

IMPULSNA OSCILOMETRIJA - NOVOST U MJERENJU PLUĆNE FUNKCIJE

DAVOR PLAVEC, IVANA MALOČA VULJANKO*

Zbog velike učestalosti respiratornih bolesti u pedijatrijskoj populaciji, javila se potreba za razvojem neinvazivnih tehnika za procjenu plućne funkcije. Posljednjih godina u svakodnevnoj kliničkoj primjeni je prisutna impulsna oscilometrija, vrsta forsirane oscilatorne tehnike. Princip rada bazira se na primjeni valova tlaka izvana na dišne putove te mjerenju i analizi reflektiranih valova te posljedičnom određivanju respiratorne impedancije kao indikatora funkcije pluća. Respiratorna impedancija određena je korištenjem kompleksnog matematičkog modela, a sastoji se od stvarnog (realnog) dijela zvanog respiratorni otpor i imaginarnog dijela koji se naziva respiratorna reaktansa. U odnosu na druge metode ispitivanja plućne funkcije potrebna je samo pasivna suradnja s ispitanikom u vidu nošenja stezaljke na nosu i zatvorenih usta na usniku, te spontano disanje na usta. Posebna vrijednost IOS-a je u njegovoj mogućnosti da mjeri i kratkotrajni odgovor na bronhalnu i terapijsku intervenciju kao i u praćenju dugoročnog trenda odgovora na terapiju.

Deskriptori: IMPULSNA OSCILOMETRIJA, PLUĆNI FUNKCIJSKI TESTOVI, ASTMA, PREDŠKOLSKA DOB

Skraćenice:
IOS - impulsna oscilometrija;
FOT - forsirana oscilatorna tehnika

Uvod

S obzirom na veliku učestalost respiratornih bolesti poput astme i alergijskog rinitisa u pedijatrijskoj populaciji (posebice predškolskoj) diljem svijeta, javila se potreba za razvojem neinvazivnih tehnika za procjenu plućne funkcije u toj dobnoj skupini. Djeca predškolske dobi lošije surađuju pri mjerenju plućne funkcije standardnim metodama za procjenu plućne funkcije (spirometrija), a i način mjerenja (forsirani izdah) nije u skladu s fiziologijom disanja (1-3). Među zadnje implementiranim metodama u svakodnevnoj kliničkoj primjeni je impulsna oscilometrija (IOS). Ideja o njenom korištenju potiče još iz 50-tih godina prošlog stoljeća, ali je bilo potrebno postići odgovarajući razvoj procesorske snage

*Dječja bolnica Srebrnjak

Adresa za dopisivanje:
Izv. prof. dr. sc. Davor Plavec, dr. med
Dječja bolnica Srebrnjak
10000 Zagreb, Srebrnjak 100
E-mail: plavec@bolnica-srebrnjak.hr

Princip rada

IOS aparatura stvara oscilacije tlaka pomoću zvučnika koje se preko usta prenose traheobronhalnim stablom u

računala kako bi se dobivene podatke moglo analizirati u realnom vremenu (4). IOS spada u grupu forsiranih oscilatornih tehnika (FOT, od engl. *forced oscillation technique*) za mjerenje mehanike disanja. Za razliku od ostalih metoda procjene plućne funkcije FOT utvrđuje mehaniku disanja tako što nadograđuje slabi vanjski tlačni signal na spontano disanje ispitanika. Princip rada bazira se na primjeni valova tlaka izvana na dišne putove te mjerenju i analizi reflektiranih valova. U odnosu na druge metode ispitivanja plućne funkcije potrebna je samo pasivna suradnja s ispitanikom u vidu nošenja stezaljke na nosu i zatvorenih usta na usniku, te normalno disanje kroz usta.

Cilj ovog preglednog članka je pružiti uvid o metodi i primjeni IOS-a u djece. U tu svrhu učinjena je pretraga članaka objavljenih na engleskom jeziku putem Pubmed tražilice te dostupna literatura od strane proizvođača IOS aparature i općih tražilica.

pluća, što je praćeno širenjem i odbijanjem elastične komponente plućnog tkiva uz stvaranje povratnog tlaka. Posljedični odnos tlak-protok se raščlanjuje u smislu impedancije (5). Impedancija predstavlja potpunu suprotnost protoku. Kad je protok stalan, otpor je jednostavno samo otpor, odnosno tlak određen veličinom toka; kada se protok mijenja, impedancija također uključuje čimbenike koji se protive promjenama u protoku. Primjerice, promjene impedancije, od jednostavnog otpora zbog utjecaja kapaciteta i induktiviteta, postaju važnije u situaciji izmjenične struje povećanjem frekvencije oscilacije. Analogno tome (npr., pulsirajući protok krvi, prema-i-od alveola protok zraka u dišnim putovima), impedancija ne ovisi samo o viskozitetu otpora, nego i na kompresibilnosti, popustljivosti, inertnosti te frekvenciji primijenjenih oscilacija.

IOS predstavlja multifrekvencijsku oscilirajuću metodu. Ona osigurava mjerenje respiratorne mehanike u smislu respiratorne impedancije kao funkcije frekvencije $Z(f)$ unutar raspona frekvencija (3-38 Hz) (6). Signali niskih frekvencija (5 Hz) dospijevaju do periferije pluća, dok signali više frekvencije (20

Hz) dopiru samo do proksimalnih dišnih putova. To je zbog fizičkih svojstava veličine, oblika i sastava tkiva ljudskog prsnog koša. Za jasniju predodžbu valja se prisjetiti svakodnevnice činjenice kako će glasna glazba niskih frekvencija (bas) izazvati vibraciju cijelog tijela slušatelja, dok će učinak izostati s tonovima viših frekvencija.

Tehnika mjerenja

Aparat za IOS sastoji se od mjerne glave, otpornika, pneumotahografa, pretvarača tlaka i protoka te računala (Slika 1). Mjerna glava, spojena s jedne strane na y-adapter, sadrži zvučnik koji proizvodi oscilacije tlaka. Na donjem kraku y-adaptera spojen je pneumotahograf. Proksimalna strana pneumotahografa spojena je na pretvornik protoka i tlaka. Da bi se izbjegle fazne razlike, podudarni pretvornici se koriste i za kanale tlaka i za kanale protoka. Terminalni otpornik

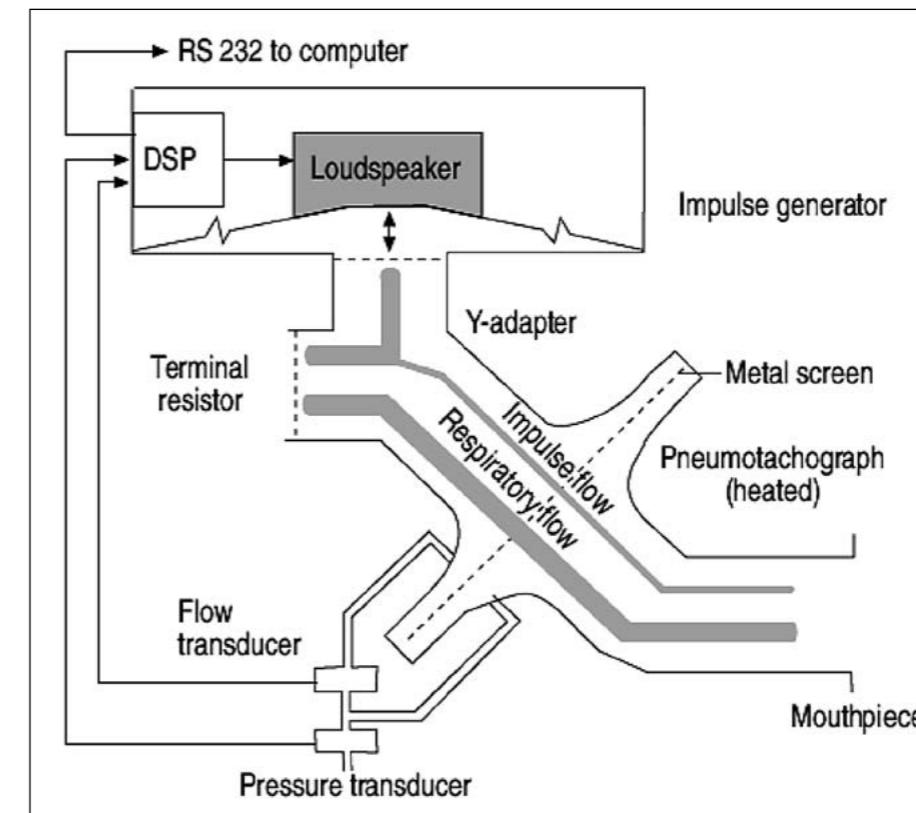
stvara putanju niske impedancije za respiratorni protok te omogućava da se dovoljan tlak impulsa pošalje u respiratorni sustav. U praksi, IOS metoda se provodi na sljedeći način: subjekt udiše ambijentalni zrak preko usnika i terminalnog otpornika, zvučnik stvara i prenosi impulse tlaka preko y-adaptera, pneumotahografa i usnika u respiratorni trakt, a zatim posljednja dva registriraju signale disajne aktivnosti i primjenjuju prisilne impulse za daljnju obradu (7).

Sloboda ispitanika da diše "prirodno" nameće povećane zahtjeve za pažnju tehničara, koji mora održati mirnu okolinu za testiranje. Prije korištenja IOS metode, ispitanik treba prvo biti upoznat s postupkom testiranja, s naglaskom da treba disati normalno tijekom samog testa kako bi se spriječile nepravilnosti mjerenja (8). Ispitanik sjedi opušteno trudeći se zadržati stabilno držanje u uspravnom sjedećem položaju tijekom

testiranja. Glava se održava u neutralnom položaju ili laganoj ekstenziji izbjegavajući fleksiju (9, 10). Križanje nogu treba izbjegavati, jer se tako kontrahiraju trbušni mišići što može dovesti do smanjenih plućnih volumena na kraju izdaha. Tijekom ispitivanja, usnice ispitanika trebaju biti čvrsto stisnute oko usnika. Radi kompenzacije gornjeg šanta zbog obraza koji se šire pod oscilacijama tlaka zraka i time ograničavaju prijenos zraka u pluća, obrazi moraju biti čvrsto pridržani stavljajući ruke ispitanika ili ispitivača direktno preko njih (Slika 2) (11). Nosna štipaljka se koristi da zatvara nosnice kako bi se spriječilo nazalno disanje te spriječilo da primijenjene oscilacije tlaka pobjegnu kroz nosnice. Općenito se provodi 30-sekundni interval testiranja. Konačno, dostupnost rezultata nakon kratkog testa ne treba zavesti tehničara da prihvati pojedinačno mjerenje nego da primijeni uobičajenu proceduru kod kliničkog testiranja koja zahtijeva najmanje tri ponovljiva mjerenja.

IOS parametri

Osnovni pojmovi o IOS metodi navedeni su u Tablici 1. Respiratorna impedancija određena je korištenjem kompleksnog matematičkog modela, a sastoji se od stvarnog (realnog) dijela zvanog respiratorni otpor (R) i imaginarnog dijela koji se naziva respiratorna reaktansa (X). Otpor (R) i reaktansa (X), mjereni pri 5 Hz su označeni kao R5 i X5, dok su oni mjereni pri 20 Hz označeni kao



Legenda: DSP - digitalna integracija podataka mjerenja; Loudspeaker - zvučnik; Terminal resistor - terminalni otpornik; Flow transducer - pretvornik protoka; Pressure transducer - pretvornik tlaka; Mouthpiece - usnik; Pneumotachograph (heated) - pneumotahograf (grijani); Impulse flow - protok impulsa; Respiratory flow - protok zraka; Metal screen - metalno sito; Impulse generator - generator impulsa; RS232 to computer - serijski (RS232) izlaz prema računalu.

Slika 1.
IOS aparatura (7)



Slika 2.
Način mjerenja plućne funkcije impulsnom oscilometrijom (IOS-om)

Tablica 1.
Osnovni pojmovi u IOS-u

5 Hz signal	sporiji vremenski ciklus, duža duljina vala - signal doseže periferiju pluća - informacija o cjelokupnom dišnom sustavu
20 Hz signal	brži vremenski ciklus, kraća duljina vala - signal dopire do proksimalnih velikih dišnih putova
Reaktansa (X)	Energija proizvedena elastičnošću pluća i prsnog koša nakon njegove distenzijom tlačnim valom koji nije u fazi vala protoka zraka
Otpor (R)	Energija potrebna da se tlačni val prenese kroz dišne putove Određuje se u trenutku kada je tlačni val u fazi sa protokom zraka i nije oponiran elastičnom komponentom pluća
Otpor pri 5 Hz	Ukupan otpor (Rc + Rp)
Otpor pri 20 Hz	centralni otpor (Rc)
R (5 Hz) - R (20 Hz)	periferni otpor (Rp)

R20 i X20. Kako bi se bolje razumjelo što predstavlja imaginarni dio, valja reći da respiratorni otpor predstavlja energiju potrebnu da se propagira tlačni val kroz dišne putove, a reaktansa predstavlja jačinu odbijanja stvorenu protiv tog vala tlaka (12). Znači radi se o dvije istovremeno prisutne komponente koje djeluju u istim strukturama pluća, a suprotno su predznaka te je stoga jedna realna, a druga imaginarna komponenta, a njihova rezultanta je impedancija (Zrs).

$$Z(f) = R(f) + jX(f)$$

Respiratorni otpor (R) je mjera otpora proksimalnih (središnjih) i distalnih (perifernih) dišnih putova, kao i plućnog tkiva i zida grudnog koša, dok su ostali otpori obično zanemarivi (6). IOS mjeri otpor (R) dišnih putova i pluća pri različitim frekvencijama, a izračunava se iz signala tlaka i protoka (otpor = tlak/protok) kada je tlak u fazi s protokom (kad val tlaka ulazi u pluća bez utjecaja sile odbijanja). Kod zdravih odraslih osoba, R je gotovo neovisan o frekvenciji oscilacije. Oscilacije niže frekvencije, poput 5 Hz, općenito putuju dalje do periferije pluća i daju uvid u otpor cjelokupnog plućnog sustava. Stoga, kada se javi opstrukcija bilo proksimalnog ili distalnog dijela, R5 i X5 mogu se povećati. Oscilacije više frekvencije, kao što je 20 Hz, prenose signal proksimalnije i osiguravaju uvid u otpor i reaktansu prvenstveno iz centralnih dišnih putova. Dakle, centralna opstrukcija će se odraziti povećanim R20. Kako se sve frekvencije mjere istovremeno kod centralne opstrukcije

biti će istovremeno i istovjetno povećan R5 i R20, dok će kod periferne opstrukcije biti povećan samo R5 bez povećanja R20. U slučaju da istovremeno postoji i centralna i periferna opstrukcija R5 će biti povećan više od R20 (jer R5 mjeri istovremeno perifernu i centralnu opstrukciju, a R20 samo centralnu) te će periferna opstrukcija biti iskazana kao razlika ukupne rezistencije i centralne rezistencije (R5-R20). U male djece je fiziološki prisutna ovisnost otpora o frekvenciji, što osobito dolazi od izražaja kod periferne opstrukcije protoka zraka koja je tada značajno veća u odnosu na odrasle. Otpor se mjeri u cmH₂O/l/s ili KPa/l/s (7).

Respiratorna reaktansa (X) je složen pojam i uključuje sile inercije (I), što je rezultat kretanja stupca zraka kroz provodne cijevi dišnih putova i elastičnih osobina plućnog tkiva izražene u obliku kapaciteta (C) (7). Važno je primijetiti da C predstavlja sposobnost dišnog sustava za pohranu energije, koja se prvenstveno nalazi u periferiji pluća (13). Komponenta X povezana s C se definira kao negativna u predznaku, što znači da je C dominantan kod niskih frekvencija oscilacije, dok komponenta X koja se odnosi na I je pozitivna u predznaku, što znači da je I više istaknut pri visokim frekvencijama oscilacija. Reaktansa se mjeri u cm H₂O/l/s ili KPa/l/s (7).

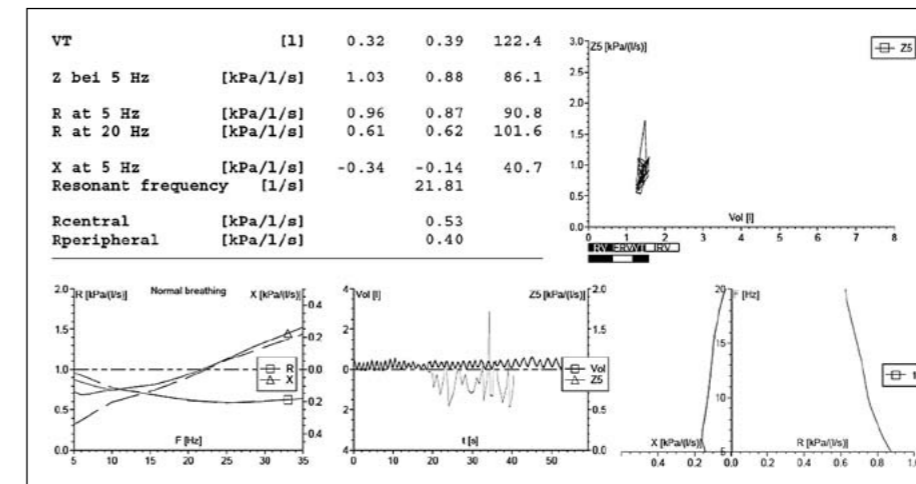
Na niskim frekvencijama pluća se pasivno rastežu, visoka je popustljivost uz malo elastičnog povrata. Kako se frekvencija povećava, količina energije koja

se deponira u plućni sustav se povećava, a pluća idu od pasivne distentije k aktivnom sužavanju. Analogno napuhavanju balona, mala količina zraka u početku rasteže balon bez otpora. Pa ipak postoji točka pri kojoj količina zraka koja napuhava balon počinje uzrokovati stezanje počevši proizvoditi otpor daljnjem rastezanju, a ta potencijalna energija u materijalu može proizvesti stezanje.

Rezonantna frekvencija (Fres): točka na kojoj su C i I jednake te je reaktansa jednaka nuli i mjeri se u hercima (s-1) (7). Ovaj parametar ne treba interpretirati kao posebnu mehaničku osobinu respiratornog sustava, nego on može biti korišten kao pogodan marker za odvajanje otpora na niskim frekvencijama od otpora na visokim frekvencijama. Abnormalnosti respiratornog sustava imaju za posljedicu povećanje Fres (7). To je posljedica promjene mehaničkih svojstava plućnog tkiva pri različitim abnormalnostima te bolestima.

Površina reaktancije: (AX-Goldmanov trokut) je definiran kao integrirana veličina otpora respiratorne reaktanse na niskoj frekvenciji između 5 Hz i Fres, te se mjeri u cm H₂O/l ili kPa/l. AX je jedinstvena veličina koja reflektira promjene u stupnju opstrukcije perifernih dišnih putova.

Koherentnost je povezanost između protoka zraka i tlaka, a smatra se da odražava pouzdanost provedenog IOS ispitivanja. Ako postoji neslaganje između protoka zraka i amplitude reflektirajućeg tlaka vala, koherentnost će biti niska. Kroz vremenski period od 30 sekundi koliko traje testiranje (koje generira 120 uzoraka podataka), prihvatljive vrijednosti koherentnosti su 0,6 ili veće na 5 Hz i 0,8 ili veće na 10 Hz (13, 14). Međutim, jasno utvrđena granica prihvatljivih vrijednosti još nije utvrđena za predškolsku djecu (12). Nepravilnosti kod ispitivanja i niska koherentnost može biti posljedica nesposobnosti ispitanika da se opusti, nepravilnog disanja ili hiperventilacije, curenja zraka oko usnog nastavka, neodgovarajući prekid zraka putem nosne štipaljke, nepravilnog držanja obraza, vokalizacije, gutanja, kašlja, privremeno zatvaranje dišnih putova zatvaranjem glotisa, ili opstrukcija protoka zraka u

Slika 3.
Primjer nalaza uz grafički i numerički prikaz rezultata

ustima jezikom. Ako je trajanje mjerenja dugo, prihvatljiva vrijednost koherentnosti je smanjena.

IOS uređaj izračunava koeficijent varijabilnosti (CV), koji služi kao pokazatelj za ispitivanje mogućnosti reprodukcije. Istraživanjem je određen CV za susljedna dnevna i tjedna mjerenja u djece (16 i 17%) (9). Ovaj stupanj varijabilnosti upućuje da nije teško postići slična ponovljena mjerenja. Kod bronhodilatatornog testa, odgovor treba tumačiti u svjetlu prijetestnog i posttestnog CV kako bi bilo sigurno da je odgovor na bronhodilatator najmanje dvostruk u odnosu na početni CV (9).

Tablica 2.
IOS interpretacija (30)

Pregledaj grafički prikaz	za dobivanje početnog dojma pogotovo kada se izvodi bronhodilatacijski ili bronhokontrični test	Da li grafikoni izgledaju gotovo isto ili postoji velika promjena u izgledu grafa
Pregledaj ukupni otpor (R5) - da li je normalan ili uvećan?	povišena vrijednost R5 znači kada stvarna vrijednost je veća od 150% predviđene	Ako je odgovor negativan na oba pitanja tada je otpor normalan te je sljedeći korak pregled reaktanse
Da li je značajna promjena R5 u bronhodilatacijskom testu?	Pod značajnom promjenom se smatra % promjene najmanje 20%	Ako je odgovor pozitivan na bilo koje ili oba pitanja tada je potrebno pregledati R20 kao i otpor u cijelosti
Pregledaj R20 - da li je normalan ili uvećan?	povišena vrijednost R5 znači kada je stvarna vrijednost veća od 150% predviđene	Normalan R20 sa povišenim R5 upućuje na nepravilnosti na periferiji pluća Povišen R20 sa povišenim R5 upućuje na moguću centralnu plućnu bolest
Pregledaj parametre reaktanse (X5 i fres)	Normalne vrijednosti X5 se smatraju vrijednosti u području iznad sljedeće vrijednosti (X5 predviđeni - 1.5 Fres je patološki ako je veći od predviđenog ili se smanjuje za više od 20% u bronhodilatacijskom testu	Kako X5 i Fres određuju područje reaktanse (AX) ako ijedan od ta dva parametra su abnormalni AX će biti uvećano. To se osobito primjećuje u postdilatacijskom odgovoru

su dodatne studije za točnije utvrđivanje referentnih vrijednosti (15, 16). Nakon izvođenja IOS-a računalo prikazuje informacije i numerički i grafički (Slika 3).

Iz grafičkog prikaza možemo zaključiti da je ova metoda najprikladnija za mjesto lokacije opstrukcije, odnosno da li je riječ opstrukcije na periferiji pluća, na razini velikih dišnih putova ili njihovoj kombinaciji ili je pak problem izvan prsnog koša, preciznije ekstratorakalnoj opstrukciji. Moguće je i prepoznati restriktivne smetnje.

U Tablici 2 je naveden način tumačenja rezultata. Pri korištenju IOS-a u bronhodilatacijskom testu, pozitivan odgovor na bronhodilatator se smatra kao 20 do 40% promjena u parametru R5 te 15 do 30% promjena parametra R10, što upućuje na reverzibilnu opstrukciju u djece (12, 13).

Klinička primjena

Potencijalna primjena oscilometrije uključuje pedijatrijsku, odraslu i gerijatrijsku populaciju, uključujući kliničku dijagnostiku, praćenje terapijskih postupaka, epidemiološku procjenu, sve neovisno o težini plućne bolesti poput astme i cistične fibroze (13, 17-20). IOS može pomoći razlikovati astmu, kronični bronhitis i emfizem na temelju razlike u plućnom otporu, frekvencijske ovisnosti

otpora, i plućne reaktanse (21). Također je korišten za određivanje plućne funkcije u pojedinaca sa stabilnom astmom, a tijekom bronhoprovokacije metakolinom (22). Kako se IOS provodi bez zatvaranja ventila spojenog na usnik te bez potrebe za maksimalnim forsiranim manevrima malo je vjerojatno da kao metoda mijenja tonus glatkih mišića bronha.

Mogućnost prijenosa IOS aparature i mjerenja plućne funkcije neovisno o naporu naglašava korisnost IOS-a pri procjeni dišne disfunkcije uz postelju u kritički bolesnih te mogućnost utvrđivanja optimalnih parametara za mehaničku ventilaciju iz parametara plućnog otpora i elastičnosti (23, 24). U opstruktivne sleep-apneje, IOS je korišten za procjenu stupnja opstrukcije gornjih dišnih putova, pri određivanju optimalnog kontinuiranog pozitivnog tlaka u dišnim putovima potrebnih za liječenje opstrukcije, i pri procjeni razrješenja opstrukcije kirurškom intervencijom (25-27). Metoda je također primjenjiva i u veterini (28).

Usporedba s ostalim metodama

Promjene respiratornih mehaničkih parametara vezane uz promjenu oscilatorne frekvencije glavna je osobina koja omogućuje IOS-u procjenu funkcije perifernih dišnih putova. Kratko trajanje testa, otprilike 20-30 s, predstavlja praktičnu prednost u plućnoj funkcijskoj dijagnostici. Ostale prednosti impulsne oscilometrije u odnosu na konvencionalne metode plućne funkcije su dodatna, relevantna informacija, jednostavno rukovanje i kontrola (suradnja, instrukcije) te niski troškovi.

Standardna spirometrija ostaje i dalje glavna metoda u kliničkoj procjeni plućne funkcije u djece školske dobi i odraslih. Tehnika izvođenja je jednostavna, metoda je standardizirana, a referentne vrijednosti kao i način tumačenja rezultata su već duže vrijeme dostupne u stručnoj literaturi. Međutim, spirometrija nije "fiziološka" tj. prilikom izvođenja nema spontanog disanja: duboki udisaji i forsirani izdisaji mogu promijeniti tonus dišnih putova, a time i rezultate. Nadalje, nedostaci spirometrije od strane bolesnika su tjelesni napor pri izvođenju (otežana pri mišićnoj slabosti)

te nužna adekvatna suradljivost koja uključuje razumijevanje tehnike izvođenja (poznavanje jezika, starija dob ispitanika). Čak i tehnički dobro izvedena spirometrija ostavlja mnoga neodgovorena pitanja, poput ograničenja protoka zraka koji može biti rezultat nestabilnosti dišnih putova, opstrukcije centralnih i/ili perifernih dišnih putova, abnormalne elastičnosti prsnog koša, ekstratorakalne opstrukcije dišnih putova, slabosti respiratorne muskulature. U usporedbi sa standardnom spirometrijom IOS je također neinvazivna, lako izvediva, a najvažnije, zahtjeva pasivnu suradnju ispitanika jer nema posebnih disajnih manevara. Istraživanje koje je uspoređivalo 4-godišnju djecu s anamnezom astme u odnosu na djecu bez astme, pokazalo je da IOS ima značajni postbronhodilatacijski odgovor u područjima rezistencije i reaktanse unutar grupe astmatičara, što nije otkriveno konvencionalnom spirometrijom (13). Druga studija koja je pratila učinak terapije u astmatičara pokazala je značajne promjene u IOS parametrima dok spirometrijski parametri nisu bili značajno promijenjeni (29).

Tjelesna pletizmografija je pokazala svoju korisnost u određivanju otpora dišnih putova u predškolskih astmatičara, procjeni terapijskog učinka, određivanju odgovora na bronhodilatator, plućne funkcije u bolesnika s CF. Slično kao i kod IOS-a metoda je neinvazivna, zahtjeva pasivnu suradnju ispitanika, a podaci su dobiveni tijekom spontanog mirnog disanja. Međutim, pletizmografija može biti nelagodna pri izvođenju zbog zatvorene kabine u kojoj subjekt mora boraviti tijekom izvođenja pretrage. Veličina i nemogućnost prenošenja opreme također ograničava primjenu u svakodnevnom kliničkom radu.

Zaključak

IOS predstavlja neinvazivnu, brzu i sigurnu tehniku mjerenja respiratorne impedancije kao indikatora funkcije pluća. Posebna vrijednost IOS-a je u njegovoj mogućnosti da mjeri i kratkotrajni odgovor na bronhalnu i terapijsku intervenciju kao i u praćenju dugoročnog trenda odgovora na terapiju. Jednostavnost IOS mjerenja te minimalni zahtjevi

za suradnju od strane ispitanika u značajnom su kontrastu s njezinom vrlo ograničenom prihvaćenošću u kliničkoj praksi. Glavni razlog za trenutno ograničenu uporabu IOS-a uključuje relativno kompleksan način prikaza rezultata te potrebu za dobrim poznavanjem povezanosti frekvencijske ovisnosti mehaničkih promjena u dišnim putovima kako bi se nalaz očitao na ispravan način. Nedostatak poznavanja ove mogućnosti IOS-a za procjenu funkcije perifernih dišnih putova okrenuo je liječnike korištenju višestruko ponavljanih HRCT (*high-resolution computed tomography*) prikaza za procjenu funkcije malih dišnih putova. Ostali razlozi ograničene uporabe IOS-a vjerojatno su vezani uz veću varijabilnost mjerenja od spirometrije. Usprkos povećanoj varijabilnosti, uporaba najmanje tri ponovljiva IOS mjerenja kombiniranih s terapijskom provokacijom mogu osigurati senzitivnu procjenu funkcije dišnih putova. Dakle, IOS uz odgovarajuću edukaciju tehničara i liječnika predstavlja odličan izbor za procjenu plućne bolesti u djece, posebice one upitne ili loše suradljivosti te kao dopunska metoda za dodatnu procjenu uz spirometriju.

Autori izjavljuju da nisu bili u sukobu interesa.
Authors declare no conflict of interest.

LITERATURA

- Aurora P, Stocks J, Oliver C, Saunders C, Castle R, Chaziparasidis G, Bush A; London Cystic Fibrosis Collaboration. Quality control for spirometry in preschool children with and without lung disease. *Am J Respir Crit Care Med.* 2004; 169 (10): 1152-9.
- Vilozni D, Barak A, Efrati O et al. The role of computer games in measuring spirometry in healthy and "asthmatic" preschool children. *Chest* 2005; 128: 1146-55.
- Arets HG, Brackel HJ, van der Ent CK. Forced expiratory manoeuvres in children: do they meet ATS and ERS criteria for spirometry? *Eur Respir J* 2001; 18: 655-60.
- Dubois AB, Brody AW, Lewis DH, Burgess BF Jr. Oscillation mechanics of lungs and chest in man. *J Appl Physiol.* 1956; 8: 587-94.
- Beydon N. Pulmonary function testing in young children. *Paediatr Respir Rev.* 2009; 10 (4): 208-13.
- Goldman MD. Clinical application of forced oscillation. *Pulm Pharmacol Ther.* 2001; 14 (5): 341-50.

- Smith HJ, Reinhold P, Goldman MD. Forced Oscillation technique and impulse oscillometry. *Eur Respir Mon.* 2005; 31: 72-105.
- Ducharme FM, Davis GM. Measurement of respiratory resistance in the emergency department: feasibility in young children with acute asthma. *Chest.* 1997; 111: 1519-25.
- Oostveen E, MacLeod D, Lorino H et al. The forced oscillation technique in clinical practice: methodology, recommendations and future developments. *Eur Respir J.* 2003; 22: 1026-41.
- Michels A, Decoster K, Derde L, Vleurinck C, Van de Woestijne KP. Influence of posture on lung volumes and impedance of respiratory system in healthy smokers and nonsmokers. *J Appl Physiol.* 1991; 71: 294-9.
- Desager KN, Cauberghs M, Naudts J, van de Woestijne KP. Influence of upper airway shunt on total respiratory impedance in infants. *J Appl Physiol.* 1999; 87: 902-9.
- Beydon N, Davis SD, Lombardi E et al. An official American Thoracic Society/European Respiratory Society statement: pulmonary function testing in preschool children. *Am J Respir Crit Care Med.* 2007; 175: 1304-45.
- Marotta A, Klinnert MD, Price MR, Larsen GL, Liu AH. Impulse oscillometry provides an effective measure of lung dysfunction in 4-year-old children at risk for persistent asthma. *J Allergy Clin Immunol.* 2003; 112: 317-22.
- Dencker M, Malmberg LP, Valind S et al. Reference values for respiratory system impedance by using impulse oscillometry in children aged 2-11 years. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2006; 26: 247-50.
- Frei J, Jutla J, Kramer G, Hatzakis GE, Ducharme FM, Davis GM. Impulse oscillometry: reference values in children 100 to 150 cm in

height and 3 to 10 years of age. *Chest.* 2005; 128: 1266-73.

- Morgan W, Mansfield L, Wolf J, Souhrada JF. The measurement of total respiratory resistance in small children. *J Asthma.* 1982; 19: 233-40.
- Ortiz G, Menendez R. The effects of inhaled albuterol and salmeterol in 2- to 5-year-old asthmatic children as measured by impulse oscillometry. *J Asthma.* 2002; 39: 531-6.
- Nieto A, Pamies R, Oliver F, Medina A, Caballero L, Mazon A. Montelukast improves pulmonary function measured by impulse oscillometry in children with asthma (Mio study). *Respir Med.* 2006; 100: 1180-5.
- Jartti T, Lehtinen P, Vanto T et al. Efficacy of prednisolone in children hospitalized for recurrent wheezing. *Pediatr Allergy Immunol.* 2007; 18: 326-34.
- Gangell CL, Horak F Jr, Patterson HJ, Sly PD, Stick SM, Hall GL. Respiratory impedance in children with cystic fibrosis using forced oscillations in clinic. *Eur Respir J.* 2007; 30: 892-7.
- Van Noord JA, Clement J, Van de Woestijne KP, Demedts M. Total respiratory resistance and reactance in patients with asthma, chronic bronchitis, and emphysema. *Am Rev Respir Dis.* 1991; 143: 922-7.
- Mansur AH, Manney S, Ayres JG. Methacholine-induced asthma symptoms correlate with impulse oscillometry but not spirometry. *Respir Med.* 2008; 102: 42-9.
- Farre R, Mancini M, Rotger M, Ferrer M, Roca J, Navajas D. Oscillatory resistance measured during noninvasive proportional assist ventilation. *Am J Respir Crit Care Med.* 2001; 164: 790-4.

- Kuhnle GE, Brandt T, Roth U, Goetz AE, Smith HJ, Peter K. Measurement of respiratory impedance by impulse oscillometry: effects of endotracheal tubes. *Res Exp Med (Berl).* 2000; 200: 17-26.
- Liu H, Ni W, Zhao J, Xiong S, Xu Y, Zhang Z. The diagnosis value and its implication of impulse oscillometry in obstructive sleep apnea syndrome patients. *J Tongji Med Univ.* 2000; 20: 280-2.
- Badia JR, Farre RO, John Kimoff R et al. Clinical application of the forced oscillation technique for CPAP titration in the sleep apnea/hypopnea syndrome. *Am J Respir Crit Care Med.* 1999; 160: 1550-4.
- Lin CC, Lee KS, Chang KC, Wu KM, Chou CS. Effect of laser-assisted uvulopalatoplasty on oral airway resistance during wakefulness in obstructive sleep apnea syndrome. *Eur Arch Otorhinolaryngol.* 2006; 263: 241-7.
- Fraipont A1, Van Erck E, Ramery E, Richard E, Denoix JM, Lekeux P, Art T. Subclinical diseases underlying poor performance in endurance horses: diagnostic methods and predictive tests. *Vet Rec.* 2011; 169 (6): 154.
- Larsen GL, Morgan W, Heldt GP et al. Impulse oscillometry versus spirometry in a long-term study of controller therapy for pediatric asthma. *J Allergy Clin Immunol.* 2009; 123: 861-7.
- Carefusion. [http://www.aapa-aa.com/Resources/Documents/Presentation 2012 IOS JW\(1\).pdf](http://www.aapa-aa.com/Resources/Documents/Presentation 2012 IOS JW(1).pdf). Pristupano 14. veljače 2014.

Summary

IMPULSE OSCILLOMETRY - A NOVELTY IN LUNG FUNCTION DIAGNOSTICS

D. Plavec, I. Maloča Vuljanko

According to high prevalence of respiratory disease in the pediatric population, there was a need for the development of noninvasive methods for studying pulmonary function. Nowadays, a new method called impulse oscillometry is available in daily clinical practice, as a type of forced oscillatory techniques. The principle of operation is based on the application of pressure waves from outside the airways and the measurement and analysis of reflected waves and the consequent determination of respiratory impedance as an indicator of lung function. Respiratory impedance is determined using a complex mathematical model, consisting of the actual (real) part called the respiratory resistance and an imaginary part, which is called respiratory reactance. Compared to other methods of lung function testing it requires only passive cooperation with patient in terms of wearing a clamp on his nose and his mouth shut over the mouthpiece with only spontaneous breathing through the mouth. The specific value of IOS is its ability to measure the short-term response to bronchial and therapeutic intervention as well as the long-term monitoring response to therapy.

Descriptors: OSCILLOMETRY, PULMONARY FUNCTION TESTS, ASTHMA, PRESCHOOL CHILDREN

Primljeno/Received: 12. 3. 2014.
Prihvaćeno/Accepted: 21. 3. 2014.