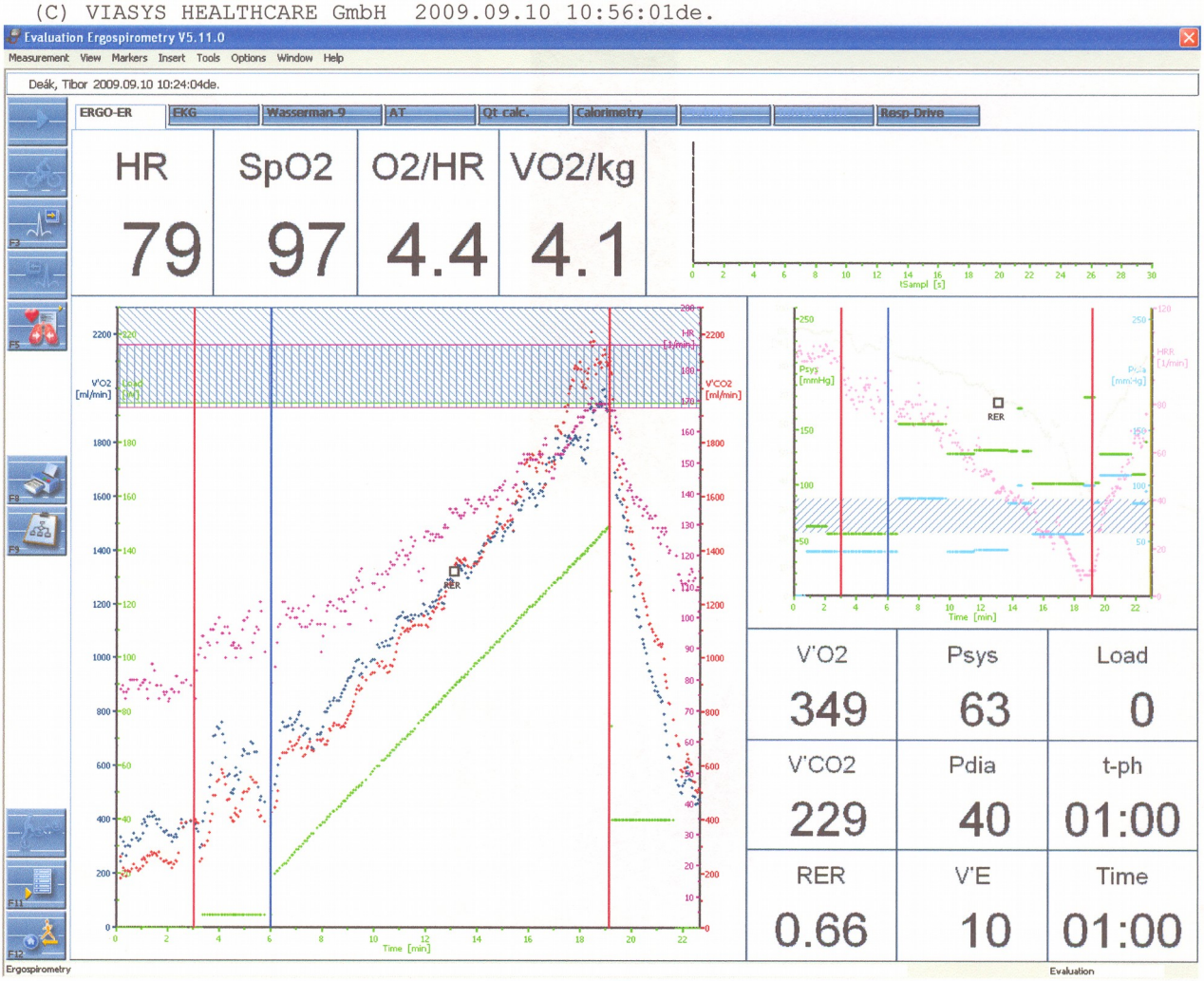
Oxiergometria

A maximális terhelhetőség 75-80%-ával konstans terhelést végeztetünk. A belégzett levegő oxigén tartalmát 30 majd 50%-ra emeljük (A pontos mérés magas méréstechnikai követelményeket támaszt). Az oxigén hatásai: pulmonális értágulat (nagyobb lehet emiatt a szív perctérfogata), az oxihemoglobin szaturáció emelkedik (ezért az artériás vér oxigén tartalma emelkedhet), az artériás oxigén tenzió emelkedik (emiatt a carotis kemoreceptor ingerület csökken). COPD-ben az emelt FiO2 30 és 50%-nál emeli az állóképességet. 50% fölé emelve további hatás nem észlelhető. Az állóképesség fokozásának mechanizmusa a dinamikus hiperinfláció csökkenése és a légzési inger csökkenése. Utóbbi jele a percventiláció csökkenés. Nem emeli a terhelhetőséget akkor, ha jobb-bal sönt áll fenn vagy ha nem eredményez pulmonális vazodilatációt (kisvérköri vaszkuláris ellenállás csökkenést).

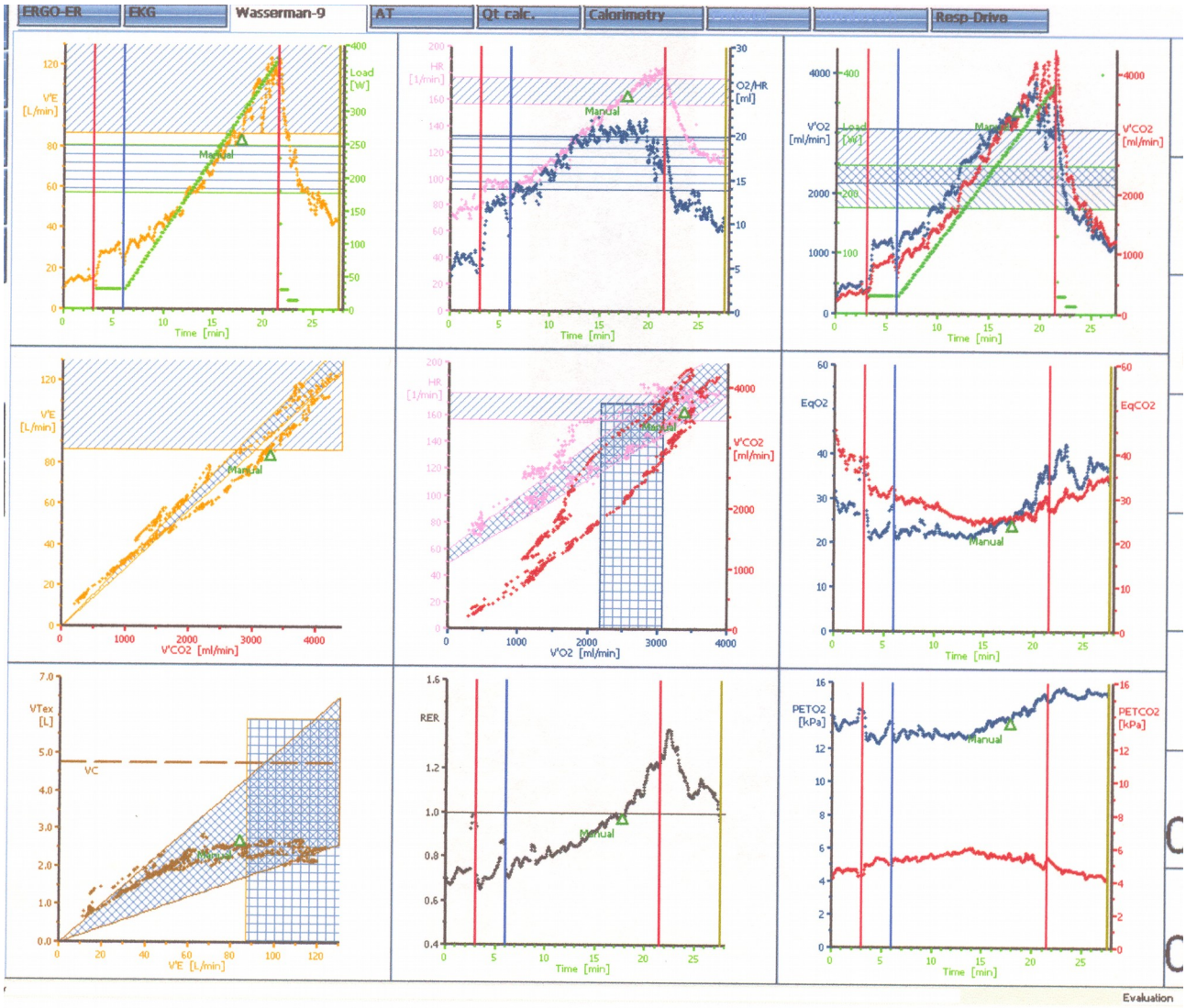
Megjegyzés a protokollokhoz:
A terhelés nagyságát szokták megadni metabolikus egységekben (MET) is.1 MET= a nyugalmi oxigén fogyasztással, tehát a MET számértéke megadja, hogy a nyugalmi oxigén fogyasztás hányszorosát érte el a páciens. Átlag a nyugalmi oxigén felvétel 3,5 ml oxigén/testsúlykg.
Azonban ha az oxigén felvételt mérjük, akkor a MET felesleges. Ha pedig nem mérjük, akkor csak egy átlag érték alapján történő becslés.

Paraméterek

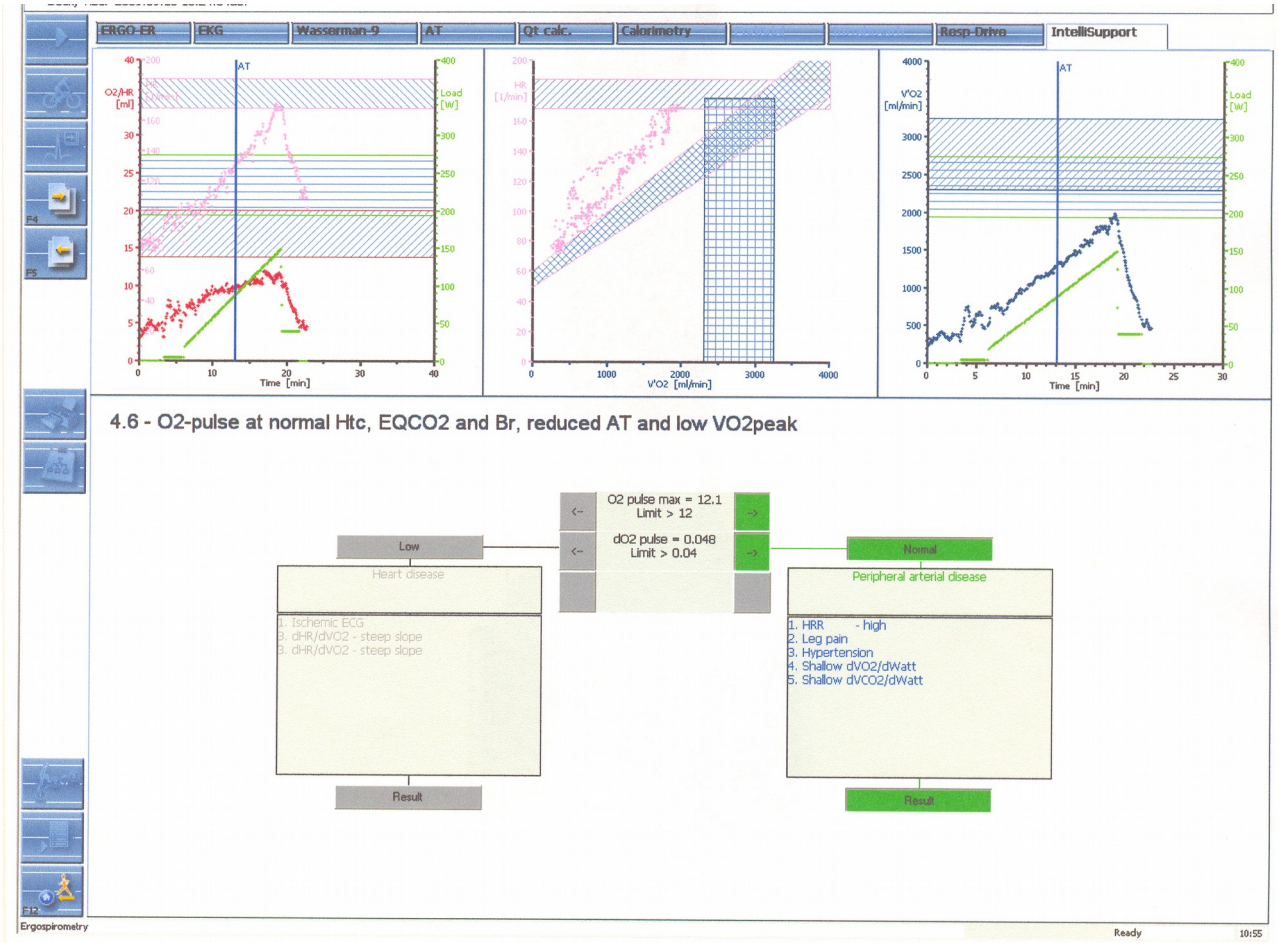
```
Szent Ferenc Kórház, Miskolc
Légzésfunkció

sml_JlabShort.xml
MasterScreen CPX,820547
ON:  MSCPx,JDDMSCPX.DeviceManager.1
     OxMobileFDR,JDDOXYCONMOBFDR.DeviceManager.1
     SerialBike,JDDPERIPHERALS.DeviceManager.1

CD-Version: JLAB 5.11.0.30
Animation              5.11.0.12      LAB Core               5.11.0.73
JAEGER ECG             5.11.0.16      Standard Pneumology    5.11.0.33
Extended Pneumology    5.11.0.51      Ergospirometry         5.11.0.56
Online Manual          5.11.0.23

(C) VIASYS HEALTHCARE GmbH  2009.09.10 10:56:01de.
```



10. ábra: A vizsgálat közbeni alapképernyő



11. ábra: Az un.Wasserman-gráf: A legfontosabb összefüggéseket mutató kilenc diagram.



12. ábra: Az intelligens kiértékelő rendszer egy részlete

Oxigén felvétel (V'_{O2})

Meghatározó tényezői

- a vér oxigén szállító kapacitása: hemoglobin tartalom és oxigén szaturáció)
- szív funkció (perctérfogat)
- a vér disztribúciója szövetekben
- a szöveti oxigén extrakció (kapilláris denzitás, mitochondriumok száma és enzim kapacitása, perfúzió és diffúzió)

Szubmaximális terhelésnél, ahol steady state következik be az oxigén felvétel időbeli alakulása exponenciális görbe. Ennek időkonstansa (az az idő, mely alatt eléri az egyensúlyi érték 63%-át) 30-45 másodperc. Edzett egyéneken gyorsabb, mint

edzetleneken, fiataloknál gyorsabb, mint időseknél. Progresszíven emelkedő terhelés során az oxigén felvétel időbeli alakulása emelkedő egyenes, legalább is a laktát küszöbig. Maradhat efölött is lineáris, eltérhet felfelé hajolva (csökkenő hatásfok),vagy lefelé hajolva (megtakarítás a laktátégetés miatt, pl. sportolókon de szívelégtelenségben is).

Nyugalmi oxigén felvétel

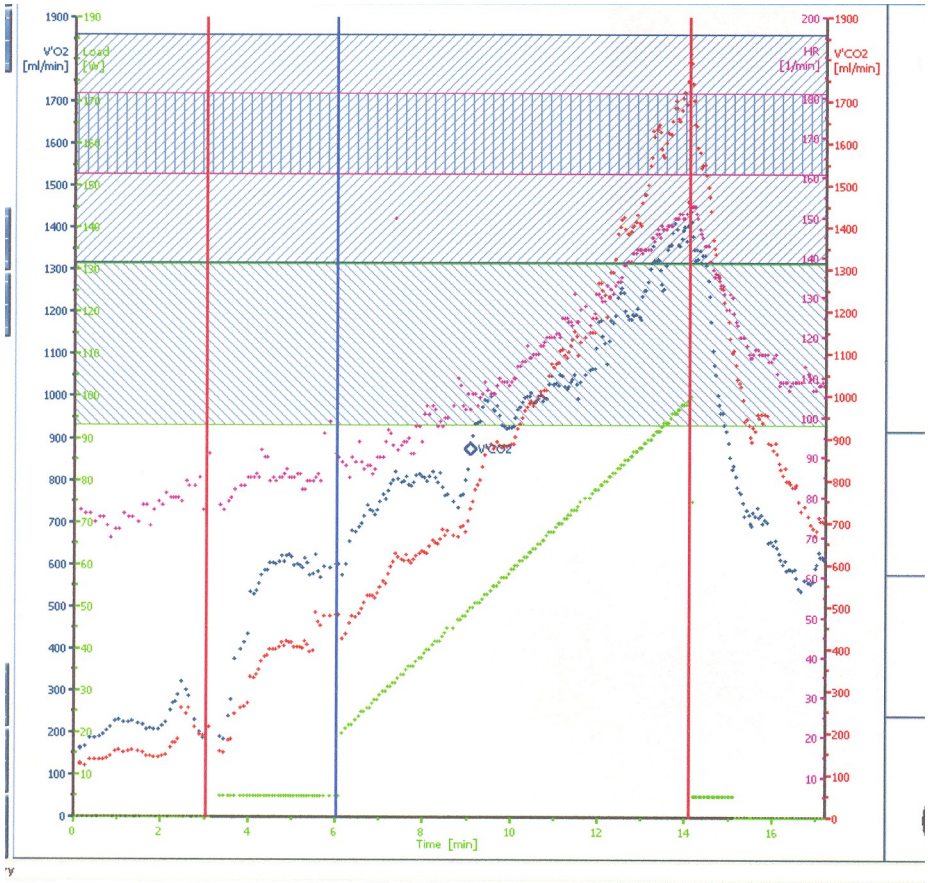
A kerékpáron ülve vagy a futószalagon állva mért oxigén felvétel. 250-350 ml/min, < 15 ml/testsúlykg. Magasabb nagyobb testméret (sportolók, elhízás) és magasabb alapanyagcsere (pl.hyperthyreosis)esetén.

Alap(bazális)oxigén felvétel

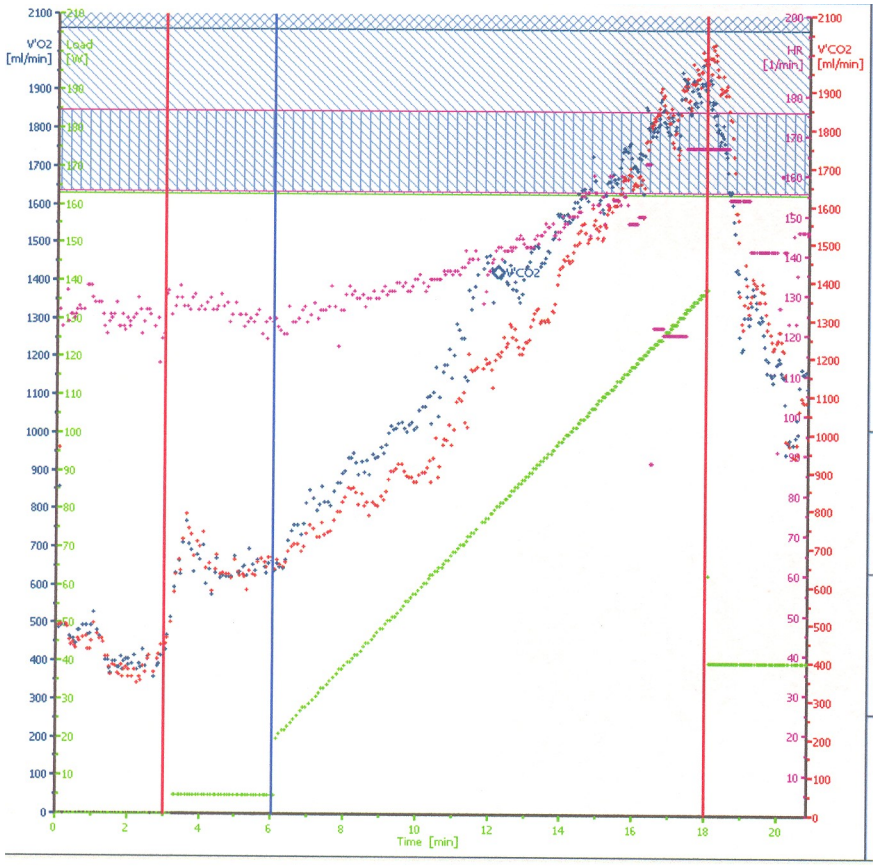
0 Watt terhelés mellett kerékpározva a nyugalmi oxigén felvételhez hozzáadódik a végtag és a kerékpár mozgatásából adódó plusz oxigén fogyasztás. Ekkor az oxigén felvétel 500 ml körül van.

A terhelés és oxigén felvétel közötti öszefüggés (V'_{O2}-WR)

A progresszíven emelkedő terhelés-oxigén felvétel grafikon egy egyenes. Meredeksége függ a munka hatásfokától, melyet sok tényező befolyásol, alapvetően a kémiai energia mechanikai energiává alakulásának és a mozgásrendszer mechanikai hatásfoka. A valódi hatásfokot akkor fejezné ki, ha a terhelés steady state állapotot érne el. Kiszámítása úgy történik, hogy a maximális és a terhelés kezdetén mért oxigén fogyasztás különbségét elosztjuk a csúcson elért Watt-számmal. Ehhez természetesen a terhelés nagyságának pontos mérése szükséges, mely kerékpár ergométeren adott, futószőnyegen viszont csak a becslése lehetséges.
Az átlagos érték 10 ml/min/Watt körül van, normális tartománynak 8,5 és 11,5 között nevezhető. Független az életkortól, nemtől és magasságtól. Nem függ az edzettségtől sem. Obesitasban az adott Watt-hoz képest az oxigén felvétel nagyobb, de a meredekség inkább normális. Mindazon tényezők befolyásolják- meredekebbé vagy kevésbé meredekké teszik- melyek a hatásfokot befolyásolják. Így pl meredekebbé válik emelkedett ventilációs válasznál (pl.nagyobb holttér, arteriás hipoxémia), lelapul rossz izom perfúziónál (perifériás érbetegség, kardiális dekompenzáció).



13. ábra: Normális nyugalmi oxigén felvétel normális meredekségű terhelés alatti oxigén felvétellel.

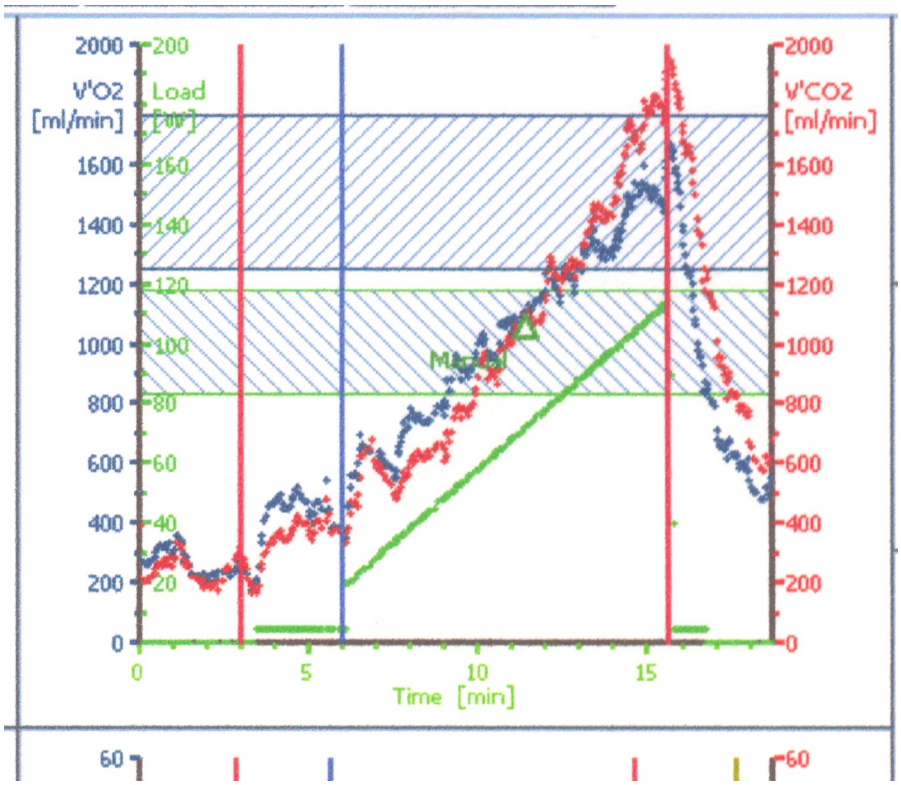


14. ábra: Magasabb nyugalmi oxigén felvétel, s a terhelés alatt az oxigén felvétel meredek(14,3 ml/min/Watt)

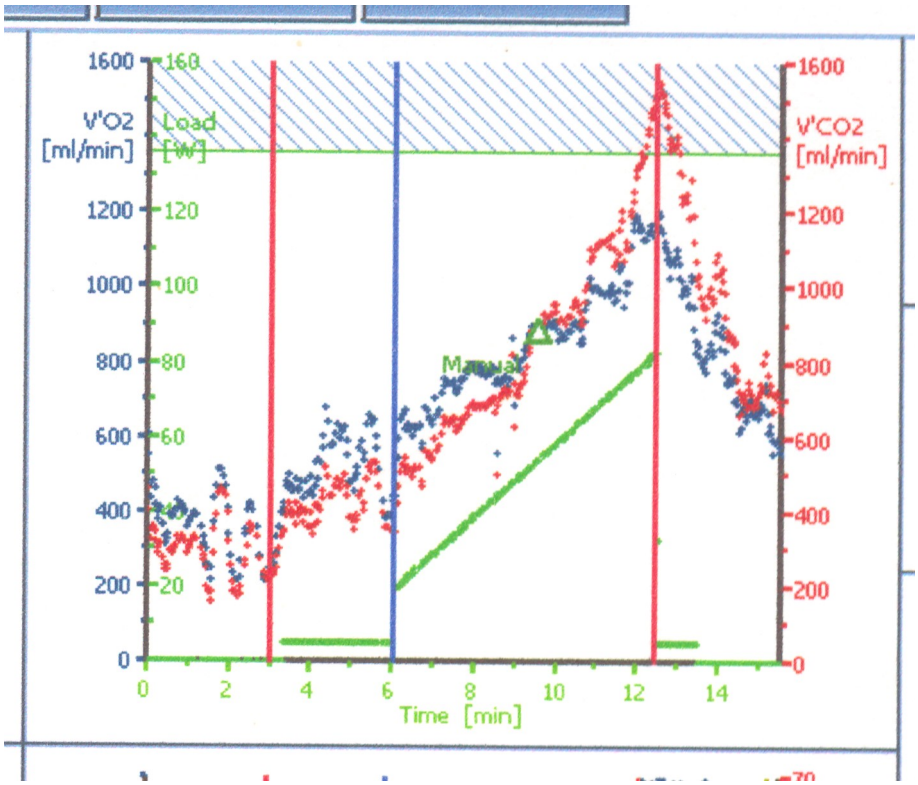
Maximális és csúcs oxigén felvétel (V'_{O2max}, V'_{O2peak})

Az oxigén felvétel progresszíven emelkedő terheléskor is elér egy maximumot. Ha az addig emelkedő egyenes plátót képez, akkor e maximális értéket maximális oxigén felvételnek nevezzük. Ezt azonban sokszor nem érjük el, mivel a pácienstől és a vizsgálótól is maximumot igényel és időt. Ekkor nincs plató és az elért számértéket csúcs oxigén felvételnek nevezzük. Nagy különbség azonban a terhelés megfelelő kivitelénél nincs közöttük, ezért gyakran szinonimaként használjuk a két fogalmat. Mindkettő kifejezi az egyén aerob kapacitását. Függ az életkortól, nemtől, testmérettől. A terhelés túl gyors emelése és túl lassú emelése egyaránt kisebb értéket eredményezhet. Megadjuk abszolút értékben (liter/min)és a referencia érték százalékában. Normálisan eléri a referencia érték 85%-át. Csökkenése nem specifikus,- gyakorlatilag kisebb az értéke a terhelhetőség csökkenés minden kiváltó oka esetében. Technikai oka is lehet (pl.nem zár jól az arcmaszk). Prognosztikus COPD, intersticiális tüdőbetegség, pulmonális vaszkuláris betegség, koronaria betegség, krónikus szívelégtelenség esetén egyaránt.

A terhelhetőség csökkenés:
enyhe: 85-70% között
közepes: 69-50%
súlyos: ha kisebb 50%-nál
Testsúlykg-ra számítása nem általánosan elfogadott, mivel obesitásban félrevezető. A zsírmentes vagy az ideális testsúlyra számítás korrektebb értéket ad.



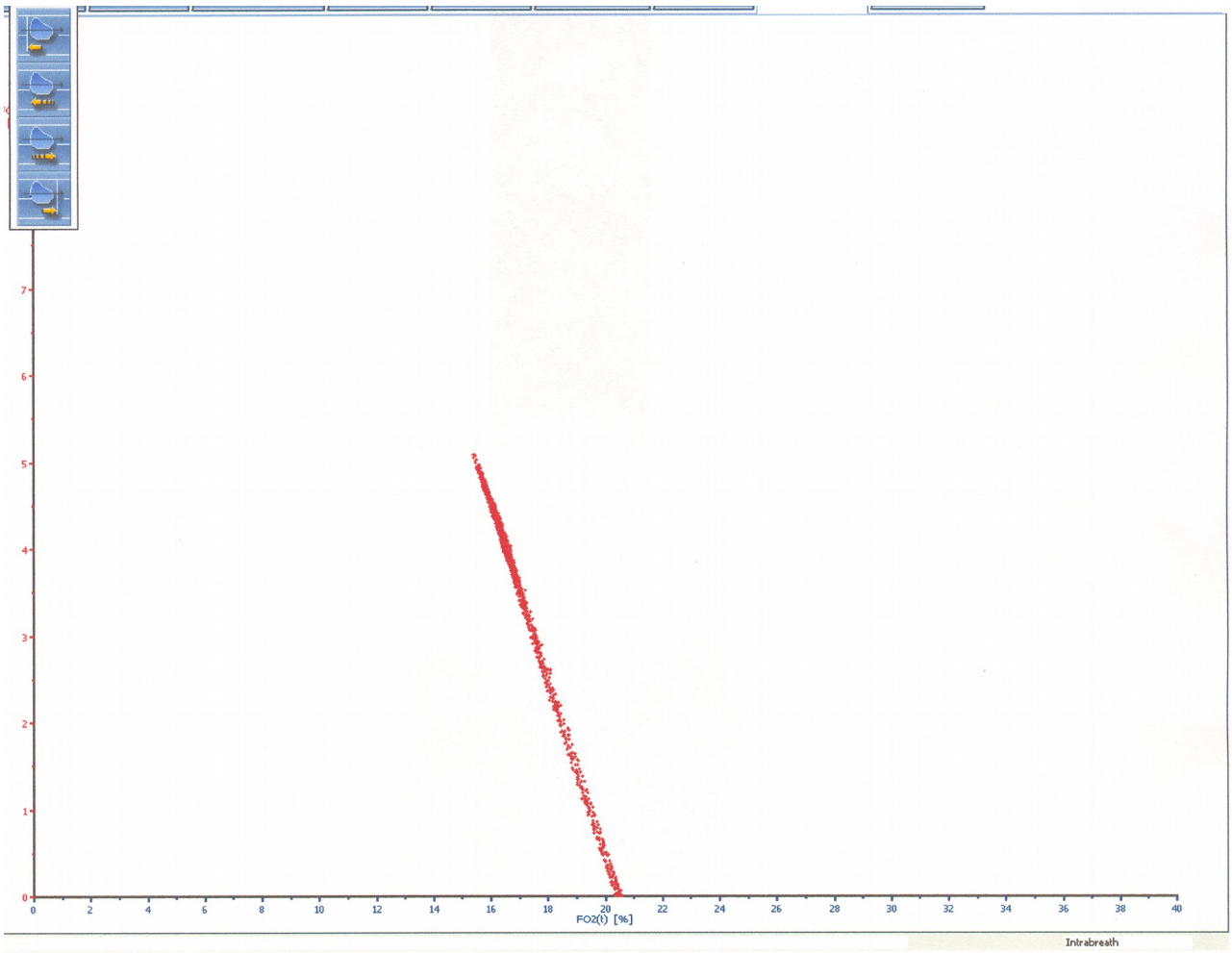
15. ábra: Normális nagyságú csúcs oxigén felvétel. A referencia értéket a számítógép a grafikon hátterén kék vonallal kijelzi



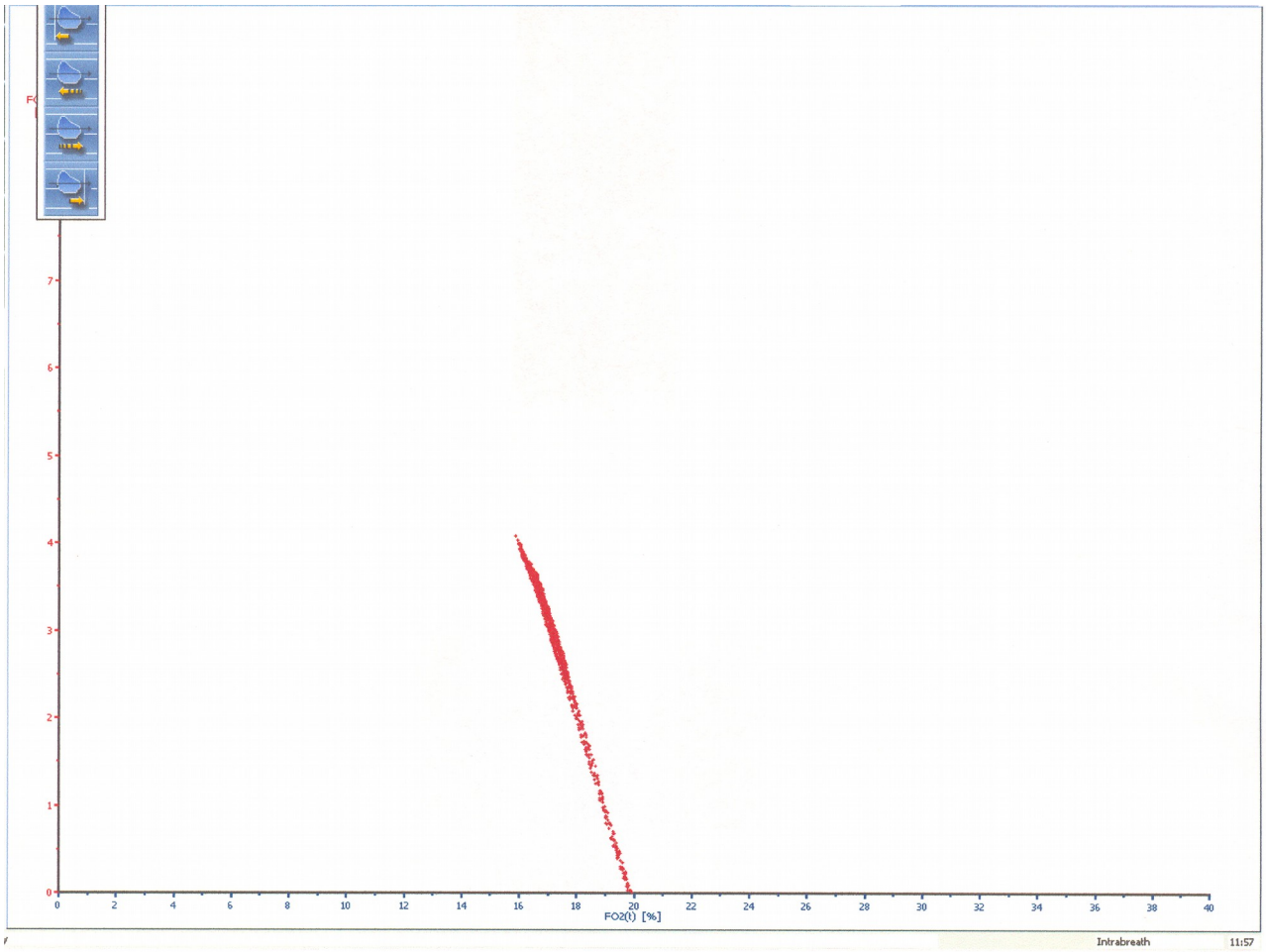
16. ábra: Kisebb csúcs oxigén felvétel: a kell értéket a kéken sávozott szint mutatja.

Széndioxid leadás (V'_{CO2})

Progresszíven emelkedő terhelés során a széndioxid leadás a munka nagyságával és az oxigén fogyasztással lineárisan nő. Hasonló tényezők határozzák meg, mint az oxigén fogyasztást: szív perctérfogata, a vér széndioxid szállító kapacitása, a szöveti széndioxid csere a főbbek. Mivel a széndioxid a szövetekben és a vérben az oxigénnél jobban oldódik, annál jobban befolyásolja a ventiláció. Amikor az aerob izom anyagcsere átmegy anaerobba, a megemelkedő laktát szintet a szervezet bikarbonáttal kompenzálja és utóbbi eltávolítása a légzéssel történik fokozott széndioxid leadással. Ekkor a széndioxid leadás grafikonja meredebbé válik, de a meredekebb szinten ugyancsak lineáris marad.
A széndioxid leadás tehát függ a respirációtól és az anyagcserétől. Függ még a ventilációtól (pl. hiperventiláció ugyancsak fokozza a széndioxid leadást).



17. ábra: Lineáris F_{O2} és F_{CO2} összefüggés. F: a gáz százalékos koncentrációja a kilégzett levegőben.

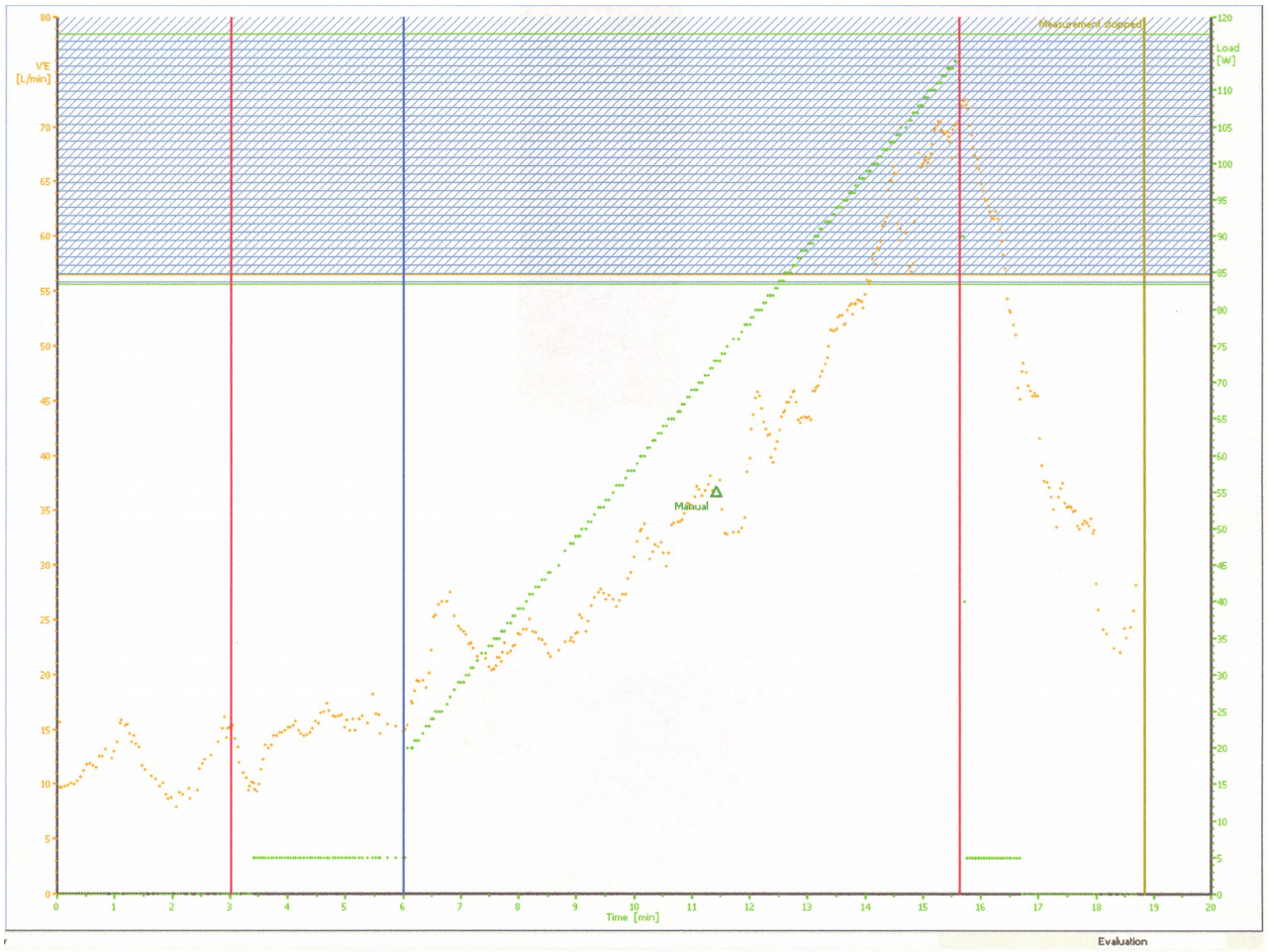


18. ábra: F_{O2} és F_{CO2} összefüggés: a csúcsnál nem lineáris.

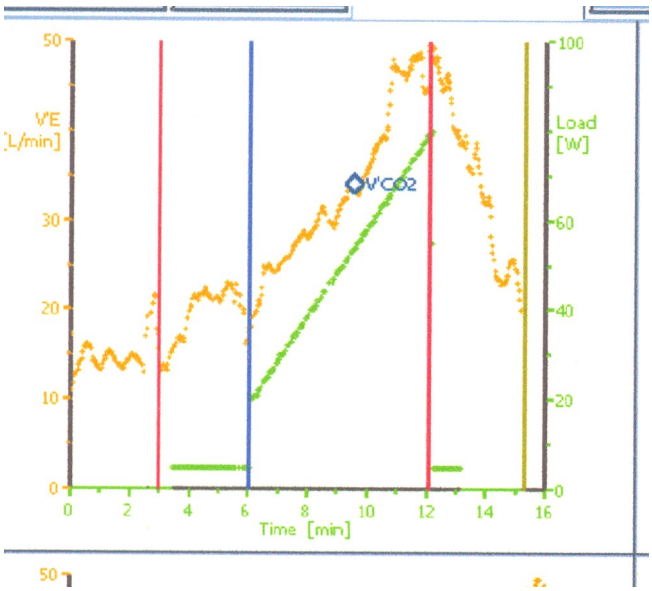
Percventiláció(V'_E)

Az egy perc alatti ventiláció l/min-ban. A légzési térfogat és a légzési frekvencia szorzata. A terheléssel lineárisan emelkedik, majd a laktát termelés fokozódása és a széndioxid kiválasztás megemelkedése meredekebbé teszi a grafikont. A percventiláció elért maximuma a maximális percventiláció (V'_{Emax}). Értéke függ az életkortól, nemtől, testmagasságtól. Nyugalomban 5-10 l/min, mely terhelés során 100 l/min fölé, sőt edzetteken 200 fölé emelkedik. Értékét referencia értékhez

viszonyítjuk, normálisan nagyobb annak 80%-ánál. A maximális percventiláció számos betegségben csökken. A percventilációt elsősorban a széndioxid leadás szabja meg: az ezt meghatározó anyagcsere és respirációs tényezők. Fokozza a percventilációt a hipoxémia a carotis receptorok ingerületén keresztül.
A percventiláció-idő grafikonon látható oszcillációt az oxigén felvételi és széndioxid leadási görbe oszcillációja kíséri. Cheyne-Stokes légzés megnyilvánulása. Krónikus kardiális dekompenzációban jelentkezik.



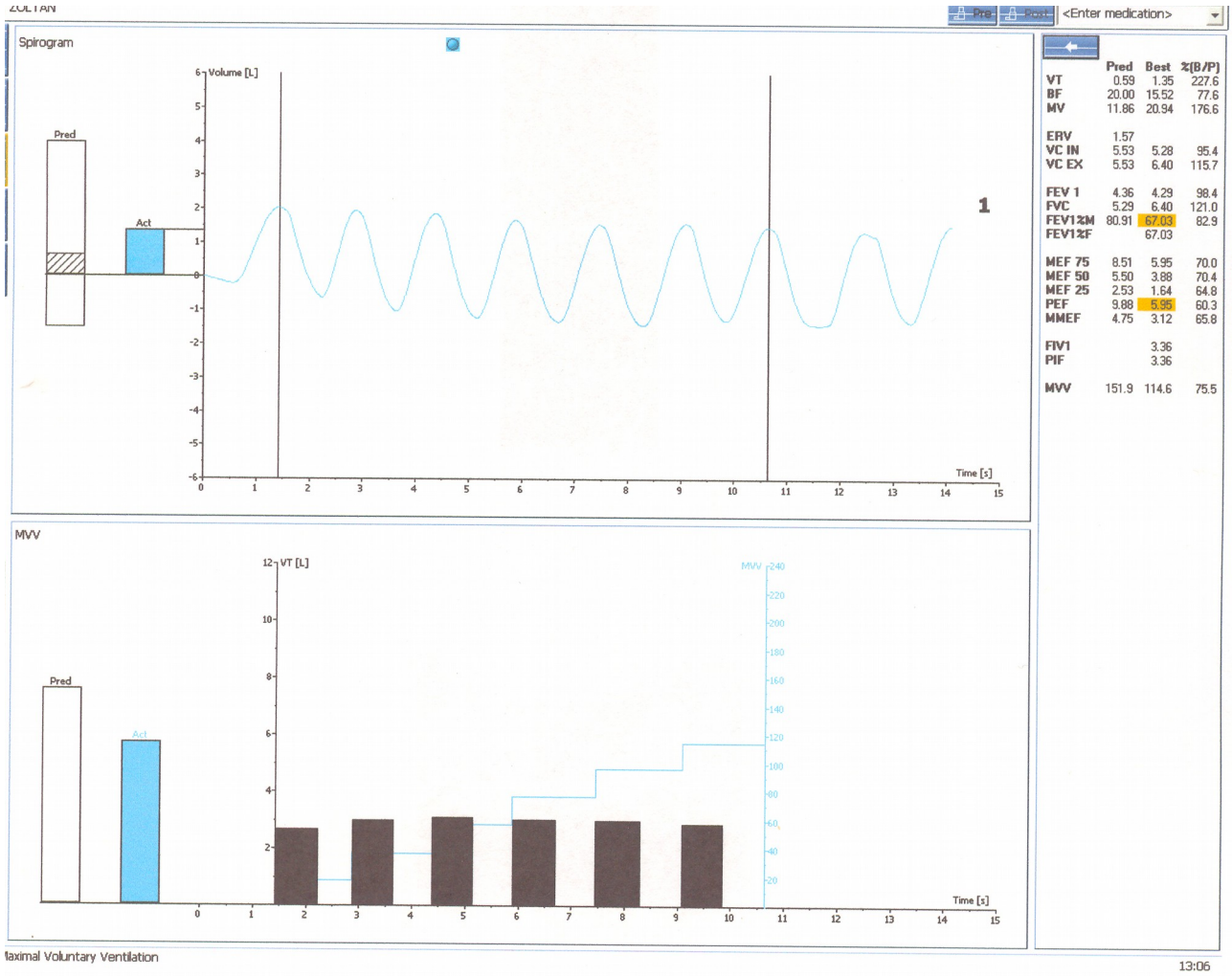
19. ábra: A maximális percventiláció elérte a kell értéket (kék sáv).



20. ábra: A maximális percventiláció kisebb, nem éri el az 50 l/min-ot sem

Ventilációs tartalék

(Gyakran a légzési tartalék kifejezést használják). (Breathing reserve, BR).
A maximális akaratlagos ventiláció és a maximális percventiláció különbsége. Ebből következően meghatározásánál döntő a maximális akaratlagos ventiláció valid volta. A maximális akaratlagos ventilációt (MVV, légzési határérték) mérjük ill. számítjuk. Az egyén maximális légzési térfogattal és maximális frekvenciával lélegzik 12 másodpercen keresztül. Az így kapott térfogatot 5-el szorozva számítjuk át 1 percre. Közel azonos értéket ad, ha a FEV_1-et 40-el (egyesek szerint 35-el) megszorozzuk. Célszerű úgy eljárni, hogy az MVV-t mérjük, de a kapott számértéket ellenőrizzük fenti számítással is.



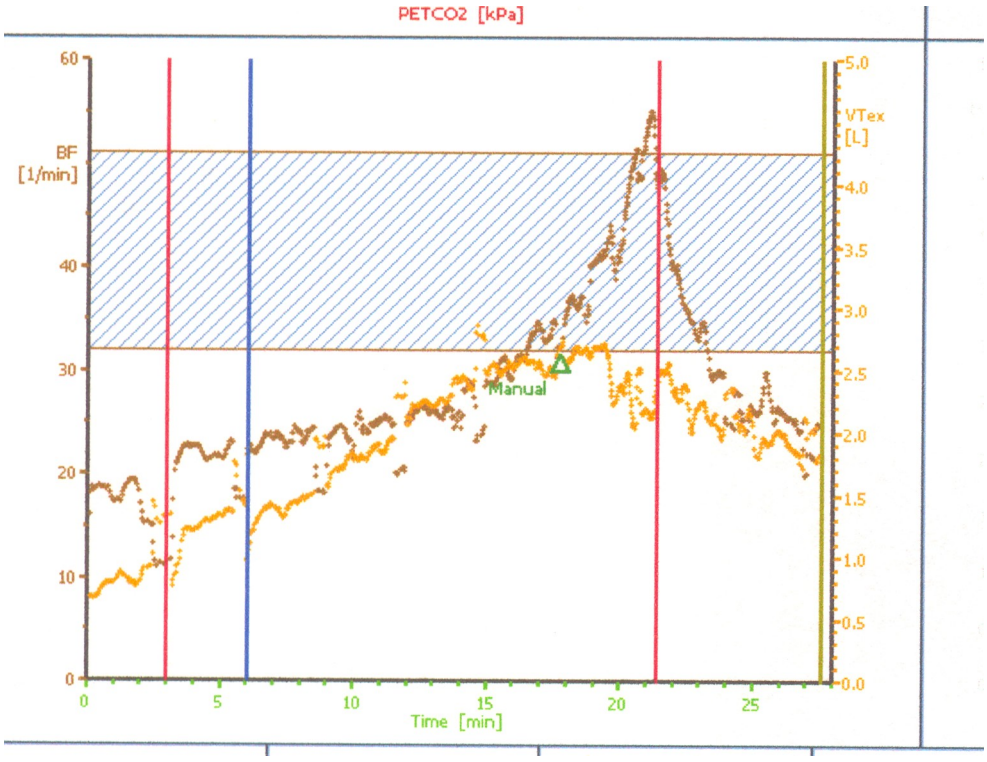
21. ábra: Maximális akaratlagos ventiláció mérése.

A ventilációs tartalékot abszolút értékben vagy százalékban fejezzük ki:
MVV-V_{Emax} liter
MVV-V_{Emax}/MVV x 100: %

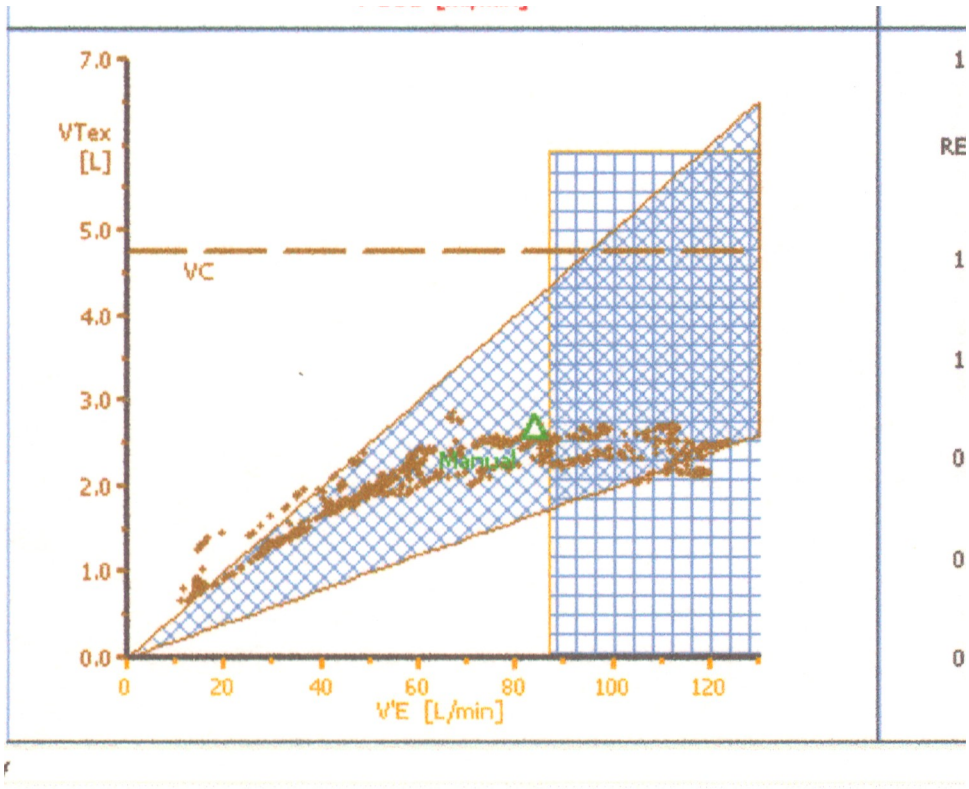
Az értéknek elég nagy a szórása, de egészséges ember jelentős tartalékkal rendelkezik, azaz a maximális percventiláció nem éri el az elméleti MVV-t (20-40%-os tartalékja van). Nagyon edzett egyéneken fordul elő extrém magas percventiláció, mely mellett kicsi a különbség. A normális érték alsó határa 11 liter illetve 13% .Obstruktív és intersticiális tüdőbetegségben, krónikus metabolikus acidózisban egyaránt beszűkül vagy akár 0-ra csökken, sőt néha negatív is lehet. Kardiovaszkuláris megbetegedésekben, pulmonális vaszkuláris betegségben, anémiában normális marad.

Légzési minta

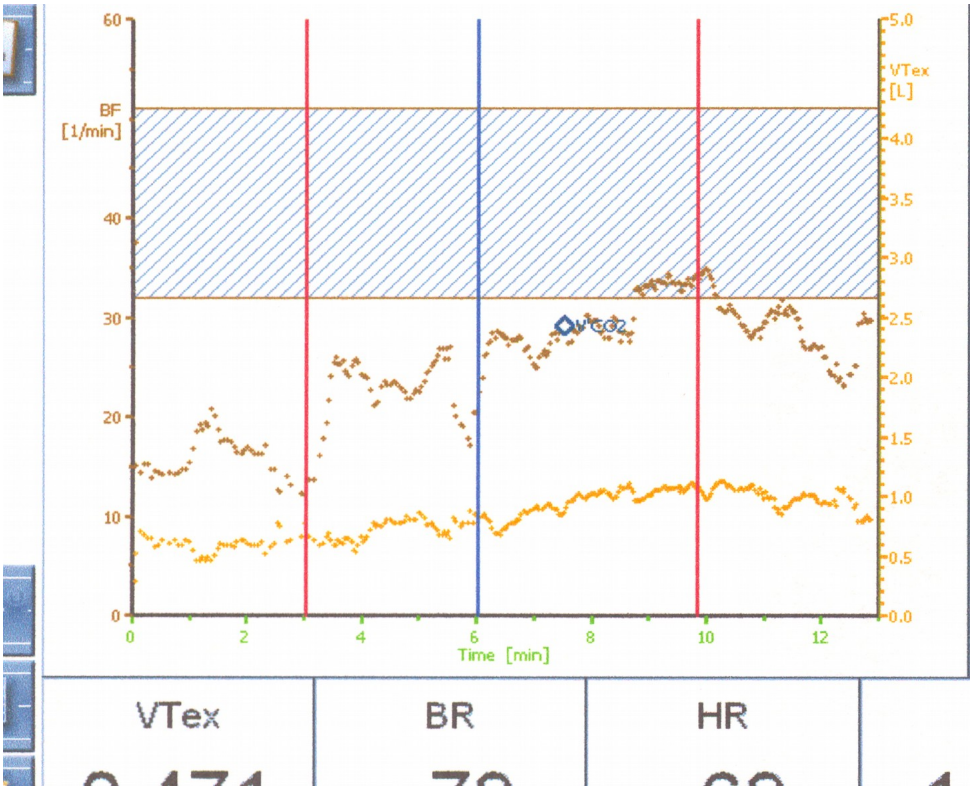
E fogalom alatt a légzési térfogat (tidal volumen, VT), légzésszám (breathing frequency,BF) és légzési időtartamok együttesét értjük. E paraméterek kölcsönhatásukban szabályozottak. A normális nyugalmi légzési térfogat függ a testmérettől. Terhelés közben nem lineárisan emelkedik, hanem plátót képez. A terhelés emelésével előbb a légzési térfogat emelkedik, a légzési frekvencia nem. Bizonyos terhelési szint felett mindkettő tovább növekszik, majd a térfogat elérve plátóját, ettől kezdve a légzésszám emelésével tudja a páciens tovább növelni a légzés perctérfogatát. Dyspnoe esetén ez a váltás kisebb terhelés illetve kisebb oxigén fogyasztás mellett következik be. Intersticiális tüdőbetegségnél a restrikció miatt a légzési térfogat emelése különösen korlátozott és már a terhelés elején is csak a frekvencia emelésével képes kompenzálni a beteg. Gyakran tapasztalható a légzési térfogat légzésről-légzésre való változása, egyenlőtlensége, mely izgatottság vagy hiperventiláció jele lehet. A légzésszám normálisan 60/min alatt marad. Elit sportolókon fordul elő nem kórosan ennél magasabb érték.
A t_I/t_E (belégzési/kilégzési idő) hányadosa kóros, ha a belégzési idő kevesebb mint 40%-a a kilégzésinek. Normálisan a hányados 0,8-1,0. Obstruktív zavarban a hányados csökken, restriktivben nő. A t_I/t_{tot} (belégzési idő/teljes légzési ciklus ideje): nyugalomban a belégzési idő a teljes ciklusidő 35-40%, terhelés közben 50-55%-ra nő. Ugyanis mérsékelt terhelés közben a légzési térfogat emelését a kilégzési idő némi rövidülése kíséri, míg a belégzési idő változatlan marad. Amikor a növekvő terhelés során a légzési frekvencia is emelkedni kezd, akkor a kilégzési idő tovább rövidül és elkezd a belégzési idő is rövidülni. Egészségeseken terhelés közben a T_i,T_E és T_{tot} egyaránt rövidül. A T_I kevésbé rövidül, mint a teljes T_{tot}, ezért a T_I/T_{tot} emelkedik. Intersticiális tüdőbetegségben korai a frekvenciával való kompenzáció. A T_I és a T_{tot} párhuzamosan rövidül, ezért a $T_I/_{Ttot}$ változatlan marad. Az egészségesekhez képest a T_I azért nem rövidül kevésbbé, mint a T_{tot} mert a restrikció miatt a beteg nem tud akkora térfogatot belélegezni, mint az egészséges. Obstruktív tüdőbetegségben viszont a kilégzés akadályozott, ezért a T_E nyúlik meg relatíve, ugyanakkor a T_I normálisan rövidül. Ezért a T_I/T_E csökken. A T_I/T_{tot} 0,5 alatt marad.



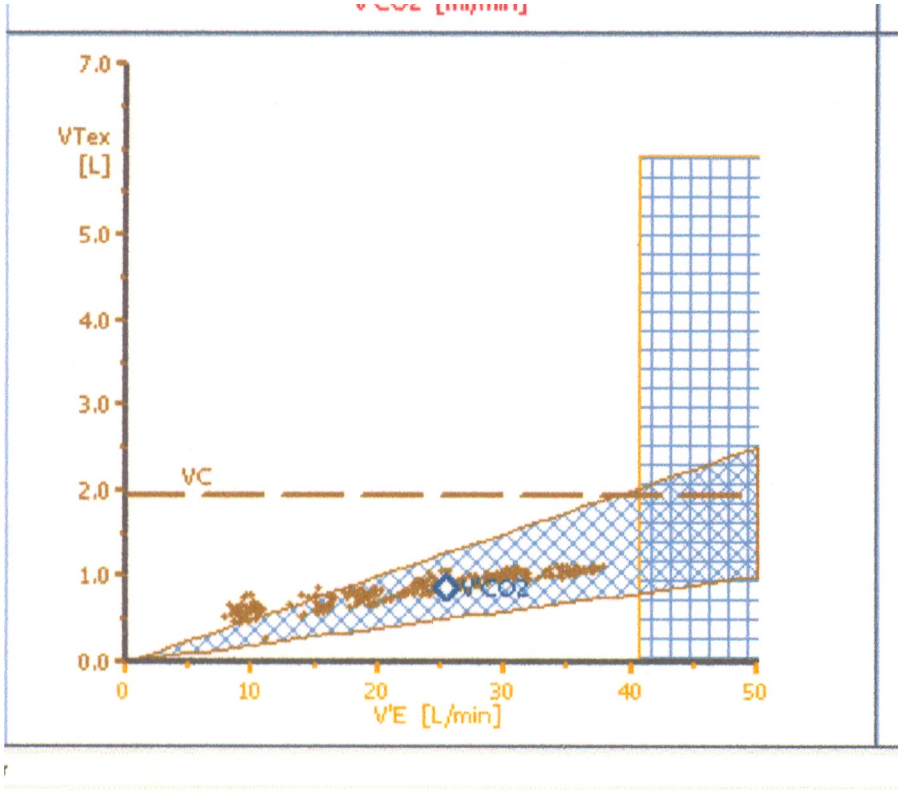
22. ábra: Normális légzési minta: A légzési térfogat (Vtex) emelkedése plátót ér el, s ezután csak a légzési frekvencia (BF) nő.



23. ábra: Az előző eset ábrázolása más szemszögből:A percventiláció emelkedésével a légzési térfogat fokozatosan emelkedik, majd plátót képez.



24. ábra: Restriktív zavar légzési mintája: Az alsó, térfogat görbe kezdettől alig emelkedik, a frekvencia nő.



25. ábra: Az előző eset más szemszögből: A percventilációval a légzési térfogat alig emelkedik.

Légzési térfogat-percventiláció összefüggés (VT-V'$_E$)

Ha a percventilációt a légzési térfogat függvényében ábrázoljuk, akkor kezdetben lineárisan emelkedik a grafikon, jeléül, hogy a térfogat és a percventiláció

párhuzamosan növekszik. A továbbiakban a percventiláció jobban nő, mint a légzési térfogat. Ez azt jelenti, hogy a légzésszám szaporodik. A légzésszám emelkedés görbéje hiperbola, de a térfogat-percventiláció lineáris marad, csak meredekebbé válik.

Légzési térfogat és a maximális áramlás-térfogat görbe

Kilégzési áramlás limitálás

Ez a fogalom (expiratory flow limitation) nem azonos a kilégzési obstruktiv ventilációs zavarral, azaz a kilégzési áramlási sebesség csökkenésével (airflow limitation). Definiciója: a transzpulmonális nyomás emelkedése nem eredményezi a kilégzési áramlás fokozódását (transzpulmonális nyomás a levegőáramlás hajtó nyomása: alveoláris nyomás – intrapleurális nyomás). Ez gyakorlatilag azt jelenti, hogy a beteg hiába erőlködik jobban, nem képes az áramlást fokozni.
Belégzésnél nincs áramlás limitálás: az áramlás mindaddig nő, amíg az ember képes a transzpulmonális nyomást tovább emelni.

Dinamikus hiperinfláció

A nyugalmi funkcionális reziduális kapacitás (FRC) a nyugodt kilégzés végi tüdőtérfogat. Mivel ilyenkor a kilégzés passzív ez az egyensúlyi térfogat a mellkasfal tágulni igyekvő rugalmassága és a tüdő összehúzódni igyekvő rugalmas ereje között. Ilyen körülmények között az FRC sztatikus paraméter. Ettől a térfogattól azonban eltérhet a végkilégzési tüdő térfogat (end expiratory lung volume,EELV). Ez ugyanis nemcsak a légzőrendszer mechanikai tulajdonságainak passzív következménye, hanem dinamikusan szabályozott (ezért nevezik dinamikus FRC-nek is). Befolyásolja a kilégző és belégző izmok toborzása és működésük időzitése. Terhelés közben egészséges emberen az EELV csökken. Az EELV csökkenése a kilégző izmok működésétől és a belégző izmok optimális rosthosszúságától (azaz erőkifejtésétől) függ. Az EELV csökkenése elősegíti, hogy a nyugalmi légzési térfogat a tüdő és mellkasfal nyomás-térfogat görbéjének lineáris szakaszán maradjon és ezáltal csökkenjen az elasztikus erőkifejtés (az end inspirációs, belégzés végi tüdő térfogat EILV a TLC alsó részén maradjon), feltéve, ha a légzési térfogat nagysága nem változik. Továbbá a mellkasfalban (bordák,has és rekeszizom) tárolt (rugalmas és gravitációs) energia, melyet az aktiv kilégzés hozott létre elősegíti a belégzés kezdetén a passzív rugalmas erőt. Az EELV túl nagy esése kilégzési áramlás limitálást okoz az EELV közelében amiatt, hogy amiképp a tüdő térfogat csökken, úgy esik a maximálisan elérhető levegő áramlás. Ez a jelenség egészségeseken is fellép terhelés során, amikor is az EELV esik. Az áramlás limitálás miatt aztán az EELV a nyugalmi érték fölé emelkedik. Ez a dinamikus hiperinfláció. Nagymértékü kóros körülmények között. Ilyenkor akár már nyugalomban is fennállhat áramlás limitálás, mely terheléskor nagymértékben fokozódik. Az EELV emelkedése csökkenti a belégző izmok rosthosszúságát, ezáltal növeli a légzési munkát és oxigén

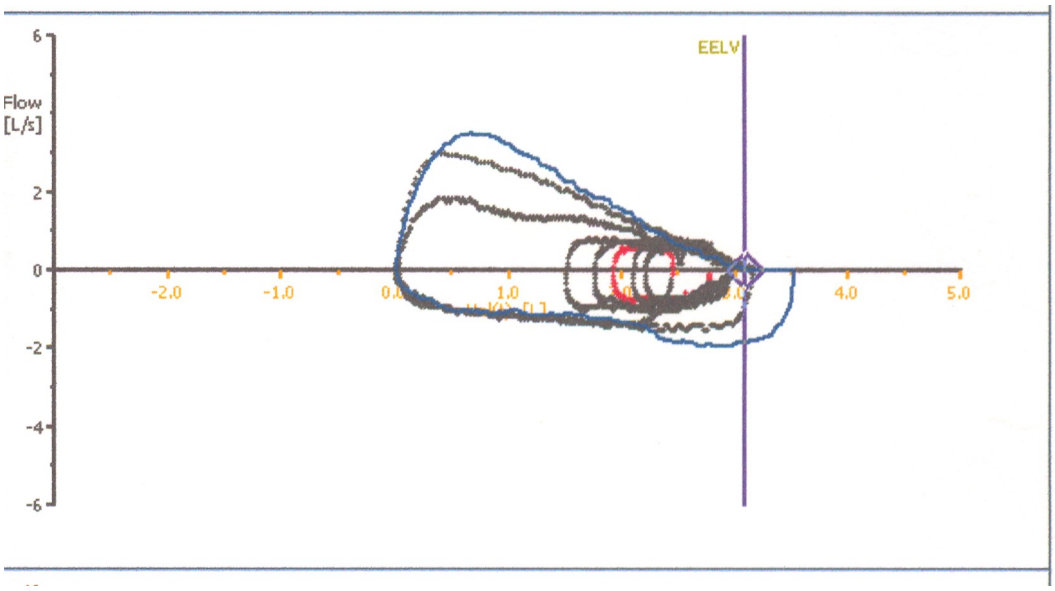
szükségletet, csökkenti a belégző izmok állóképességi idejét. Negatív hatásu a hemodinamikára is. Szerepe van a nehézlégzésben és csökkenti a terhelési toleranciát. Terápia, hörgőtágító hatására a kilégzési áramlás limitálás és a hiperinfláció csökkenhet. Egészséges emberen terhelés közben a légzési térfogat (LV) jelentősen nagyobb lesz, míg kóros körülmények között nem vagy alig emelkedik. A végkilégzési tüdő térfogat egészséges emberen nyugalomban természetesen normális és terhelés közben enyhén még csökken is. COPD-ben eleve magasabb és terhelés során tovább emelkedik. A végbelégzési tüdő térfogat egészségeseken is nő terhelés közben,- COPD-ben a terhelés alatt már akkora, hogy a belégzési tartalék térfogat minimálisra csökken.

A kilégzési áramlás limitálás és a dinamikus hiperinfláció mérése

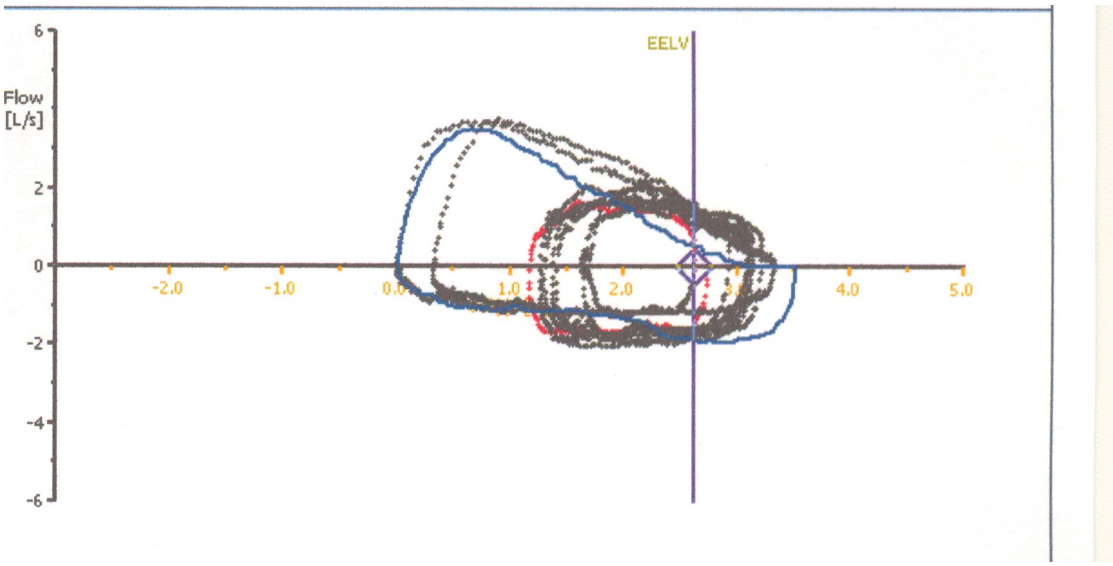
Nyugodt légzés melletti és forszírozott áramlás-térfogat görbe

Egymásra regisztráljuk a nyugodt légzés melletti és a maximális áramlás-térfogat görbét. Ebből ránézésre láthatjuk, hogy a nyugodt légzéshez viszonyítva a kilégzési áramlási sebességek forszírozáskor növekedtek-e. Terhelés közben sorozatban regisztrálva a légzési térfogatot és összevetve a maximális áramlás-térfogat görbével látható, hogy a végkilégzési és végbelégzési térfogat, az inspirációs kapacitás hogyan változik. Kilégzési áramlás limitálás esetén a forszírozott hurok kilégzési áramlásai alig nagyobbak, vagy nem nagyobbak, mint a nyugodt légzés mellettiek. Sőt paradox módon még kisebbek is lehetnek, azaz erőlködéskor a beteg a kilégzési áramlást nemhogy növelni nem képes, de az még csökken is. Dinamikus hiperinfláció esetén a végkilégzési térfogat megnő az inspirációs kapacitás rovására (utóbbi tehát csökken). Az elasztikus terhelést kifejezi az EILV/TC vagy a VT/IC aránya. Az áramlás limitációt kifejezik a nyugodt légzés és forszírozott görbe egybeesése térfogata osztva a VT-el.

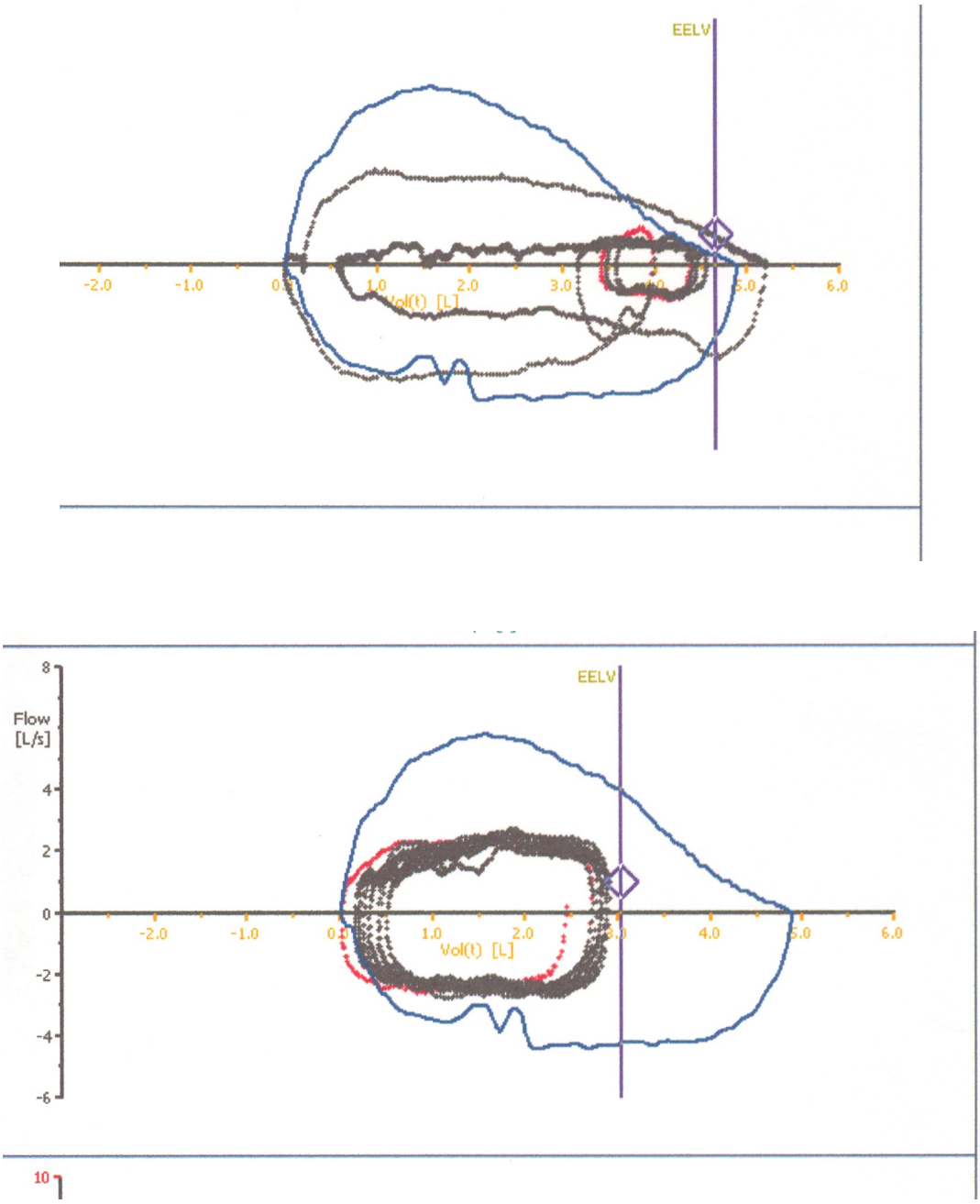
Mivel hiperinflációnál az inspirációs kapacitás csökken sorozat IC méréssel meghatározható. Az IC 200 ml-nél nagyobb csökkenése a terhelés közben dinamikus hiperinflációra utal.



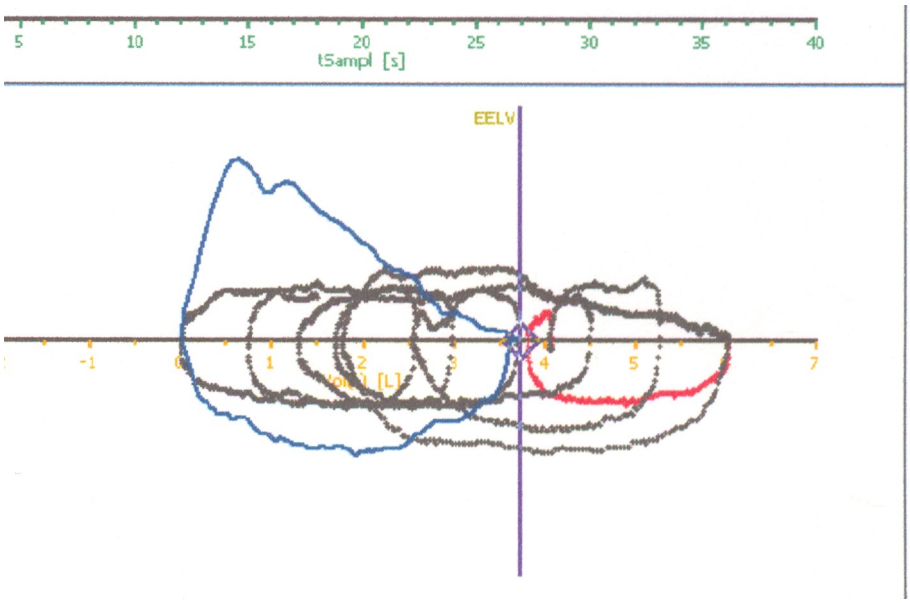
26. ábra:A kék hurok a forszírozott maximális áramlás-térfogat görbe. A piros a nem forszírozott görbe a terhelés elején.



27. ábra:Ugyanazon beteg regisztrátuma a maximális terheléskor. A piros- nem forszírozott hurok a kezdetinél nagyobb, de helyezete a forszírozotton belül nem változott: Az EELV feliratu egyenes (end-expiratory- végkilégzési) tüdő volumen a forszírozott görbe jobb oldalához (a reziduális térfogathoz) közel maradt.



28. ábra:Dinamikus hiperinfláció: A nem forszírozott hurkok a forszírozott hurok bal oldalára (a totálkapacitás felé) tolódtak, a végkilégzési térfogat megemelkedett.



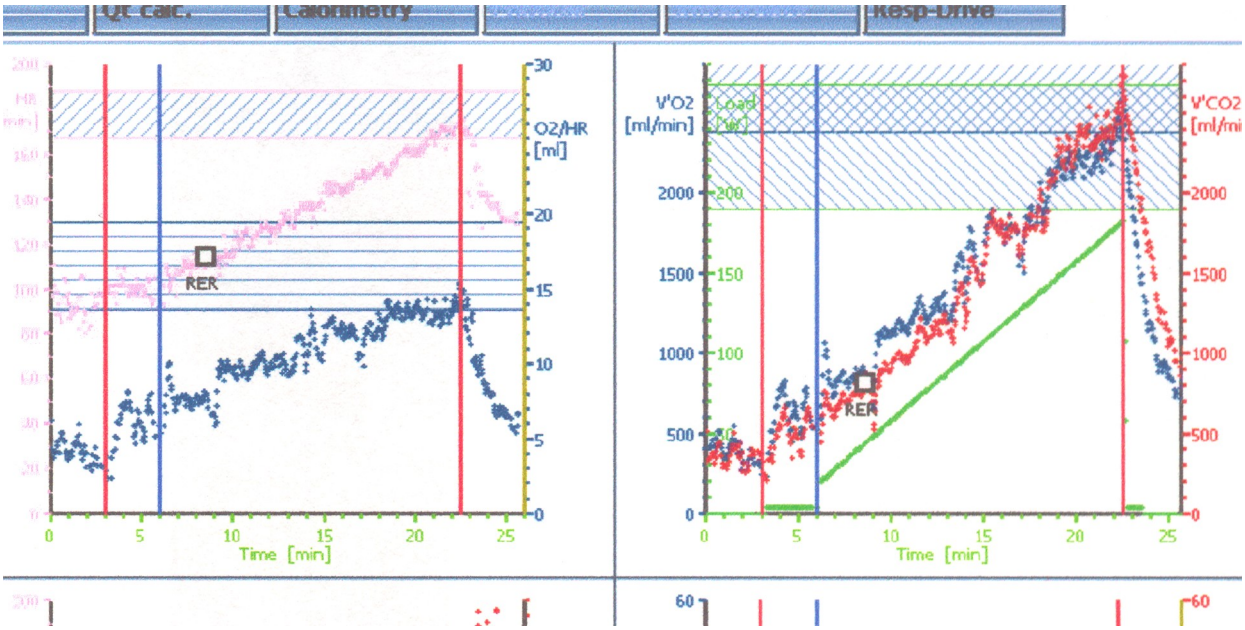
29. ábra: Áramlás volumen görbék. A hurkok elmozgását az okozta, hogy az arcmaszk nem zárt tökéletesen.

Oxigén-légzés

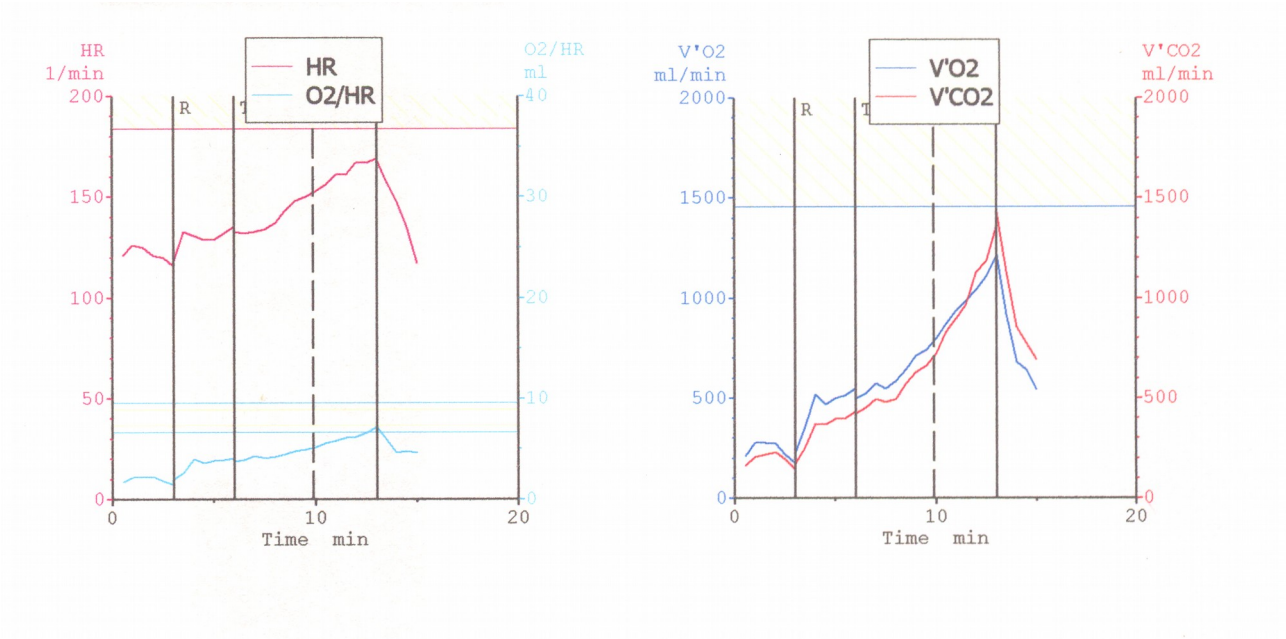
(Oxygen breath)
Az oxigén felvétel és a légzésszám hányadosa: egy légvételre eső oxigén felvétel. Kifejezi a légzés hatásfokát, analóg az oxigén-pulzussal. Értéke az alveoláris légzési volumentől függ. Nyugalomban 10-20 ml/légzés. Terheléskor az anaerob küszöbig exponenciálisan emelkedik, afelett nem ritka, hogy csökken.Ventilációs zavarokban értéke az egészségesekénél a terhelés során kisebb.

Szívfrekvencia (heart rate, HR)

Nyugalmi szívfrekvencia
A nyugalmi szívfrekvenciát is számos tényező befolyásolja. Így pl. edzett embereken alacsonyabb, nem trenírozottakon magasabb. Befolyásolhatják gyógyszerek, pl.béta-blokkoló csökkenti.
Maximális szívfrekvencia kell értéke (HR max)
Az elérhető maximális szívfrekvencia=220- életkor (években)
Szívfrekvencia és terhelés (oxigén felvétel) közötti összefüggés
Terhelés közben először a paraszimpatikus tónus csökkenése, majd a szimpatikus tónus fokozódása következtében a szívfrekvencia emelkedik. Az emelkedése a terheléssel arányos, ezért a grafikon lineáris. A terhelés növekedésekor egy bizonyos szint felett a szív verővolumene nem képes tovább fokozódni, s ekkor a szívfrekvencia emelkedése meredekebbé válik.
A meredekség normál értéke: $\Delta HR/\Delta 02$= férfiaknál: 40-68 nőknél 67-95/l/min
A normálisnál meredekebb az emelkedése kardiális dekompenzációban, pulmonális vaszkuláris betegségben, mivel ilyenkor a verővolumen növelésének képessége csökkent, ílymódon a frekvencia fokozásával emelkedik a percvolumen. Meredekebb anémiában, hipoxémiában, kondició hiányban is. Viszont kevésbbé meredek sportolókon és a szív kronotróp elégtelenségében. A terhelés befejezése után a frekvencia nyugalmi értékre való visszatérési ideje is jelentőséggel bírhat a szív állapotának megítélésében.



30. ábra: A szívfrekvencia emelkedés kevésbé meredek, férfi: 25/liter



31. ábra: A szívfrekvencia emelkedés kevésbé meredek, nő: 50/liter

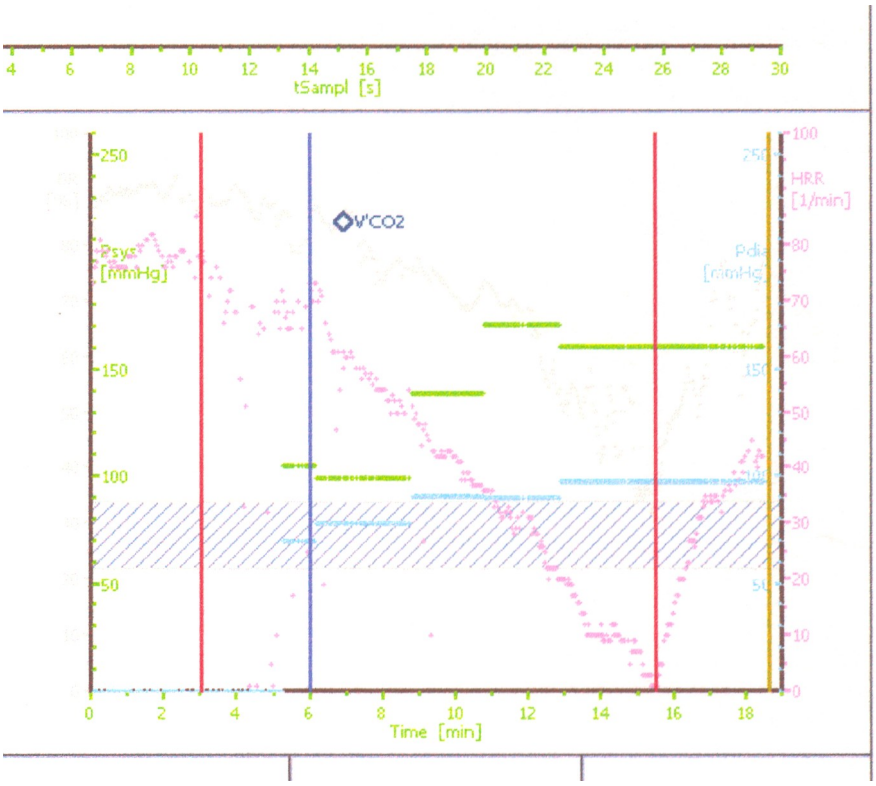
Szívfrekvencia tartalék (heart rate reserve, HRR)

A ventilációs tartalék analógiájára a maximális szívfrekvencia kell értékének és a ténylegesen elért csúcs szív frekvenciának különbsége. A különbség határértéke 15. Ennél kisebb:

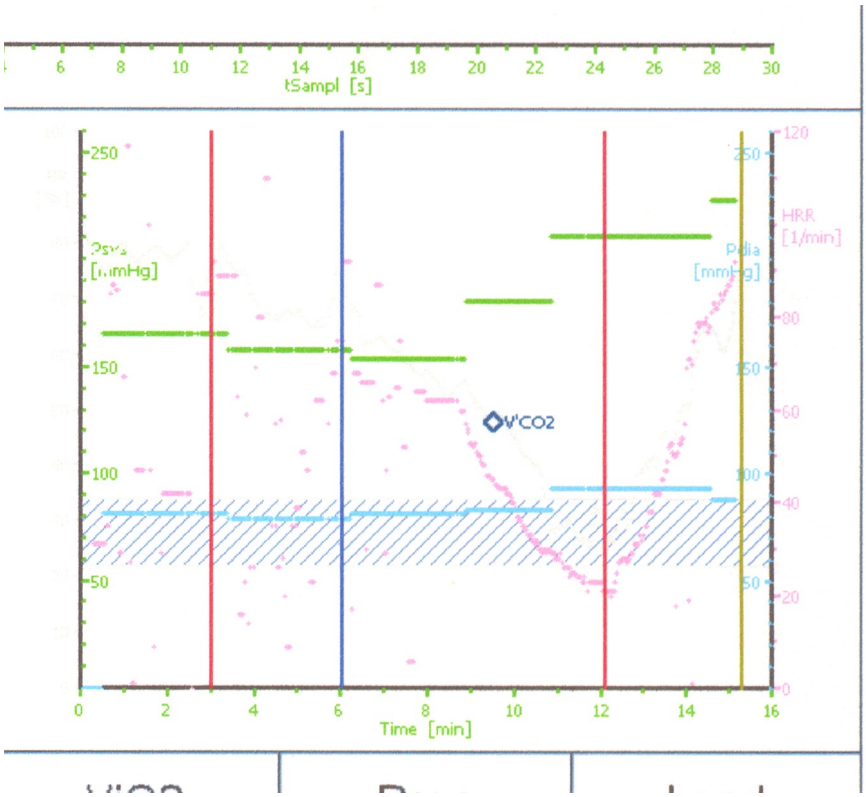
- kardiális dekompenzáció
- szívbetegség.

Nagyobb:

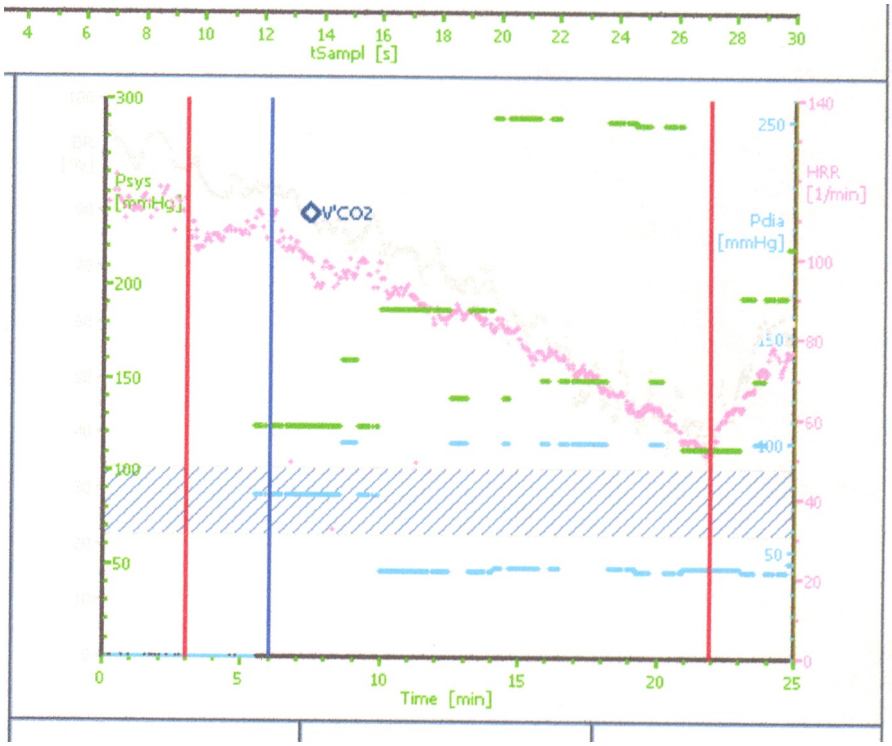
- légzőszervi betegség (ha a szív nem beteg)
- perifériás artériás betegség
- angina pectoris okozta megszakítás
- sick sinus szindróma
- béta-blokkoló kezelés
- nem kellő erőlködés



32. ábra: A szívfrekvencia tartalék nulla: A szívfrekvencia a lila görbe. A jobb oldali skála a szívfrekvencia tartalékot mutatja.



33. ábra: A szívfrekvencia tartalék megtartott (20).



34. ábra: A szívfrekvencia tartalék nagy (több mint 50).

Verővolumen

(Stroke volumen, SV)
Az a vértérfogat, melyet a bal vagy jobb kamra a szisztole alatt kipumpál magából. A kardiopulmonális terheléses vizsgálat során közvetlenül nem mérjük, de fontos szerepe van a mért paraméterek értelmezésében. Sportolókon a nyugalmi verővolumen nagyobb, mint nem edzett embereken. Terhelés közben a verővolumen két mechanizmussal emelkedik. Fokozódik a szimpatikus inger, a katekolamin szint és ez a myocardium kontraktilitását emeli. Másrészt megnő a bal kamra végdiasztolés térfogata, s ezzel a rosthosszúság, ami szintén fokozza a myocardium erejét.

A szív pertérfogata

Ugyancsak szükséges a paraméterek értelmezéséhez. A szív perctérfogata a verőtérfogat és a szivfrekvencia szorzata. Normálisan a terheléssel előbb a verővolumen nő nagyobb mértékben, majd inkább a frekvencia emeli a perctérfogatot. Kóros körülmények között ez a váltás kisebb terhelésnél következik be.

A szöveti oxigén extrakció

Az arterio-venosus oxigén differencia adja meg. A számításhoz kevert vénás vér szükséges, melyet szívkatéterezéssel lehet nyerni az arteria pulmonalisból vagy a

jobb pitvarból. A szöveti oxigén ellátás a szív percvolumen és a szöveti oxigén extrakció szorzata. Az arterio-venosus oxigén differencia nyugalomban átlag 5 ml/100 ml, mely terhelés közben 15-18-ra fokozódik. Ez az emelkedés lineáris, ezért az oxigén extrakció becsülhető a következő képletből:
C(a-v)=5,72 +(0,1x % ref Vomax), ahol % ref Vomax a maximális oxigén felvétel referencia értékének az adott terhelési szinten elért %-a.
Egészségeseken a becslés pontos, de betegségben nem. Ha elégtelen perctérfogat vagy perfúzió miatt rossz az oxigén ellátás, akkor a szöveti oxigén extrakció nagyobb a képlettel számítottnál. Másrészt olyan myopathiában, ahol az izomzat nem tudja az oxigént kellően kivonni a vérből, alacsonyabb.

Oxigén pulzus (V'_{O2}/HR)

Az egy szív összehúzódásra eső oxigén felvétel, azaz az oxigén felvétel és a pulzusszám hányadosa. Pitvarfibrillációban nem határozható meg, béta-blokkoló, sick sinus szindróma, fix frekvenciáju pacemaker megnöveli az értékét. Normális a referencia érték 80%-a felett. Abszolut értékben a terhelés során 10, fiatalokon 12 ml fölé emelkedik. A verővolumen és a szöveti oxigén extrakció szorzata. A terhelés elején azért emelkedik, mert mind a verővolumen, mind az extrakció növekszik. Amíg a szivfrekvencia-oxigén felvétel összefüggés lineáris ,addig az oxigén pulzus-oxigénfelvételé hiperbola, elér egy plátót, ahol tovább nem emelkedik. Maximális terhelésnél az extrakció maximumot ér el és relatíve konstans, ennélfogva az oxigén pulzus a verővolumentől függ. Ilymódon alkalmas a verővolumen becslésére, de tudatában kell lennünk annak, hogy két változó függvénye. Több matematikai modellt dolgoztak ki, hogy a verővolument pontosabban lehessen meghatározni belőle. Ezek lényege, hogy adott oxigén fogyasztás mellett regressziós egyenletből meghatározzák az oxigén extrakciót, s utóbbi valamint az oxigén pulzus számértékéből a verővolumen számszerűen kiszámítható. Egészséges embereken úgy látszik valid is a módszer, de betegeken a számítottól eltérő lehet az alakulás. Általában azonban az így kiszámított verővolumen nem sokkal tér el a direkt módon mérttől. Ugyanis az anaerob küszöbtől a szöveti oxigén extrakció (arterio-venosus oxigén differencia) variabilitása kicsi, tehát az átlag értéke használható. Továbbá ezen variabilitás hatása a perctérfogat meghatározására kicsi akkor, ha a perctérfogat nagy (márpedig maximális terheléskor ez a helyzet).

Nyugalomban: SV= V'_{O2}/frekv x20
Maximális terhelésnél:SV=V'_{O2}/frekv x 8,3

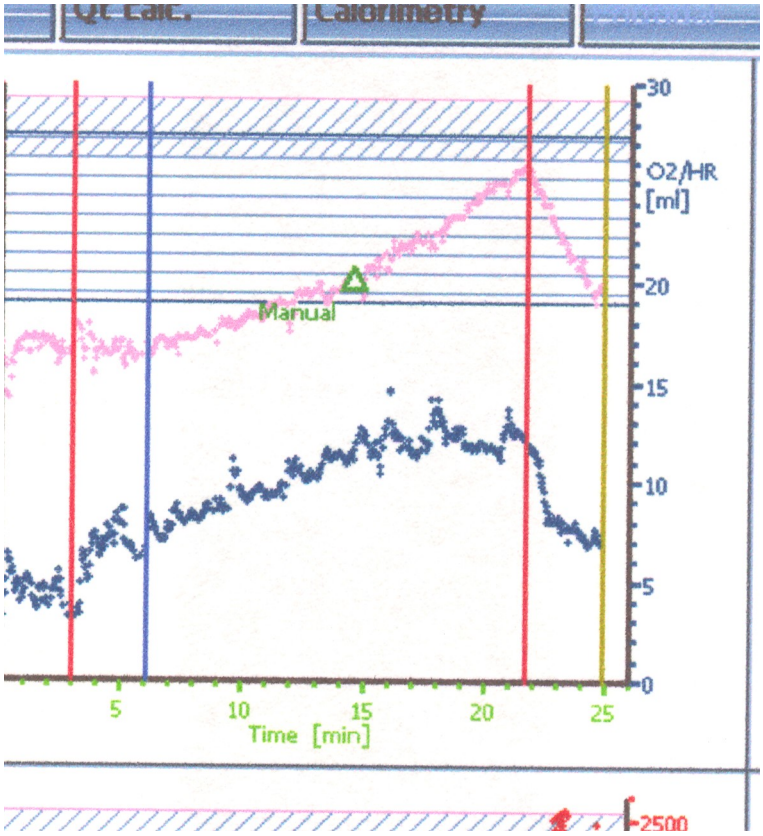
Az oxigén pulzust illetően kóros lehet:
-nem eléggé meredek emelkedés
-korai plátóképződés
-nem éri el a kell értéket

Okozhatja a kisebb verővolumen miatt:

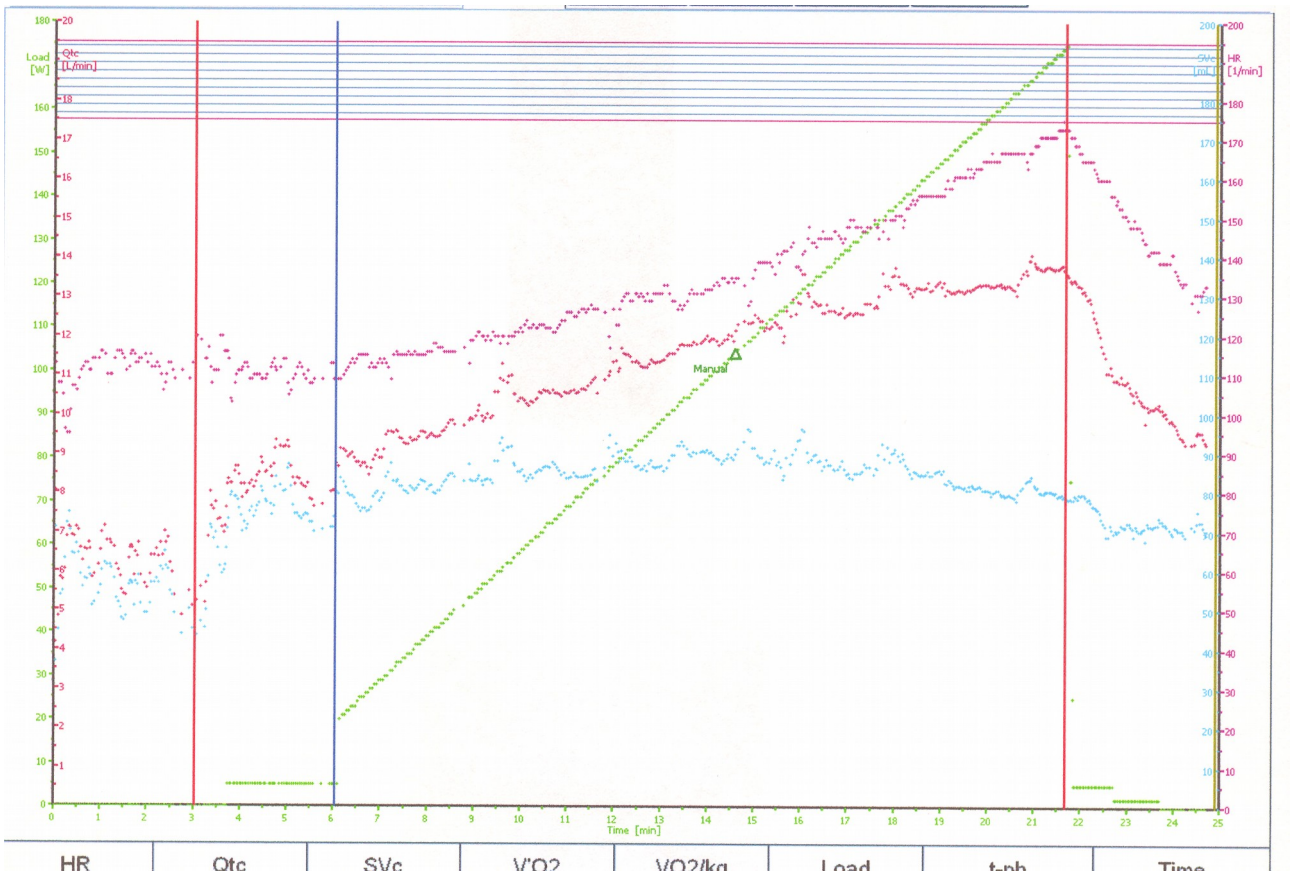
- szívbetegség (kardiális dekompenzáció, ISZB, kardiomiopatia, vitium)
- pulmonális vaszkuláris betegség
- a beteg nem éri el a kellő terhelési szintet más okból való, pl.ventilációs korlátozottság miatt. Ezért pl. COPD-ben is előfordul, bár nem jellemző a kisebb oxigén pulzus.
- Edzettség hiánya

Okozhatja a szöveti oxigén extrakció kisebb volta miatt:

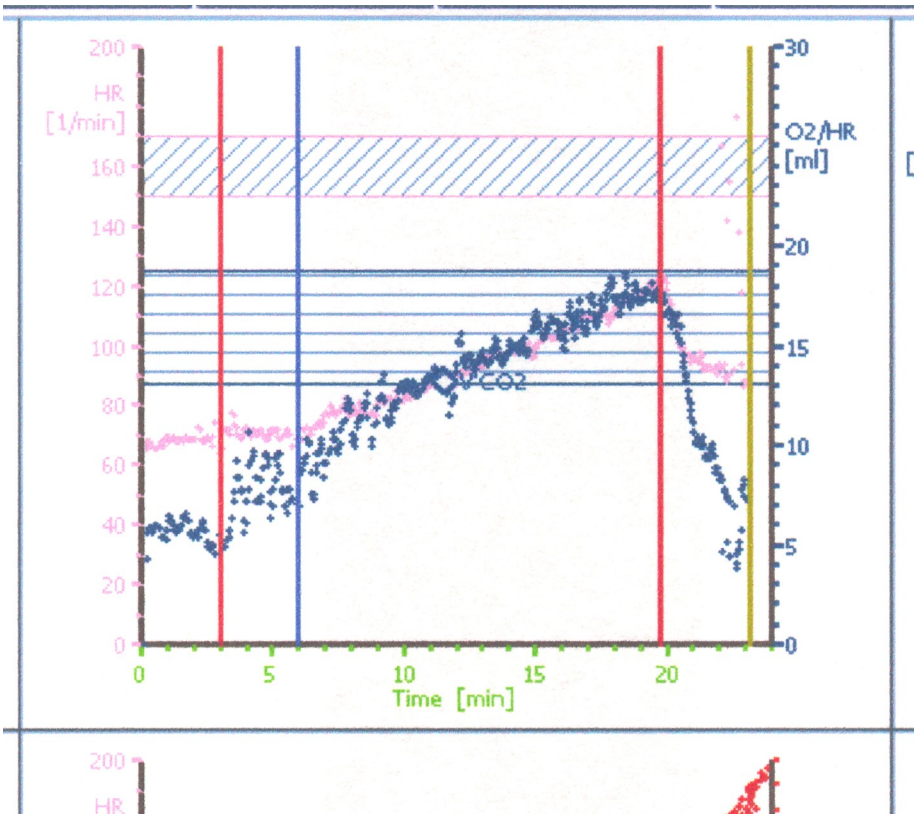
- anémia
- karboxihemoglobinémia
- arteriás hipoxémia



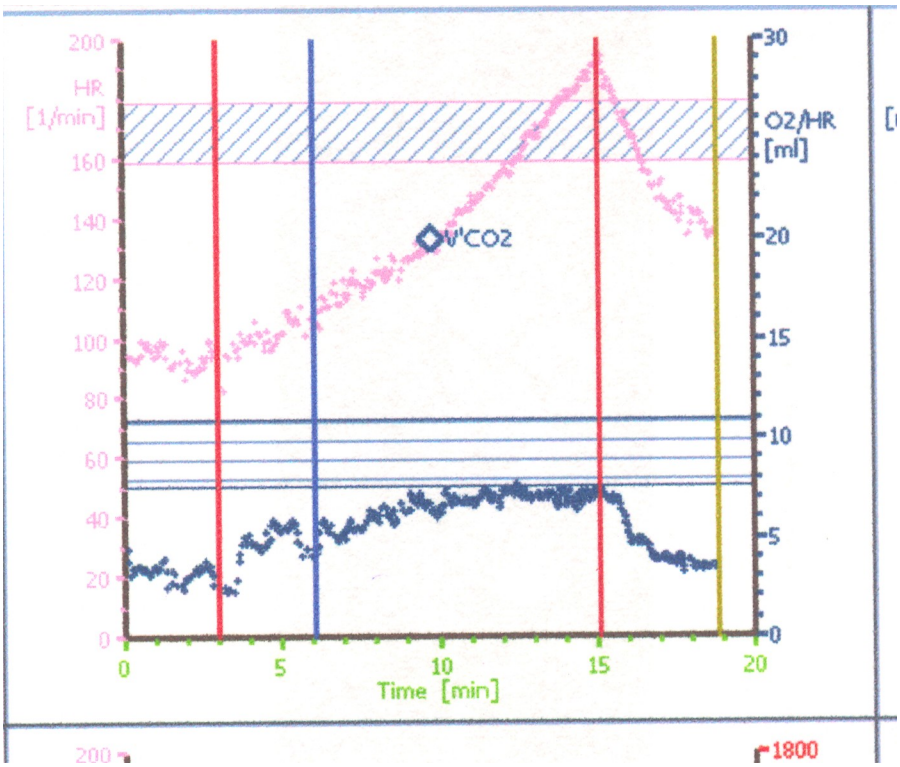
35. ábra: Az alsó, oxigén-pulzus görbe fokozatosan emelkedik a terheléssel. Plátóját 14 ml körül éri el. Ezután a szívfrekvencia (felső görbe) fokozásával emeli a percvolument: normális értékek.



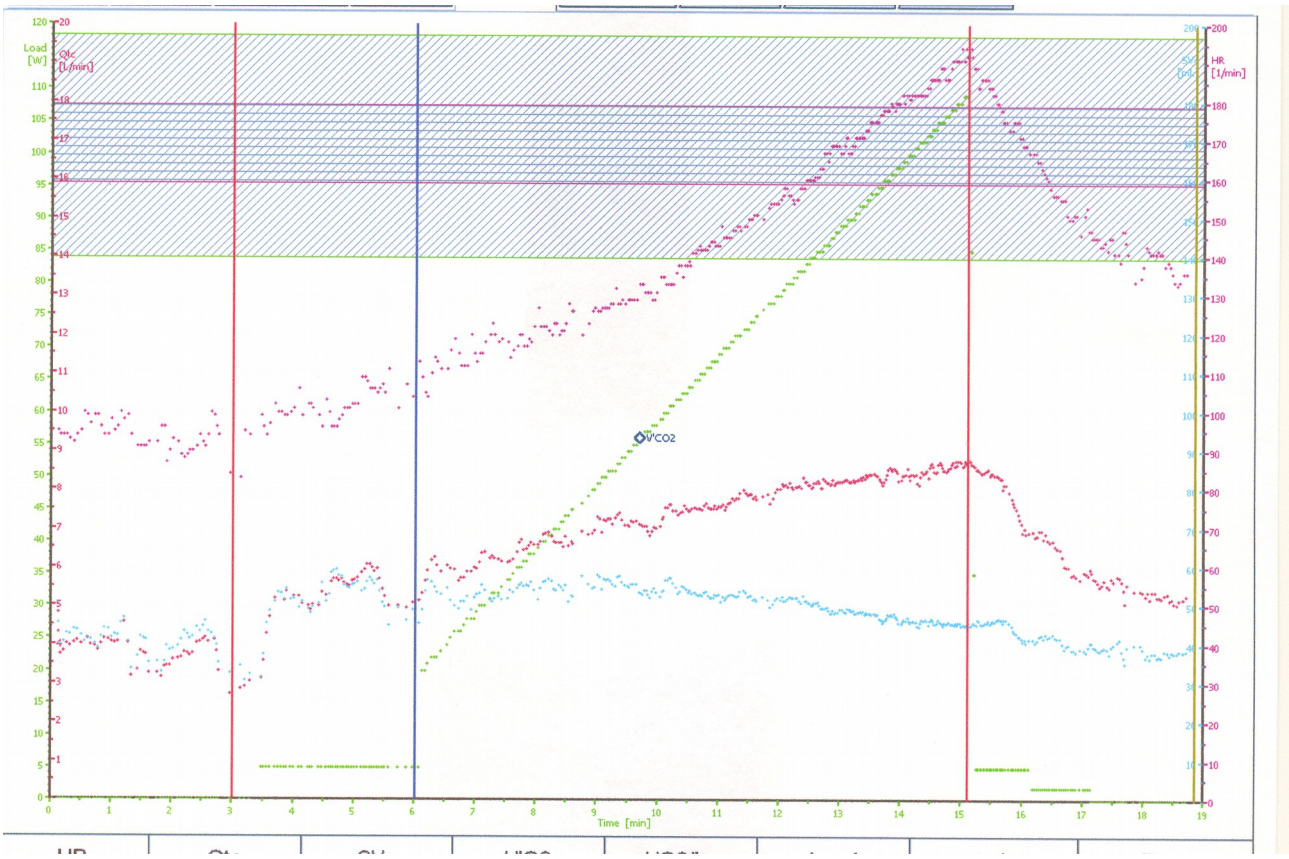
36. ábra: Az előbbi páciens számított verővolumen (kék) és percvolumen (piros) grafikonja. Az oxigén pulzushoz hasonlóan a verővolumen plátót ér el, de a percvolumen tovább emelkedik, köszönhetően a frekvencia emelkedésének.



37. ábra: Sportoló regisztrátuma: Az oxigén pulzus kifejezetten magas, 20 ml-es értéket ér el. Emiatt a percvolumen növeléséhez nincs szüksége a frekvencia emelésére.



38. ábra: Kóros értékek: Az oxigén pulzus maximuma 8 ml, elmarad a kell értéktől. Ezért a frekvencia erőteljesen nő, szívfrekvencia tartalék nincs.

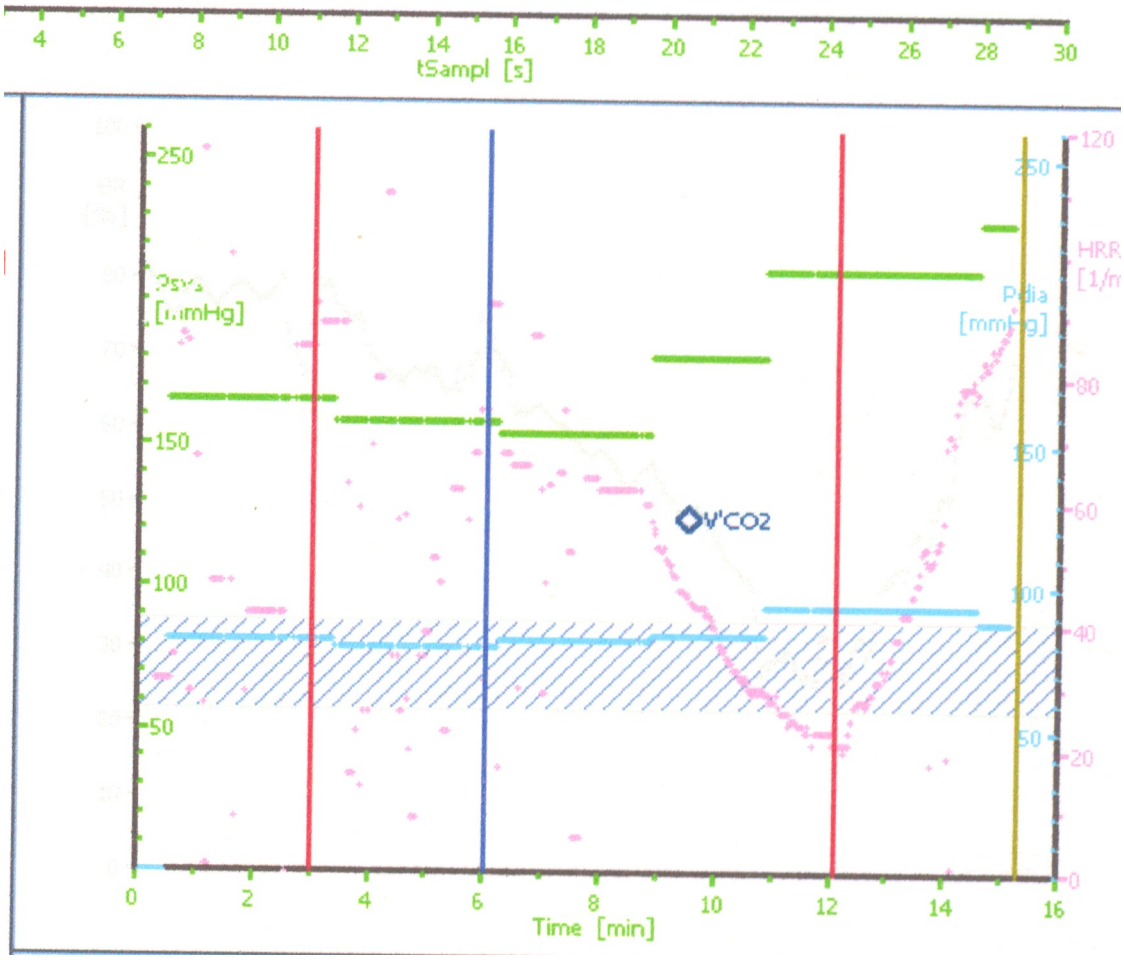


39. ábra: Az előző eset számított értékei: A kék, verővolumen szinte nem is képes növekedni. A szívfrekvencia meredek emelkedése dacára a percvolumen (piros) csak mérsékelten nő, plátót képez.

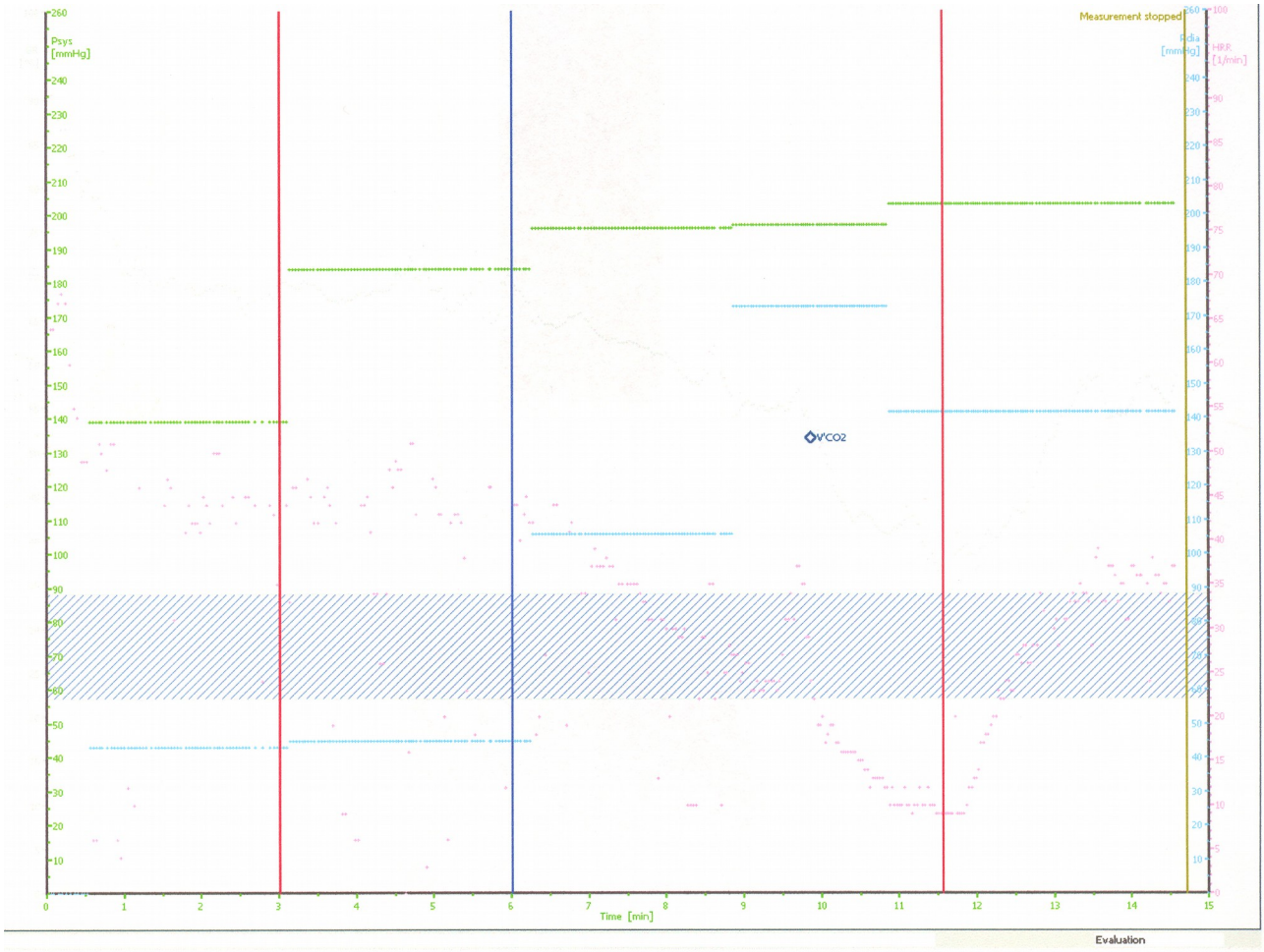
Vérnyomás

A terhelés során reflex kontroll és lokális vasodilatatorok következtében megváltozik a véreloszlás és az érellenállás. A működő izmokban értágulat és perfúzió fokozódás észlelhető. Másutt vasokonstrikció lép fel. Az összhatás eredménye az, hogy a szisztolés vérnyomás az oxigén fogyasztással nő, a diasztolés érték nem változik, vagy kissé csökken. A vérnyomás nagymértékben emelkedhet nem kezelt vagy rosszul beállított nyugalmi hipertóniás betegeken. Ha az illető nem hipertóniás, akkor a nagyfoku emelkedés kóros vérnyomás szabályozást jelent. Ha ellenkezőleg- a vérnyomás alig emelkedik, az kardiális eredetü korlátozást vagy a vérnyomás kóros szimpatikus kontrollját jelenti. Nagymértékű vérnyomás esés (ami terhelés megszakítási indikáció) fordul elő: szivelégtelenség, isémia, kiáramlási akadály (aorta sztenózis, obstruktív kardiomiopatia, pulmonalis vaszkuláris betegség, centrális vénás obstrukció) esetében.

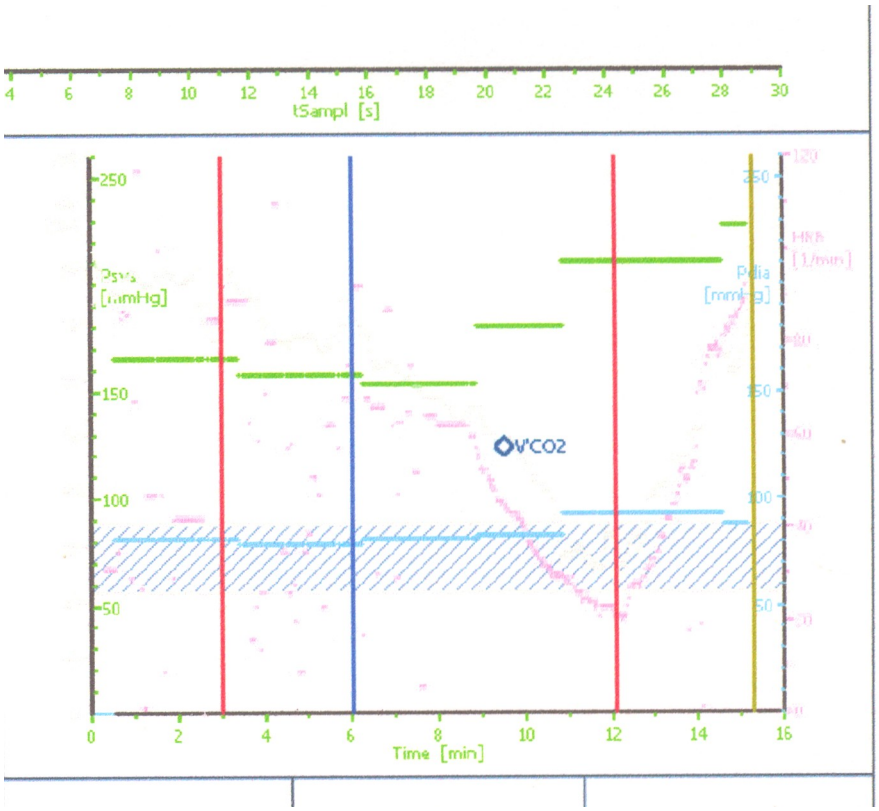
Noninváziv vérnyomás mérés
Ez a rutin. A manuális mérés a terhelés közben nehézkes. Ezért automatikus vérnyomás mérés történik. A felhelyezett mandzsettát beállított időközönként pumpa automatikusan felfújja és a vérnyomás okozta oszcilláció alapján mér. Figyelembe kell venni ennek hibaforrásait.
Intraartériás vérnyomás mérés
Artériás katéter behelyezésével történik (általában az arteria radialisba, esetleg a brachiálisba). Ennek fontossága nem elsősorban a vérnyomás mérés, hanem az artériás vérminta vétel lehetősége (oxigén, szén-dioxid, laktát, pontos VD/VT meghatározás).



39. ábra: Vérnyomás regisztrálás: a zöld vízszintes vonalak a szisztolés, a kékek a diasztolés mérések: Normális vérnyomás reakció.



40. ábra: Hipertóniás beteg: terhelés alatt a diasztolés vérnyomás jelentősen emelkedett.



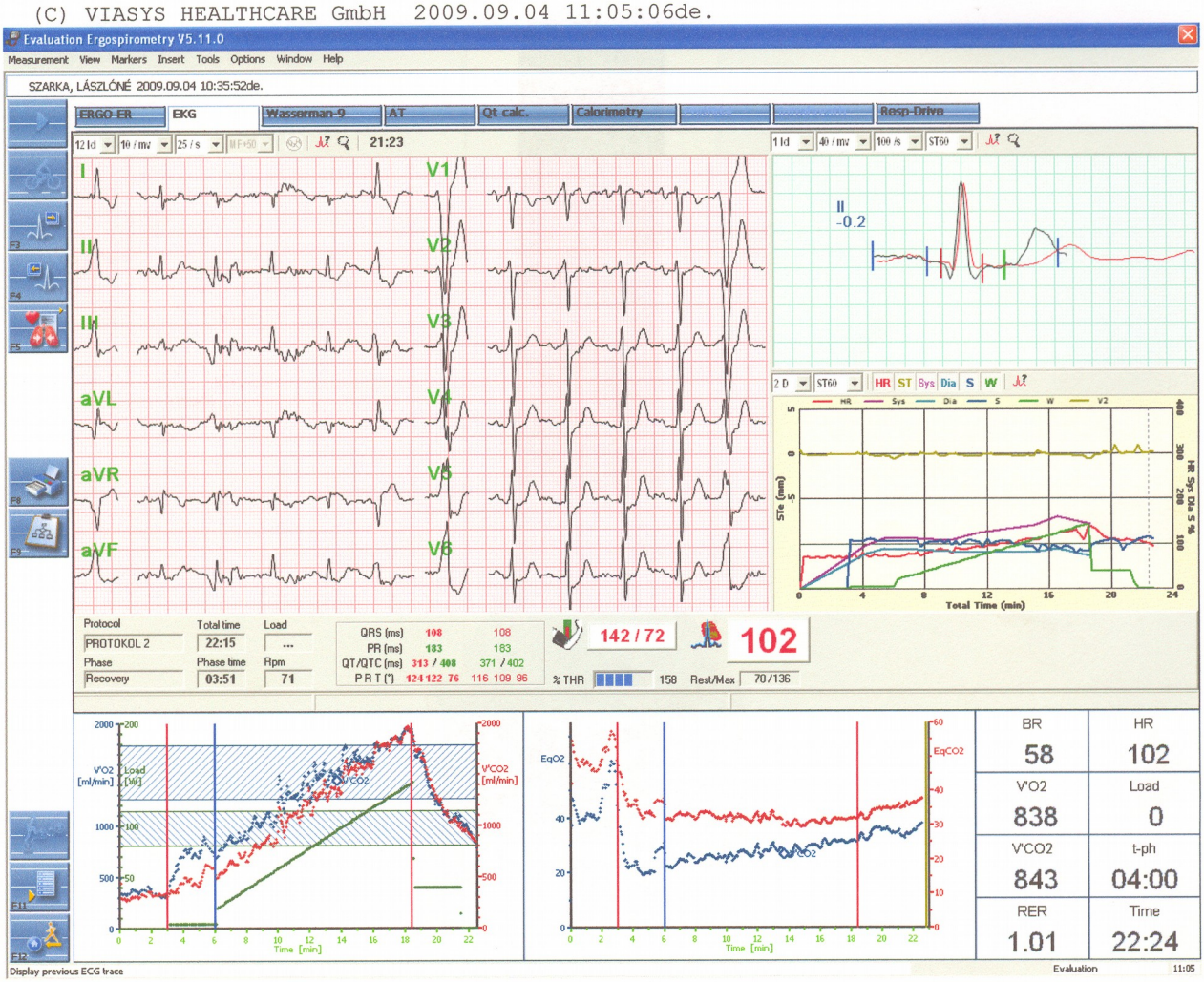
41. ábra: Magas vérnyomás: A terhelés végén 230/95 Hgmm

EKG

Elengedhetetlen a terhelés közbeni EKG monitorozás és regisztrálás.

- Szövődmények felismerése
- EKG eltérések diagnosztizálása
- a szívfrekvenciát az EKG RR intervallumból számítja a program

```
Szent Ferenc Kórház, Miskolc
Légzésfunkció

sml_JlabShort.xml
MasterScreen CPX,820547
ON:  MSCPx,JDDMSCPX.DeviceManager.1
     OxMobileFDR,JDDOXYCONMOBFDR.DeviceManager.1
     SerialBike,JDDPERIPHERALS.DeviceManager.1

CD-Version: JLAB 5.11.0.30
Animation              5.11.0.12      LAB Core              5.11.0.73
JAEGER ECG             5.11.0.16      Standard Pneumology   5.11.0.33
Extended Pneumology    5.11.0.51      Ergospirometry        5.11.0.56
Online Manual          5.11.0.23

(C) VIASYS HEALTHCARE GmbH  2009.09.04 11:05:06de.
```



42. ábra: EKG képernyő. A program az ST szakasz változását automatikusan méri és ábrázolja.

A légzési ekvivalensek

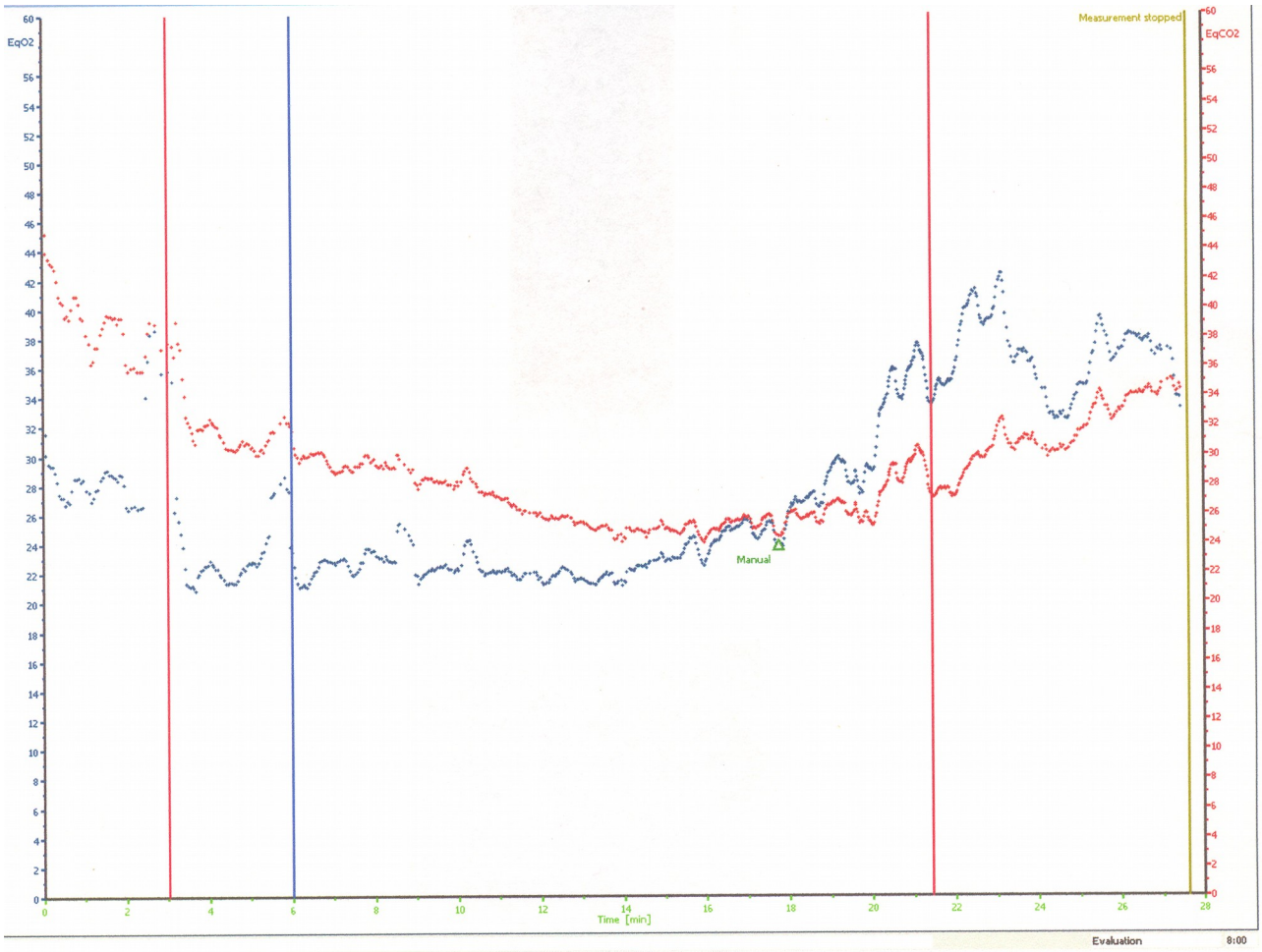
Az oxigén légzési ekvivalense (EqO_2)

Az egységnyi oxigén felvételéhez szükséges percventiláció. Az összefüggés komplex: Az emelkedő terhelés első fázisában a percventiláció az oxigén fogyasztással emelkedik. A második fázisban a percventilációt az emelkedő széndioxid kiválasztás határozza meg, majd a harmadik fázisban a carotis testek stimulációján keresztül az acidémia. Ebből következik, hogy a percventiláció-oxigén felvétel összefüggése rendszerint nem lineáris. Maga az oxigén légzési ekvivalense előbb csökkenő görbét ad, mely elér egy mélypontot az anaerob küszöb közelében, majd emelkedik (hiperbola). Emeli az értékét a nagyobb holttérventiláció, a rosszabb ventiláció/perfúzió arány, a rosszabb diffúzió, a rosszabb perfúzió. Emeli értékét a hiperventiláció is.
Normális értéke 25+-4 l/l az anaerob küszöbnél. Magas értéke hatástalan ventilációt jelent. Ha ezt hiperventiláció okozza, akkor alacsony a kilégzés végi és vérgáz meghatározásos szén-dioxid. Emelkedett obstruktiv tüdőbetegségben, intersticiális tüdőbetegségben, pulmonális vaszkuláris betegségben, szívelégtelenségben (nyugalomban sokszor normális, de terhelés közben magassá válik). Előfordulhat az is, hogy nyugalomban magas, terhelés közben csökken, bár nem éri el a normális szintet: Ez rendszerint a ventiláció/perfúzió arány átmeneti javulását jelzi. Ha a magas nyugalmi érték terhelés közben teljesen normalizálódik, az a nyugalomban fennálló hiperventiláció jele. Ha az emelkedő terhelés során a légzési ekvivalens görbe csökkenése nem következik be, az a pulmonális keringés organikusan fixált csökkenésére utal (pl.pulmonális hipertonia, sönt-vitium).

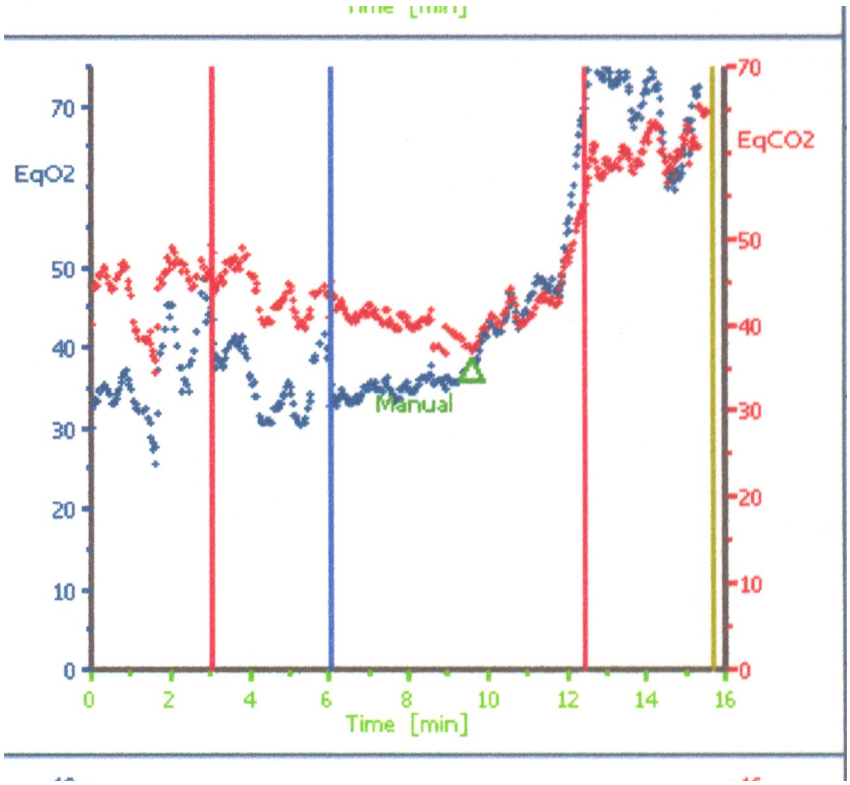
A széndioxid légzési ekvivalense($EqCO_2$)

Az egységnyi széndioxid leadáshoz szükséges percventiláció. Egészséges embereken a percventiláció-széndioxid összefüggés lineáris. A légzési ekvivalens viselkedése a terhelés emelésével hasonló az oxigénéhez: előbb csökkenő, majd emelkedő görbe (hiperbola). Azonban a két ekvivalens görbéje eltolódást mutat: Az oxigéné valamivel előbb kezd emelkedni, mint a szén-dioxidé (utóbbi akkor, amikor a metabolikus acidózis kompenzálása kezdődik fokozott széndioxid kilégzéssel). Ha a hiperventilációnak egyéb oka van (anxietas, fájdalom, hipoxémia) akkor nincs ez az eltolódás. A széndioxid légzési ekvivalensét is befolyásolja, ha nagyobb ventiláció szükséges ugyanakkora gázcseréhez: megnőtt holttér ventiláció, rosszabb ventiláció/perfúzió arány, rosszabb perfúzió. A diffúzió nyilván kevésbé befolyásolja a szén-dioxidot (A nagyobb oldhatósága miatt).
Értékét az anaerob küszöbnél adjuk meg, itt normálisan 25-30 l/l, a csúcs terhelésnél 40 alatti.
Emelkedett lehet obstruktív és intersticiális tüdőbetegségben, pulmonális vaszkuláris betegségben, szívelégtelenségben. Hiperventilációban magasabb, hipoventilációban alacsonyabb.

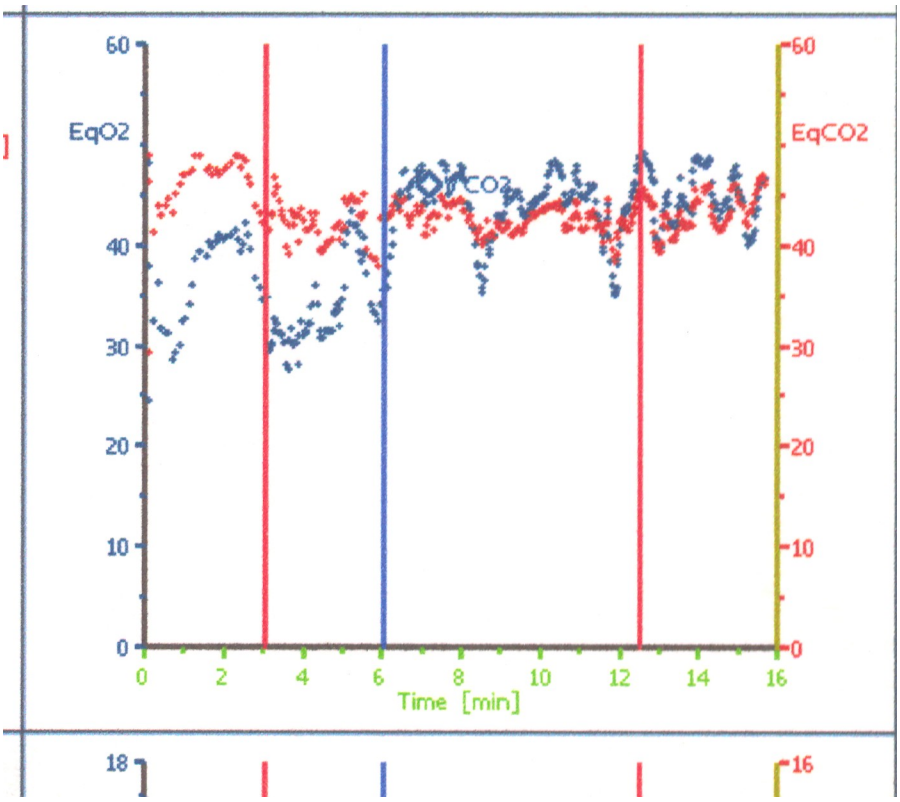
A széndioxid légzési ekvivalense prognosztikus intersticiális tüdőbetegségben és krónikus kardiális dekompenzációban.
A percventiláció-széndioxid egyenes meredekebb hiperventilációban, kevésbbé meredek hipoventilációban. Ugyancsak meredekebb fenti mechanizmusok zavaránál. Kevésbbé meredek a légzőpumpa muszkuláris vagy neurális károsodásakor. Normál értéke: $\Delta V'_E/\Delta V'_{CO2}$=24-31 l/l



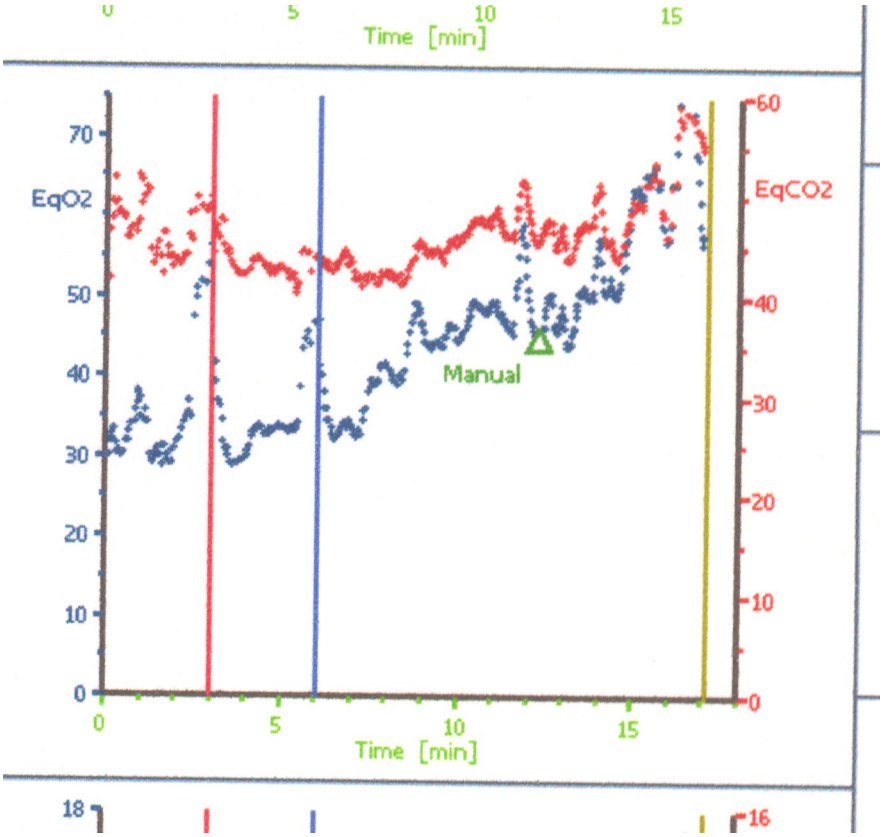
43. ábra: Normális légzési ekvivalens görbelefutás. Az oxigén légzési ekvivalense (kék) az anaerob küszöbnél emelkedik a széndioxidé fölé.



44. ábra: A széndioxid légzési ekvivalense (piros) már nyugalomban is magas, terhelés közben is kóros marad. A terhelés vége felé az oxigéné is kórosan magassá válik. A terhelés befejezése után mindkettő tovább nő.



45. ábra: Végig magas légzési ekvivalensek.

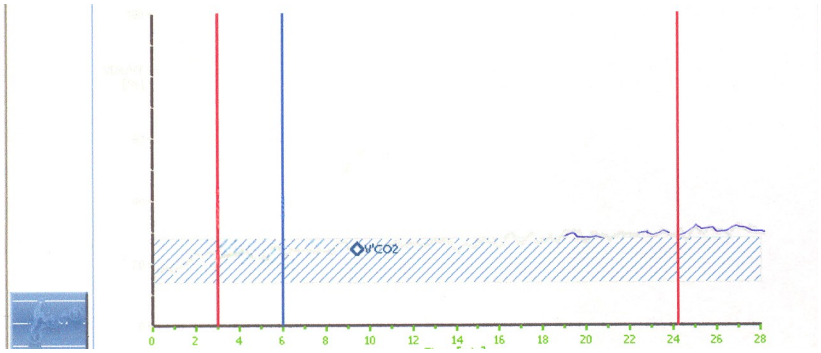


46. ábra: A széndioxid ekvivalense végig magas, az oxigéné a terhelés során válik emelkedetté.

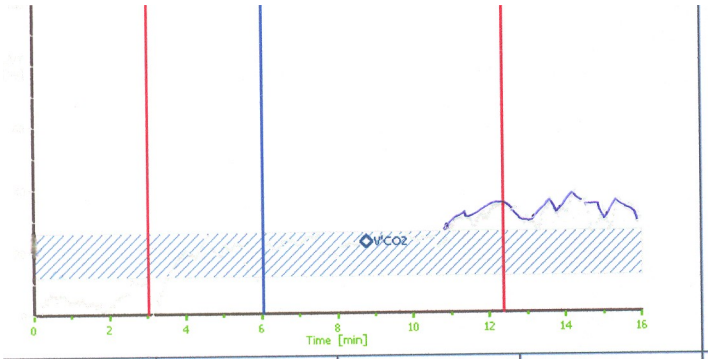
Fiziológiás holttér/légzési volumen aránya (V_D/V_T)

Pontos számítása: $V_D/V_T=(p_{aCO2}-p_{ECO2})/p_{aCO2}$.
A kardiopulmonális terhelés közben folyamatos nem-inváziv meghatározása történik, melynél az arteriás CO_2 nyomást a végkilégzésivel helyettesítik. Ez azonban pontatlan: A végkilégzési és az arteriás CO_2 tenzió nem azonos-ami még kevésbé volna baj, de a különbség változó, különböző betegségek befolyásolják (l. később).
A holttér/légzési volumen arány nyugalomban 0,3-0,4 alatti. Terhelés közben csökken, a maximális terhelésnél 0,30 alá. Kóros, ha terhelés során emelkedik és a csúcsnál meghaladja a 30%-ot (sőt fiatalokon még kisebbnek kell lennie valamivel). Értékét emeli ha a perfundált területen a ventiláció esik ki, és az is, ha ventilált

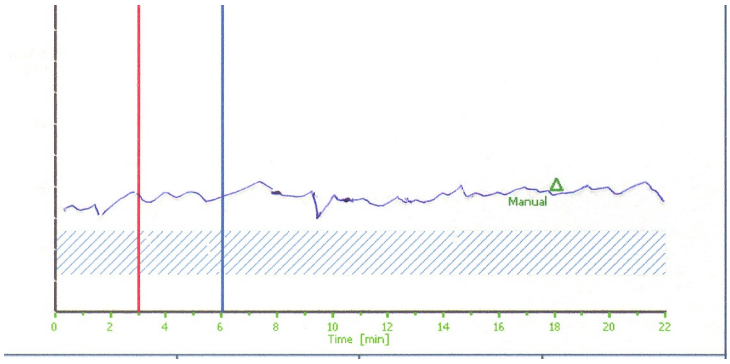
területen a perfúzió esik ki. Egyik esetben sincs széndioxid csere az alveoláris levegő és a vér között, tehát a kilégzett levegőben alacsony, a vérben magas marad a CO_2 szint. Az elkülönítés további paraméterek alapján lehetséges. Ha a ventiláció disztribúció zavara okozza, akkor a légútakból a levegő ürülése egyenlőtlen. Az átlagos alveoláris CO_2 tenziót a rövid időkonstansú alveolusok határozzák meg, ahonnét normális összetételű gáz ürül, tehát a CO_2 hígul. A végkilégzési CO_2-t viszont a kóros, hosszú időkonstansú területek határozzák meg, ahol alacsony a V'/Q hányados. Tehát nagy lesz a különbség a p_{ACO2} és a p_{ETCO2} között, azaz a p_{ACO2}/p_{ETCO2} hányados alacsony lesz, terheléskor is 0,6 alatt marad. A V'/Q aránytalanság miatt a V_D/V_T magas. Ha a perfúzió disztribúció zavara áll fenn, azaz a légutak ürülése egyenletes, akkor az átlagos és a végkilégzési CO_2 is hígul, tehát a hányadosuk relatíve változatlan marad. 0,6 feletti, de a normális 0,8-et általában nem éri el. A V'/Q aránytalanság miatt a V_D/V_T itt is magas. A V_D/V_T aránya ventiláció/perfúzió aránytalanságon kívül emeli, ha csökken a diffúzió vagy ha kicsi a légzési térfogat. Magasabb COPD, intersticiális tüdőbetegség, pulmonális vaszkuláris betegség, kardiális dekompenzáció esetében.



47. ábra: Normális holttérventiláció, a maximális terhelés közelében emelkedik minimálisan a holttér aránya/normál érték: a kéken sávozott folyosó).



48. ábra: Kórosan emelkedett holttérventiláció kialakulása a terhelés során.



49. ábra: Kezdettől magas holttérventiláció.

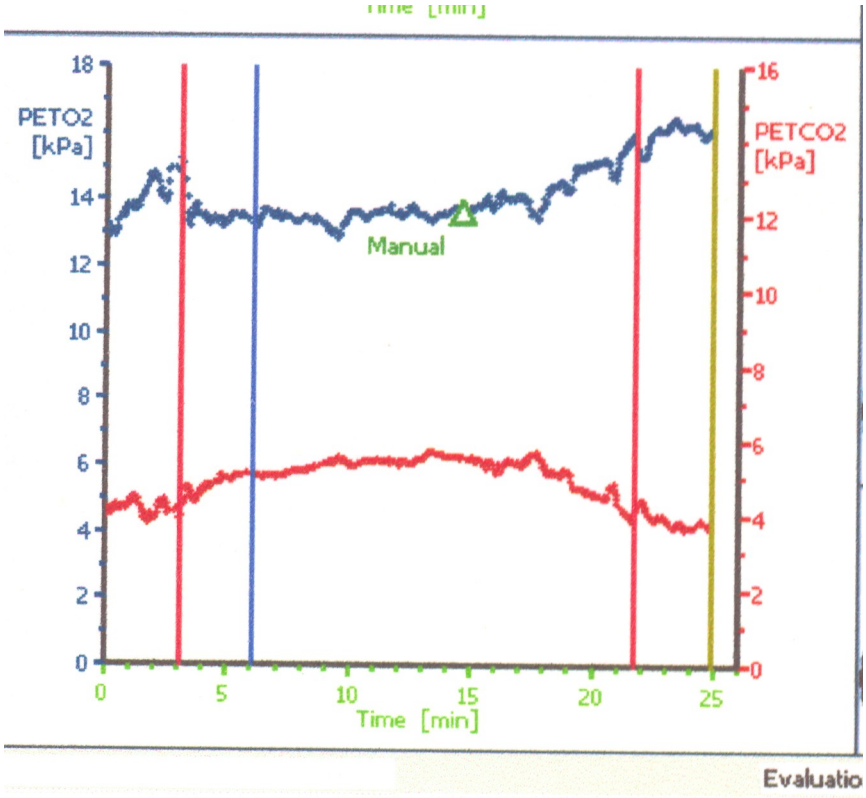
Alveoláris gáztenziók

Alveoláris oxigén tenzió (p_{AO2})

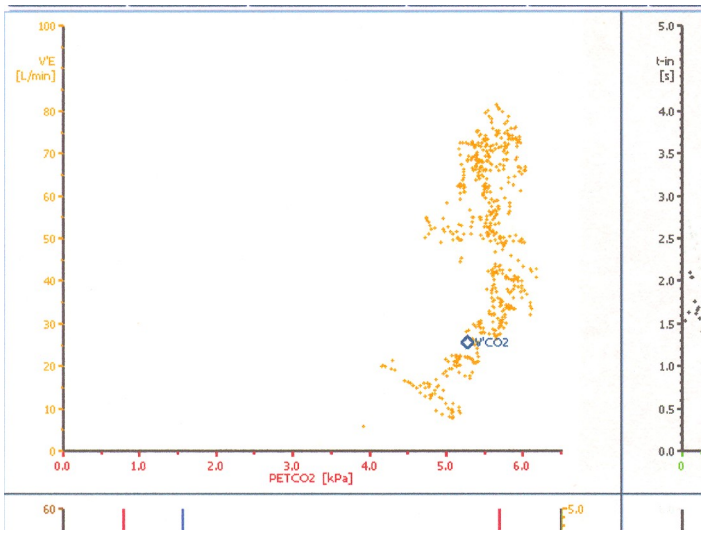
Nyugalomban a kilégzés során az oxigén tenzió egy plátót képez és ez a szint a kilégzés végéig nagyjából állandó marad. Mérsékelt terhelés közben az amplitúdója kisebb lesz és enyhe lejtőt mutat,azaz a nyomás csökken a kilégzés végéig. Erősebb terheléskor még kisebb és meredekebb lesz, tehát az átlagos alveoláris és a végkilégzési nyomás közti különbség nő. Ha a végkilégzési nyomást (p_{ETO2}) ábrázoljuk a terhelés vagy az oxigén felvétel függvényében, akkor a terheléssel a végkilégzési nyomás csökken, majd- az oxigén légzési ekvivalensével egyidejűleg, a laktát küszöbnél emelkedésbe megy át. Tehát egy lefelé domború görbét ír le.
A végkilégzési O_2 tenzió nyugalomban eléri a 90 Hgmm-t (12 kPa). A terhelés során emelkedik, majd ismét csökken.

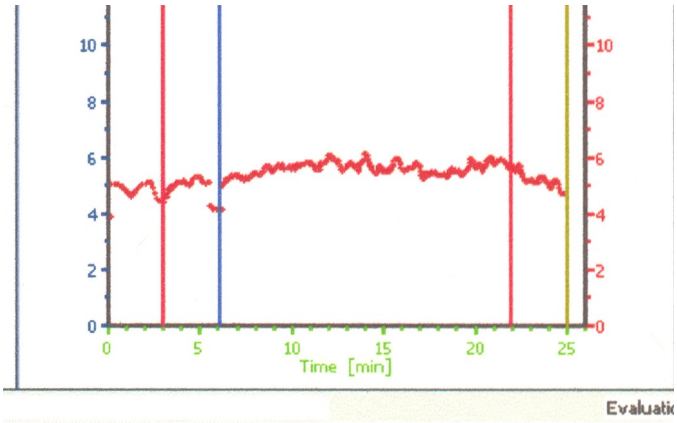
Alveoláris széndioxid tenzió(p_{ACO2})

Nyugalomban a kilégzés során a széndioxid tenzió is egy csaknem vízszintes plátót képez. Mérsékelt terhelés közben a széndioxid tenzió nő és a plató meredekebbé válik, majd a terhelés emelésével tovább nő és még meredekebbé válik. Tehát a széndioxidnál is nagyobb lesz az átlagos alveoláris és a végkilégzési közti különbség. A széndioxid egy felfelé domború görbét ír le, azaz a nagy terhelésnél a végkilégzési nyomás csökken.
Ha összehasonlítjuk a végkilégzési oxigén és szén-dioxid (p_{ETCO2}) grafikonját, akkor nagyjából tükörképei egymásnak. Azonban van egy időbeli eltolódás (mint a légzési ekvivalenseik között is): Az oxigén tenzió elkezd emelkedni, s ekkor még egy ideig a széndioxid relatíve változatlan marad: ez az izokapniás pufferelés időtartama. Ezután a végkilégzési széndioxid csökken (a metabolikus acidózist hiperventiláció kompenzálja). Ha a légzési ekvivalense emelkedik, de a végkilégzési széndioxid tenzió nem csökken, az magas holttérventilációra utal. Az átlagos alveoláris széndioxid tenzió a végkilégzésinek terhelés során normálisan mintegy 75%-a. Ha terhelés közben 70, sőt 60% alá esik, az arra utal, hogy a ventiláció/perfúzió aránytalanságban a ventiláció károsodás dominál.
A végkilégzési CO_2 tenzió nyugalomban normálisan 36-42 Hgmm (4,8-5,6 kPa), mely terhelés közben 3-8 Hgmm-el (0,4-1,0 kPa) emelkedik, majd ismét csökken.

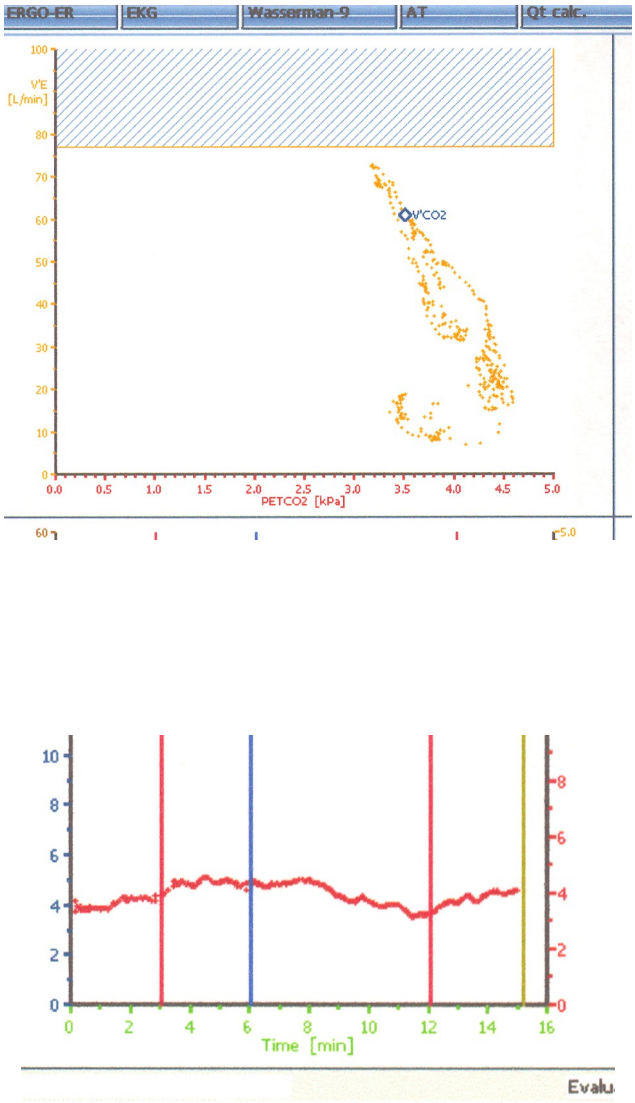


50. ábra: A végkilégzési gáztenziók normális lefutása.





51. ábra: A végkilégzési széndioxid összefüggése a percventilációval illetve az idővel hasonló lefutású. Az ábrázolás tér el: A felső ábrán a széndioxid görbe alulról felfelé fut, az alsó ábrán balról jobbra.



52. ábra: Az előzőhöz hasonló módu ábrázolás, de más görbe lefutással.

Alveolo-artériás gáztenzió különbségek

Alveolo-artériás oxigén differencia

p(A-a)O2, (A-a)DO2

Nyugalomban egészséges embereken 10-15 Hgmm (1,33-1,99 kPa). Terhelés alatt emelkedik,- hogy mennyire az a diffúziótól és a ventiláció/perfúzió aránytól függ. 40 évnél fiatalabbakon kóros, ha > 25 Hgmm (3,33 kPa), 50 év felettieken kóros, ha > 35 Hgmm (4,66 kPa). Emeli az értékét ventiláció/perfúzió aránytalanság, diffúzió zavar és söntkeringés. Jelentős emelkedése és deszaturáció intersticiális tüdőbetegségben és pulmonális vaszkuláris betegségben fordul elő (ezekben a terheléssel progresszíven emelkedik). COPD-ben is gyakori, de itt inkább kezdeti emelkedés után szinten marad. Kardiovaszkuláris megbetegedésekben rendszerint normális. Segít annak megállapításában ,hogy a terhelés során bekövetkező p_{aO2} esésnek mi az oka .Ha az alveoláris p_{O2} ugyanúgy esik (azaz az A-aDo2 normális marad) akkor a hipoxémia fő oka az inadekvát ventiláció (relatíve alveoláris hipoventiláció). Ennek következtében a Pa_{CO2} emelkedhet. Ha a p_{aO2} esést nem kíséri a p_{AO2} esése (tehát az A-aDO2 nő), akkor más mechanizmus is fennáll: V/Q aránytalanság, jobb-bal sönt, diffúzió zavar.

Artériás-végkilégzési széndioxid differencia

p(a-ET)CO2, (a-A)DCO2

Nyugalomban a kilégzés végi széndioxid nyomás kisebb, esetleg egyenlő az artériással. Emelkedő terhelés során afölé emelkedik. Az összehasonlításnál figyelembe kell venni, hogy az artériás széndioxid nyomást nem folyamatosan mérik, az pillanatnyi érték egy vérmintából. A kilégzés során viszont folyamatosan regisztrálják a széndioxid nyomást. Ez azonban nem állandó, hanem a kilégzés folyamán fokozatosan emelkedik és a legmagasabb a kilégzés végén. Az átlagos alveoláris nyomást a plató középső pontjában mérik. Ez az átlagos érték, tehát alacsonyabb, mint a kilégzés végi. Normális körülmények között tehát nyugalomban a $P(a\text{-}ET)CO_2$ enyhén pozitív, terheléskor negatívvá válik (-3,-4 Hgmm). Ha maximális terhelés idején pozitív, az gázcsere zavart jelent, különösen ha meghaladja a +5Hgmm-t(+0,67 kPa-t). Ez elsősorban a ventilált alveolusok csökkent perfúzióját jelenti (ventiláció-perfúzió egyenlőtlenség magas V/Q alveolusokkal). Extrem mértékü jobb-bal söntben, amikor a vér elkerüli a tüdőt, ilymódon az artériás CO_2 magas, a hiperventiláló tüdőben pedig a végkilégzési CO_2 alacsony. Ha az arterio-végkilégzési CO_2 emelkedést diffúzió zavar okozza, akkor az alveolo-artériás O_2 és a holttérventiláció is nagyobb. Normális diffúzió esetén az arterio-végkilégzési CO_2 és a holttérventiláció magasabb, ha a magas V'/Q-ju alveolusokban van ventiláció/perfúzió egyenlőtlenség. Az alveolo-arteriás O_2 pedig akkor nő meg, ha az alacsony V'/Q-ju területeken van egyenlőtlenség.

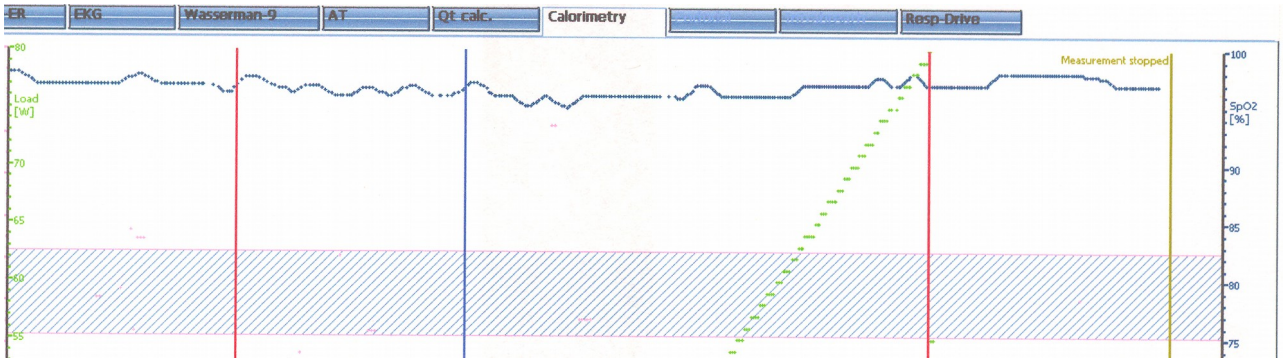
Hogyan lehet elkülöníteni, hogyha adott betegnél a magas vagy az alacsony V'/Q-ju területek dominálnak-e?

Magas V'/Q esetén esetén (ventiláció perfúzió nélkül) emelkedett a

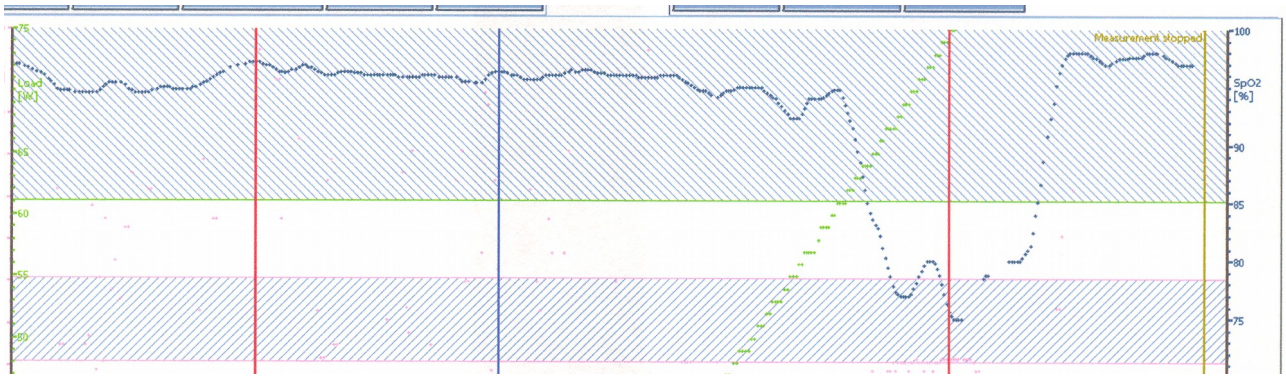
V_D/V_T,emelkedett, azaz pozitív a p(a-ET) CO_2, normális a p(a-A)O_2.
Alacsony V/Q esetén (perfúzió ventiláció nélkül, azaz sönt) emelkedett a V_D/V_T,magas a p(A-a)O_2.
Felmerül, hogy a páciensek jó részében az inváziv artéria punkció nem indikált. Vagy pl. rehabilitáció során illetve sportolókon ismételt vizsgálatoknál sem jön szóba ismételt artéria punció. Ugyanakkor e paraméterek fontos információ tartalommal bírnak .Lehet-e helyettesíteni az artériás vérmintát a klinikai gyakorlatban szokásos módon fülből vett arterializált kapilláris vérrel? Az összehasonlító vizsgálatok majdnem mind nyugalomban történtek. Ilyenkor a pH és p_{CO2} gyakorlatilag teljes egyezést mutatott. Az oxigén tenziót azonban a kapilláris vérből mérés alá becsüli. Az átlagos különbség az egyes vizsgálóknál 0,5-2 Hgmm közötti volt, egy vizsgálat talált 4,4 Hgmm.-es eltérést. A szórás 0,6-4 Hgmm között mozgott. Terhelés közben néhány kis esetszámú ill.statisztikailag nem megfelelően feldolgozott vizsgálaton kívül egy korrekt vizsgálatot közöltek. Ez a pH és p_{co2} vonatkozásában terhelés alatt is jó egyezést talált. Ezzel szemben a p_{O2} a kapilláris vérben átlag 4,7 Hgmm-el volt kisebb, mint az artériásban, a szórás pedig 11,2 Hgmm. Mindebből az a következtetés vonható le, hogy az artériás-végkilégzési széndioxid differencia számítására az arterializált kapilláris vérminta alkalmazható. Az alveoloartériás oxigén differencia számítására viszont a jelenlegi adatatok szerint pontatlan.

Pulzoximetria

Terhelés alatt rutinszerüen monitorozzuk az oxigén szaturációt pulzoximéterrel. Ennek kétirányú jelentősége van. Egyik a beteg biztonság: időben felismerhetjük a fokozódó hipoxémiát. A másik az,hogy az oxigén deszaturációnak diagnosztikus jelentősége is van. Nem szabad azonban megfeledkezni a módszer pontatlanságáról.Az artériás vérgázértékek egészségeseken terhelés közben nagymértékben konstansak. Krónikus tüdő és kardiovaszkuláris megbetegedések a terhelés közben hipoxémiát vagy hipoxémia fokozódást okozhatnak, különösen az intersticiális tüdőbetegségek és a pulmonális vaszkuláris betegség.
A pulzoximetria az infravörös fény elnyelésén alapul. A köröm, a bőr szine befolyásolja és terhelés alatt sok az elmozdulásból származó jel zavar is.
Az inváziv úton és a pulzoximéterrel mért szaturáció értéke között egészségeseken általában nincs nagy eltérés. Betegeken, főleg jelentős terhelés esetén viszont már van. Ezért a terhelés közbeni hipoxémia alapján történő oxigén terápia indikálására nem is tartják alkalmasnak. Hozzávetőleges értéket ad, mely a nyugalmi kiindulási értékhez viszonyított változás megítélésére megfelelő.
Az oxigén szaturáció normálisan eléri a 95%-ot.4%-ot elérő csökkenése szignifikáns. A terhelés során fellépő hipoxémia prognosztikus intersticiális tüdőbetegségben, pulmonális vaszkuláris betegségben és koronaria betegségben.



53. ábra: Normális lefutású pulzoximéter görbe.



54. ábra: A terhelés végén jelentős hipoxémia alakult ki.

Gázcsere arány

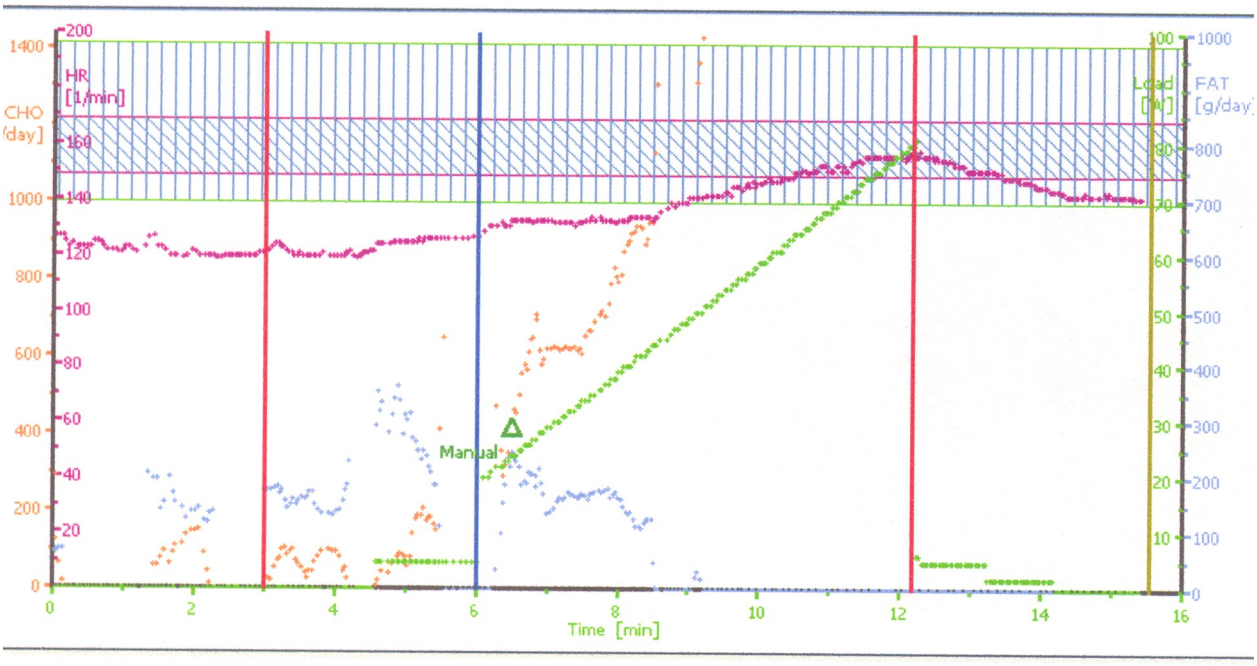
(Respiratory exchange ratio, RER).
A szövetekben termelt széndioxid/felhasznált oxigén arányát respirációs kvóciensnek (respiratory quotient,RQ)nevezzük. Egyensúlyi viszonyok között értékét az anyagcsere során elégetett tápanyagok aránya határozza meg. Szénhidrát égetés mellett az RQ=1,0. Zsírnál 0,7, fehérje esetében 0,8. A szöveti széndioxid/oxigén értékkel nem teljesen azonos a szájnál mért, ezért utóbbit külön névvel respiratory exchange ratio (RER) elnevezéssel illetik. A terhelés fokozásával egyre inkább szénhidrát, s egyre kevésbé zsír égetés folyik. Továbbá az anaerob glikolizisbe való átmenet után a tejsavat kompenzáló bikarbonátból plusz széndioxid kilégzés jön létre. Ugyancsak fokozza a széndioxid kiválasztást a hiperventiláció. Ezért a RER értéke 1 fölé is emelkedhet. Ebből következően nyugalomban a RER 0,7-0,95 között van, a terheléssel emelkedik, s jelentős terhelésnél meghaladja az 1,0-et. A terhelés befejezése után még folytatódik a felesleges széndioxid eliminációja, ezért a RER átmenetileg még tovább nő. (RER görbe látható az 55. ábrán). Ha nem hiperventilál a beteg, akkor a RER értékből következtethetünk, hogy elérte-e a maximális erőkifejtést: 1,0 alatti érték ezt kizárja, 1,0-1,1 megfelelő, 1,1 feletti kitünő erőkifejtést mutat. Kóros esetben a RER lehet már nyugalomban 1,0 feletti nyugalmi hiperventilációnál (pszichés vagy metabolikus acidózis miatt). Terhelés közben fellépő hiperventilációnál a terhelés elején 1,0 fölé emelkedik .Csökkent marad McArdle betegségben (miofoszforiláz defektus).

Indirekt kalorimetria

A szénhidrát és a zsír elégetése során eltérő mennyiségű széndioxid szabadul fel. 1 liter oxigén felhasználásakor a glikogénből 1 liter CO_2 (tehát az RQ 1,0). Zsírnál 0,7 l CO_2 (tehát az RQ 0,7). Ugyanakkor 1 liter oxigén felhasználásával a glikogénből felszabaduló energia 5,05 kcal (21,1 kJ), a palmitátból 4,7 kcal (19,7 kJ).
Mivel tehát a szénhidrát ill. zsír égetésnél azonos oxigén felhasználás mellett eltérő a CO_2 termelés, a RER értékből következtetni lehet a szénhidrát/zsír égetés arányára. A szénhidrát ill. zsír esetén eltérő az 1 liter oxigén felhasználásával felszabaduló energia is.
Indirekt kalorimetriának a felvett oxigén és leadott széndioxid alapján történő kalorimetriát nevezzük. Ugyanis a RER közelítőleg azonos az RQ-al. A szénhidrát, zsír és fehérje kalória egyenértékét figyelembe véve és kiegészítve a vizelet nitrogén tartalmával (UN)az össz- energia felhasználást particionálni lehet a szubsztrát (zsír, szénhidrát, fehérje)szerint.
A számítások:
$RQ(kcal/24\ óra)=5,68\ V'_{O2}+1,59\ V'_{CO2}- 2,17\ UN$
Ha az UN ismeretlen: $RQ=5,46V'_{O2}+1,75\ V'_{CO2}$
Szubsztrát szerint(g/24 óra):

szénhidrát=5,926 V'_{CO2}- 4,189V'_{O2}-2,539 UN
zsír=2,432V'_{O2}-2,432V'_{CO2}-1,943 UN
fehérje=6,250 UN

A terhelés során ezt a számítást a program folyamatosan elvégzi és grafikonon ábrázolja. Igazából azonban a jelentősége az alapanyagcsere meghatározása: A nyugalmi energia felhasználás a páciens anyagcsere állapotáról ad felvilágosítást. Feltétele a teljes nyugalmi, éhgyomri, neutrális hőmérsékletü állapot. Terhelés közben mutatja, hogy kezdetben zsírt és szénhidrátot, majd csak szénhidrátot éget a szervezet.



55. ábra: A kék a zsír, a narancssárga görbe a szénhidrát égetés: A terhelés során egyre inkább a szénhidrát égetés kerül előtérbe.

Anaerob küszöb(AT)

Fogalma

Összefoglaló, elvi elnevezés. Azt a pontot jelenti, ahol az izomban az aerob anyagcsere átmegy anaerobba. Meg kell jegyezni, hogy a II.b izomrostokban az izommunka során mindig is történik anaerob glikolizis. A terhelés emelésével előbb I.a izomrostok toborzása történik, aerob anyagcserével. Később kezdődik az anaerob rostok toborzása egyre nagyobb mértékben. Ez az átmenet az anaerob küszöb. Mely ezek szerint nem is küszöb, nem egyetlen pont, hanem inkább terület, tartomány. Az eltérő meghatározási módszerek miatt- melyek nem ugyanazt mérik – több más elnevezést is alkalmaznak: laktát küszöb, tejsav küszöb, ventilációs küszöb, gázcsere küszöb, anyagcsere küszöb. Az anaerob glikolizis fokozódásával megemelkedik a sejtek ill. a vér laktát szintje. Van olyan hipotézis is, hogy ennek az oka nem annyira az elégtelen oxigén ellátás, hanem az oxidatív enzim kapacitás korlátozott volta. Bármelyik is, az anyagcsere laktát megszaporodással jár (nem tejsav, hanem laktát formájában). Ennek következményeképpen kompenzációs mechanizmusok zajlanak. Előbb a bikarbonát szint emelkedik (izokapniás kompenzáció), majd a bikarbonátot a széndioxid kiválasztás emelésével távolítja el a szervezet. Ha a vér pH is eltolódik, akkor a carotis testek ingerülete a percventiláció további – a széndioxid stimulust meghaladó- fokozódását okozza (respirációs kompenzációs pont).

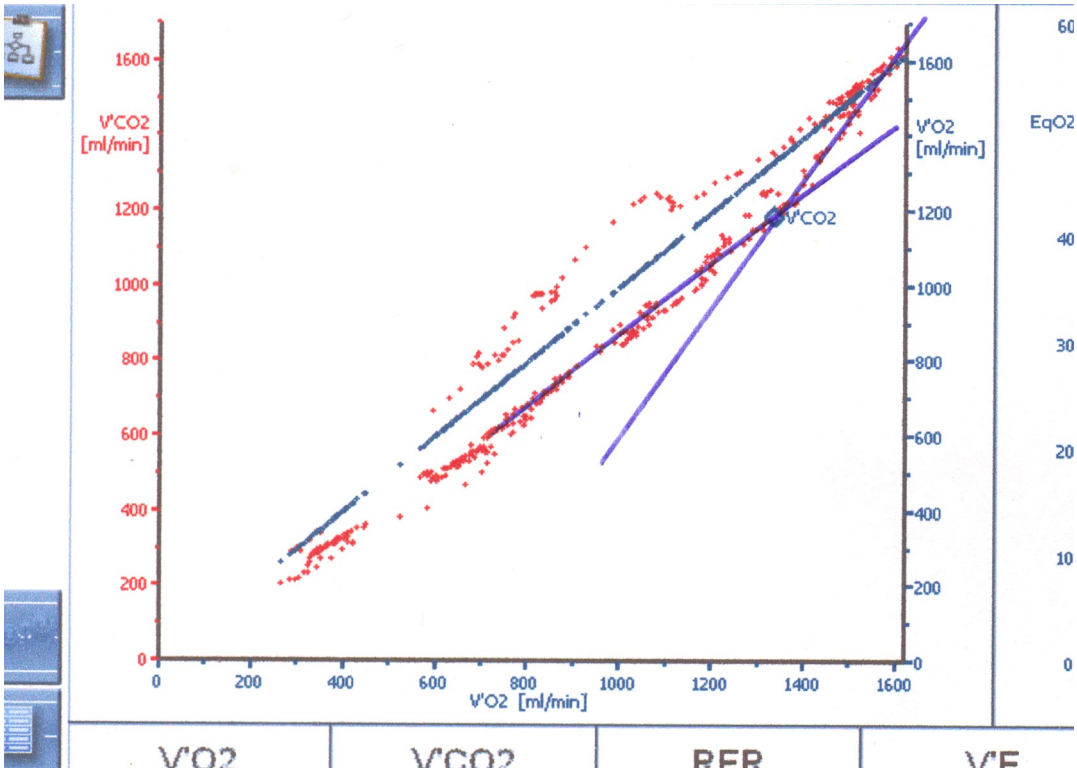
Módszerek

Laktát mérés

Artériás vagy arterializált kapilláris vérből mérhető a teljes vér, a plazma vagy a lizált vér laktát szintje. Többszörös mintavétellel ábrázolják a laktát szintet az oxigén felvétel függvényében és matematikai módszerrel vagy manuális illesztéssel meghatározzák az emelkedés kezdetét.

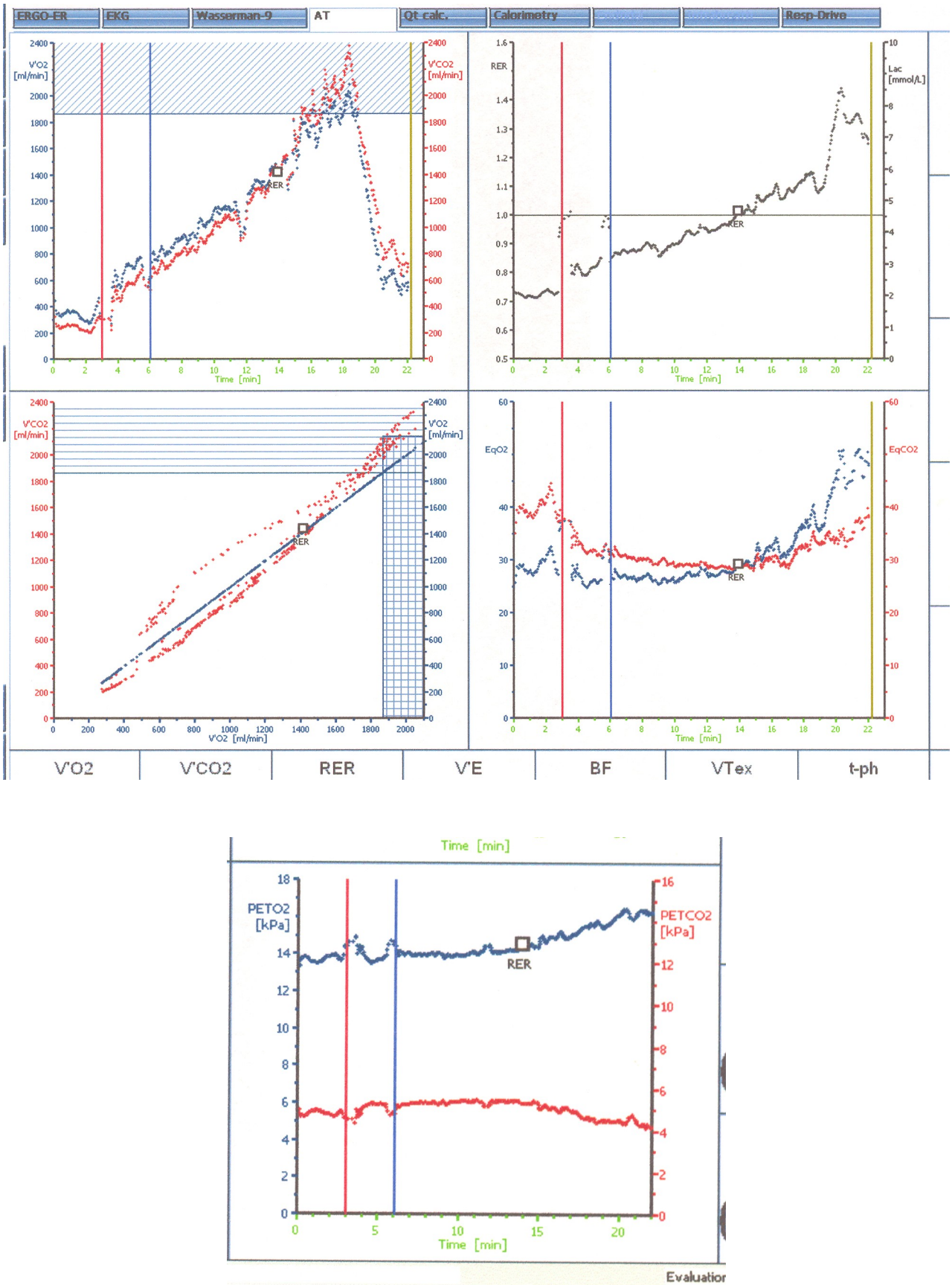
Megjegyzés a laktát méréshez:
A vérgáz analizissel meghatározott bázis eltérés (base excess, BE) a terhelés alatt gyakorlatilag kizáróan az izomzatból a vérbe jutó tejsav eredménye (Ez nem érvényes pl. az intenzív terápia során, ahol kombinált respiratorikus és metabolikus eltérések, ion kisiklások vannak).Az erre gyakorolt respiratorikus hatás az egyéb paraméterekből pontosan megállapítható. Ennélfogva a bázis eltérés a direkt laktát mérést helyettesíteni tudja. A BE interpretációja azonos a laktát érték interpretációjával. A ΔBE egyenlő a terhelés alatti laktát beáramlással. Az utóbbi nyugalomban 0.Tünetlimitált terhelésnél 6 maequ/l fölé emelkedik, de egészséges fiatalokon a 15 maequ/l-t is elérheti.
A maximális ΔBE egyénileg változó. Ha a folyamatosan emelkedő terhelés során többször meghatározzuk a BE-t, akkor egy exponenciálisan emelkedő görbét vehetünk fel. Edzetlen emberen az egyéni maximumot ez hamarább éri el, mint edzetteken. Összehasonlítható módon úgy tudjuk kifejezni,hogy az 5 maequ/l ΔBE-t a a maximális Watt vagy maximális oxigén felvétel %-ában adjuk meg.

Bikarbonát mérés
Tükörképe a laktát szintnek. Ha nem tudunk laktátot mérni, akkor a standard bikarbonát paramétert alkalmazzuk helyette.
V-lejtő(V-slope)módszer
A széndioxid-oxigén grafikonra két egyenest illesztünk. Az egyiket a grafikon kezdeti, kevésbbé meredek részére, a másikat a későbbi, meredekebb részére. A két egyenes metszéspontja adja meg a gázcsere küszöböt.
Mivel a széndioxid kiválasztást a hiperventiláció is befolyásolja, célszerű a V-slope eredményt ellenőrizni a ventilációs ekvivalensekkel.
Figyelembe kell továbbá venni, hogy – bár szoros korrelációban vannak- de nem azonos a laktát küszöbbel. Nagy előnye viszont a non-inváziv volta.



56. ábra: A V-slope módszer.

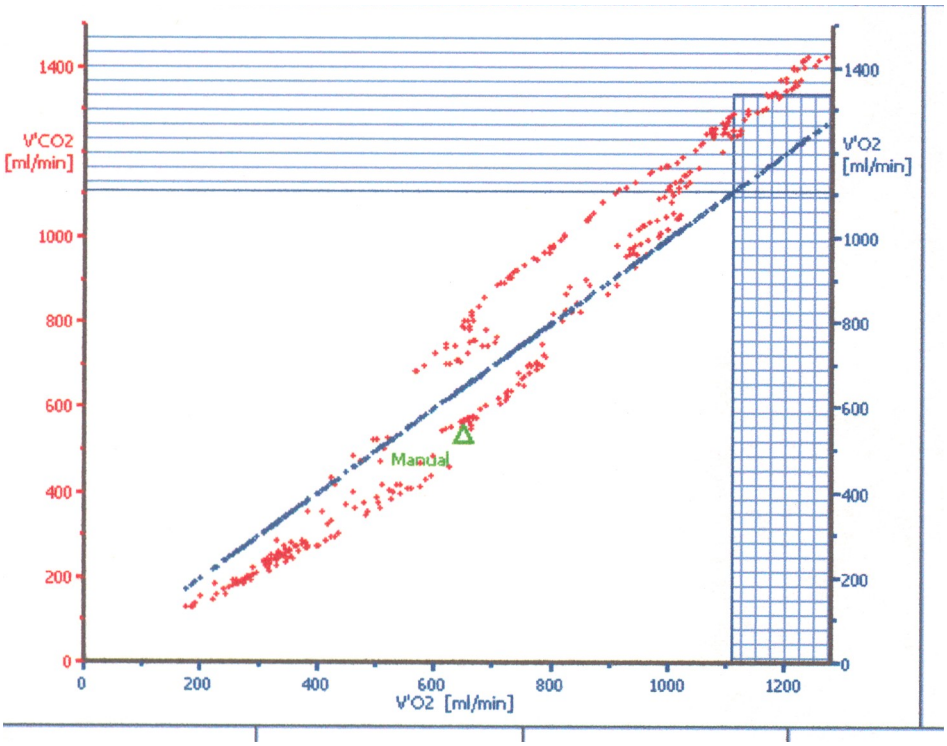
Ventilációs ekvivalens módszer
Azt a pontot, ventilációs küszöböt határozzuk meg, amikor az oxigén ventilációs ekvivalense elkezd emelkedni, de a széndioxidé még nem. Ugyanis a széndioxid kiválasztással arányosan nő a percventiláció, tehát a széndioxid ventilációs ekvivalense változatlan marad. Az oxigén számára viszont a megemelkedő percventiláció az oxigén felvétel rosszabb hatásfokát jelenti, tehát az oxigén ventilációs ekvivalense megnő. Majd a respirációs kompenzációs pont felett a széndioxid ventilációs ekvivalense is megemelkedik.
E módszert nem befolyásolja a hiperventiláció. Ellenben befolyásolja az, ha megváltozik a légzőközpont érzékenysége, pl.COPD-ben, obesitasban. A V-slope módszer ekkor jól használható, mert a széndioxid emelkedés egyértelmű.
Végkilégzési gáztenziók módszere
A végkilégzési oxigén nyomás görbe legmélyebb része, amikor a végkilégzési széndioxid görbe még nem kezd csökkenni.
RER módszer
A RER értéke a metabolikus küszöbnél éri el az 1,0 értéket, efelett haladja meg a széndioxid kiválasztás az oxigénfelvételt. Ez is összefügg az anaerob küszöbbel, de pontatlanabb, mint a fentiek, mivel befolyásolja a szénhidrát-zsír égetés aránya is.



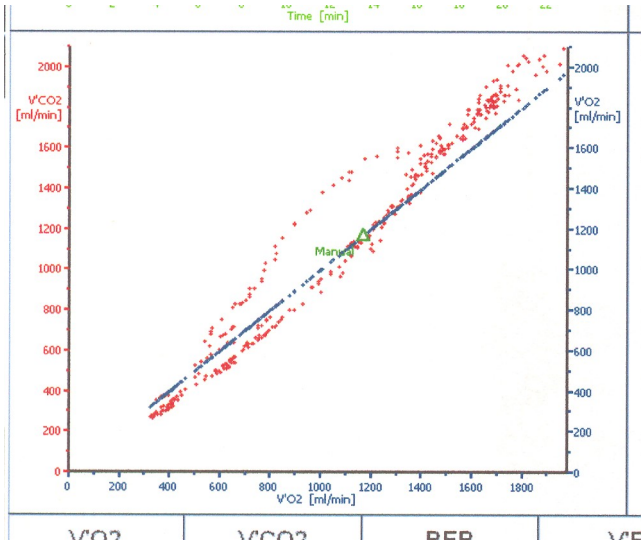
57. ábra: Az anaerob küszöb meghatározása a különböző módszerekkel.

Értékelése

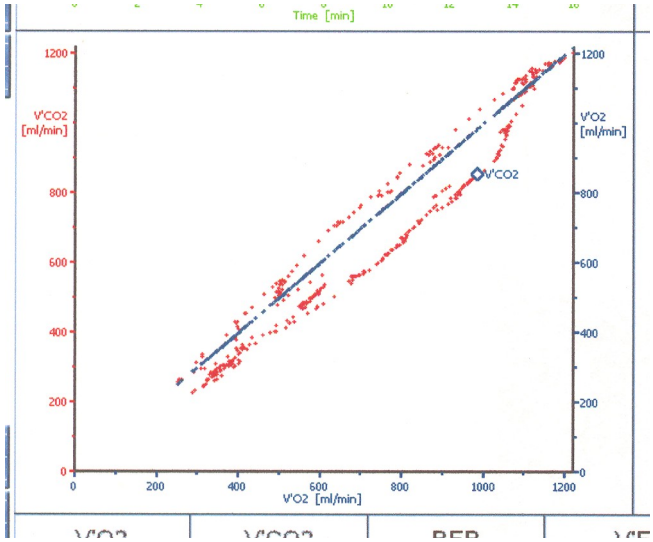
Az anaerob küszöb átlag a csúcs oxigén fogyasztás 50-60%-ánál lép fel. Sportolókon 80% körül van. 50% alatt tréning hiányt jelenthet, 40% alatt egyértelműen kóros. Sokszor nem határozható meg (Kellő erőlködés hiányában vagy kóros állapot miatt). Kifejezetten csökkenni szokott szívelégtelenségben, perifériás és pulmonális vaszkuláris betegségben. Kisebb anémiában és krónikus metabolikus acidózisban is. COPD-ben változó, lehet kisebb, normális és magas is. Tüdőbetegségekben akkor kisebb, ha a perifériás oxigenizáció zavart.
Értéke prognosztikus krónikus kardiális dekompenzációban.
Értékét figyelembe vesszük terheléses tréning előírásakor. Terhelési clusterek:
Mérsékelt terhelés: nem éri el az anaerob küszöböt.
Közepes terhelés: eléri az anaerob küszöböt
Nagy terhelés:eléri az oxigén fogyasztás maximumát.



58. ábra: A terhelés elején jelentkező anaerob küszöb



59. ábra: A terhelés közepe táján fellépő anaerob küszöb.



60. ábra: Magas anaerob küszöb.

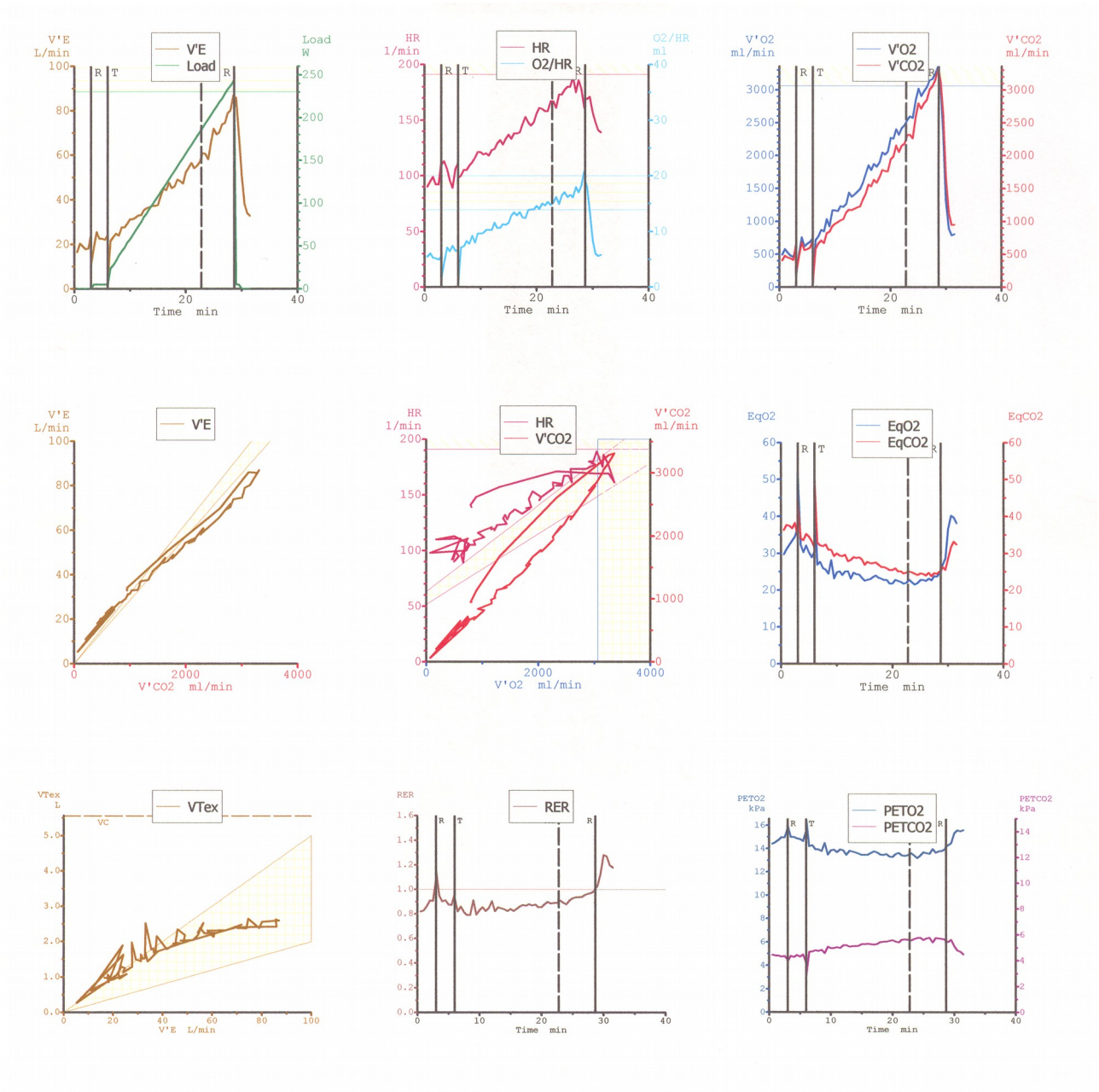
Nehézlégzés

A nehézlégzés szubjektív erősségének kifejezésére többféle skálát alkalmaznak. Terheléses vizsgálatnál kellő pontosságu és reprodukálható a vizuális analóg skála is: 10 cm hosszú egyenes mellé rajzolja a páciens a 0-tól maximumig terjedően a nehézlégzés erősségét.
Leggyakrabban azonban a Borg skálát alkalmazzák:
Az eredeti 20 fokozatú, ma a módosított,10 fokozatú a használatos.
0: egyáltalán nincs nehézlégzés
0,5: nagyon-nagyon enyhe,alig érezhető
1: nagyon enyhe
2: enyhe
3: mérsékelt
4: elég erős
5: erős
6: az 5 és 6 közötti
7: nagyon erős
8: a 7-és 9 közötti az erőssége
9: nagyon-nagyon erős (csaknem maximális)
10: maximális nehézlégzés

Megállapítják a pontértéket nyugalomban és a terhelés csúcsán.

Betegségek

Az összehasonlítási alap az egészséges ember. A következő vizsgálat egy egészséges páciensé.



Summary		Ref.	AT Vslope	Max Watts	Pred	Max 1 %pred	Recov 30 sec	Marker No. 1
Time averaging 30 Seconds								
Time	min	06:00	23:00	28:30			29:00	
Load	W	5	188	242	277	87	5	
V'E	L/min	5	61	87	150	58	86	
VTex	L	0.271	2.253	2.598			2.421	
BF	1/min	19	27	33	42	80	36	
BR	%	95	38	11	28	39	12	
V'O2	ml/min	68	2543	3359	3688	91	3051	
VO2/kg	ml/min/kg	0.9	32.6	43.1			39.1	
VO2%m	%	2	76	100			91	
VO2%p	%	2	69	91			83	
HR	1/min	98	167	161	201	80	169	
O2/HR	ml	0.7	15.2	20.9	16.9	123	18.1	
HR/Vkg	1/ml/kg	0.0	5.1	3.7			4.3	
HRR	1/min	103	34	40			32	
Psys	mmHg	145	167	161			161	
Pdia	mmHg	77	71	79			79	
V'CO2	ml/min	63	2313	3312			3124	
EqCO2		49.5	25.1	25.1			26.3	
EqO2		46.0	22.8	24.8			26.9	
RER		0.93	0.91	0.99			1.02	

06:56 BP entry
11:31 Lactate entry
12:18 BP entry

Intrabreath

Time	VTex	BF	t-in	VTin	t-ex	FETCO2	FETO2	EELV	IC	IC%
02:42	5.140	7.7	2.18	2.900	5.66	4.78	16.05	2.20	5.21	237
05:43	5.381	8.0	1.92	2.776	5.55	5.27	15.11	1.89	5.51	291
08:42	5.771	8.0	2.08	3.294	5.44	5.55	14.47	1.40	6.00	428
11:42	5.613	8.6	0.83	0.960	6.11	5.67	14.59	1.59	5.82	367
14:42	5.173	10.5	2.10	3.218	3.61	5.87	14.10	2.07	5.33	257
17:45	5.609	9.3	1.76	3.522	4.67	6.85	12.92	1.65	5.76	350
20:44	4.800	14.6	1.03	2.424	3.08	6.47	13.91	2.56	4.84	189

Summary		AT Vslope
Time averaging 30 Seconds		
V'O2/V'O2pred	%	69
V'O2/V'O2max	%	76

Summary		Resting	Ref.	AT Vslope	Max Watts	Pred	Max 1 %pred
Time averaging 30 Seconds							
Time	**min**	03:00	06:00	23:00	28:30		
PETCO2	**kPa**	3.95	2.82	5.56	5.62		
PECO2	**kPa**	2.14	1.30	4.31	4.28		
PETO2	**kPa**	16.02	16.55	13.61	13.94		
PEO2	**kPa**	17.52	17.94	14.56	14.82		
Tidal volume-ex	**L**	0.617	0.271	2.253	2.598		
Rel. dead sp.-phys	**%**	0	0	0	0	21	0
Rel. dead sp.-et	**%**	28	13	18	20	21	93
Dead space-et	**ml**	173	36	395	509		
Dead space phys	**ml**	0	0	0	0		

61. ábra: Egészséges ember

Obstruktív tüdőbetegségek

Középsúlyos és súlyos esetben tipusos képpel találkozunk. Enyhe esetben azonban a terhelhetőség és a terheléses válasz normális lehet. Ilyenkor az első jel gyakran a kilégzési áramlás limitálás miatti dinamikus hiperinfláció.

Csúcs oxigén fogyasztás

A kezdeti stádiumoktól eltekintve csökkent. Oka komplex: ventilációs korlátozottság, dinamikus hiperinfláció, gázcsere zavar, izomgyengeség, kardiovaszkuláris és metabolikus zavar s ezek változó kombinációja. A csúcs oxigén fogyasztás prediktív a túlélés vonatkozásában.

Nyugalmi oxigén fogyasztás

Gyakorlatilag normális.

Δ02/ΔWR

Normális meredekségű, hacsak nincs oxigén transzport zavar.

Percventiláció

A szubmaximális szinten magas. Ennek oka: magas holttér ventiláció, metabolikus acidózis, hipoxémia vagy hiperkapnia, reflexes stimuláció, izgatottság. A csúcs percventiláció ellenben csökkent a ventilációs korlátozottság miatt.

Ventilációs tartalék

Csökkent. Oka az, hogy a megnövekedett légzési ellenállás miatt a maximális akaratlagos ventiláció értéke kisebb.

Légzési minta

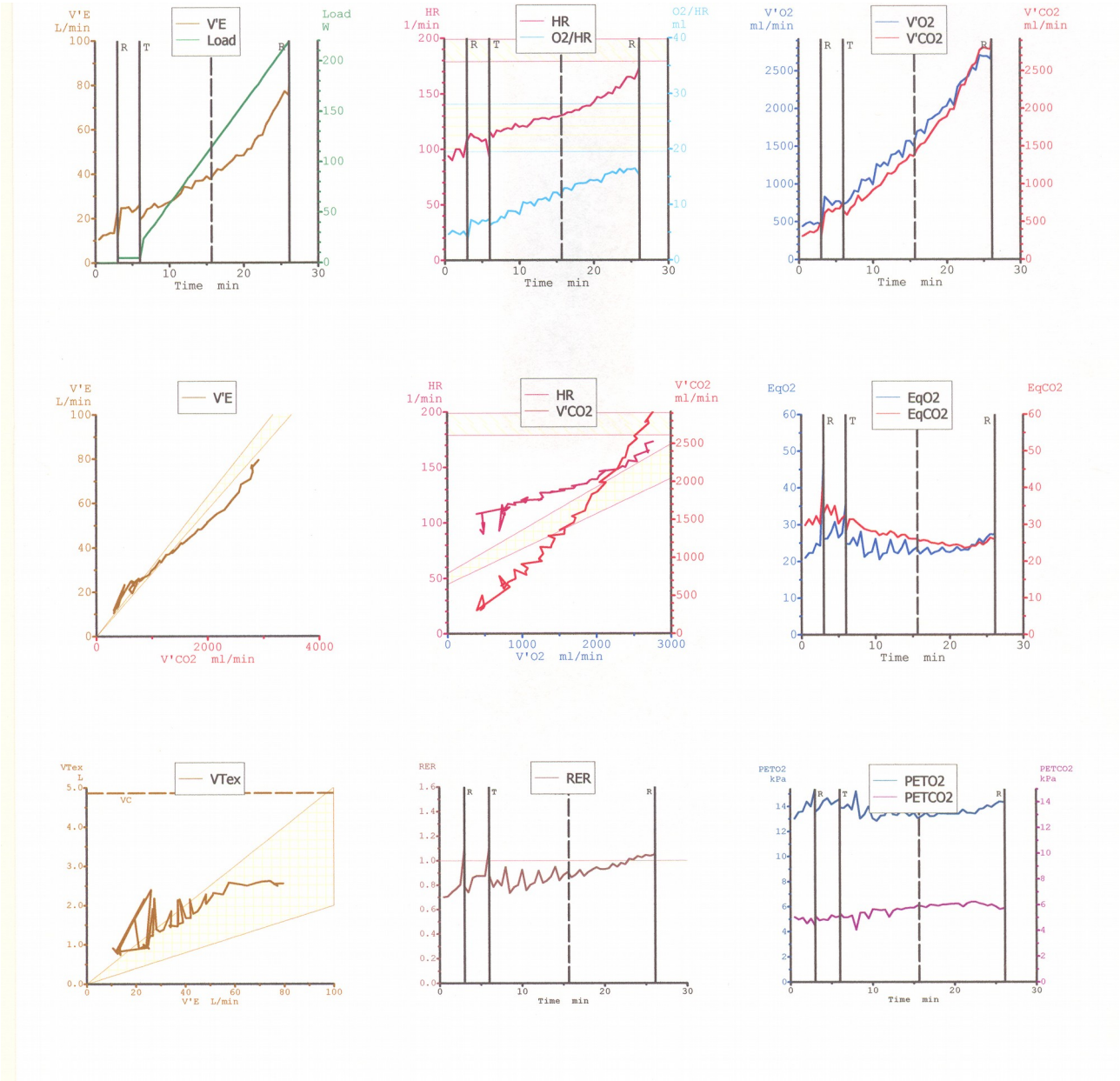
A légzési térfogat alacsonyabb, a légzési frekvencia magasabb, mint ugyanakkora terheléskor egészségeseken. Tehát előbb kezd a térfogat emelkedés helyett a légzésszám emeléssel kompenzálni. E jelenség azonban elmarad az intersticiális tüdőbetegségben észleltektől, ahol a légzési térfogat alig tud emelkedni.

A COPD jellemzője a kilégzési áramlás limitáltsága. A tüdő kiürülésének időkonstansa (a compliance és ellenállás függvénye) lassubb,mint egészségeseknél és a kilégzési idő gyakran rövid ahhoz, hogy a végkilégzési térfogat elérje a relaxációs térfogatot. Emiatt már nyugalomban hiperinfláció áll fenn. Terhelés közben a belégzési térfogat emelkedik, a kilégzési idő rövidül. Ezért a végkilégzési térfogat- változó mértékben- tovább emelkedik a nyugalmihoz képest. Ezt hívjuk dinamikus hiperinflációnak. Ha a légzési térfogat helyett a frekvencia emelkedik tovább, akkor a hiperinfláció tovább fokozódik és limitálja a terhelést. COPD-ben tehát terhelés közben a dinamikus hiperinfláció miatt a végkilégzési térfogat emelkedik, az inspirációs kapacitás csökken. Sorozat inspirációs kapacitás meghatározással a dinamikus hiperinfláció alakulása nyomon követhető. A nyugalmi és a csúcs terhelési IC szoros korrelációban van a csúcs légzési térfogattal és a csúcs oxigén fogyasztással. A dinamikus hiperinfláció abból is látható, hogy az áramlás-volumen görbe a terhelés közben eltolódik a magasabb tüdőtérfogat felé.

Terhelés közben a VT/IC hányadosa nő. A VT/VC hányadosa normális vagy kissé csökkent. A Ti/Ttot nem nő, ellenben a relatíve megnyúlt kilégzési idő miatt a Ti/TE <0,8

Szívfrekvencia
Szubmaximális szinten a normálisnál magasabb. A csúcs szív frekvencia csökkent, mivel a ventilációs korlátozottság miatt nem tudja elérni.
Szívfrekvencia tartalék
Magas. A COPD súlyossági stádiumával a csúcs oxigén fogyasztás és a ventilációs tartalék csökken, a szív frekvencia tartalék emelkedik.
Oxigén pulzus
COPD-ben rendszerint a csúcs oxigén fogyasztással arányos. Ha a terhelhetőség csökken, akkor nem éri el azt az értéket, amire egyébként képes lenne. Ezen túlmenően a szövődményként esetlegesen jelentkező hemodinamikai változásoknak megfelelő. Terhelés közben a COPD hatása a szívre komplex. A hiperinfláció és a kilégző izmok toborzása károsítja a vénás visszafolyást, s ezzel a jobb kamrai előterhelés csökken. A nagy intrathorakális nyomásingadozás emeli az ellenállást és a bal kamrai utóterhelést. Ennek következtében terhelés közben a jobb kamra ejekciós frakciója nem emelkedik. A bal kamrai ejekciós frakció általában érintetlen. A szív perctérfogata a szubmaximális szintig általában normálisan emelkedik. Ugyanakkor a csúcs perctérfogat a normálisnál alacsonyabb.
Az oxigén és a széndioxid légzési ekvivalense
Emelkedett a fokozott holttér ventiláció és ventiláció/perfúzió egyenlőtlenség miatt.
VD/VT
Már nyugalomban emelkedett, a terhelés közben pedig sokszor tovább nő:Ventilált, de nem perfundált alveolusok miatt.
Alveolo-artériás oxigén differencia
Általában emelkedett, főleg ha terhelés közben deszaturáció lép fel. Oka ventiláció/perfúzió egyenlőtlenség, diffúzió zavar.
Arterio-végkilégzési széndioxid differencia
Emelkedett. Oka a ventiláció/perfúzió egyenlőtlensége.
Artériás oxigén tenzió
Sok esetben már nyugalomban csökkent. Terhelés közben emelkedhet, változatlan maradhat, súlyos COPD-ben tovább csökkenhet. Utóbbi oka a ventiláció/perfúzió zavar, diffúzió zavar, alveoláris hipoventiláció.
Artériás széndioxid tenzió
Súlyos esetben terhelés közben hiperkapnia alakul ki az alveoláris hipoventiláció miatt.
Anaerob küszöb
Lehet normális, csökkent vagy nem meghatározható (ventilációs módszerekkel gyakran félrevezető, -ilyenkor a direkt laktát mérés segít).
Súlyos esetben terhelés közben metabolikus acidózis korán lép fel respirációs kompenzáció nélkül.
A csökkent anaerob küszöb oka: dekondicionáltság fizikai inaktivitás miatt, vázizom gyengeség ,társuló pulmonális vaszkuláris betegség, cor pulmonale, latens bal kamrai funkciózavar.

62. ábra: Obstruktív tüdőbetegség dinamikus hiperinflációval:



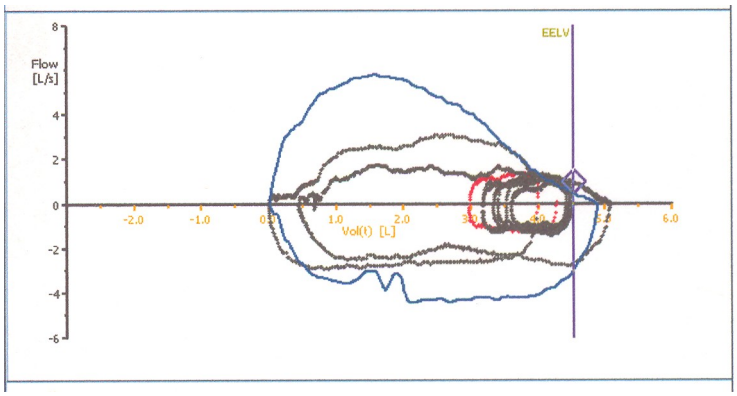
Summary		Ref.	AT Vslope	Max Watts	Pred	Max 1 %pred	Recov 30 sec	Marker No. 1
Time averaging 30 Seconds								
Time	min	06:00	15:30	25:30			26:06	
Load	W	5	113	213	365	58	219	
V'E	L/min	19	38	77	134	58	80	
VTex	L	1.660	2.159	2.497			2.558	
BF	1/min	12	17	31	42	74	31	
BR	%	86	73	45	28	161	43	
V'O2	ml/min	732	1507	2694	3578	75	2759	
VO2/kg	ml/min/kg	6.4	13.1	23.4			24.0	
VO2%m	%	27	55	98			100	
VO2%p	%	20	42	75			77	
HR	1/min	116	130	163	189	86	173	
O2/HR	ml	6.3	11.6	16.5	23.8	69	15.9	
HR/Vkg	1/ml/kg	18.2	9.9	7.0			7.2	
HRR	1/min	73	59	26			16	
Psys	mmHg	128	143	165			165	
Pdia	mmHg	78	83	89			89	
V'CO2	ml/min	643	1366	2795			2917	
EqCO2		28.3	26.1	26.4			26.1	
EqO2		24.8	23.7	27.4			27.6	
RER		0.88	0.91	1.04			1.06	

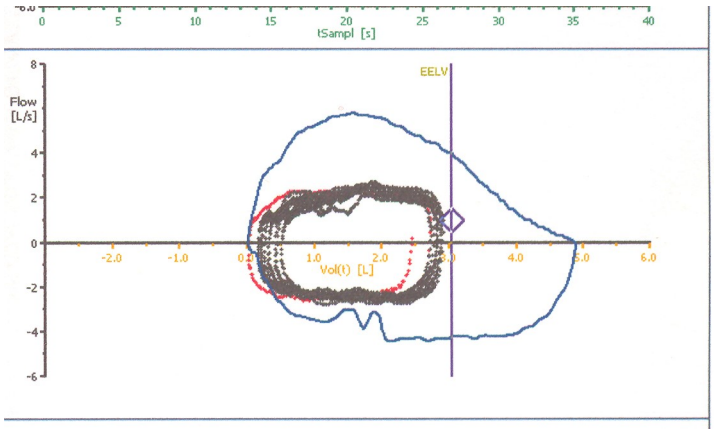
Intrabreath

Time	VTex	BF	t-in	VTin	t-ex	FETCO2	FETO2	EELV	IC	IC%
02:41	5.171	9.2	1.71	4.312	4.78	3.79	17.39	2.45	4.31	176
05:40	4.989	8.2	1.11	0.879	6.25	5.21	15.66	1.87	4.90	263
07:48	5.971	5.7	7.27	4.658	3.22	3.84	17.73	2.11	4.66	221
09:38	4.900	10.1	2.15	4.260	3.79	5.08	15.77	2.51	4.26	170
11:41	5.066	8.6	1.57	3.993	5.38	6.18	14.05	2.23	4.53	203
13:43	5.050	8.6	2.08	4.171	4.86	6.28	14.11	2.60	4.17	161
15:08	5.182	10.0	1.48	3.547	4.52	6.68	13.44	2.29	4.47	195
16:46	5.119	9.9	1.63	3.785	4.44	6.87	13.09	2.23	4.53	203
18:40	4.793	15.0	1.11	3.625	2.89	6.16	14.72	2.17	4.60	212
20:51	4.606	13.9	2.86	1.209	1.47	7.31	12.75	2.48	4.29	173
22:44	2.732	24.0	1.14	2.561	1.36	6.53	14.46	3.73	3.04	81
24:48	2.724	28.7	0.96	2.566	1.13	6.14	15.09	4.22	2.54	60
26:04	2.814	26.9	1.01	2.663	1.22	6.21	15.10	3.84	2.92	76

Summary		AT Vslope
Time averaging 30 Seconds		
V'O2/V'O2pred	%	42
V'O2/V'O2max	%	55

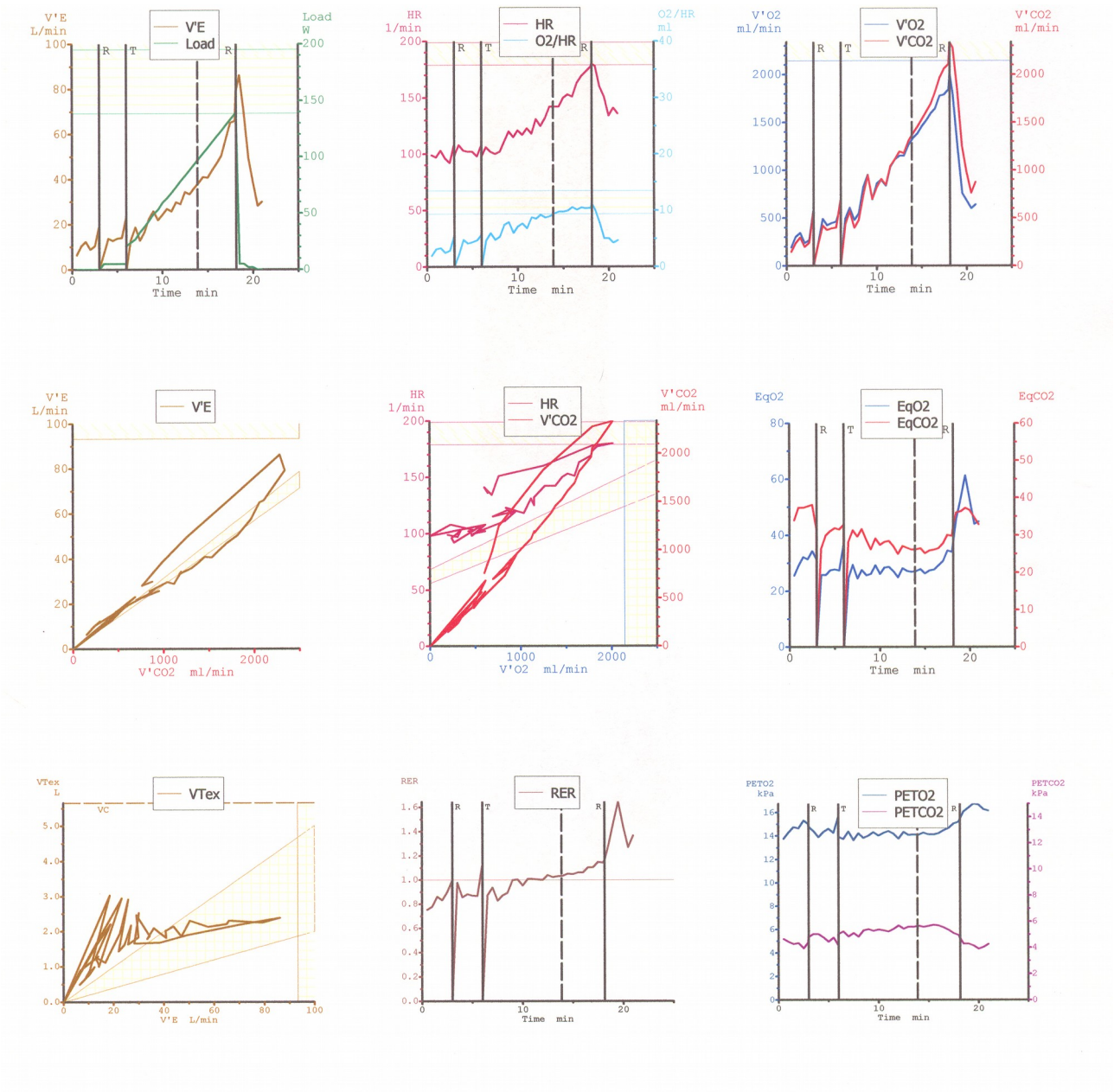
Summary		Resting	Ref.	AT Vslope	Max Watts	Pred	Max 1 %pred
Time averaging 30 Seconds							
Time	**min**	03:00	06:00	15:30	25:30		
PETCO2	**kPa**	5.12	5.31	5.95	5.67		
PECO2	**kPa**	2.64	3.40	3.72	3.72		
PETO2	**kPa**	13.56	13.90	13.06	14.38		
PEO2	**kPa**	15.78	15.20	14.58	15.23		
Tidal volume-ex	**L**	0.816	1.660	2.159	2.497		
Rel. dead sp.-phys	**%**	0	0	0	0	21	0
Rel. dead sp.-et	**%**	35	29	32	30	21	142
Dead space-et	**ml**	285	486	688	747		
Dead space phys	**ml**	0	0	0	0		





A csúcs oxigén felvétel és percventiláció csökkent. A szívfrekvencia tartalék megtartott, az oxigén pulzus jól emelkedik, gázcsere zavar nem észlelhető. A ventilációs tartalék is megtartott, azonban az áramlás-térfogat hurkok dinamikus hiperinflációt mutatnak, tehát ez korlátozta a terhelést. Magyarázza a kissé fokozott holttérventilációt. Az anaerob küszöb alacsony szinten jelentkezik.

64. ábra:Obstruktív tüdőbetegség dinamikus hiperinfláció nélkül.



Summary		Ref.	AT Vslope	Max Watts	Pred	Max 1 %pred	Recov 30 sec	Marker No. 1
Time averaging 30 Seconds								
Time	min	06:00	14:00	18:08			18:30	
Load	W	21	98	139	167	83	5	
V'E	L/min	0	38	79	118	67	86	
VTex	L	0.000	1.966	2.246			2.385	
BF	1/min	4	19	35	42	85	36	
BR	%	100	51	-	28	-6	-	
V'O2	ml/min	0	1334	2015	2582	78	1793	
VO2/kg	ml/min/kg	0.0	24.3	36.6			32.6	
VO2%m	%	0	66	100			89	
VO2%p	%	0	52	78			69	
HR	1/min	98	142	180	189	95	178	
O2/HR	ml	0.0	9.4	11.2	11.4	98	10.1	
HR/Vkg	1/ml/kg	0.0	5.9	4.9			5.5	
HRR	1/min	91	47	9			11	
Psys	mmHg	97	96	100			100	
Pdia	mmHg	61	75	67			67	
V'CO2	ml/min	0	1381	2338			2281	
EqCO2		0.0	26.2	32.2			36.1	
EqO2		0.0	27.1	37.4			45.9	
RER		0.00	1.04	1.16			1.27	

Intrabreath

Time	VTex	BF	t-in	VTin	t-ex	FETCO2	FETO2	EELV	IC	IC%
02:44	5.695	4.7	2.78	2.570	9.87	5.26	15.00	1.38	6.02	436
05:46	5.124	6.3	0.69	0.351	8.85	5.48	15.13	1.76	5.63	320
08:45	6.263	5.5	2.47	2.699	8.45	6.52	13.32	0.84	6.55	776
11:45	5.065	6.0	2.73	2.909	7.28	7.06	13.14	1.99	5.41	272
14:42	3.921	9.5	2.07	2.605	4.24	6.85	14.10	2.83	4.57	161
17:43	3.125	12.4	1.60	2.893	3.23	5.99	15.60	4.22	3.17	75
20:50	5.956	6.7	1.55	2.391	7.42	5.47	15.89	1.00	6.40	641

Summary		AT Vslope
Time averaging 30 Seconds		
V'O2/V'O2pred	%	52
V'O2/V'O2max	%	66

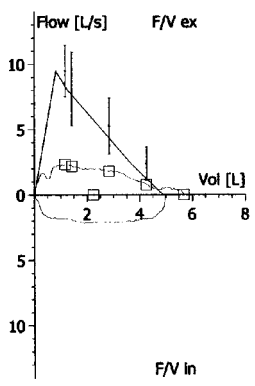
Summary		Resting	Ref.	AT Vslope	Max Watts	Pred	Max 1 %pred
Time averaging 30 Seconds							
Time	**min**	03:00	06:00	14:00	18:08		
PETCO2	**kPa**	4.80	5.02	5.65	4.71		
PECO2	**kPa**	2.87	2.76	3.92	3.08		
PETO2	**kPa**	14.80	13.94	14.10	15.46		
PEO2	**kPa**	16.37	16.06	15.29	16.38		
Tidal volume-ex	**L**	0.000	0.000	1.966	2.246		
Rel. dead sp.-phys	**%**	0	0	0	0	21	0
Rel. dead sp.-et	**%**	0	0	25	30	21	141
Dead space-et	**ml**	383	362	488	664		
Dead space phys	**ml**	0	0	0	0		

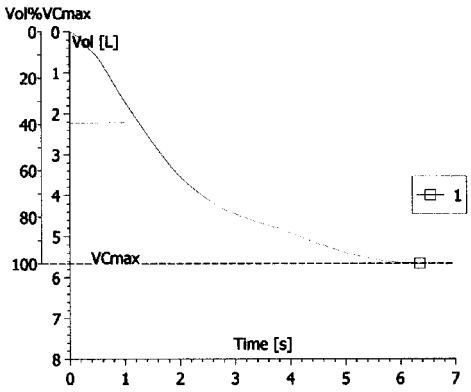
Interpretation (Wasserman)

Last Name: Magyar **Identification:** 035666163

Pulmonary Function Report

		Pred	Pre	%Pred
FVC	[L]	4.88	5.66	116
FEV 1	[L]	4.09	2.22	54
FEV 1 % VC MAX	[%]	81.63	39.25	48
MMEF 75/25	[L/s]	4.74	1.53	32
PEF	[L/s]	9.50	2.35	25
FEV 1*30	[L/min]	144.39	66.68	46





A csúcs oxigén felvétel és percventiláció kisebb. A szívfrekvencia tartalék megtartott, a ventilációs tartalék csökkent: Tehát a terhelést a légzés korlátozta. A spirográfia obstruktív zavart bizonyít. A légzési ekvivalensek magasabbak, ami COPD-ben gyakori a disztribúció és a ventiláció/perfúzió arány zavara miatt. A légzés rosszabb hatásfokát mutatja, hogy a terheléssel az oxigén felvétel meredekebben emelkedik.

Intersticiális tüdőbetegség

Az intersticiális tüdőbetegségek rendszerint fibrózist okoznak, s károsodnak az alveolusok és a kapillárisok. Bár különböző intersticiális tüdőbetegségekben leírtak eltérően viselkedő terheléses paramétereket, ez statisztikailag érvényes. Egy adott betegen a spiroergometriás leletetből nem lehet az adott betegséget diagnosztizálni.

Csúcs oxigén fogyasztás

(És az elért maximális Watt) Az esetek nagyrészében csökkent. Korábban jelzi a funkciózavart, mint a nyugalmi légzésfunkció. Csökkenését elsősorban a ventilációs korlátozottság és gázcsere zavar okozza. Ehhez járulhat kardiovaszkuláris funkciózavar és perifériás izomgyengeség is.

ΔVO2/ΔWR

Az oxigén hasznosítás rosszabb hatásfoka miatt emelkedett (a grafikon meredekebb). A rosszabb hatásfokot a nagyobb holttérventiláció, ventiláció/perfúzió egyenlőtlenség, diffúzió zavar okozhatja. A csúcs oxigén fogyasztás közelében csökkenhet.

Percventiláció

Az oxigén fogyasztáshoz és a széndioxid leadáshoz képest a percventiláció emelkedett (hiperventiláció). Ennek oka a megnőtt holttérventiláció, a hipoxémia és a mechanoreceptorok stimulációja. Ugyanakkor az elért maximális percventiláció kisebb.

Ventilációs tartalék

Csökkent a kisebb tüdőtérfogatok és a megváltozott légzésmechanika következtében (merevebb a tüdő, nagyobb nyomás kell a térfogat emeléséhez). Ezért kisebb lesz a maximális akaratlagos ventiláció és ezzel a ventilációs tartalék.

Légzési minta

A *légzési térfogat* a terheléssel kellően nem emelkedik. Helyette a légzésszám emelésével növeli a percventilációt (A csúcs oxigén fogyasztásnál a légzésszám > 50) Emiatt a VT/IC nagyobb (közel 1), a VC és IC kisebb. A csúcs VT/VC változatlan (mert mindkettő csökken).

A restrikció a belégzést nehezíti,emiatt: A légzési frekvencia emekedésekor a be- és kilégzési idő egyaránt csökken, de ezen belül a Ti relatíve nő, a Ti/Ttot nagyobb, a Ti/TE >0,8.

Szubmaximális terhelési szinten magas a percventiláció, kicsi a légzési térfogat és magas a légzési frekvencia.

Alacsony tüdőtérfogatnál néha előfordul kilégzési áramlás limitálás. Ez társuló obstrukciót jelenthet.

Maximális szívfrekvencia

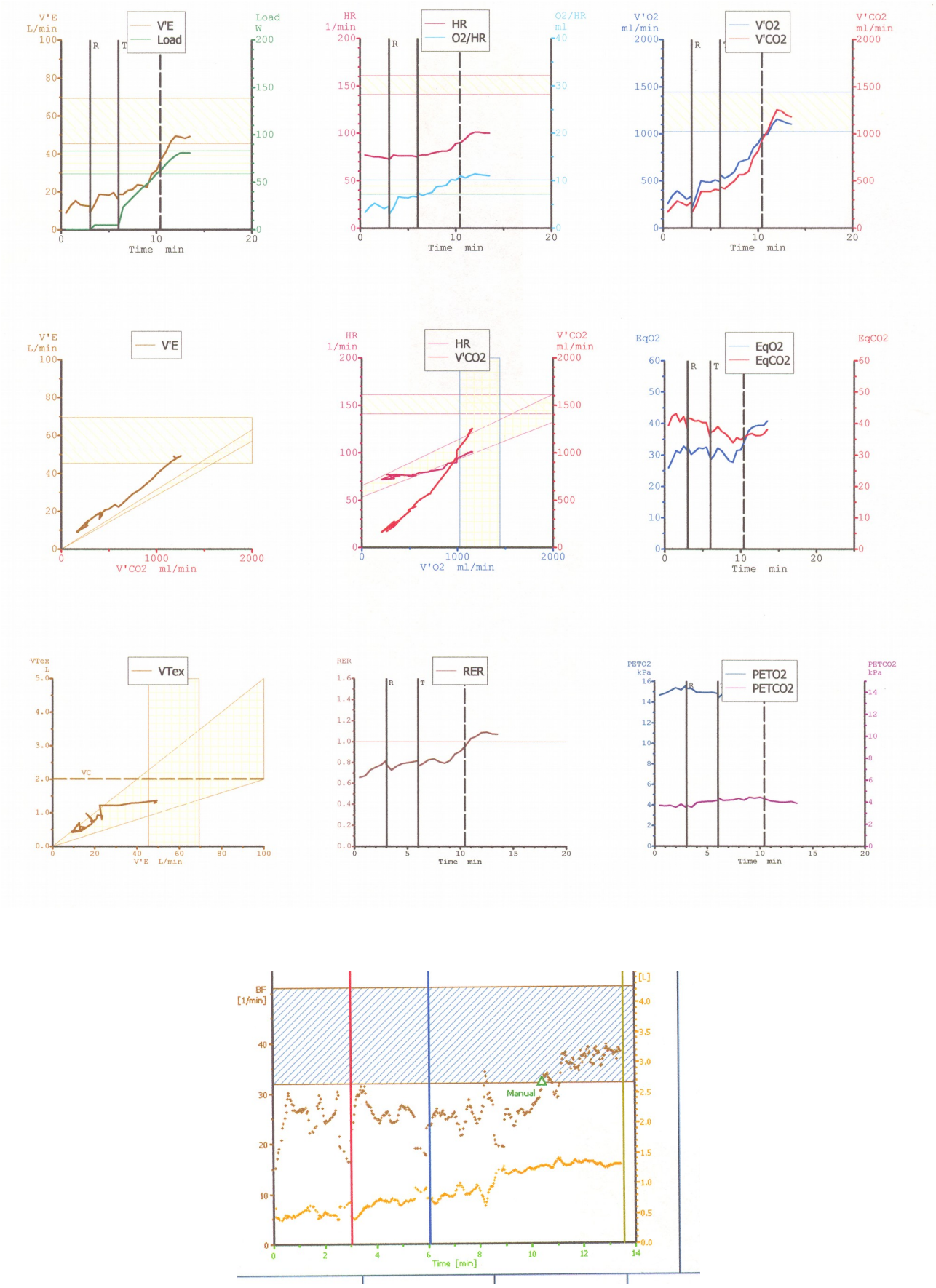
Kisebb, de a szívfrekvencia-oxigén összefüggés meredekebb,a zaz jobban tachykardizálódik (a hipoxémia miatt).

Szívfrekvencia tartalék

Normális vagy magas.

Oxigén pulzus
Maximuma kisebb, mert a ventilációs korlátozottság és a hipoxémia miatt- noha az oxigén pulzus képes lenne tovább emelkedni, de a terhelés nem éri el az ehhez szükséges szintet.
Légzési ekvivalensek
Az oxigéné és a széndioxidé is emelkedett, főleg a megnőtt holttérventiláció eredményeképp.
VD/VT
Emelkedett. Oka az alveolus vagy a kapilláris pusztulás miatti ventiláció/perfúzió aránytalanság.
Alveolo-artériás oxigén differencia
A ventiláció/perfúzió aránytalanság , a diffúzió zavar és az alacsony kevert vénás pO2 eredményezi, hogy minden terhelési szinten magasabb. A kevert vénás vér oxigén tenziója azért kisebb, mert megnőtt a szöveti oxigén extrakció.
Arterio-végkilégzési széndioxid differencia
Nagyobb. Elsősorban a ventiláció/perfúzió aránytalanság miatt (A diffúzió kevésbbé befolyásolja, mert a széndioxid oldékonysága az oxigénnél nagyobb).
A holttérventiláció és az arterio-végkilégzési széndioxid differencia obstruktív tüdőbetegségekben is nagyobb, de intersticiálisban meredekebb a ΔV02/ΔWR.
Artériás oxigén tenzió
A ventiláció/perfúzió aránytalanság következtében a terhelés alatt hipoxémia alakul ki. Szerepelhet benne diffúzió zavar is.
Artériás széndioxid tenzió
Általában normális, de emelkedhet és csökkenhet is.
Anaerob küszöb
Nem meghatározható vagy normális. Akkor alacsony, ha oxigén ellátási zavar van (zavart tüdőkeringés vagy jobb kamra diszfunkció ill. a vázizomzat zavara).
Oxigén ellátási zavar
Gyakori, ezért az oxigén fogyasztás meredeksége a terhelés csúcsa felé csökken (az artériás oxigén tenzió csökken és a szöveti oxigén extrakció fokozódik). A pulmonális érellenállás nő, pulmonális prékapilláris hipertenzió alakul ki (Oka: csökkent érkeresztmetszet, hipoxiás vazokonstrikció, kisebb tüdőtérfogat). Ennek következménye jobb kamra hipertrófia, majd cor pulmonale.A bal kamrai ejekciós frakció, a bal kamrai nyomások normálisak. A szív perctérfogata nyugalomban, kisebb terheléskor normális, de magas terhelésnél a magas pulmonális vaszkuláris ellenállás miatt nem tud kellően emelkedni.Ezért az oxigén ellátás nem tart lépést a szükséglettel, az anaerob küszöb korábban jelentkezik és a csúcs oxigén fogyasztás korlátozásában is szerepe van ezen mechanizmusoknak.

65. ábra: Intersticiális tüdőbetegség:



Summary		Ref.	AT Manual	Max Watts	Pred	Max 1 %pred	Recov 30 sec	Marker No. 1
Time averaging 30 Seconds								
Time	min	06:01	10:30	12:00				
Load	W	5	63	78	71	110		
V'E	L/min	19	37	49	57	86		
VTex	L	0.801	1.288	1.360				
BF	1/min	23	29	36	42	87		
BR	%	67	35	13	28	48		
V'O2	ml/min	567	991	1156	1234	94		
VO2/kg	ml/min/kg	7.6	13.2	15.4				
VO2%m	%	49	86	100				
VO2%p	%	46	80	94				
HR	1/min	76	90	101	151	67		
O2/HR	ml	7.5	11.0	11.4	8.6	133		
HR/Vkg	1/ml/kg	10.1	6.8	6.6				
HRR	1/min	75	61	50				
Psys	mmHg	130	150	178				
Pdia	mmHg	82	83	68				
V'CO2	ml/min	434	955	1256				
EqCO2		37.1	35.7	36.2				
EqO2		28.5	34.3	39.3				
RER		0.77	0.96	1.09				

Intrabreath

Time	VTex	BF	t-in	VTin	t-ex	FETCO2	FETO2	EELV	IC	IC%
02:42	2.069	8.8	2.03	1.639	4.80	4.46	15.38	1.90	2.11	111
05:41	2.032	8.0	2.39	1.790	5.15	4.89	14.99	1.95	2.06	105
08:42	2.016	8.5	1.89	1.514	5.16	5.67	13.89	1.94	2.07	107
11:38	1.536	31.9	0.97	1.588	0.91	3.97	17.16	1.91	2.10	110

Summary		AT Manual
Time averaging 30 Seconds		
V'O2/V'O2pred	%	80
V'O2/V'O2max	%	86

Summary		Resting	Ref.	AT Manual	Max Watts	Pred	Max 1 %pred
Time averaging 30 Seconds							
Time	**min**	03:00	06:01	10:30	12:00		
PETCO2	**kPa**	3.72	4.37	4.28	3.97		
PECO2	**kPa**	1.97	2.50	2.75	2.71		
PETO2	**kPa**	15.34	14.43	15.31	16.00		
PEO2	**kPa**	16.99	16.21	16.48	16.79		
Tidal volume-ex	**L**	0.421	0.801	1.288	1.360		
Rel. dead sp.-phys	**%**	0	0	0	0	19	0
Rel. dead sp.-et	**%**	21	29	27	24	19	124
Dead space-et	**ml**	88	232	350	320		
Dead space phys	**ml**	0	0	0	0		

Interpretation (Wasserman)

Az oxigén felvétel normális, tehát a terhelhetőség nem csökkent. A keringési paraméterek normálisak. A ventilációs tartalék azonban a normális alsó határán van. Ha pedig megnézzük a légzési térfogat és frekvencia alakulását látható, hogy a légzési térfogat a terhelés során alig emelkedik- a percventilációt a légzési frekvencia emelésével fokozza, tehát restriktív zavar áll fenn. Az intersticiális folyamat miatt a légzési ekvivalensek emelkedettek. A roszabb hatásfokot hiperventilációval próbálja ellensúlyozni (a percventiláció-széndioxid összefüggés meredekebb, a végkilégzési széndioxid alacsonyabb).

Koronária betegség

Csúcs oxigén felvétel
Csökkent vagy normális.
ΔV02/ΔWR
A kisebb terhelési szinteken normális, majd a csúcs oxigén felvétel közelében lelapul: Amikor a miokardium isémia jelentkezik.
Ventilációs tartalék
Magas vagy normális. Mivel a terhelést előbb korlátozza a keringés, mielőtt még a maximális ventilációt elérné a terhelés.
Szívfrekvencia tartalék
Csökkent.
Szívfrekvencia-oxigén felvétel összefüggés
Nem lineáris. A csúcs oxigén felvétel közelében meredekebbé válik: Nem képes a verővolument emelni, hanem fokozott tachycardiával növeli a perctérfogatot.
Oxigén pulzus
Kisebb a normálisnál és hamar plátót ér el, tovább nem emelkedik. Oka, hogy a bal kamrafal aszinkron kontrakciója miatt csökken a verőtérfogat, melyet az oxigén extrakció már nem képes ellensúlyozni.
A terhelés befejezése után a pihenési fázisban paradox módon emelkedhet: a bal kamra csökkenő utóterhelése miatt.
A széndioxid légzési ekvivalense, holttérventiláció, alveolo- artériás oxigén differencia, arterio-végkilégzési széndioxid differencia
Normális, mivel nincs ventiláció/perfúzió egyenlőtlenség.

Anaerob küszöb
Normális vagy nem meghatározható.
A terhelés végén metabolikus acidózis alakul ki: Károsodott az oxigén transzport,mert a szív nem képes a percvolument emelni.
Bizonyít
Az EKG-n isémiás jelek. Angina pectoris felléphet.
Hematokrit
Normális.

Krónikus szívelégtelenség

Csúcs oxigén fogyasztás
Csökkent. A szív perctérfogat és a szöveti oxigén extrakció szorzata. A csökkenés oka: szisztolés és diasztolés funkciózavar, egyenlőtlen véreloszlás a perifférián, kóros pulmonális keringési válasz, vázizom anyagcserezavar, dekondicionáltság, kóros ventilációs válasz. Tehát igen komplex.
Prognosztikus a túlélésre: 10 ml/min/kg alatti csúcs oxigén fogyasztás rossz prognózist, 16 feletti jó prognózist jelent.
Nyugalmi oxigén fogyasztás
Normális
ΔV02/ΔWR
Meredeksége általában csökkent, de lehet normális is.
Percventiláció
A terhelés nagyságához viszonyítva magas .Oka: alacsony anaerob küszöb (a korai acidózis korán fokozza a széndioxid leadást), ventiláció/perfúzió aránytalanság, fokozott holttér ventiláció.
Szubmaximális szinten a percventiláció magas.
Percventiláció-széndioxid leadás összefüggés
Meredek.
Ventilációs tartalék
Nagy.
Légzési minta
Gyakran a légzési térfogat kevésbbé, a légzési frekvencia jelentősen emelkedik: a pangás okozta restrikció miatt.
A VT/VC normális. A Ti/Ttot emelkedett. A kilégzési idő a terhelés során csökken, a belégzési változatlan marad.
A nyugalmi és a terhelés közbeni légzési szint a reziduális térfogathoz közel van, emiatt emelkedett az ellenállás és kilégzési áramlás limitálás léphet fel.
A légzés szabályozás zavara a Cheyne-Stokes légzéssel azonos periódikus légzést okozhat. Ennek jele- főleg alacsonyabb terhelési szinten- a légzés és gázcsere oszcillációja: az oxigén felvétel, széndioxid leadás, a percventiláció 45-90 mp-es

periódussal emelkedik-csökken.

Szívfrekvencia

A terheléssel meredekebben emelkedik, mert a verővolumen növelése korlátozott. A szubmaximális szinten magas. A csúcs frekvencia változó.

Szívfrekvencia tartalék

Kicsi vagy nincs.

Pontosabban: Enyhébb esetben a szívfrekvencia emelkedés meredeksége változó, a csúcsfrekvencia is .Ilyenkor a szívfrekvencia tartalék kicsi vagy nincs. Súlyosabb dekompenzációban az emelkedés meredekebb, a csúcsfrekvencia csökkent és ily módon a szívfrekvencia tartalék megtartott.

Oxigén pulzus

Maximuma kisebb és korai plátót képez a csökkent verővolumen következtében.

Az oxigén és a széndioxid légzési ekvivalense

Emelkedett. Oka a csökkent verővolumen, ventiláció/perfúzió aránytalanság, fokozott holttérventiláció.

Korrelál a súlyossággal és prognosztikus a mortalitásra.

VD/VT arány

Emelkedett. Oka: emelkedett légzési frekvencia, csökkent légzési térfogat, a perfúzió zavar miatti pangás, ventiláció/perfúzió aránytalanság, reflexes hiperventiláció.

A ventiláció/perfúzió aránytalanságot illetően alapjában magas V/Q aránytalanság áll fenn alacsony V/Q aránytalanság nélkül (tehát rossz a perfúzió a jól ventilált területeken). Ha intraalveoláris transzszudáció is fellép, akkor alakulnak ki rosszul ventilált területek is.

Alveolo-artériás oxigén differencia

Normális.

Arterio-végkilégzési széndioxid differencia

Emelkedett.

Anaerob küszöb

Alacsony vagy nem meghatározható. Korai a metabolikus acidózis.

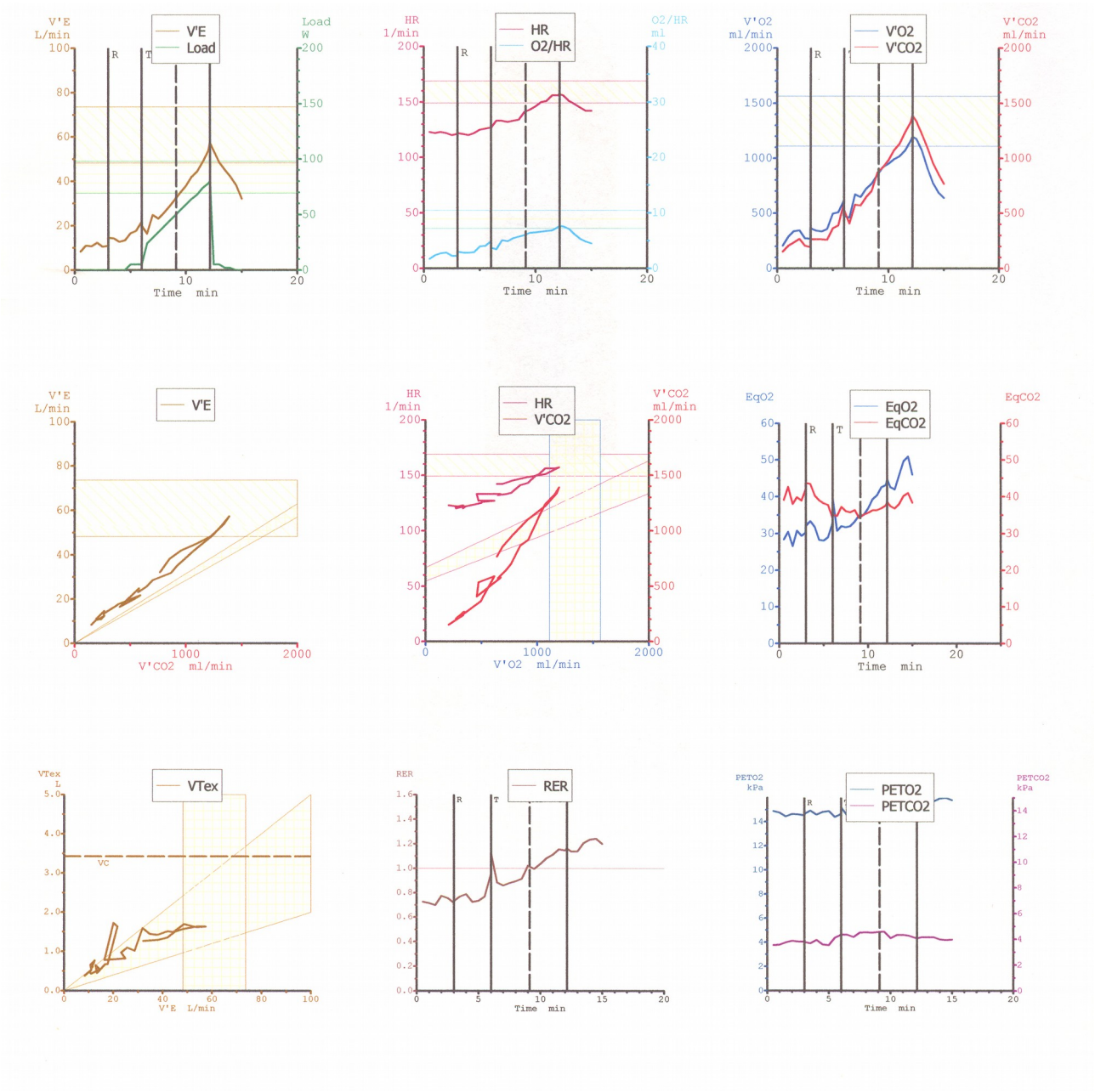
Artériás oxigén tenzió

Normális.

Artériás széndioxid tenzió

Kissé csökkent a fokozott percventiláció miatt.

66. ábra: Krónikus szívelégtelenség:



Summary		Ref.	AT Manual	Max Watts	Pred	Max 1 %pred	Recov 30 sec	Marker No. 1
Time averaging 30 Seconds								
Time	min	06:00	09:00	12:09			12:30	
Load	W	5	49	80	84	96	5	
V'E	L/min	20	32	57	61	94	54	
VTex	L	1.722	1.589	1.632			1.631	
BF	1/min	12	20	35	42	85	33	
BR	%	76	61	30	28	108	35	
V'O2	ml/min	475	848	1196	1338	89	1177	
VO2/kg	ml/min/kg	6.8	12.1	17.1			16.8	
VO2%m	%	40	71	100			98	
VO2%p	%	36	63	89			88	
HR	1/min	127	141	157	159	99	156	
O2/HR	ml	3.7	6.0	7.6	8.8	86	7.5	
HR/Vkg	1/ml/kg	18.7	11.6	9.2			9.3	
HRR	1/min	32	18	2			3	
Psys	mmHg	193	222	235			235	
Pdia	mmHg	128	159	161			161	
V'CO2	ml/min	535	866	1388			1338	
EqCO2		35.1	34.2	38.5			37.4	
EqO2		39.5	35.0	44.7			42.6	
RER		1.13	1.02	1.16			1.14	

Intrabreath

Time	VTex	BF	t-in	VTin	t-ex	FETCO2	FETO2	EELV	IC	IC%
02:59	0.531	20.4	1.47	0.603	1.47	4.20	15.61	3.28	1.99	61
05:40	2.773	9.4	1.40	1.909	4.98	5.36	14.55	2.41	2.86	119
08:40	2.780	9.8	1.45	2.169	4.68	5.60	14.76	2.27	2.99	132
11:38	1.902	25.8	1.24	2.023	1.09	4.22	17.20	2.90	2.36	81
14:46	2.780	13.3	1.31	2.112	3.21	4.71	16.74	2.41	2.86	119

Summary		AT Manual
Time averaging 30 Seconds		
V'O2/V'O2pred	%	63
V'O2/V'O2max	%	71

Summary		Resting	Ref.	AT Manual	Max Watts	Pred	Max 1 %pred
Time averaging 30 Seconds							
Time	**min**	03:00	06:00	09:00	12:09		
PETCO2	**kPa**	3.77	4.33	4.53	4.06		
PECO2	**kPa**	2.02	3.19	3.00	2.66		
PETO2	**kPa**	14.64	15.17	14.74	15.62		
PEO2	**kPa**	16.61	16.33	16.30	16.88		
Tidal volume-ex	**L**	0.547	1.722	1.589	1.632		
Rel. dead sp.-phys	**%**	0	0	0	0	19	0
Rel. dead sp.-et	**%**	26	20	26	28	19	145
Dead space-et	**ml**	144	347	412	450		
Dead space phys	**ml**	0	0	0	0		

Interpretation (Wasserman)

A csúcs oxigén felvétel itt sem kisebb. A csökkent szívfrekvencia tartalék mutatja, hogy a terhelést a vérkeringés korlátozta. Ez lehetne élettani is. De az alacsony oxigén pulzus és az ebből számolt verővolumen bizonyítja a bal kamra szisztolés funkció zavarát. A vérnyomás is megemelkedik. A normális ventilációs tartalék

pulmonális eredet ellen szól. A légzési térfogat a terheléssel alig nő, de ez beleillik a kardiális dekomopenzáció képébe (tüdőpangás okozta restrikció). A pulmonális perfúzió zavar miatt a légzési ekvivalensek magasabbak.

Pulmonális vaszkuláris betegség

Ez alatt a prékapilláris pulmonális hipertenziót és következményeit értjük. A prékapilláris pulmonális hipertenzió lehet primer és szekunder. A pulmonális vaszkuláris betegség okozta terheléses elváltozások tisztán a primer esetekben nyilvánulnak meg. A szekunder esetekben keverednek a tünetek az alapbetegség okozta terheléses elváltozásokkal. Primer pulmonális vaszkuláris betegséget okoznak a primer pulmonális hipertenzió, a tüdőembólia, krónikus tromboembóliás betegség, pulmonális vaszkulitiszek.

Csúcs oxigén fogyasztás

Csökkent.

Oxigénfogyasztás-terhelés összefüggése

A csúcs oxigén fogyasztás közelében lelapul, mivel a sziv perctérfogata, s ezáltal az oxigén fogyasztás nem képes tovább emelkedni.

Percventiláció

Emelkedése meredekebb és az adott oxigéfogyasztási szint mellett az egészségesekénél nagyobb. Ezáltal szubmaximális szinten is magas. Oka a fokozott holttérventiláció. Ugyanakkor a csúcs percventiláció alacsonyabb.

A percventiláció-széndioxid leadás meredeksége is fokozott(>25-30).

Ventilációs tartalék

Megtartott.

Légzési minta

A légzési térfogat kevésbé tud emelkedni, emiatt a légzésszám meredeken emelkedik. Utóbbiban szerepel a J-receptorok mechanikai stimulációja is.

Szívfrekvencia

A szívfrekvencia emelkedése meredekebb, szubmaximális szinten magas. Ugyanakkor a maximális szívfrekvencia normális vagy enyhén csökkent.

Szívfrekvencia tartalék

Megtartott.

Oxigén pulzus

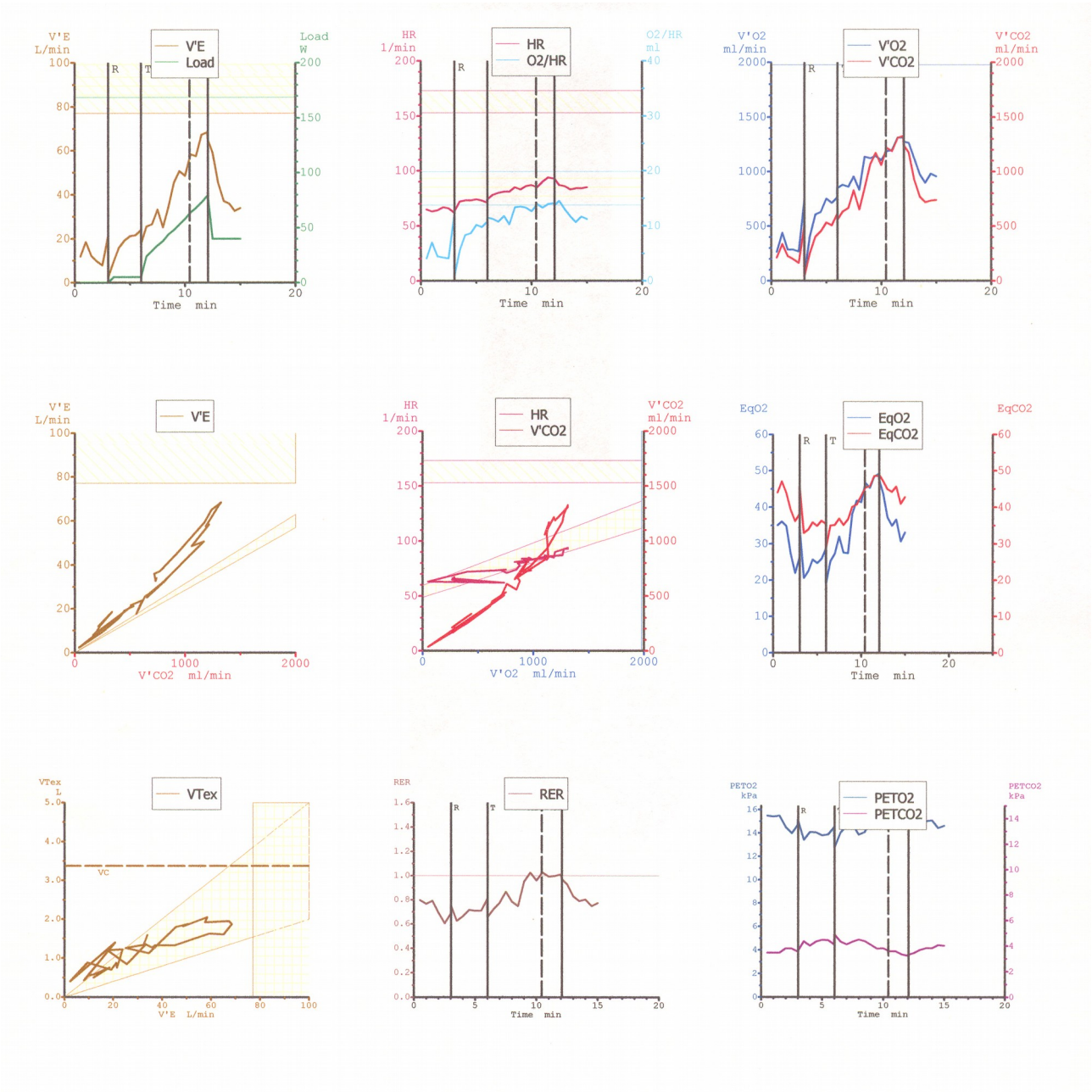
A maximális oxigén pulzus csökkent. A pulmonális érellenállás megnőtt, emiatt a jobb kamra utóterhelése fokozott, a jobb kamra s ezáltal a bal kamra verővolumene

csökkkent.
Az oxigén és a széndioxid légzési ekvivalense
Emelkedett a ventiláció/perfúzió aránytalanság miatt.
VD/VT aránya
Ugyancsak a ventiláció/perfúzió aránytalanság miatt magas.
Alveolo-artériás oxigén differencia
Magas. Oka alacsony ventiláció/perfúzió hányados és diffúzió zavar.
Arterio-alveoláris széndioxid differencia
A végkilégzési széndioxid a hiperventiláció miatt kisebb. Az arterio-alveoláris különbség a terhelés alatt pozitív. Ebben szerepet játszik a megnőtt holttérventiláció és a magas ventiláció/perfúzió hányados.
Anaerob küszöb
Alacsony vagy nem meghatározható. Korai metabolikus acidózis.
Artériás oxigén tenzió
Nyugalomban általában normális. A terhelés közben viszont hipoxémia alakul ki, sőt nemcsak az oxigén tenzió, hanem a szaturáció is lecsökken. Ez az oxigén ellátási zavar különíti el a pulmonális vaszkuláris betegséget a bal kamrai dekompenzációtól. Oka ventiláció/perfúzió aránytalanság, diffúzió zavar. Szerepel benne söntkeringés is: A foramen ovale egészségeseken is sokszor nincs letapadva, de a magasabb bal pitvari nyomás zárva tartja. Ha a pulmonális érellenállás megnő, a jobb kamra utóterhelése megnő, emiatt a jobb pitvar nyomása nagyobb lesz, meghaladja a bal pitvarét és a foramenen keresztül sönt jön létre jobbról balra. Utóbbit abból lehet felismerni, hogy a terhelés közben a végkilégzési oxigén nyomás hirtelen megnövekszik, a végkilégzési széndioxid nyomás hirtelen lecsökken.

Kronotróp inkompetencia

A sinoatriális csomó ártalma. Általában ISZB-hez társul. Az oxigén felvétellel arányosan a szívfrekvencia kellően nem emelkedik és ennek nem gyógyszeres oka van.

67. ábra: Kronotróp inkompetencia.



Summary		Ref.	AT Vslope	Max Watts	Pred	Max 1 %pred	Recov 30 sec	Marker No. 1
Time averaging 30 Seconds								
Time	min	06:00	10:30	12:00			12:30	
Load	W	5	64	79	203	39	40	
V'E	L/min	18	58	69	97	70	59	
VTex	L	1.200	2.047	1.871			1.629	
BF	1/min	15	29	37	42	88	36	
BR	%	80	33	21	28	76	32	
V'O2	ml/min	848	1186	1313	2382	55	1264	
VO2/kg	ml/min/kg	9.1	12.8	14.1			13.6	
VO2%m	%	65	90	100			96	
VO2%p	%	36	50	55			53	
HR	1/min	74	85	93	163	57	87	
O2/HR	ml	11.5	14.0	14.1	16.8	84	14.5	
HR/Vkg	1/ml/kg	8.1	6.7	6.6			6.4	
HRR	1/min	89	78	70			76	
Psys	mmHg	106	110	126			126	
Pdia	mmHg	85	83	92			92	
V'CO2	ml/min	558	1218	1327			1174	
EqCO2		28.7	45.4	48.6			47.1	
EqO2		18.8	46.6	49.1			43.8	
RER		0.66	1.03	1.01			0.93	

Intrabreath

Time	VTex	BF	t-in	VTin	t-ex	FETCO2	FETO2	EELV	IC	IC%
02:47	2.991	9.9	3.60	3.055	2.48	3.62	16.72	2.81	2.89	103
05:40	3.811	9.8	1.70	2.543	4.45	4.85	15.06	1.22	4.47	366
07:39	3.361	12.1	1.78	2.808	3.18	4.98	14.96	2.14	3.56	166
09:37	3.244	16.4	1.32	2.437	2.33	4.37	16.52	1.89	3.80	201
11:56	2.051	35.3	0.74	1.894	0.96	3.41	17.53	3.29	2.41	73
14:33	3.536	11.4	2.08	3.152	3.19	4.38	15.60	1.77	3.92	222

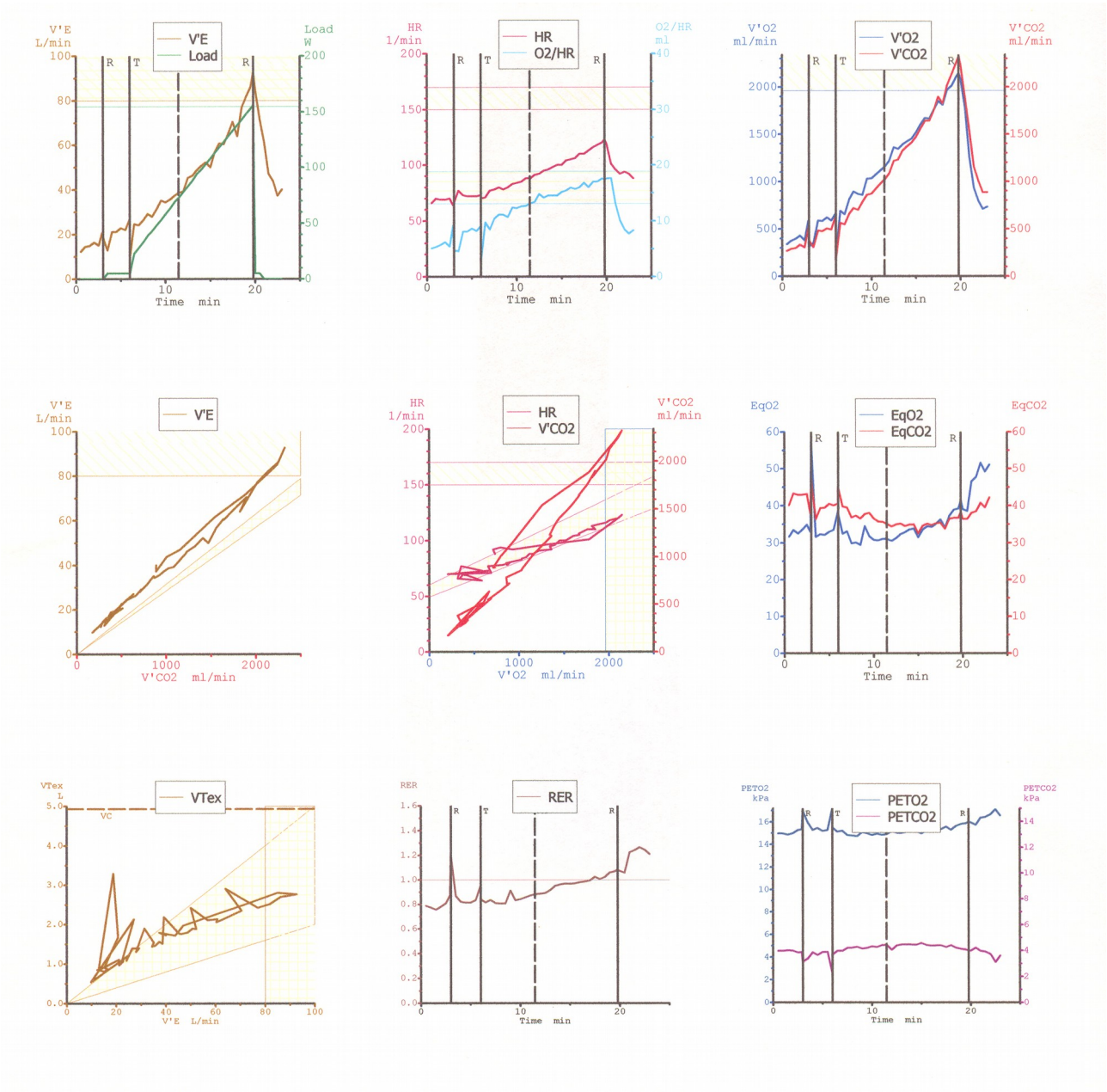
Summary		AT Vslope
Time averaging 30 Seconds		
V'O2/V'O2pred	%	50
V'O2/V'O2max	%	90

Summary		Resting	Ref.	AT Vslope	Max Watts	Pred	Max 1 %pred
Time averaging 30 Seconds							
Time	**min**	03:00	06:00	10:30	12:00		
PETCO2	**kPa**	3.60	4.90	3.58	3.24		
PECO2	**kPa**	1.73	3.58	2.25	2.07		
PETO2	**kPa**	15.14	12.75	16.00	16.32		
PEO2	**kPa**	17.20	14.31	17.12	17.32		
Tidal volume-ex	**L**	0.404	1.200	2.047	1.871		
Rel. dead sp.-phys	**%**	0	0	0	0	19	0
Rel. dead sp.-et	**%**	25	18	32	30	19	159
Dead space-et	**ml**	100	213	654	565		
Dead space phys	**ml**	0	0	0	0		

Interpretation (Wasserman)

A szívfrekvencia 74-ről csak 93/min-ra emelkedik.

68. ábra: A következő betegnél sem emelkedik kellően a szívfrekvencia. Ennek oka azonban béta-blokkoló gyógyszer szedése.



Summary		Ref.	AT Vslope	Max Watts	Pred	Max 1 %pred	Recov 30 sec	Marker No. 1
Time averaging 30 Seconds								
Time	min	06:00	11:30	19:47			20:30	
Load	W	5	73	156	186	84	5	
V'E	L/min	10	39	93	101	92	72	
VTex	L	0.540	1.507	2.769			2.505	
BF	1/min	18	26	33	42	80	29	
BR	%	90	60	5	28	18	27	
V'O2	ml/min	204	1155	2148	2366	91	1780	
VO2/kg	ml/min/kg	2.3	12.8	23.9			19.8	
VO2%m	%	10	54	100			83	
VO2%p	%	9	49	91			75	
HR	1/min	70	88	123	160	77	101	
O2/HR	ml	2.9	13.1	17.5	16.0	109	17.6	
HR/Vkg	1/ml/kg	30.9	6.9	5.2			5.1	
HRR	1/min	90	72	37			59	
Psys	mmHg	113	145	192			192	
Pdia	mmHg	88	71	97			97	
V'CO2	ml/min	172	1021	2324			1885	
EqCO2		44.9	35.0	38.3			36.4	
EqO2		37.8	31.0	41.5			38.5	
RER		0.84	0.88	1.08			1.06	

Intrabreath

Time	VTex	BF	t-in	VTin	t-ex	FETCO2	FETO2	EELV	IC	IC%
02:54	5.174	7.2	2.11	4.068	6.22	4.19	16.26	1.21	6.17	509
06:00	0.540	18.0	1.45	0.598	1.89	3.91	16.45	1.78	5.60	314
09:00	1.126	17.6	2.20	1.532	1.21	4.95	14.68	2.22	5.16	232
11:47	9.284	6.6	6.00	5.854	3.08	4.48	16.24	0.83	6.55	789
14:42	4.655	11.2	1.09	4.876	4.26	5.12	15.65	0.22	7.16	3255
17:45	4.892	8.9	1.15	4.827	5.56	6.14	14.20	-0.62	8.00	-1290
22:35	5.137	10.2	4.52	1.307	1.35	3.70	17.83	1.44	5.94	412

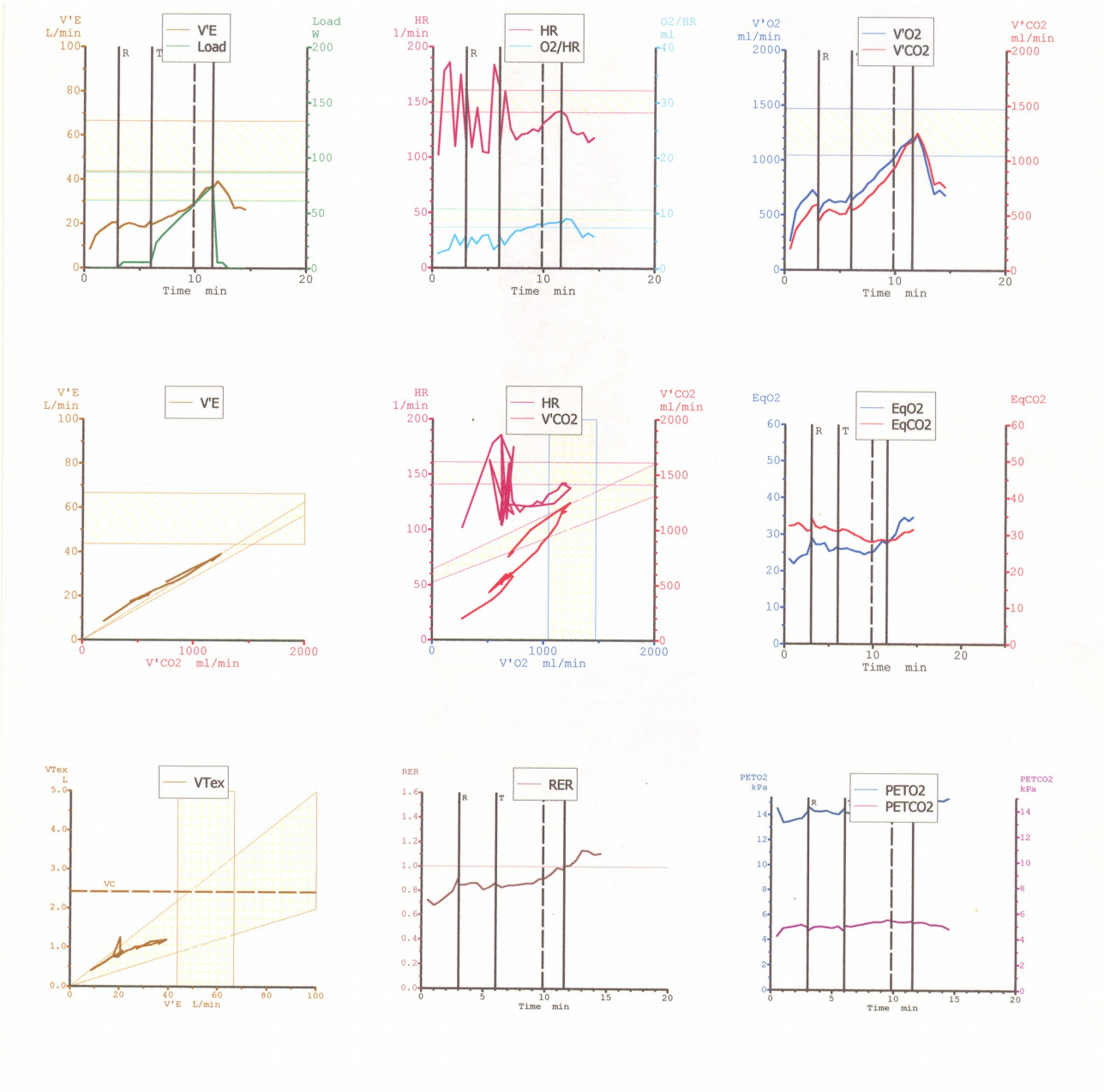
Summary		AT Vslope
Time averaging 30 Seconds		
V'O2/V'O2pred	%	49
V'O2/V'O2max	%	54

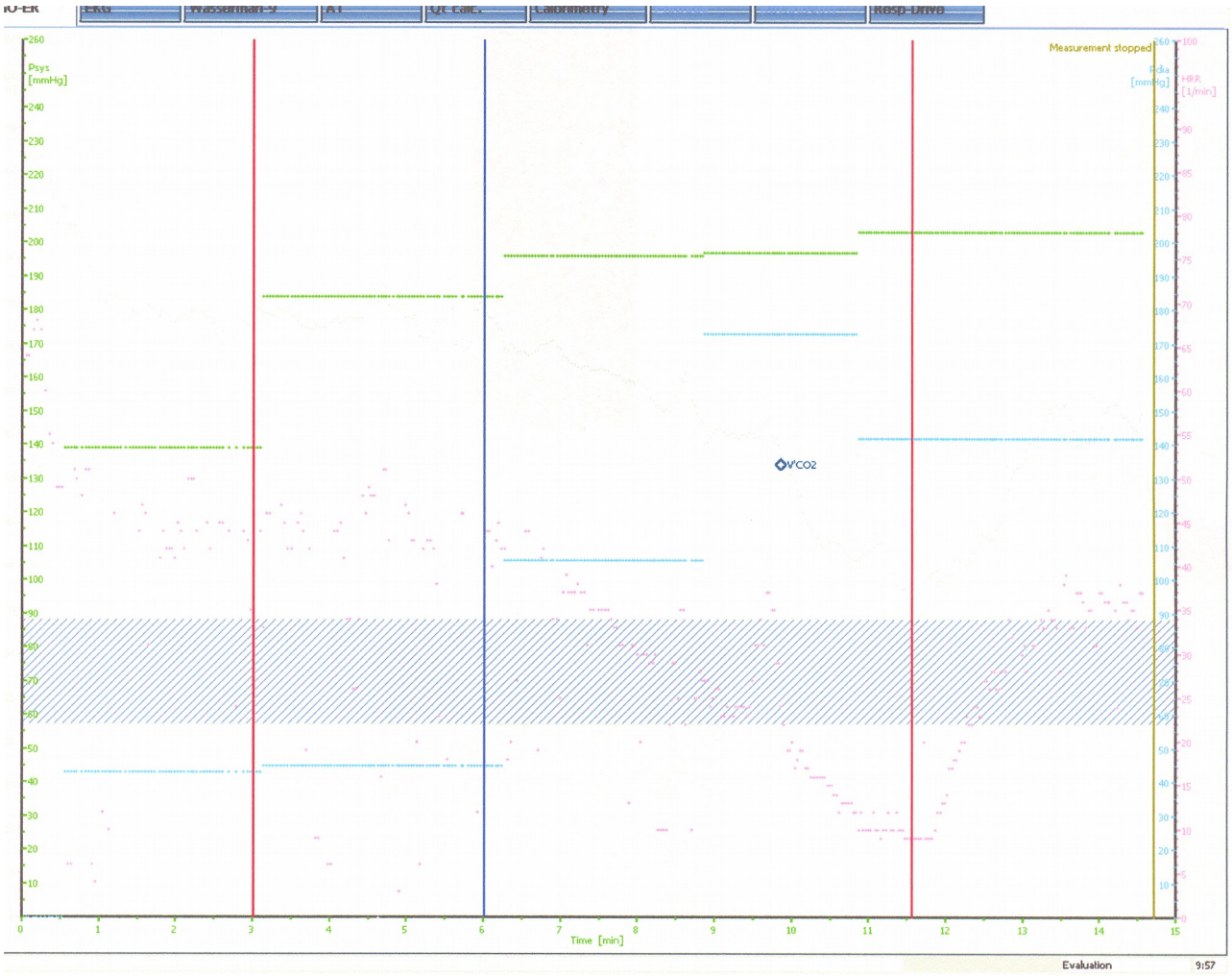
Summary		Resting	Ref.	AT Vslope	Max Watts	Pred	Max 1 %pred
Time averaging 30 Seconds							
Time	**min**	03:00	06:00	11:30	19:47		
PETCO2	**kPa**	3.13	3.68	4.43	3.98		
PECO2	**kPa**	2.51	2.57	3.01	2.70		
PETO2	**kPa**	16.97	15.49	14.92	16.00		
PEO2	**kPa**	17.37	16.56	16.24	16.84		
Tidal volume-ex	**L**	3.295	0.540	1.507	2.769		
Rel. dead sp.-phys	**%**	0	0	0	0	19	0
Rel. dead sp.-et	**%**	16	10	25	28	19	149
Dead space-et	**ml**	543	52	371	781		
Dead space phys	**ml**	0	0	0	0		

Hipertónia

Csúcs oxigén fogyasztás
Gyakran csökkent. Kezdetben hiperkinetikus keringés áll fenn. Később emelkedik a perifériás ellenállás, csökken a verővolumen. Ha a bal kamra hipertrófiája kialakul, akkor csökken a diasztolés telődés, diasztolés funkciózavar alakul ki normális szisztolés funkció mellett.
Szívfrekvencia
A szívfrekvencia-oxigén fogyasztás összefüggés meredeksége fokozott. A csúcs szívfrekvencia csökkent.
Szívfrekvencia tartalék
Megtartott.
Oxigén pulzus
Csökkent (ha a hypertonia már elért a kisebb verővolumen stádiumáig).
Vérnyomás
Kezeletlen esetben a szisztolés nyomás 200 Hgmm fölé emelkedik a terhelés alatt. A diasztolés 110 Hgmm fölé (a nyugalmihoz képest több mint 15 Hgmm-el nő).
Kezelt esetben a gyógyszer fajtától függően módosul a reakció. A vérnyomás emelkedés csökken vagy elmarad. Vagy pl.béta-blokkoló csökkenti a szívfrekvencia emelkedését.
Anaerob küszöb
Alacsony.

69. ábra: Hipertóniás beteg:




Psys
[mmHg]
Measurement stopped
Pdia
[mmHg]
HRR
[1/min]
V'CO2
Time [min]
Evaluation
9:57

Summary		Ref.	AT Vslope	Max Watts	Pred	Max 1 %pred	Recov 30 sec	Marker No. 1
Time averaging 30 Seconds								
Time	min	06:00	10:00	11:30			12:00	
Load	W	5	59	74	74	100	5	
V'E	L/min	19	30	37	55	66	39	
VTex	L	0.740	1.029	1.157			1.193	
BF	1/min	26	29	32	42	76	33	
BR	%	69	53	41	28	147	37	
V'O2	ml/min	634	1041	1201	1258	95	1239	
VO2/kg	ml/min/kg	7.9	13.0	15.0			15.5	
VO2%m	%	51	84	97			-	
VO2%p	%	50	83	95			99	
HR	1/min.	107	132	142	151	94	138	
O2/HR	ml	5.9	7.9	8.5	9.0	94	9.0	
HR/Vkg	1/ml/kg	13.5	10.1	9.5			8.9	
HRR	1/min	44	19	9			13	
Psys	mmHg	184	197	203			203	
Pdia	mmHg	45	173	142			142	
V'CO2	ml/min	541	941	1168			1248	
EqCO2		30.7	28.0	28.4			28.6	
EqO2		26.2	25.3	27.6			28.8	
RER		0.85	0.90	0.97			1.01	

Intrabreath

Time	VTex	BF	t-in	VTin	t-ex	FETCO2	FETO2	EELV	IC	IC%
02:47	2.051	10.3	2.63	2.697	3.21	5.24	15.19	1.01	3.37	333
05:59	0.824	23.8	1.15	1.001	1.37	5.33	15.07	1.89	2.49	132
08:42	2.159	12.4	1.70	2.354	3.14	5.93	14.21	0.83	3.56	428
11:40	1.661	26.1	1.16	2.153	1.14	5.30	15.83	1.91	2.48	130
14:11	2.031	14.3	1.45	1.674	2.76	5.93	15.29	1.01	3.37	333

Summary		AT Vslope
Time averaging 30 Seconds		
V'O2/V'O2pred	%	83
V'O2/V'O2max	%	84

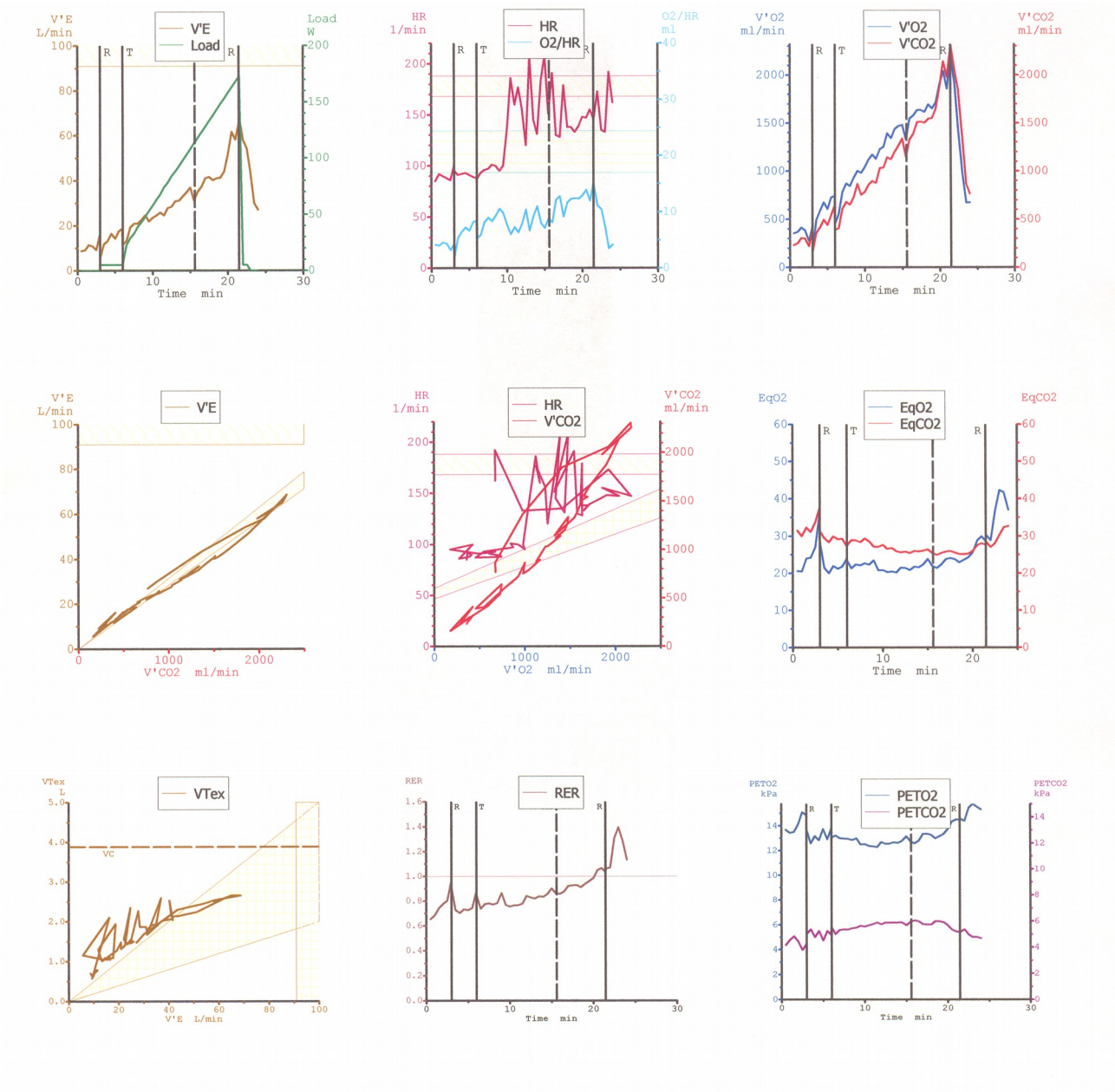
Summary		Resting	Ref.	AT Vslope	Max Watts	Pred	Max 1 %pred
Time averaging 30 Seconds							
Time	**min**	03:00	06:00	10:00	11:30		
PETCO2	**kPa**	4.59	5.02	5.38	5.39		
PECO2	**kPa**	3.31	3.27	3.76	3.75		
PETO2	**kPa**	14.66	14.22	13.96	14.31		
PEO2	**kPa**	15.93	15.96	15.54	15.76		
Tidal volume-ex	**L**	0.753	0.740	1.029	1.157		
Rel. dead sp.-phys	**%**	0	0	0	0	19	0
Rel. dead sp.-et	**%**	13	20	19	21	19	110
Dead space-et	**ml**	100	148	196	242		
Dead space phys	**ml**	0	0	0	0		

Terhelés közben a vérnyomás 80/45-ről 200/140 Hgmm-re emelkedik. A szívfrekvencia tartalék csökkent, a ventilációs tartalék megtartott. A kisebb oxigén pulzus beleillik a hypertonia képébe.

Perifériás verőérbetegség

Csúcs oxigén fogyasztás
Kisebb.
Oxigénfogyasztás meredeksége
Kevésbbé meredek: A szűkebb artériák miatt a fokozott szükségletnek az oxigén ellátás csak lassabban tud eleget tenni.
Széndioxid leadás meredeksége
Szintén lelapult, ellentétben egyéb kardiovaszkuláris betegségekkel. Ennek az az oka ,hogy az izmokban csökkent a perfúzió, ezáltal a laktát a centrális keringésbe relatíve lassabban jut el. Ezért lassúbb lesz a bikarbonát pufferelés és az ezt kompenzáló széndioxid kilégzés is.
Ventilációs tartalék
Megtartott, hiszen nincs ventilációs korlátozottság.
Szívfrekvencia tartalék
Megtartott, mivel a beteg előbb kényszerül a terhelés abbahagyására, mielőtt elérte volna a maximális szívfrekvenciát.
Oxigén pulzus
Normális.
Széndioxid légzési ekvivalense
Normális.
Alveolo-artériás oxigén differencia,arterio-végkilégzési széndioxid differencia,VD/VT
Normálisak, mivel nincs ventiláció/perfúzió aránytalanság.
Anaerob küszöb
Csökkent vagy nem meghatározható. Az isémiás izmok oxigén ellátása alacsony, ezért korán átmegy anaerob glikolizisbe az anyagcsere.
Vérnyomás
A terhelés alatt hipertónia lép fel, mert az erek nem tudnak értágulattal reagálni a fokozott perfúziós szükségletre.
Lábfájdalom
Jellegzetes a terhelés alatt fellépő lábizom fájdalom.
Hematokrit
Normális. Elkülöníti, hogy az elégtelen perfúzió és nem az elégtelen hemoglobin tartalom okozza az oxigén ellátási zavart.

70. ábra: Perifériás verőérbetegség



Summary		Ref.	AT Vslope	Max Watts	Pred	Max 1 %pred	Recov 30 sec	Marker No. 1
Time averaging 30 Seconds								
Time	min	06:00	15:30	21:25			22:00	
Load	W	5	113	172	290	59	5	
V'E	L/min	12	31	65	115	57	58	
VTex	L	1.299	1.672	2.662			2.538	
BF	1/min	9	19	24	42	59	23	
BR	%	89	72	41	28	148	48	
V'O2	ml/min	456	1330	2177	2978	73	1926	
VO2/kg	ml/min/kg	4.3	12.7	20.7			18.3	
VO2%m	%	21	61	100			88	
VO2%p	%	15	45	73			65	
HR	1/min	87	151	147	178	83	173	
O2/HR	ml	5.2	8.8	14.8	20.7	72	11.1	
HR/Vkg	1/ml/kg	20.0	11.9	7.1			9.4	
HRR	1/min	91	27	31			5	
Psys	mmHg	100	139	163			163	
Pdia	mmHg	85	118	93			93	
V'CO2	ml/min	390	1147	2256			2059	
EqCO2		27.4	25.4	27.7			27.0	
EqO2		23.5	21.9	28.7			28.9	
RER		0.86	0.86	1.04			1.07	

Intrabreath

Time	VTex	BF	t-in	VTin	t-ex	FETCO2	FETO2	EELV	IC	IC%
02:47	4.377	7.0	4.14	4.787	4.39	4.19	16.35	0.52	5.41	1044
05:45	3.819	5.6	1.65	1.228	9.08	5.28	14.70	-0.17	6.09	-3603
08:43	4.257	7.1	3.72	5.242	4.79	5.70	14.14	0.82	5.10	622
11:44	3.816	7.5	3.07	4.785	4.94	6.03	13.68	0.75	5.18	693
14:44	4.326	8.8	2.39	4.006	4.42	6.42	13.31	0.47	5.45	1160
17:47	4.689	7.3	2.65	4.590	5.58	6.38	13.37	-1.24	7.16	-579
20:44	4.214	10.7	1.06	4.256	4.53	6.17	14.65	-2.08	8.00	-385
24:06	4.284	9.7	1.50	4.544	4.70	4.45	16.95	0.90	5.02	558

Summary		AT Vslope
Time averaging 30 Seconds		
V'O2/V'O2pred	%	45
V'O2/V'O2max	%	61

Summary		Resting	Ref.	AT Vslope	Max Watts	Pred	Max 1 %pred
Time averaging 30 Seconds							
Time	**min**	03:00	06:00	15:30	21:25		
PETCO2	**kPa**	5.01	5.54	5.94	5.16		
PECO2	**kPa**	3.22	3.57	3.92	3.62		
PETO2	**kPa**	13.68	13.03	12.73	14.45		
PEO2	**kPa**	15.55	14.77	14.43	15.30		
Tidal volume-ex	**L**	1.152	1.299	1.672	2.662		
Rel. dead sp.-phys	**%**	0	0	0	0	19	0
Rel. dead sp.-et	**%**	26	27	27	25	19	134
Dead space-et	**ml**	302	351	459	677		
Dead space phys	**ml**	0	0	0	0		

A csúcs oxigén felvétel és percventiláció kisebb. Egyedüli eltérés az alacsony anaerob küszöb és a terhelés közben fellépett láb izomfájdalom. Ez perifériás érbetegséget valószinűsít.

Anémia

Csúcs oxigén felvétel
Érthető módon csökkent, hiszen a vér nem tud elég oxigént szállítani.
Oxigén felvétel meredeksége
Csökkent.
Ventilációs tartalék
Megtartott.
Szívfrekvencia
A szívfrekvencia emelkedése meredekebb, mivel a kicsi oxigén tartalom miatt nagyobb percvolumen szükséges az oxigén ellátáshoz. Emiatt szubmaximális szinten a szívfrekvencia magas.
Szívfrekvencia tartalék
Megtartott.
Oxigén pulzus
A maximális oxigén pulzus csökkent, mivel a kisebb oxigén tartalom miatt a maximálisan elérhető oxigén extrakció csökkent.
Széndioxid légzési ekvivalense
Normális.
Alveolo-artériás oxigén differencia,arterio-végkilégzési széndioxid differencia, VD/VT
Normális, mivel nincs ventiláció/perfúzió aránytalanság.
Anaerob küszöb
Csökkent vagy nem meghatározható: A csökkent oxigén ellátás miatt hamar lép fel az anaerob anyagcsere.
Artériás oxigén tenzió
Normális.
Hematokrit
Bizonyítja az anémiát.

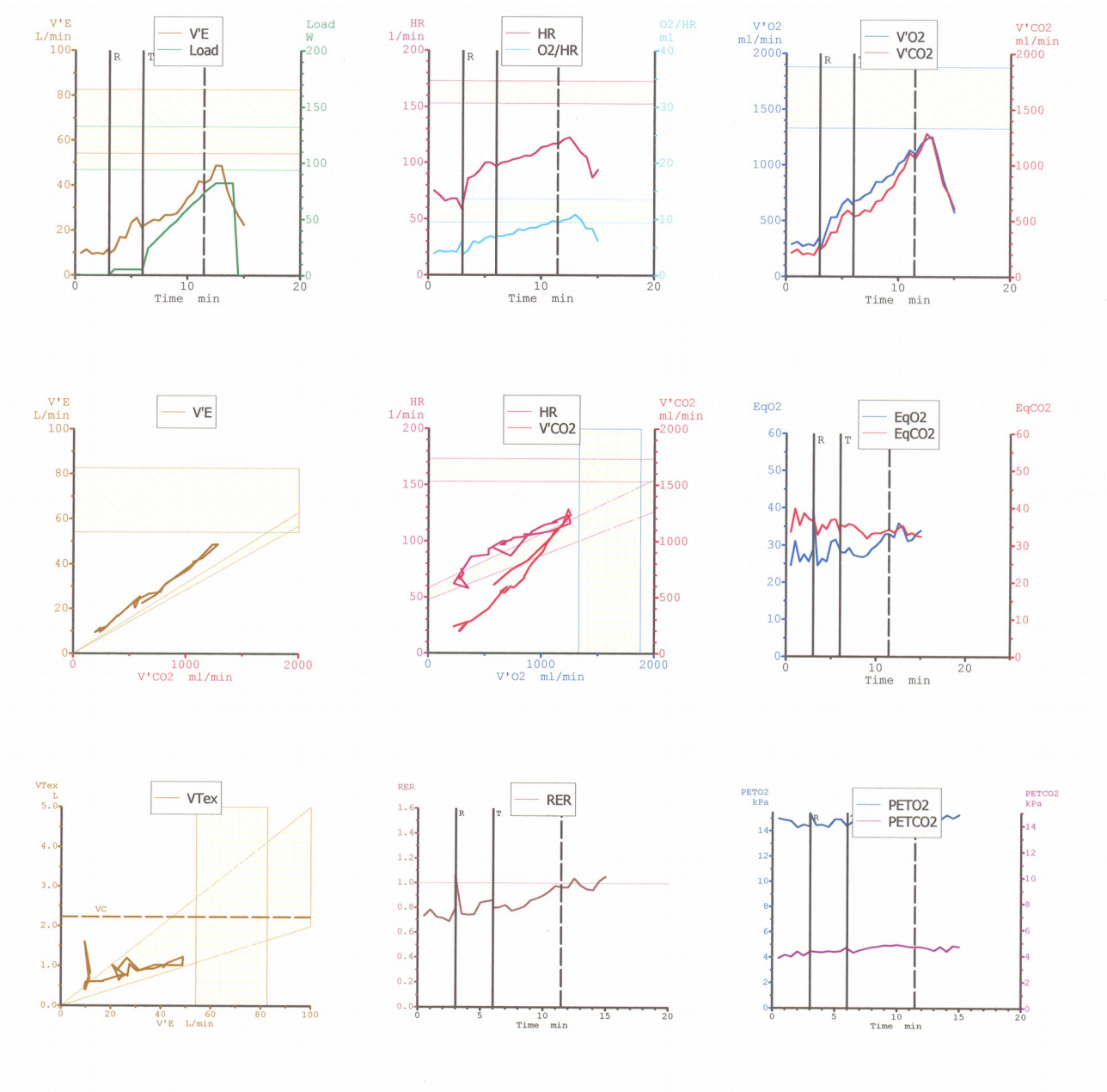
Karboxihemoglobinémia

A hemoglobin affinitása a szénmonoxidhoz több mint 200-szorosa az oxigén affinitásának. Dohányosokon akár a hemoglobin 10%-a is karboxihemoglobin lehet. Utóbbi csökkenti a vér oxigén szállító képességét, ezért az anémiához hasonló szituációt teremt.

Obesitas

Csúcs oxigén felvétel
Testsúlykg-ra vonatkoztatva kisebb (ideális testsúlyra számítva normális).
Nyugalmi oxigén felvétel
Magasabb a nehezebb láb mozgatás miatt.
Oxigén felvétel meredeksége
Meredekebb, mert a nagyobb tömeg mozgatása miatt gyorsabban emelkedik az oxigén szükséglet.
Percventiláció
A percventiláció a terheléssel a normálisnál meredekebben emelkedik, hiszen a nagyobb testtömeg miatt azonos teljesítményhez nagyobb ventiláció szükséges. Ugyanakkor a percventiláció-széndioxid leadás összefüggés meredeksége normális .
Ventilációs tartalék
Csökkent a mellkasfal nagyobb tömege és a magasabb hasi nyomás (nehezített rekeszizom mozgás)miatt.
Légzési minta
Az elhízott szövetek nehezebb mozgatása miatt a légzési térfogat kevésbbé, a légzési frekvencia gyorsabban emelkedik.
Áramlás-volumen görbe
Alacsony tüdőtérfogatnál előfordulhat kilégzési áramlás limitálás.
Szívfrekvencia tartalék
Kicsi.
Szívfrekvencia
A nagyobb testtömeg miatt adott terhelési szintnél nagyobb az oxigén szükséglet, amit nagyobb percvolumen elégít ki. Utóbbit a magasabb szívfrekvencia biztosítja. Ezért a szívfrekvencia szubmaximális szinten magas. A csúcs szívfrekvencia ugyanakkor normális vagy kissé csökkent.
Oxigén pulzus
Normális.
Széndioxid légzési ekvivalense
Normális.
Alveolo-artériás oxigén differencia
Nyugalomban csökkent vagy normális. A csökkenést a merevebb tüdő és mellkasfal, bazális atelektáziák okozzák. Terhelés közben utóbbiak megszűnve az érték normalizálódik.
Arterio-végkilégzési széndioxid differencia
Normális.
VD/VT
Normális.
Artériás oxigén tenzió
Nyugalomban lehet kisebb, de terhelés közben normalizálódik (Mechanizmusát lásd az alveolo-artériás oxigén differenciánál).

71. ábra: Obesitas



Summary		Ref.	AT Manual	Max Watts	Pred	Max 1 %pred	Recov 30 sec	Marker No. 1
Time averaging 30 Seconds								
Time	min	06:00	11:30	13:00				
Load	W	5	74	82	113	73		
V'E	L/min	22	41	49	68	71		
VTex	L	0.881	0.958	1.017				
BF	1/min	25	43	48	42	115		
BR	%	59	24	9	28	34		
V'O2	ml/min	676	1099	1257	1606	78		
VO2/kg	ml/min/kg	6.8	11.0	12.6				
VO2%m	%	54	87	100				
VO2%p	%	42	68	78				
HR	1/min	97	117	116	163	71		
O2/HR	ml	7.0	9.4	10.8	11.5	94		
HR/Vkg	1/ml/kg	14.4	10.6	9.2				
HRR	1/min	66	46	47				
Psys	mmHg	111	149	149				
Pdia	mmHg	84	42	42				
V'CO2	ml/min	539	1062	1233				
EqCO2		35.5	34.2	35.2				
EqO2		28.3	33.1	34.6				
RER		0.80	0.97	0.98				

Intrabreath

Time	VTex	BF	t-in	VTin	t-ex	FETCO2	FETO2	EELV	IC	IC%
02:50	2.184	6.0	2.33	2.367	7.72	5.34	14.54	0.50	3.57	717
05:40	2.293	10.8	2.27	2.790	3.27	4.78	15.72	0.73	3.34	460
08:41	2.236	10.8	1.41	2.446	4.17	5.89	14.23	-0.04	4.11	-11472
11:41	2.440	13.3	1.46	2.793	3.04	5.81	15.03	-2.02	6.09	-301
14:29	1.988	8.0	2.76	2.548	4.70	5.61	15.68	0.88	3.19	363

Summary		AT Manual
Time averaging 30 Seconds		
V'O2/V'O2pred	%	68
V'O2/V'O2max	%	87

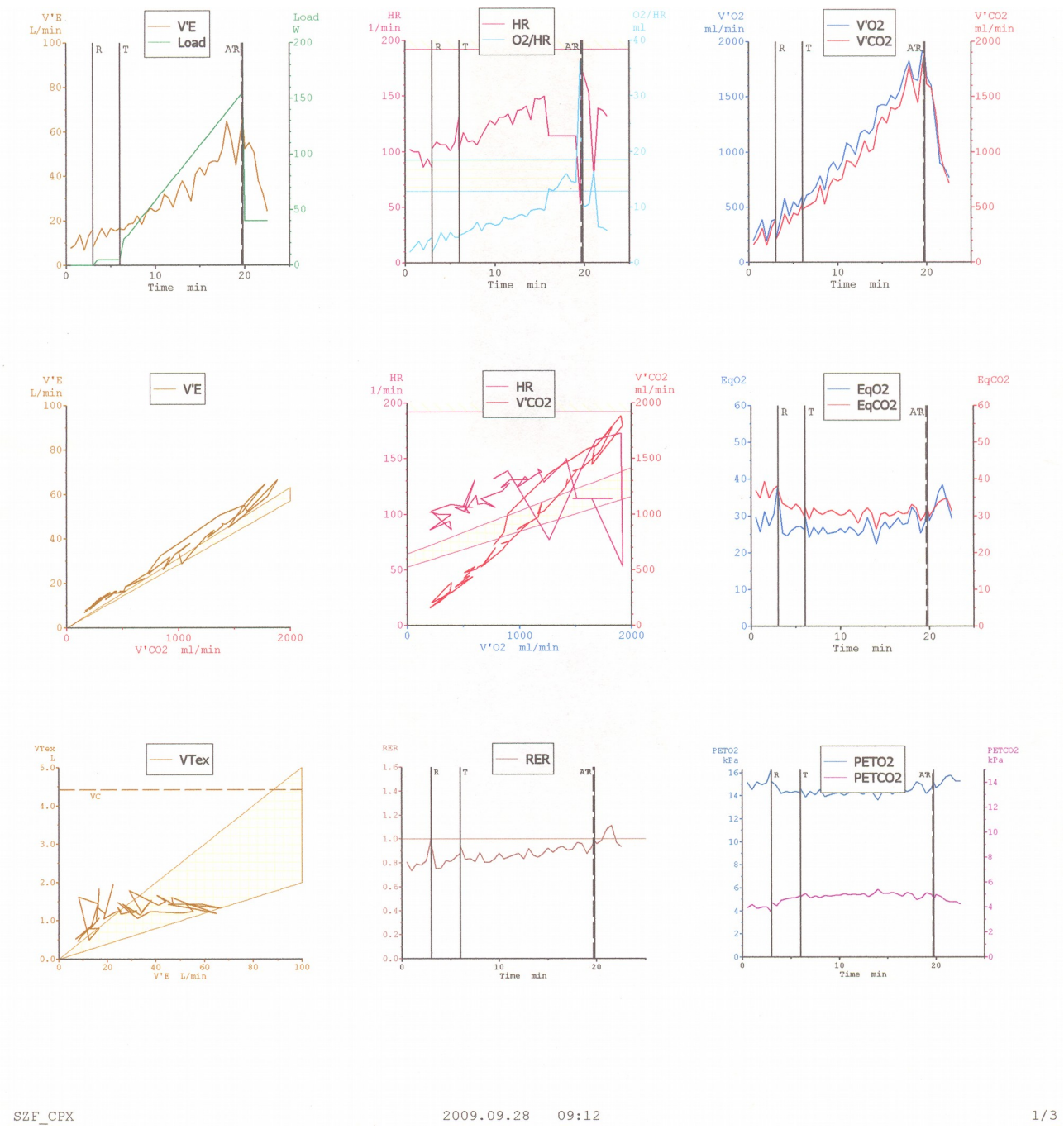
Summary		Resting	Ref.	AT Manual	Max Watts	Pred	Max 1 %pred
Time averaging 30 Seconds							
Time	**min**	03:00	06:00	11:30	13:00		
PETCO2	**kPa**	4.34	4.55	4.67	4.40		
PECO2	**kPa**	3.03	2.74	2.66	2.55		
PETO2	**kPa**	15.42	14.43	15.03	15.33		
PEO2	**kPa**	16.37	15.86	16.34	16.44		
Tidal volume-ex	**L**	1.606	0.881	0.958	1.017		
Rel. dead sp.-phys	**%**	0	0	0	0	19	0
Rel. dead sp.-et	**%**	23	27	32	31	19	163
Dead space-et	**ml**	374	240	307	314		
Dead space phys	**ml**	0	0	0	0		

A csúcs oxigén felvétel és percventiláció csökkent. Az oxigén felvétel a terheléssel meredekebben emelkedik. A BMI magas. A ventilációs tartalék csökkent. A légzési térfogat alig emelkedik. Ugyanakkor a szívfrekvencia tartalék, oxigén pulzus, a légzési ekvivalensek normálisak.

Mellkasfali elváltozások

A kóros mellkasfal mozgás és légzőizom gyengeség restriktív ventilációs zavart eredményez.
Csúcs oxigén felvétel
Kisebb.
Oxigén felvétel meredeksége
Normális
Percventiláció
A laktát acidózis ventilációs kompenzációja zavart a légzésmechanika miatt.
Ventilációs tartalék
Csökkent.
Légzési minta
A restrikció miat a légzési térfogat kellően nem tud emelkedni, ezért a légzési frekvencia szaporításával kompenzál.
A VT/IC nagyobb.
Szívfrekvencia tartalék
Normális.
Alveolo-artériás oxigén differencia, arterio-végkilégzési széndioxid differencia,V D/VT
Normális, mivel nincs a tüdőben gázcsere zavar.
Artériás oxigén tenzió
Normális.

72. ábra: Mellkasfali elváltozás



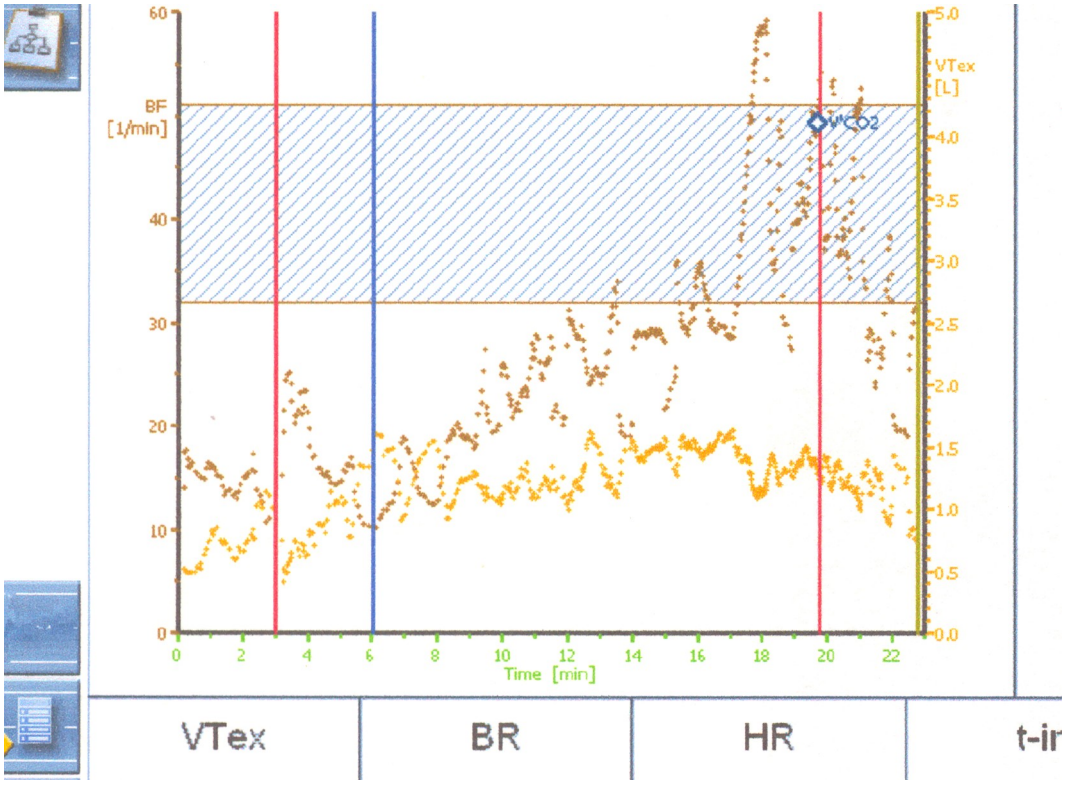
Summary		Ref.	AT Vslope	Max Watts	Pred	Max 1 %pred	Recov 30 sec	Marker No. 1
Time averaging 30 Seconds								
Time	min	06:00	19:45	19:30			20:30	
Load	W	5	156	153	258	59	40	
V'E	L/min	16	67	59	134	44	55	
VTex	L	1.659	1.328	1.428			1.247	
BF	1/min	10	50	41	42	100	44	
BR	%	73	-	5	28	16	11	
V'O2	ml/min	505	1906	1922	3344	57	1607	
VO2/kg	ml/min/kg	7.0	26.5	26.7			22.3	
VO2%m	%	26	99	100			84	
VO2%p	%	15	57	57			48	
HR	1/min	102	173	53	202	26	153	
O2/HR	ml	5.0	11.0	36.3	15.7	231	10.5	
HR/Vkg	1/ml/kg	14.5	6.5	2.0			6.9	
HRR	1/min	100	29	149			49	
Psys	mmHg	97	127	127			127	
Pdia	mmHg	74	77	77			77	
V'CO2	ml/min	474	1885	1794			1586	
EqCO2		32.5	32.4	30.5			31.8	
EqO2		30.5	32.1	28.4			31.4	
RER		0.94	0.99	0.93			0.99	

Intrabreath

Time	VTex	BF	t-in	VTin	t-ex	FETCO2	FETO2	EELV	IC	IC%
02:41	4.047	7.5	2.10	1.446	5.89	4.47	16.05	2.94	3.13	107
05:41	4.142	7.2	2.84	1.780	5.48	5.19	14.83	2.87	3.19	111
07:40	4.259	9.6	2.10	1.937	4.14	4.32	15.89	2.75	3.31	120
09:38	4.104	10.0	1.85	1.808	4.18	5.48	14.77	2.63	3.44	131
11:41	4.085	9.9	1.87	1.728	4.17	5.02	15.22	3.24	2.82	87
13:44	5.114	8.7	1.92	1.838	4.99	5.45	14.50	1.90	4.17	220
15:09	4.954	9.7	2.08	1.967	4.10	5.10	15.15	1.53	4.53	296
16:57	1.947	25.3	1.08	1.630	1.29	5.57	15.11	3.39	2.67	79
18:43	3.824	10.5	1.66	1.988	4.04	6.01	14.08	3.21	2.86	89
22:12	3.568	8.9	1.61	1.779	5.14	3.94	16.52	2.94	3.13	107

Summary		AT Vslope
Time averaging 30 Seconds		
V'O2/V'O2pred	%	57
V'O2/V'O2max	%	99

Summary		Resting	Ref.	AT Vslope	Max Watts	Pred	Max 1 %pred
Time averaging 30 Seconds							
Time	**min**	03:00	06:00	19:45	19:30		
PETCO2	**kPa**	4.39	4.86	4.68	5.02		
PECO2	**kPa**	2.54	2.92	2.73	2.99		
PETO2	**kPa**	15.26	14.62	15.21	14.63		
PEO2	**kPa**	16.53	15.95	16.13	15.74		
Tidal volume-ex	**L**	1.623	1.659	1.328	1.428		
Rel. dead sp.-phys	**%**	0	0	0	0	21	0
Rel. dead sp.-et	**%**	35	33	33	33	21	155
Dead space-et	**ml**	575	553	441	464		
Dead space phys	**ml**	0	0	0	0		



A csúcs oxigén fogyasztás és a percventiláció csökkent. A szívfrekvencia tartalék megtartott, ellenben a ventilációs tartalék kisebb,t ehát légzési eredetű a korlátozás. A légzési volumen nem emelkedik, tehát restriktív zavar áll fenn. Gázcsere zavar nincs. A magyarázat pectus excavatum.

Krónikus metabolikus acidózis

Pl.veseelégtelenség,diabetes.

Percventiláció-széndioxid összefüggés
A hiperventiláció miatt meredekebb. Alakja hiperbóla, azaz a terheléssel a meredekség egyre nő, a hiperventiláció fokozódik.
Ventilációs tartalék
Csökkent.
Alveolo-artériás oxigén differencia, arterio-végkilégzési széndioxid differencia, VD/VT
Normális.
Bikarbonát
Csökkent.
Anaerob küszöb
Alacsony.
Artériás széndioxid tenzió
Kisebb a hiperventiláció miatt.

Izomanyagcsere betegségei

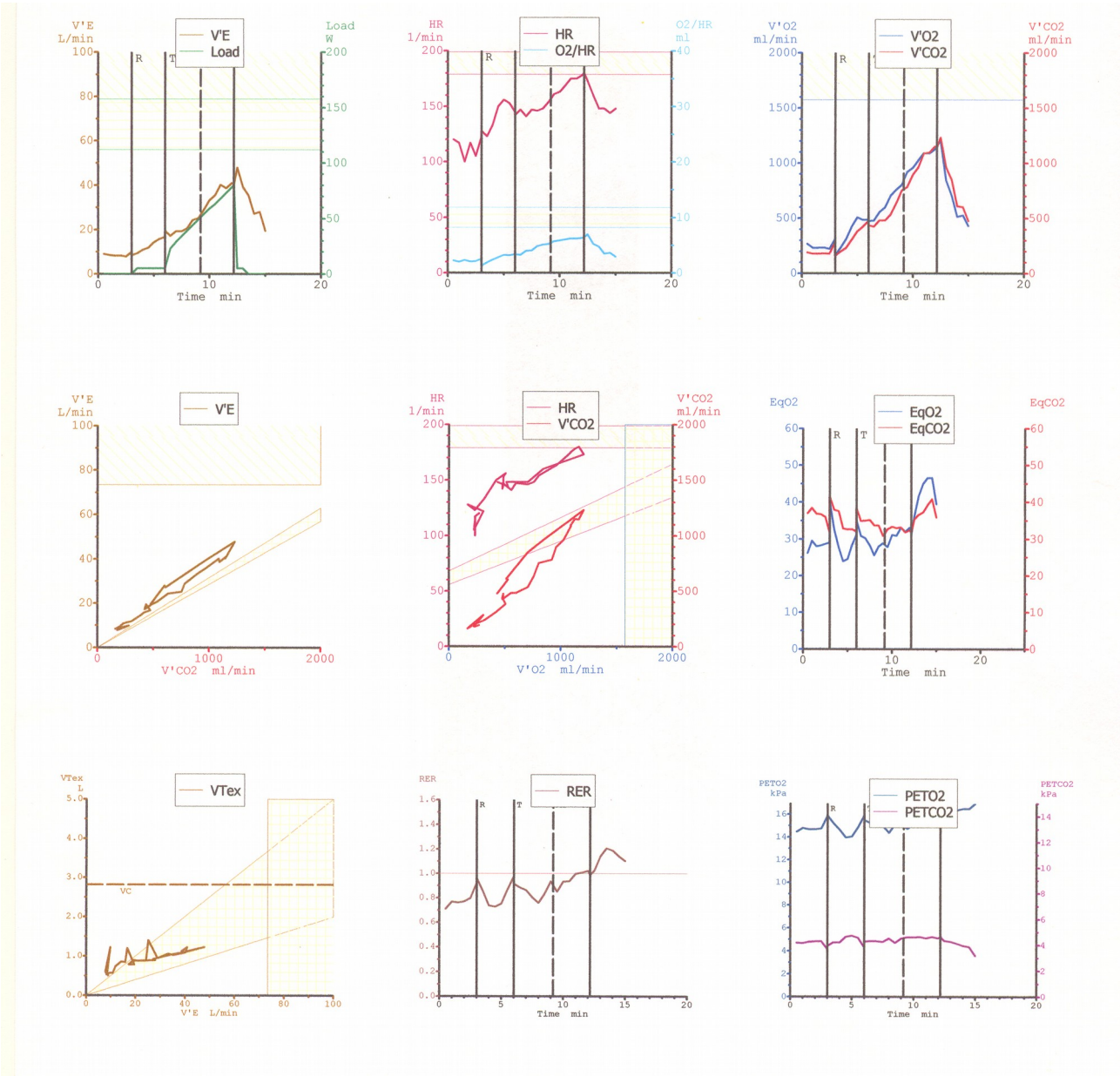
Glikolitikus enzimek defektusa

Csúcs oxigén felvétel
Kisebb.
Oxigén felvétel meredeksége
Normális addig a szintig, amíg a jellemző izomfájdalom fel nem lép.
Ventilációs válasz
Normális.
Szívfrekvencia
Magasabb, mint ami az adott oxigén felvételnek megfelelne.
Anaerob küszöb
Nem határozható meg, mivel károsodott a glikolizis.

A mitochondriumok elektron transzport defektusa

Csúcs oxigén felvétel
Kisebb.
Anaerob küszöb
Csökkent, korai a metabolikus acidózis.
Gázcsere rendellenességek
Nem kellően tisztázottak.

73. ábra: Izomgyengeség



Summary		Ref.	AT Vslope	Max Watts	Pred	Max 1 %pred	Recov 30 sec	Marker No. 1
Time averaging 30 Seconds								
Time	min	06:00	09:00	12:10			12:30	
Load	W	5	49	80	135	59	5	
V'E	L/min	20	25	40	93	43	48	
VTex	L	0.780	1.402	1.115			1.230	
BF	1/min	25	18	36	42	87	39	
BR	%	76	70	51	28	183	42	
V'O2	ml/min	477	804	1160	1898	61	1204	
VO2/kg	ml/min/kg	7.3	12.4	17.8			18.5	
VO2%m	%	40	67	96			100	
VO2%p	%	25	42	61			63	
HR	1/min	142	154	180	189	95	173	
O2/HR	ml	3.4	5.2	6.4	10.0	64	7.0	
HR/Vkg	1/ml/kg	19.4	12.5	10.1			9.3	
HRR	1/min	47	35	9			16	
Psys	mmHg	91	124	134			134	
Pdia	mmHg	66	73	89			89	
V'CO2	ml/min	436	752	1146			1231	
EqCO2		38.4	30.9	31.7			35.4	
EqO2		35.1	28.9	31.3			36.2	
RER		0.92	0.94	0.99			1.02	

Intrabreath

Time	VTex	BF	t-in	VTin	t-ex	FETCO2	FETO2	EELV	IC	IC%
02:42	2.659	6.2	2.97	1.885	6.77	4.93	15.31	0.95	3.39	358
05:41	2.730	8.0	2.06	2.083	5.45	4.91	15.83	1.33	3.01	227
08:50	2.870	9.6	1.67	1.839	4.61	5.44	15.15	1.02	3.31	324
11:41	2.081	11.9	1.73	2.554	3.31	5.74	15.40	3.39	0.95	28
14:53	2.642	7.6	7.88	3.128	0.01	4.62	16.47	0.49	3.85	789

Summary		AT Vslope
Time averaging 30 Seconds		
V'O2/V'O2pred	%	42
V'O2/V'O2max	%	67

Summary		Resting	Ref.	AT Vslope	Max Watts	Pred	Max 1 %pred
Time averaging 30 Seconds							
Time	**min**	03:00	06:00	09:00	12:10		
PETCO2	**kPa**	3.92	4.25	4.50	4.61		
PECO2	**kPa**	2.08	2.13	2.58	2.71		
PETO2	**kPa**	15.89	15.47	15.04	15.25		
PEO2	**kPa**	17.07	16.73	16.17	16.22		
Tidal volume-ex	**L**	0.533	0.780	1.402	1.115		
Rel. dead sp.-phys	**%**	0	0	0	0	21	0
Rel. dead sp.-et	**%**	26	36	32	31	21	149
Dead space-et	**ml**	140	279	442	349		
Dead space phys	**ml**	0	0	0	0		

A csúcs oxigén felvétel és percventiláció csökkent. A ventilációs tartalék megtartott, ami pulmonális eredet ellen szól. Az anaerob küszöb alacsony. Emellett az oxigén pulzus sem éri el a normális nagyságot. Mindezt az izomgyengeség okozza.

Anxietas,hiperventiláció

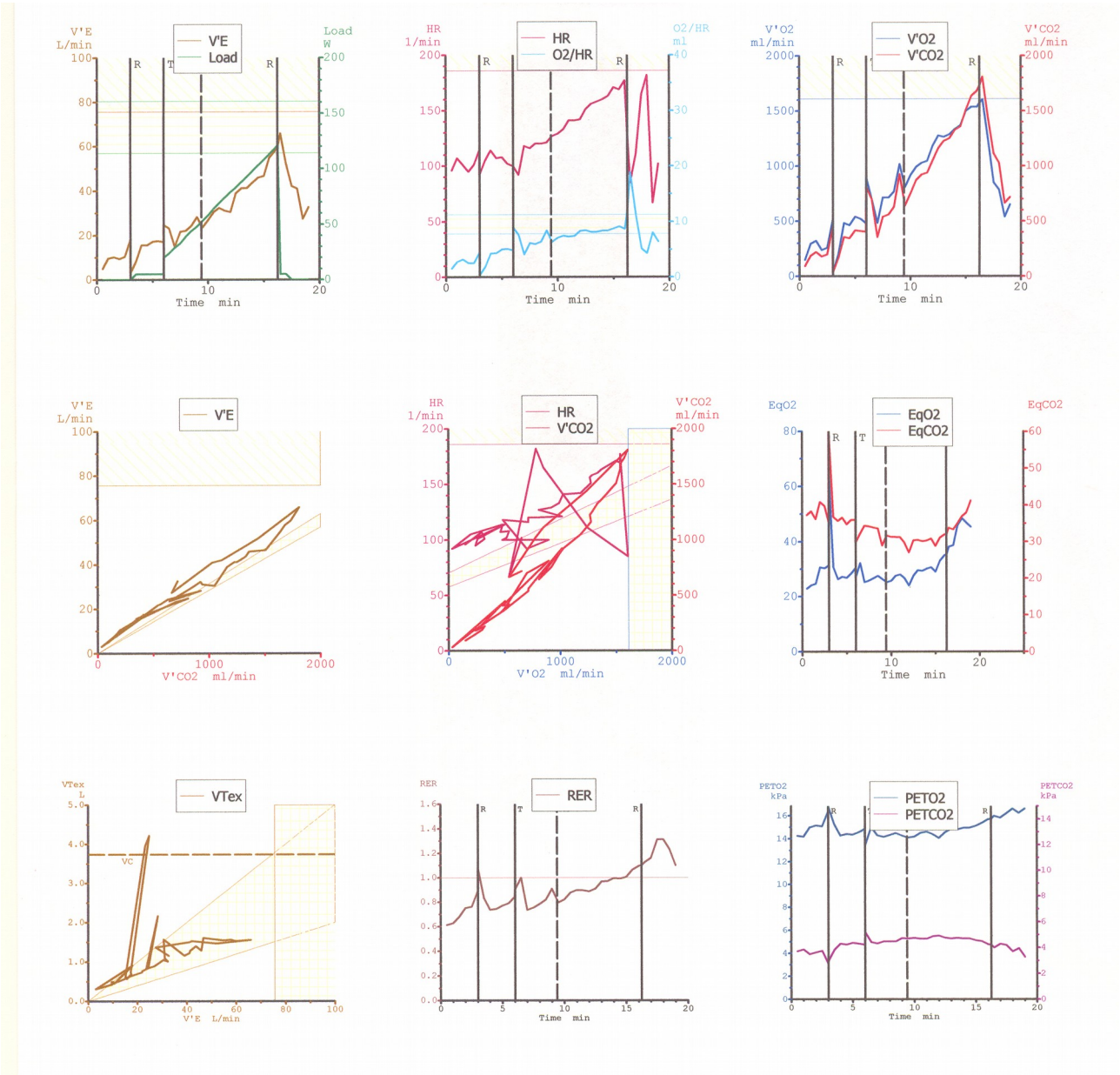
Csúcs oxigén felvétel
Normális vagy közel normális.
Percventiláció
Az adott terhelési/oxigén felvételi szinthez viszonyítva emelkedett. A percventiláció-széndioxid összefüggés meredekebb.
Légzési minta
A légzésszám szaporább. A légzési térfogat légzésről-légzésre változhat.
Oxigén pulzus
Normális.
Az oxigén és a széndioxid légzési ekvivalense
Emelkedett.
Végkilégzési széndioxid nyomás, artériás széndioxid tenzió
Csökkent a hiperventiláció miatt (respirációs alkalózis).
Anaerob küszöb
Normális.
Artériás oxigén tenzió
Normális.

Edzettség hiány

Csúcs oxigén felvétel
Kisebb.
Percventiláció
A terhelés nagyságához és az oxigén felvételhez képest nagyobb. Szubmaximális szinten is magas.
A percventiláció-széndioxid összefüggés normális.
Ventilációs tartalék
Megtartott.
Szívfrekvencia tartalék
Megtartott.
Szívfrekvencia
Emelkedése meredek, szubmaximális szinten a szívfrekvencia magas. Ugyanakkor a maximális szívfrekvencia csökkent.
Oxigén pulzus
Az elérhető maximális oxigén pulzus kisebb.
Alveolo-artériás oxigén differencia, VD/VT
Normális, mivel nincs gázcsere zavar.
Anaerob küszöb
Kisebb vagy normális.

Artériás oxigén tenzió
Normális.

74. ábra: Edzettség hiány:



Summary		Ref.	AT Vslope	Max Watts	Pred	Max 1 %pred	Recov 30 sec	Marker No. 1
Time averaging 30 Seconds								
Time	min	06:00	09:30	16:14			16:30	
Load	W	20	53	121	137	88	5	
V'E	L/min	25	24	60	96	63	66	
VTex	L	4.218	0.825	1.525			1.558	
BF	1/min	6	28	39	42	94	42	
BR	%	67	69	20	28	72	12	
V'O2	ml/min	897	808	1574	1940	81	1606	
VO2/kg	ml/min/kg	15.7	14.2	27.6			28.2	
VO2%m	%	56	50	98			100	
VO2%p	%	46	42	81			83	
HR	1/min	100	127	127	196	65	85	
O2/HR	ml	9.0	6.4	12.4	9.5	130	18.9	
HR/Vkg	1/ml/kg	6.4	9.0	4.6			3.0	
HRR	1/min	96	69	69			111	
Psys	mmHg	92	107	130			130	
Pdia	mmHg	75	71	102			102	
V'CO2	ml/min	811	642	1733			1809	
EqCO2		29.8	31.7	32.0			33.9	
EqO2		26.9	25.2	35.3			38.2	
RER		0.90	0.79	1.10			1.13	

Intrabreath

Time	VTex	BF	t-in	VTin	t-ex	FETCO2	FETO2	EELV	IC	IC%
02:54	3.967	9.3	6.01	1.474	0.41	-0.04	20.99	1.14	3.99	349
05:45	2.029	13.1	1.81	1.896	2.77	4.29	16.32	2.42	2.70	111
06:29	3.184	7.6	2.45	6.392	5.44	4.22	17.06	1.63	3.50	215
08:43	5.198	7.5	1.68	2.391	6.28	5.71	14.21	-0.14	5.27	-3722
11:44	4.729	7.3	1.71	2.444	6.46	6.58	13.26	0.47	4.66	992
14:44	5.089	11.0	4.82	1.921	0.63	4.98	15.74	0.71	4.41	618
19:01	6.794	5.8	7.77	3.455	2.58	3.81	17.74	0.29	4.84	1695

Summary		AT Vslope
Time averaging 30 Seconds		
V'O2/V'O2pred	%	42
V'O2/V'O2max	%	50

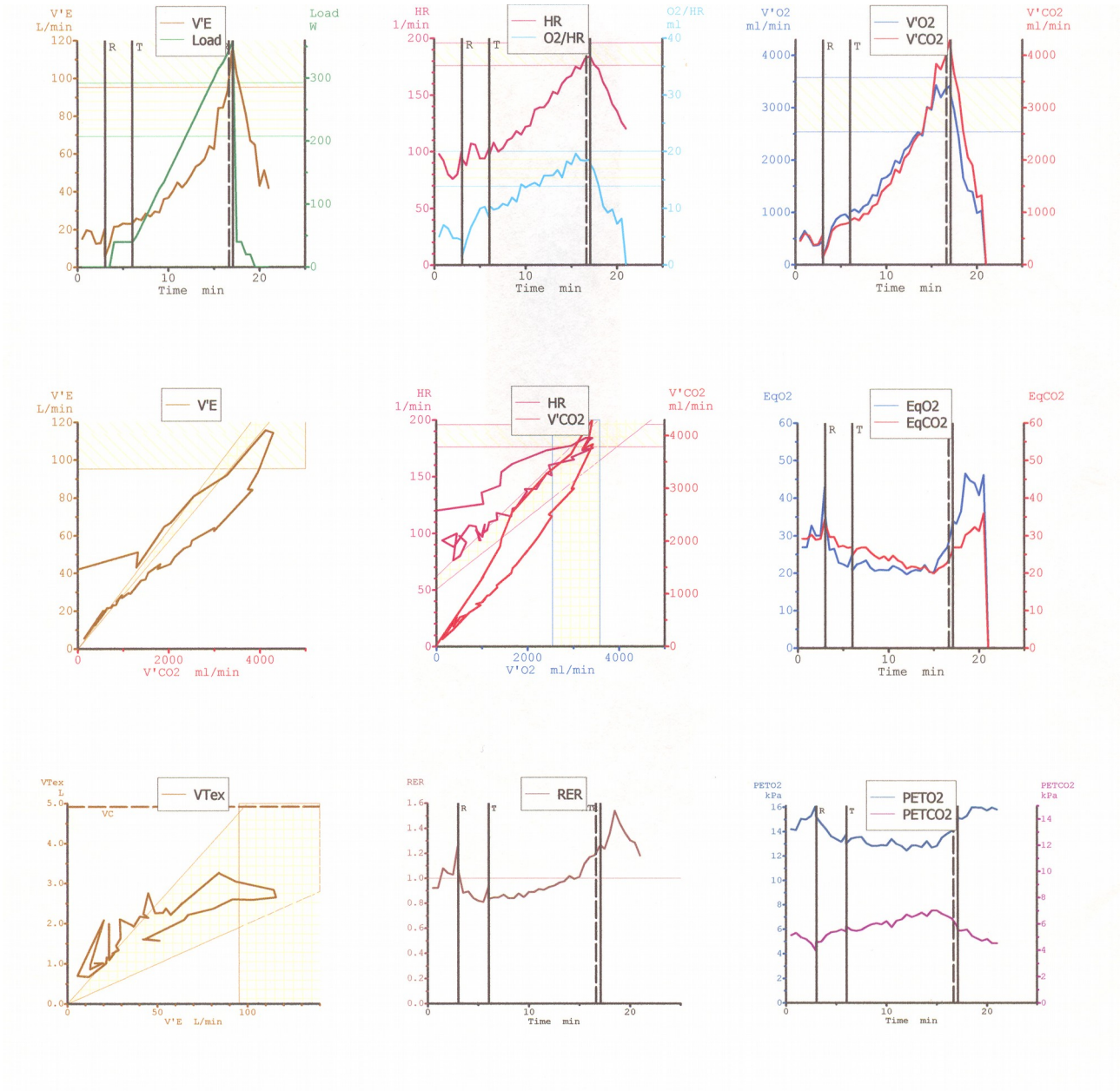
Summary		Resting	Ref.	AT Vslope	Max Watts	Pred	Max 1 %pred
Time averaging 30 Seconds							
Time	**min**	03:00	06:00	09:30	16:14		
PETCO2	**kPa**	2.94	5.19	4.70	4.21		
PECO2	**kPa**	1.08	3.58	2.95	3.07		
PETO2	**kPa**	16.83	13.40	14.09	15.73		
PEO2	**kPa**	18.32	15.38	15.62	16.36		
Tidal volume-ex	**L**	0.313	4.218	0.825	1.525		
Rel. dead sp.-phys	**%**	0	0	0	0	21	0
Rel. dead sp.-et	**%**	28	28	24	20	21	94
Dead space-et	**ml**	87	1199	196	301		
Dead space phys	**ml**	0	0	0	0		

A csúcs oxigén felvétel és percventiláció kisebb. Az anaerob küszöb alacsony. Ugyanakkor a ventilációs és a szívfrekvencia tartalék, az oxigén pulzus normális és gázcsere zavarra utaló jel sincs.

Nagyobb edzettség(sportolók)

Csúcs oxigén felvétel
A referencia értéknél magasabb.
Szívfrekvencia
A nyugalmi szívfrekvencia kisebb, a szívfrekvencia-oxigén felvétel öszefüggés lelapult: a pulzusszám kevésbbé emelkedik, magas terhelési szintig a verővolumen növelésével emeli a szív perctérfogatát.
Anaerob küszöb
Magas.

75. ábra: Sportoló:



Summary		Ref.	AT Vslope	Max Watts	Pred	Max 1 %pred	Recov 30 sec	Marker No. 1
Time averaging 30 Seconds								
Time	min	06:00	16:30	17:00			17:30	
Load	W	40	340	355	250	142	40	
V'E	L/min	23	94	114	120	95	102	
VTex	L	1.090	3.050	2.843			2.587	
BF	1/min	21	31	40	42	97	40	
BR	%	78	10	-	28	-36	2	
V'O2	ml/min	1011	3345	3416	3061	112	2953	
VO2/kg	ml/min/kg	12.2	40.3	41.2			35.6	
VO2%m	%	29	97	99			86	
VO2%p	%	33	109	112			96	
HR	1/min	97	182	184	186	99	177	
O2/HR	ml	10.4	18.4	18.6	17.0	109	16.7	
HR/Vkg	1/ml/kg	8.0	4.5	4.5			5.0	
HRR	1/min	89	4	2			9	
Psys	mmHg	107	128	128			128	
Pdia	mmHg	69	74	74			74	
V'CO2	ml/min	843	3963	4295			3651	
EqCO2		24.7	22.8	25.6			26.9	
EqO2		20.6	27.0	32.2			33.2	
RER		0.83	1.18	1.26			1.24	

Intrabreath

Time	VTex	BF	t-in	VTin	t-ex	FETCO2	FETO2	EELV	IC	IC%
02:42	4.948	6.8	2.98	3.582	5.82	4.72	16.70	0.83	5.94	715
05:44	4.781	6.3	3.72	4.270	5.88	6.45	13.49	1.29	5.48	425
08:45	4.658	7.1	3.37	3.864	5.12	7.03	12.54	0.83	5.94	715
11:52	4.878	8.9	2.51	3.850	4.23	8.75	10.94	-0.93	7.70	-832
15:06	3.490	24.7	1.17	3.900	1.26	7.49	14.02	-1.23	8.00	-650
19:50	2.968	17.5	1.66	3.502	1.76	5.38	16.61	1.59	5.18	325

Summary		AT Vslope
Time averaging 30 Seconds		
V'O2/V'O2pred	%	109
V'O2/V'O2max	%	97

Summary		Resting	Ref.	AT Vslope	Max Watts	Pred	Max 1 %pred
Time averaging 30 Seconds							
Time	**min**	03:00	06:00	16:30	17:00		
PETCO2	**kPa**	4.59	5.80	6.42	5.82		
PECO2	**kPa**	2.94	4.01	4.67	4.00		
PETO2	**kPa**	15.22	13.03	14.09	14.83		
PEO2	**kPa**	16.62	14.52	15.04	15.74		
Tidal volume-ex	**L**	0.700	1.090	3.050	2.843		
Rel. dead sp.-phys	**%**	0	0	0	0	21	0
Rel. dead sp.-et	**%**	20	21	24	27	21	131
Dead space-et	**ml**	141	225	721	779		
Dead space phys	**ml**	0	0	0	0		

Interpretation (Wasserman)

A csúcs oxigén fogyasztás magas, az anaerob küszöb igen magas. Az oxigén pulzus is erőteljesen emelkedik. Az alacsony szívfrekvencia tartalék és ventilációs tartalék mutatja a terhelést korlátozó tényezőket. Azonban a terhelés tényleg maximális volt, amit az 1,26-os RER is mutat.

Nem kellő erőlködés,kooperáció hiány

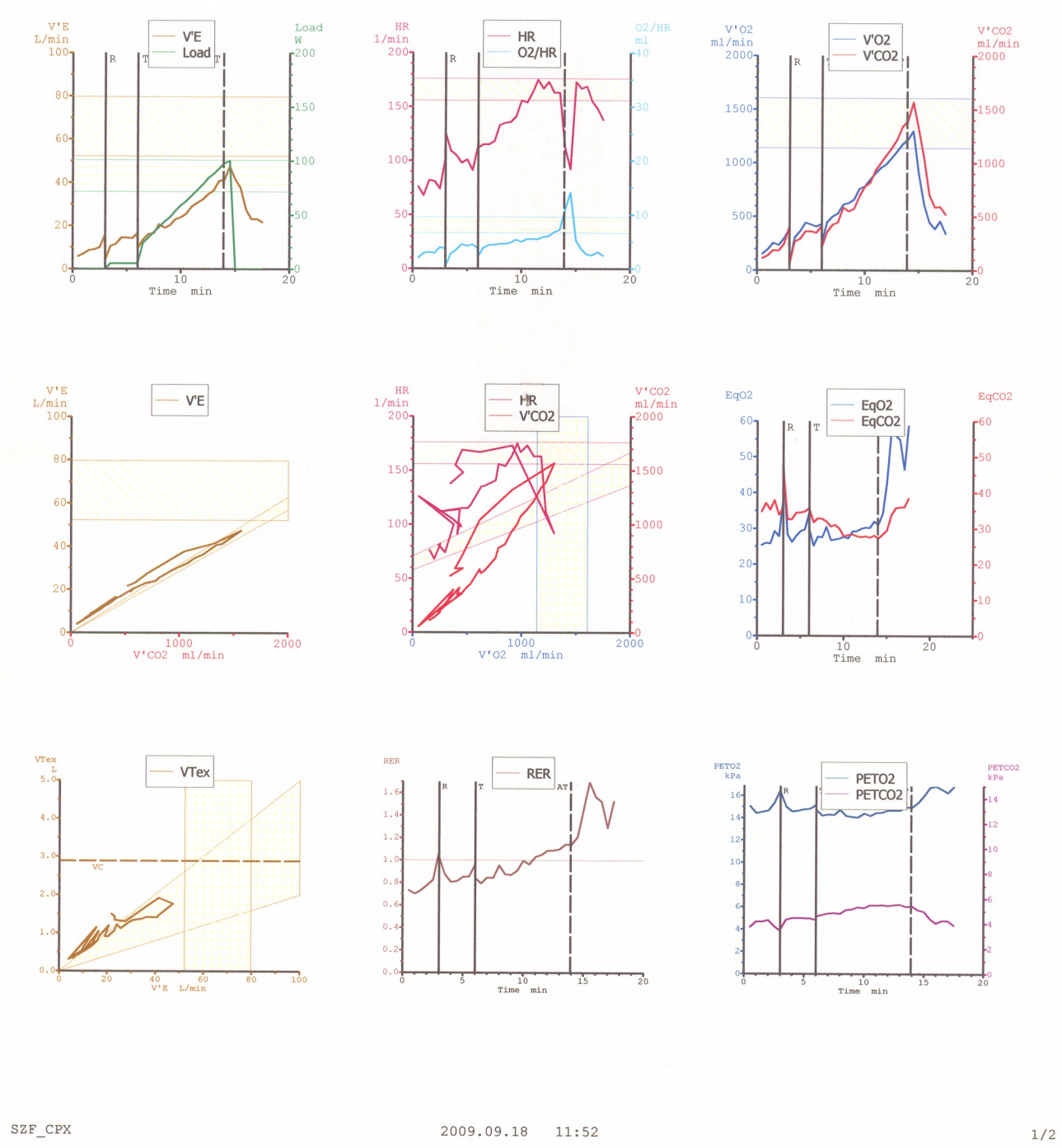
Csúcs oxigén felvétel
Kisebb.
Ventilációs tartalék
Megtartott.
Szívfrekvencia tartalék
Megtartott.
Szívfrekvencia
Emelkedési meredeksége normális, majd hirtelen megszakad és a maximális szívfrekvencia kisebb a normálisnál.
Alveolo-artériás oxigén differencia, arterio-végkilégzési széndioxid differencia, VD/VT
Normális, mivel nincs gázcsere zavar.
Anaerob küszöb
Nem éri el.
RER
< 1,0-nél

Ha a kooperáció hiány szándékos
Gyakran a légzésszám és egyéb paraméterek ugrálóak.
Nem kellő kooperáció esetében a kardiopulmonális terhelés paramétereinek ismételhetősége, reprodukálhatósága rossz.

Tévedési lehetőség

A számítógép által megadott számértékeket mindig célszerű becslésszerűen ellenőrizni. Az alábbi példa illusztrálja, hogy milyen tévedést kerülhetünk így el.

76. ábra: Tévedés



Summary		Ref.	AT Manual	Max Watts	Pred	Max 1 %pred	Recov 30 sec	Marker No. 1
Time averaging 30 Seconds								
Time	min	06:00	14:00	14:30				
Load	W	5	98	100	86	116		
V'E	L/min	10	41	47	66	72		
VTex	L	0.487	1.445	1.769				
BF	1/min	20	28	27	42	64		
BR	%	88	48	40	28	143		
V'O2	ml/min	247	1220	1299	1373	95		
VO2/kg	ml/min/kg	4.4	21.8	23.2				
VO2%m	%	19	94	100				
VO2%p	%	18	89	95				
HR	1/min	112	112	92	166	55		
O2/HR	ml	2.2	10.9	14.1	8.1	174		
HR/Vkg	1/ml/kg	25.4	5.1	4.0				
HRR	1/min	54	54	74				
Psys	mmHg	146	180	180				
Pdia	mmHg	98	104	104				
V'CO2	ml/min	208	1389	1568				
EqCO2		35.7	27.3	28.4				
EqO2		30.0	31.1	34.3				
RER		0.84	1.14	1.21				

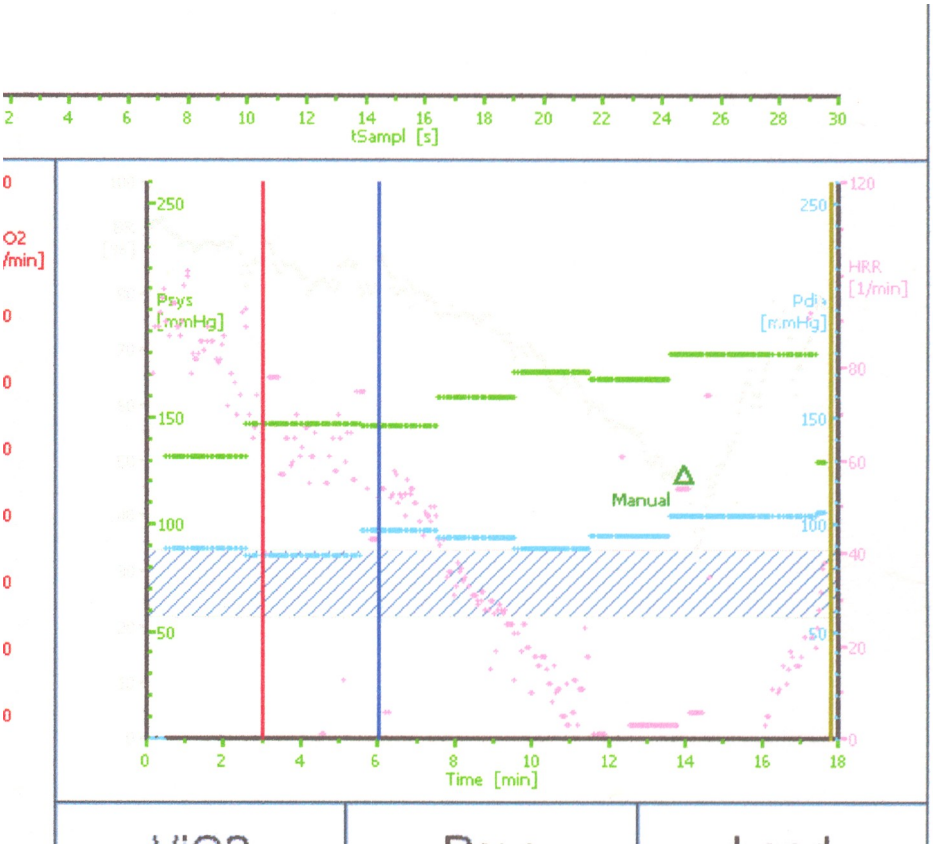
16:51 BP entry

Intrabreath

Time	VTex	BF	t-in	VTin	t-ex	FETCO2	FETO2	EELV	IC	IC%
02:39	3.020	10.4	1.45	1.774	4.34	4.78	16.02	2.31	2.31	100
05:42	3.020	9.9	2.10	2.531	3.98	4.61	16.05	2.08	2.53	122
07:40	3.000	9.6	1.94	2.523	4.30	5.21	15.46	2.58	2.03	79
09:37	2.893	11.7	1.46	1.974	3.69	6.03	14.84	1.98	2.63	132
11:40	3.149	11.3	1.61	2.388	3.68	6.41	15.00	2.22	2.39	107
13:40	1.759	21.1	1.28	1.961	1.56	5.91	15.88	2.92	1.70	58

Summary		AT Manual
Time averaging 30 Seconds		
V'O2/V'O2pred	%	89
V'O2/V'O2max	%	94

Summary		Resting	Ref.	AT Manual	Max Watts	Pred	Max 1 %pred
Time averaging 30 Seconds							
Time	**min**	03:00	06:00	14:00	14:30		
PETCO2	**kPa**	3.52	4.57	5.40	5.09		
PECO2	**kPa**	1.58	2.70	3.73	3.64		
PETO2	**kPa**	16.38	14.70	14.97	15.38		
PEO2	**kPa**	17.91	16.36	15.91	16.15		
Tidal volume-ex	**L**	0.312	0.487	1.445	1.769		
Rel. dead sp.-phys	**%**	0	0	0	0	19	0
Rel. dead sp.-et	**%**	20	18	23	22	19	117
Dead space-et	**ml**	62	89	337	393		
Dead space phys	**ml**	0	0	0	0		



Az EKG elektródák leesésével kapcsolatban a terhelés végén a szívfrekvencia hibás érzékelése történt: 92/min szívfrekvenciát mért a műszer. Ennek alapján számolva a szívfrekvencia tartalék 74-nek, az oxigén pulzus 14 ml-nek adódott. Az ábra harmadik részén azonban látható, hogy a szívfrekvencia tartalék elérte a 0-t. A Wasserman gráf második grafikonján is látszik, hogy a leesés előtt már 180-as frekvencia volt. A valóságos oxigén pulzus pedig plátót képezett és 10 alatt maradt. Tehát valójában a terhelést a szívműködés korlátozta, sőt kórosan alacsony volt a verővolumen.

A kardiopulmonális terheléses vizsgálat szerepe a preoperatív kivizsgálásban

A preoperatív kivizsgálás célja, hogy felmérje a preoperatív, operatív és posztoperatív szakasz veszélyeit, felkészülve azok megfelelő ellátására. Ez a kivizsgálás komplex, meg kell állapítani többek között a társbetegségeket, azok súlyosságát, stabilitását, jelenlegi terápiáját. Itt csak a kardiopulmonális terhelés vonatkozásait érintjük.

Nem mellkasi műtétek

Jelentős veszéllyel járnak: nagy hasi műtétek, craniotomia, nyaki sebészet. Kis veszéllyel pl. a bőr műtétei, endoszkópiák.
Veszélyes műtét előtt az általános labor, kardiológia mellett a légzésfunkciós vizsgálat is nélkülözhetetlen (spirográfia, légzésmechanik, diffúzió mérés, vérgázanalizis).
A kardiopulmonális terheléses vizsgálat viszont nem indikált minden ilyen betegnél. Akkor szükséges, ha kardiológiai betegség gyanúja áll fenn, de nyugalmi vizsgálttal nem dönthető el biztosan. Továbbá ha a nyugalmi légzésfunkciós vizsgálatok eredményei az operabilitás határán
vannak.
A kardiopulmonális terhelés során nagy rizikót jelent a műtéttel kapcsolatos mortalitásra, ha a csúcs oxigén fogyasztás < 11 m/min/kg, valamint ha alacsony terhelés mellett jelentkezik az anaerob küszöb (ugyanis a posztoperatív státusz a metabolikus szükségletet a háromszorosára emeli a nyugalmihoz képest).

Intrathoracalis műtétek

Tüdő térfogatcsökkentő műtét

Speciális műtét, hiszen a célja épphogy a funkció javítása. De ez is aneszteziológiával, thoracotomiával, posztoperatíve immobilizációval jár.

A kardiopulmonális terheléses vizsgálat szerepe többes:

A műtét indikációjában is szerepe van.

A műtéti rizikó becslése.

A perioperatív és a későbbi rehabilitáció tervezéséhez adatok.

A műtét hatásának lemérése (összehasonlítás a műtét előtti eredményekkel).

Tüdő rezekciós műtétek

Alapvizsgálat itt is a nyugalmi légzésfunkció. Kardiopulmonális terheléses vizsgálat akkor szükséges, ha a FEV1 40% alatt van, vagy a transzfer koefficiens 40% alatt van.

Ha a terhelés során a csúcs oxigén fogyasztás > 75%-nál (vagy 20 ml/min/kg-nál), akkor akár pulmonectomia is végezhető.

Ha a csúcs oxigén fogyasztás 15 ml/min/kg alatti, az nagy műtéti rizikót jelent. Ez esetben egyéb tényezők figyelembe vételével kell dönteni: társbetegségek, életkor, perfúziós tüdőscan, stb.

Ha a csúcs oxigén fogyasztás 40 %-nál (10 ml/min/kg-nál) kisebb, akkor a beteg inoperabilis.

Tüdőtranszplantáció, szív transzplantáció

Mindenképpen hasznos a kardiopulmonális terheléses vizsgálat a betegség progressziójának megitélésében, valamint a transzplantáció előtti és utáni rehabilitációban is egyértelműen segítséget jelent.

A műtét indikálásában és időzítésében játszott szerepe azonban nem tisztázott.

Mindenképpen számos tényezőt vesznek figyelembe, így pl.: diagnózis, funkcionális státusz ,diabetes, asszisztált lélegeztetés ,oxigén pótlás, nyugalmi légzésfunkció, arteria pulmonális nyomások, pulmonális kapilláris nyomás, vérgázok, 6 perces járás

teszt.
A kardiopulmonális terheléses vizsgálat vonatkozásában hiányoznak a szignifikáns adatok és emiatt az irányelvek, protokollok nem tartalmazzák, hogy hogyan kell használni az időzítésben vagy a kimenetel prognosztizálásában.
Kis esetszámú vizsgálatok szerint tüdő transzplantációs után a közel normálissá váló nyugalmi légzésfunkció ellenére a csúcs oxigén fogyasztás csökkent marad. Ezt azonban nem ventilációs
korlátozottság okozza, hanem az multifaktoriális.
Szív transzplantáció után is azt találták, hogy a csúcs oxigén felvétel- bár jelentősen javul-de teljesen nem normalizálódik.

A kardiopulmonális terheléses vizsgálat szerepe a sportban

Ez a téma nem tartozik szorosan az orvosi alkalmazáshoz. Röviden mégis ki kell térni rá, mivel a gyakorlatban előfordul, hogy sportolók vizsgálatát kérik. A sportolók orvosi szempontból való vizsgálatának jelentőségét kiemelik azok a tragikus események, amikor egy sportoló verseny
közben rossul lesz, esetenként hirtelen, váratlan halála következik be.
Emiatt sportolókon az orvosi kardiopulmonális terheléses vizsgálat elsődleges célja az esetleges rejtett betegségek feltárása. Olyan tünetekről van szó, melyek csak terhelés közben jelentkeznek, emiatt nyugalmi vizsgálattal nem detektálhatók. Ilyen lehet pl. a koronaria keringés zavara, szívritmuszavar, egyéb szívfunkció zavar.
Emellett- ha már kardiopulmonális terheléses vizsgálat történik- célszerű a leletezéskor tekintettel lenni olyan sportélettani szempontokra, melyeket fel lehet használni akár egyéni edzésterv során.
A kardiopulmonális terheléses vizsgálat persze a maximális fizikai erőkifejtést méri

és semmit nem mond a gyorsaságról vagy az ügyességről. Sportáganként eltérő ezen tényezők szerepe. Mások az élettani változások rövid ideig tartó, magas intenzitású terhelésnél, ahol az aerob anyagcsere teljesítőképessége fontos. És mások a hosszabb ideig tartó, nagy állóképességet kívánó sportágakban, ahol az anaerob anyagcsere teljesítőképessége a meghatározó.

Sportolók vizsgálatakor a terhelés emelést gyorsabban, nagyobb fokozatokkal végezzük (40-50 watt-al). Igyekszünk elérni a valódi maximális, oxigén felvételt (nemcsak az un.csúcsot). Meghatározzuk az ehhez tartozó watt számot. Ismételt vizsgálat esetén ezeket össze lehet hasonlítani az előzővel: A sportoló a terhelhetőségben fejlődött-e.

Meg kell adni, hogy a maximális oxigén fogyasztáshoz mekkora szívfrekvencia tartozik és mekkora a szívfrekvencia az anaerob küszöbnél. Ugyanis edzés közben a pulzusszámmal könnyen lehet mérni, hogy elérte-e az anaerob küszöböt illetve az egyéni maximális teljesítményét.

Az anaerob küszöb (savasodás) korrelációban van az edzettséggel, s ezt is össze lehet hasonlítani a korábbival. Sportolók vizsgálatakor a savasodási küszöb meghatározására célszerű a vérből direkt laktát mérést alkalmazni (a küszöbérték 4 mmol/l)..

Fontos a terhelést korlátozó mechanizmusok megjelölése. Ezt figyelembe lehet venni egyéni edzésterv összeállításakor: Kinek mit kell fejlesztenie.

A sportban különösen fontosak a pályavizsgálatok: Mobil műszerel a valós verseny körülmények között mérni.

Normál értékek összefoglalása

A spiroergometriás paraméterek normál értékei

Csúcs (maximális) oxigén felvétel ($V'_{O2\ peak,max}$): eléri a referencia érték 85%-át. Ideális testsúlyra vonatkoztatva: testmagasság m-ben mínusz életkor szorozva férfiaknál 20-al,nőknél 14-el
Nyugalmi oxigén felvétel ($V'_{O2\ nyugalmi}$): 250-350 ml/min < 15 ml/min/testsúlykg
Oxigén leadás emelkedés/terhelés emelkedés (V'_{O2}/WR): 8,5-11,5 ml/min/Watt
Percventiláció(V'_E): >mint a referencia érték 80%-a. Nyugalomban 5-10 l/min, terhelés közben 100 l/min fölé emelkedik
Percventiláció emelkedés/széndioxid leadás emelkedés ($\Delta V'_E/\Delta V'_{CO2}$): 24-31 l/l
Oszcilláció: Az oxigén, szén-dioxid, percventiláció grafikonon nincs
Légzésszám (BF): < 60/min
Ventilációs tartalék (BR): eléri a 11 litert illetve a 13%-ot
Belégzési/kilégzési idő (T_I/T_E): 0,8-1,0
Belégzési idő/teljes légzési idő (T_I/T_{tot}): Nyugalomban 0,35-0,40, terhelés közben 0,50-0,55-re nő
Inspirációs kapacitás (IC) csökkenés: nem nagyobb 200 ml-nél
*Oxigén légzés:*10-20 ml/légzés
Maximális szívfrekvencia (HR_{max}): 220-életkor
Szívfrekvencia emelkedés/oxigén leadás emelkedés ($\Delta HR/\Delta V'_{O2}$): férfiaknál 40-68,nőknél 67-95/l/min
Szívfrekvencia tartalék (HRR) :> 15/min
Oxigén pulzus (V'_{O2}/HR: > a referencia érték 80%-ánál. Fiatalokon >10, idősebbeknél > 12 ml-nél
Vérnyomás (RR): nem emelkedik 220/90 Hgmm fölé
Oxigén légzési ekvivalense (EqO_2): Nyugalomban 30-40 l/l. Az anaerob küszöbnél 25+- 4 l/l
Széndioxid légzési ekvivalense ($EqCO_2$): Az anaerob küszöbnél 25-30 l/l, a csúcs terhelésnél < 40 l/l
Holttérvolumen/légzési volumen aránya (V_D/V_T): Nyugalomban <0,4 maximális terhelésnél < 0,3
Átlagos alveoláris/ végkilégzési széndioxid nyomás (p_{ACO2}/P_{ETCO2}): eléri a 0,8-at terhelés közben

Alveoláris széndioxid nyomás (p_{ACO2}): nyugalomban 4,8-5,6 kPa(36-42 Hgmm),mely terhelés közben 0,4-1,0 kPa-al (3-8 Hgmm-el) emelkedik,majd ismét csökken
Alveoláris oxigén nyomás (p_{AO2}): Nyugalomban eléri a 12 Kpa-t (90 Hgmm-t), terhelés közben emelkedik, majd ismét csökken
Alveolo-artériás oxigén nyomás különbség ($p(A-a)0_2$): terhelés közben nő, de nem haladja meg a 25 Hgmm-t (3,33 kPa-t) 50 év felettieken a 35 Hgmm-t (4,66 kPa-t)
Alveolo-végkilégzési széndioxid nyomás különbség ($p(a-ET)CO_2$): nyugalomban enyhén pozitív. Maximális terhelés közben kóros, ha pozitív marad.
Oxigén szaturáció ($Sa0_2$): eléri a 95%-ot. Csökkenése kóros, ha eléri a 4%-ot.
Respirációs kicserélési arány (RER): Nyugalomban 0,7-0,95. Maximális terheléskor > 1,0
Anaerob küszöb (AT): A csúcs oxigén fogyasztás 50-60%-ánál. 50%-nál kisebb értékét okozhatja edzettség hiány is, 40%-nál kisebb értéke kóros.

Ajánlott összefoglaló irodalom

American Heart Association: Clinicians guide to cardiopulmonary exercise testing in adults. Circulation 2010;122:191-225
American Thoracic Society/American College of Chest Physicians: ATS/ACCP statement on cardiopulmonary exercise testing. Am J Respir Crit Care Med 2003;167:211-277
Basic principles of clinical exercise testing. ERS School Courses 2006
Committee on Exercise and Cardiac Rehabilitation, American Heart Association: Guidelines for clinical exercise testing laboratories. Circulation 1995;91:912-921
Cardiopulmonary exercise tests. in:Hancox B,Whyte K: Pocket guide to lung function tests. McGraw-Hill's,2008
Cardiopulmonary exercise testing. In: Ruppel GL :Manual of pulmonary function testing.Mosby 2013.
Chupp GL(ed): Pulmonary function testing. Clin Chest Med 2001;22:Nr 4
Coombes J, Skinner T: ESSAs Student manual for health, exercise and sport assessment. Elsevier 2014
Cooper CB, Storer TW: Exercise testing and interpretation. Cambridge Univ Press,2001
European Respiratory Society Task Force: Clinical exercise testing with reference to lung diseases: indications, standardization and interpretation strategies. Eur Respir J 1997;10:2662-2689
European Respiratory Society Task Force: Recommendations on the use of exercise testing in clinical practice. Eur Respir J 2007;29:185-209
Exercise. In: Cotes JE, Chinn DJ, Miller MR: Lung function. Blackwell,2006
Exercise physiology. In: Hamid Q,Shannon J, Martin J (ed): Physiological basis of respiratory disease. Decker,2005
Exercise testing. European Respiratory Monograph, 2007,40
Haber P: Lungenfunktion und Spiroergometrie. Springer,2007
Hansen JE: Pulmonary function testing&interpretation. Jaypee, 2011
Johnson BD,Weisman IM: Clinical exercise testing. In: Baum's Textbook of Pulmonary Diseases. Lippincott, 2004
Kardos K: Terheléses vizsgálatok. In: Magyar P,Hutás I, VastagE: Pulmonológia. Medicina,1998
Kroidl RF, Schwarz S, Lehnigk B: Kursbuch Spiroergometrie. Thieme, 2009
Luks AM, Glenny RW, Robertson HT: Introduction to cardiopulmonary exercise testing. Springer, 2013

Luks AM, Glenny RW: Clinical exercise testing. In: Murray-Nadels Texbook of respiratory medicine. Elsevier, 2016
Nagy LB: A felnőttkori légzésfunkciós diagnosztika gyakorlata. Semmelweis Kiadó, 2015
Roca J, Rabinovich R: Clinical exercise testing. In: Gosseling R, Stam H(ed): Lung function testing. Eur Respir Mon 31,2005
Rühle KH: Praxisleitfaden der Spiroergometrie. Kohlhammer, 2008
Somfay A: A fizikai terhelhetőség vizsgálata krónikus obstruktív tüdőbetegségben. Az oxigén hatás elemzése. PhD értekezés tézisei, Szeged, 2001
Somfay A: Klinikai terheléses vizsgálatok. Medicina Thoracalis 2008;59:120-134
Somfay A: Klinikai terheléses vizsgálatok. In: Magyar P, Losonczy Gy(ed): A pulmonológia kézikönyve. Medicina, 2012
Wassermann K, Hansen JE, Sue DY, Stringer WW, Whipp BJ: Principles of exercise testing and interpretation. Lippincott, 2012
Weber KT, Newman KP: Principles and application of cardiopulmonary exercise testing. In: Fishmans Pulmonary diseases and disorders. McGraw Hill, 2015
Weisman IM, Zeballos RJ(ed): Clinical exercise testing. Clinics Chest Med 1994:15:Nr 2