

SPIROERGOMETRIJA – ŠTO JE I KAKO FIZIJATRU MOŽE POMOĆI?

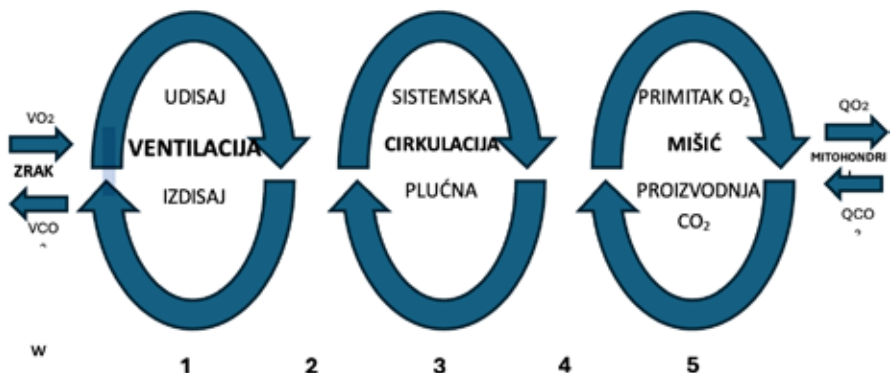
Jan Aksentijević, dr. med.
specijalist fizikalne i rehabilitacijske medicine

Zavod za fizikalnu i rehabilitacijsku medicinu s reumatologijom
 Klinička bolnica Dubrava

Spiroergometrijsko testiranje (engl. Cardiopulmonary Exercise Testing; CPET) predstavlja zlatni standard u procjeni funkcionalnog kapaciteta (1). Iako je riječ o najobjektivnijem stres-testu koji je neinvazivan, lako ponovljiv i relativno jednostavan za primjenu, do danas na našim prostorima i dalje nije zaživio u svakodnevnoj praksi specijalista fizikalne i rehabilitacijske medicine.

Temeljni koncept spiroergometrije jest analiza smjese izdisajnih plinova koji predstavljaju odraz stanične respiracije, odnosno, u stanju ekvilibrija, odgovaraju primitku kisika i stvaranju ugljičnog dioksida u stanicama. Jednostavnije rečeno, u stanju ravnoteže vanjska respiracija i stanična respiracija su jednake (2). Upravo zbog toga, analizom izdisajne smjese plinova kao i izdisajnih volumena, može se razlučiti uzrok snižene tolerancije napora, bilo da je riječ o ventilacijskom, cirkulacijskom, neuromuskularnom poremećaju ili mitohondrijskim miopatijama. Shematski prikaz vanjske i stanične respiracije s najčešćim uzrocima zaduhe nalazi se na Slici 1. i Tablici 1.

Slika 1. Respiratorni ciklus u ljudskom organizmu – ventilacija i respiracija stanična rerespiracija (prema (3))



Tablica 1. Mogući uzroci zaduhe ovisno o zahvaćenom dijelu respiratornog ciklusa (prema (3))

Dio respiratornog ciklusa (prema Slici 1.)	Bolesti i stanja koja dovode do zaduhe
1.	opstruktivni poremećaji, restriktivni poremećaji, infiltrativne promjene
2.	tromboembolija, vaskulitisi, primarna plućna hipertenzija
3.	srčane bolesti (koronarna, valvularna, kardiomiopatija), anemija
4.	okluzivna bolest arterija, arterijska hipertenzija, vazoregulatorna astenija
5.	pretilost, mitohondrijske miopatije

Neosporna je i višestruko pokazana uloga spiroergometrije u dijagnostičke svrhe, u evaluaciji tolerancije napora, evaluaciji intolerancije napora nepoznata uzroka, funkcionalnoj procjeni osoba s cirkulatornim, kardiovaskularnim i respiratornim poremećajima, predoperativnoj evaluaciji, prognoziranju propagacije bolesti i procjeni invaliditeta (1). Međutim, iako za sada spiroergometrija nije jasno uvrštena u indikacijsko polje planiranja rehabilitacije, izuzev kardiološke i pulmološke rehabilitacije, na Zavodu za fizikalnu i rehabilitacijsku medicinu Kliničke bolnice Dubrava u svakodnevnoj kliničkoj praksi provodi se testiranje funkcionalnog kapaciteta u svrhu procjene metaboličkog energetskog statusa, procjene kondicioniranosti prije uključivanja u rehabilitacijske programe, planiranje zona treninga i adekvatne, pravodobne i pravilno dozirane aerobne aktivnosti u različitim kategorija pacijenata.

Planiranje spiroergometrijskog testiranja

Prije samog provođenja spiroergometrije važno je jasno utvrditi razlog procjene funkcionalnog kapaciteta, bilo da je ona dijagnostička, evaluacijska, prognostička ili u svrhu planiranja rehabilitacijskog programa i daljnjeg planiranja adekvatne fizičke aktivnosti. Također, nužno je provesti adekvatnu anamnezu s detaljnim uvidom u povijesti bolesti kao i klinički status kako bi se isključile eventualne kontraindikacije za provođenje spiroergometrije koje su navedene u Tablici 2. U slučaju da osoba nije kandidat za provođenje, treba razmisliti o drugim metodama procjene funkcionalnog kapaciteta poput 6-minutnog testa hoda, inkrementnog testa hoda, „timed up and go“ testa i sl.

Tablica 2. Kontraindikacije za spiroergometrijsko testiranje (prema 1, 2, 4)

Apsolutne	Relativne
akutni infarkt miokarda (3-5 dana)	koronarna bolest glavnog debla lijeve koronarne arterije ili ekvivalent
nestabilna angina pectoris	umjerena valvularna stenoza
sinkopa	nekontrolirana arterijska hipertenzija u mirovanju (>200/120 mmHg)
nekontrolirane aritmije	tahiaritmija/ bradiaritmija
hemodinamska nestabilnost	AV blok 2. i 3. stupnja
endokarditis	značajna plućna arterijska hipertenzija
akutni miokarditis/perikarditis	opstruktivna hipertrofična kardiomiopatija
teška simptomatska aortna stenoza	elektrolitski poremećaji
akutna plućna tromboembolija	ortopedsko stanje koje onemogućuje provođenje testa
akutni plućni infarkt	uznapredovala ili komplicirana trudnoća
duboka venska tromboza	
disekcija aorte ili arterija donjih ekstremiteta	
nekontrolirana astma	
edem pluća	
SpO ₂ <85 %	
respiratorna insuficijencija	
akutna infekcija, renalna insuficijencija, tireotoksikoza	

Po utvrđivanju indikacije i isključivanju eventualnih kontraindikacija za spiroergometriju, a prije samog testiranja preporučljivo je napraviti EKG u mirovanju, mjerenje krvnog tlaka, respiratorne frekvencije u mirovanju, periferne zasićenosti kisikom, mentalni status kao i procjenu koštano-mišićnog sustava i stanja zglobova koji sudjeluju prilikom testiranja. Procijeni li kliničar da ispitanik iz bilo kojeg razloga neće biti u mogućnosti provesti testiranje na pokretnoj traci (pokretnom sagu), moguće ga je provesti na bicikl-ergometru ili ručnom cikloergometru. U tom slučaju nužno je u obzir nakon testiranja uzeti prilagodbu dobivenih parametara, s obzirom na to da bicikl-ergometrija i cikloergometrija aktiviraju značajno manju količinu mišićne mase pojedinca te u pravilu češće lokalna izdržljivost limitira doseg umjesto opće mišićne izdržljivosti, pa je i maksimalan primitak kisika (VO₂ max/peak) manji. Za bicikl-ergometar u neutreniranih osoba vrijednosti su 10-20 % niže u usporedbi s pokretnom trakom (2).

Prije početka spiroergometrije u svih je preporučljivo napraviti spirometriju budući da se podatci iz spirometrije upotrebljavaju u završnoj procjeni, ali i tijekom testiranja, analizirajući dinamičke krivulje protok-volumen te za izračunavanje maksimalne voljne ventilacije ($MVV = FEV_{1, x40}$) (5).

Protokoli spiroergometrijskog testiranja

Poželjno trajanje testa je 8-12 minuta te je potrebno primijeniti adekvatan protokol testiranja u skladu s kliničkim stanjem ispitanika kako bi se ostvarila što objektivnija procjena funkcionalnog statusa (2).

Najčešće primjenjivani protokoli su:

1. Protokoli sa stepeničastim porastom opterećenja (6)

a. Bruce(ov) protokol - karakterizira progresivni porast brzine i nagiba trake. Početni nagib iznosi 10 % i raste po 2 % do ukupno 22 %. Brzina progresivno raste od 2,73 do 9,6 kilometara na sat. Za starije i neaktivne bolesnike razvijen je modificirani Bruceov protokol.

b. Naughton(ov) protokol - dominantno se upotrebljava u teže dekonicioniranih osoba, osoba sa srčanim zatajivanjem ili sumnjom na nestabilnu koronarnu bolest srca. Test započinje brzinom od 1,6 km/h bez nagiba, nakon čega slijedi porast brzine na 3,2 km/h uz porast nagiba od 3,5 % svake 3 minute.

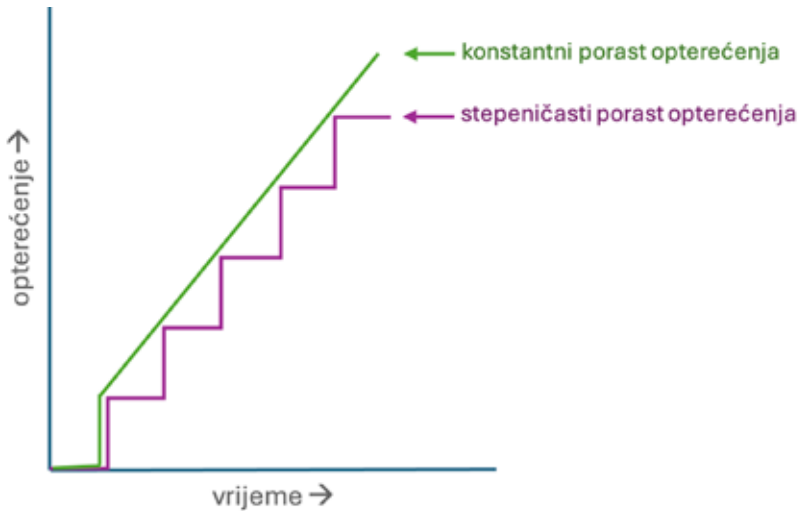
c. Balke(ov) protokol - razvijen je za funkcionalnu procjenu srčanih bolesnika. Brzina je konstantna (4,8 km/h), a progresivno raste nagib trake za 2,5 % svake 3 minute.

2. Protokoli s konstantnim porastom opterećenja - **RAMP protokoli** (7)

Ovi protokoli mogu se primjenjivati na svim oblicima spiroergometra. Ako se primjenjuju na pokretnoj traci, u pravilu progresivno raste brzina, uz stalni nagib trake. Ako se primjenjuje bicikl-ergometar, konstantni je porast opterećenja (najčešće 10 Watt/minuta).

Usporedba protokola s konstantnim i stepeničastim porastom opterećenja prikazana je na Slici 2.

2. Slika Usporedba protokola spiroergometrijskog testiranja s konstantnim i stepeničastim porastom opterećenja



Najvažniji parametri spiroergometrijskog testiranja

Najčešće opisan i primjenjivan parametar spiroergometrijskog testiranja svakako je **maksimalni ili vršni utrošak kisika (VO_2 max ili VO_2 peak)**. Ispitanici opterećeni kardiovaskularnom ili respiratornom patologijom u pravilu ne dostižu maksimalnu potrošnju kisika te se kod njih govori o vršnom utrošku kisika (VO_2 peak) (2). Funkcionalni kapacitet osobe utvrđuje se mjerenjem maksimalnog utroška kisika za vrijeme maksimalnog mišićnog rada nakon kojeg daljnje povećanje radnog opterećenja ne dovodi do daljnjeg porasta primitka kisika te se smatra očuvanim ukoliko je ispitivanjem dosegnuto barem 85 % predviđene vrijednosti za dob, spol i tjelesnu masu (8). Dobro utrenirani pojedinci u pravilu ostvaruju više od 110 % predviđenog VO_2 . Blago sniženim funkcionalnim kapacitetom smatra se 70-80 %, umjereno sniženim 50-70 %, a teško sniženim <50 % predviđenog VO_2 (2). Maksimalni VO_2 prikazuje sposobnost da se kisik potreban za aerobne puteve dobivanja energije iz pluća adekvatno dostavi do mitohondrija, a može ovisiti o minutnom srčanom volumenu, raspodjeli perifernog toka krvi, arterijskom parcijalnom tlaku kisika, disocijaciji oksihemoglobina u tkivu, sadržaju hemoglobina i arterijskog kisika (2). Nije naodmet spomenuti kako u planiranju stupnja aktivnosti često primjenjivani metabolički ekvivalent (MET) odgovara vrijednosti VO_2 od 3,5 mL/kg/min (9).

Puls kisika (VO_2/HR) predstavlja mjeru dostavljene količine kisika u tkiva svakim otkucajem srca te ovisi o udarnom volumenu i razlici sadržaja kisika

između arterijske i venske krvi. Pokazatelj je udarnog volumena te se u analizi prati dinamika porasta kao i postizanje platoa vrijednosti. Snižen je kod disfunkcije lijeve klijetke i valvularnih bolesti srca uslijed smanjenog udarnog volumena, ali i u arterijskoj hipoksemiji, anemiji, visokoj karboksihemoglobinemiji uslijed reducirane koncentracije kisika u arterijskoj krvi (2).

Anaerobni prag definiran je vrijednošću VO_2 pri kojoj započinje anaerobni metabolizam proizvodnje energije (10). Širok je raspon fizioloških vrijednosti (30-85 % VO_{2max}), iako se smatra da u neutreniranih osoba najčešće iznosi 50-60 % VO_{2max} (2). Porast opterećenja iznad anaerobnog praga prati pad tolerancije, dok se opterećenje ispod razine praga može provoditi duže vrijeme uz dobru toleranciju. Upravo iz tog razloga anaerobni prag je važan parametar u planiranju rehabilitacijskih protokola. Jedan od sinonima za anaerobni prag jest **ventilacijski prag**, točnije prvi ventilacijski prag (VT1), zbog toga što iznad anaerobnog praga dolazi do porasta minutne ventilacije u svrhu eliminacije ugljikovog dioksida nastalog puferiranjem laktata mliječnom kiselinom. Upravo ta činjenica omogućava nam detektiranje praga tzv. slope metodom, koji se manifestira kao otklon u nagibu grafa koji je određen s vrijednosti VO_2 na x koordinatnoj osi prema VCO_2 na y osi (2). Drugi ventilacijski prag (VT2) ili **respiratorna kompenzatorna točka (RCP)** predstavlja točku u kojoj ispitanik ulazi u zonu jake anaerobne aktivnosti, obično pri 70-80 % VO_{2peak} , te je bikarbonatni puferijski sustav iscrpljen (11). Sukladno tome, VCO_2 ne bilježi daljnji porast, dok minutna ventilacija i dalje raste te posljedično raste i odnos ventilacije naspram VCO_2 .

Odnos VCO_2 i VO_2 naziva se disajnom izmjenom (engl. Respiratory Exchange Ratio - **RER**), odgovara metaboličkoj razmjeni plinova u tkivima i posredno ukazuje na predominantni energetski supstrat. Prosječni RER za osobu u mirovanju koja se hrani zapadnjačkom prehranom iznosi 0,8, što proizlazi iz omjera korištenja ugljikohidrata ($RER_{glukoza} = 1$) i masti ($RER_{masti} = 0,7$) kao predominantnog energetskog supstrata. Samom staničnom respiracijom, posljedično, RER ne može prelaziti 1 sve do početka stvaranja viška CO_2 puferiranjem laktata u opterećenju. Zato možemo reći da $RER > 1$ predstavlja mjeru postignutog opterećenja, dok je $RER > 1,2$ pokazatelj iscrpljenosti aerobnog metabolizma (2).

Mjera procjene **ventilacijske efikasnosti** u naporu koja se najčešće upotrebljava jest krivulja odnosa minutne ventilacije i VCO_2 (**VE/VCO_2**), čiji nagib definira ventilacijsku potrebu za uklanjanjem 1 litre ugljičnog dioksida. VE/VCO_2 važan je prognostički biljeg, pogotovo u bolesnika s koronarnom bolesti srca i srčanim zatajivanjem. Vrijednosti nagiba iznad 45 ukazuju na lošu prognozu neovisno o postignutom VO_{2peak} u, a u kombinaciji s VO_{2peak} manjim od 10 mL/kg/min predstavljaju posebno lošu prognozu bolesti (12).

Parcijalni tlak ugljičnog dioksida na kraju izdisaja ($PETCO_2$) mjera je usklađenosti ventilacije i perfuzije, a služi kao dobar pokazatelj ozbiljnosti stanja u respiratornih i kardiovaskularnih bolesnika (10).

Disajna rezerva (BR) predstavlja odnos ili razliku između maksimalne ventilacije tijekom postignutog opterećenja (VE_{peak}) i maksimalne voljne ventilacije (MVV) te fiziološki iznosi 20-50 %, a ne bi trebala biti manja od 15 % ili 11L/min (2). Smanjena BR može ukazivati na umjerene do teške opstruktivne ili restriktivne plućne bolesti.

Srčana rezerva (HRR) razlika je između maksimalnog predviđenog pulsa za dob i izmjerenog pulsa pri vršnom opterećenju. Fiziološki je manja od 15 otkucaja u minuti, dok idealno teži nuli. Za osobe koje u terapiji imaju beta blokator ciljane vrijednosti su $>62\%$ predviđene vrijednosti (13). **Oporavak srčane frekvencije u prvoj minuti** nakon opterećenja (**HRR1**) vezana je uz parasimpatičku aktivnost, a snižene vrijednosti (pad <12 otkucaja/minuta) ukazuju na lošu prognozu u osoba sa srčanim popuštanjem (10).

Uz tablični prikaz rezultata, karakteristično se grafički prikazuju **Wassermanovi standardizirani paneli**, čija interpretacija nadilazi ovaj sažetak (14).

Značaj spiroergometrijske procjene u planiranju rehabilitacijskog programa

Vodeći se mišlju da je tjelovježba lijek, a svaki lijek je potrebno pravilno dozirati, neosporna je važnost adekvatne procjene funkcionalnog kapaciteta u svrhu planiranja aerobnog kondicioniranja ili rekondicioniranja kao dijela rehabilitacijskog procesa. Do sada je opisan veliki broj modifikacija spiroergimetra u ovisnosti o mogućnostima ispitanika (pokretna traka, bicikl-ergometar, cikloergometar), kao i velik broj različitih protokola koji se mogu prilagoditi svakom pojedincu. Isključivši kontraindikacije, ne postoji zapreka za pravilno doziranje intenziteta aktivnosti u skladu s objektivnim parametrima koje nam daje spiroergometrija.

Različiti su oblici titriranja aerobne aktivnosti:

Tradicionalno, intenzitet aerobne aktivnosti određivao se u skladu s postignutim VO_2_{peak} (15):

1. Niski intenzitet: 28-39 % VO_2_{peak} ,
2. Umjereni intenzitet: 40-59 % VO_2_{peak} ,
3. Visoki intenzitet: 60-84 % VO_2_{peak} ,
4. Vrlo visoki intenzitet: $>84\%$ VO_2_{peak} .

Moderniji koncepti preporučuju doziranje aktivnosti u skladu s postignutim ventilacijskim pragovima, a ne u rasponu postignutog VO_2 (16):

1. Niski intenzitet: srčana frekvencija ili opterećenje ispod VT1,
2. Umjereni intenzitet: zona između VT1 i VT2,
3. Visoki intenzitet: zona iznad VT2.

U ovom obliku procjene intenziteta poželjno je nakon tri mjeseca ponoviti testiranje u svrhu ponovne procjene ventilacijskih pragova i modifikacije zona aktivnosti (2).

Izuzev intenziteta aktivnosti, nužno je voditi se principom određivanja učestalosti, trajanja, vrste aktivnosti i oblika treninga u svih skupina bolesnika, pa tako i osoba s osteoartritisom, što u ovom trenutku, u većini slučajeva, još uvijek nije zaživjelo u planiranju rehabilitacijskih programa. Upravo korištenje spiroergometrije u svakodnevnom radu specijalista fizikalne i rehabilitacijske medicine predstavlja iskorak u takvom pristupu rehabilitaciji.

Literatura

1. Guazzi M, Arena R, Halle M, Piepoli MF, Myers J, Lavie CJ. 2016 Focused Update: Clinical Recommendations for Cardiopulmonary Exercise Testing Data Assessment in Specific Patient Populations. *Circulation*. 2016;133(24):e694-711.
2. Peršić V, Travica Samsa D i sur. RITAM Rehabilitacija kardiovaskularnih bolesnika, Individualni pristup, Tjelesna aktivnost, Ateroskleroza, Modifikacija čimbenika rizika, Motivacija. Zagreb: Medicinska naklada; 2005.
3. Milani RV, Lavie CJ, Mehra MR. Cardiopulmonary exercise testing: how do we differentiate the cause of dyspnea? *Circulation*. 2004;110(4):e27-31.
4. Balady GJ, Arena R, Sietsema K, Myers J, Coke L, Fletcher GF, Forman D, Franklin B, Guazzi M, Gulati M, Keteyian SJ, Lavie CJ, Macko R, Mancini D, Milani RV; American Heart Association Exercise, Cardiac Rehabilitation, and Prevention Committee of the Council on Clinical Cardiology; Council on Epidemiology and Prevention; Council on Peripheral Vascular Disease; Interdisciplinary Council on Quality of Care and Outcomes Research. Clinician's Guide to cardiopulmonary exercise testing in adults: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*. 2010;122(2):191-225.
5. Campbell SC. A comparison of the maximum voluntary ventilation with the forced expiratory volume in one second: an assessment of subject cooperation. *J Occup Med*. 1982;24(7):531-3.
6. Fletcher GF, Ades PA, Kligfield P, Arena R, Balady GJ, Bittner VA, Coke LA, Fleg JL, Forman DE, Gerber TC, Gulati M, Madan K, Rhodes J, Thompson PD, Williams MA; American Heart Association Exercise, Cardiac Rehabilitation, and Prevention Committee of the Council on Clinical Cardiology, Council on Nutrition, Physical Activity and Metabolism, Council on Cardiovascular and Stroke Nursing, and Council on Epidemiology and Prevention. Exercise standards for testing and training: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*. 2013;128(8):873-934.
7. Zuniga JM, Housh TJ, Camic CL, Bergstrom HC, Traylor DA, Schmidt RJ, Johnson GO. Metabolic parameters for ramp versus step incremental cycle ergometer tests. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2012;37(6):1110-7.

8. Ross RM. ATS/ACCP statement on cardiopulmonary exercise testing. *Am J Respir Crit Care Med.* 2003 May 15;167(10):1451; author reply 1451.
9. Jetté M, Sidney K, Blümchen G. Metabolic equivalents (METS) in exercise testing, exercise prescription, and evaluation of functional capacity. *Clin Cardiol.* 1990;13(8):555-65.
10. Guazzi M, Adams V, Conraads V, Halle M, Mezzani A, Vanhees L, Arena R, Fletcher GF, Forman DE, Kitzman DW, Lavie CJ, Myers J; European Association for Cardiovascular Prevention & Rehabilitation; American Heart Association. EACPR/AHA Scientific Statement. Clinical recommendations for cardiopulmonary exercise testing data assessment in specific patient populations. *Circulation.* 2012;126(18):2261-74.
11. Mezzani A. Cardiopulmonary Exercise Testing: Basics of Methodology and Measurements. *Ann Am Thorac Soc.* 2017;14(Supplement_1):S3-S11.
12. Francis DP, Shamim W, Davies LC, Piepoli MF, Ponikowski P, Anker SD, Coats AJ. Cardiopulmonary exercise testing for prognosis in chronic heart failure: continuous and independent prognostic value from VE/VCO(2)slope and peak VO(2). *Eur Heart J.* 2000;21(2):154-61.
13. Elshazly A, Khorshid H, Hanna H, Ali A. Effect of exercise training on heart rate recovery in patients post anterior myocardial infarction. *Egypt Heart J.* 2018;70(4):283-285.
14. Dumitrescu D, Rosenkranz S. Graphical Data Display for Clinical Cardiopulmonary Exercise Testing. *Ann Am Thorac Soc.* 2017 Jul;14(Supplement_1):S12-S21.
15. Vanhees L, Geladas N, Hansen D, Kouidi E, Niebauer J, Reiner Z, Cornelissen V, Adamopoulos S, Prescott E, Börjesson M, Bjarnason-Wehrens B, Björnstad HH, Cohen-Solal A, Conraads V, Corrado D, De Sutter J, Doherty P, Doyle F, Dugmore D, Ellingsen Ø, Fagard R, Giada F, Gielen S, Hager A, Halle M, Heidbüchel H, Jegier A, Mazic S, McGee H, Mellwig KP, Mendes M, Mezzani A, Pattyn N, Pelliccia A, Piepoli M, Rauch B, Schmidt-Trucksäss A, Takken T, van Buuren F, Vanuzzo D. Importance of characteristics and modalities of physical activity and exercise in the management of cardiovascular health in individuals with cardiovascular risk factors: recommendations from the EACPR. Part II. *Eur J Prev Cardiol.* 2012;19(5):1005-33.
16. Hansen D, Abreu A, Ambrosetti M, Cornelissen V, Gevaert A, Kemps H, Laukkanen JA, Pedretti R, Simonenko M, Wilhelm M, Davos CH, Doehner W, Iliou MC, Kränkel N, Völler H, Piepoli M. Exercise intensity assessment and prescription in cardiovascular rehabilitation and beyond: why and how: a position statement from the Secondary Prevention and Rehabilitation Section of the European Association of Preventive Cardiology. *Eur J Prev Cardiol.* 2022;29(1):230-245.