



IMPULSNA OSCILOMETRIJA U MEDICINI KAO NOV METOD ISPITIVANJA

IMPULSE OSCILLOMETRY AS A NEW EXPLORATORY METHOD IN MEDICINE

Dragan Koruga

VMC Novi Sad-Petrovaradin

SAŽETAK

Impulsna oscilometrija je nov metod u medicini i pulmologiji. Prvi međunarodni skup o impulsnoj oscilometriji, održan je u Firenci avgusta 2000.g. tokom Desetog evropskog kongresa pulmologa, i dao je početne smernice o merenju respiratorne impedance. Impulsna oscilometrija je metod koji se koristi za određivanje mehaničkih osobina pluća i respiratornog sistema merenjem respiratorne impedance preko unosa impulsa u sistem koji se proučava. Respiratorna impedanca predstavlja interakciju između osobine otpora i reaktivnosti respiratornog sistema, primarno merena metodom impulsne oscilometrije. Respiratorna impedanca se opisuje kao kompleks (matematički pojam) otpora disajnih puteva koji uključuje dve komponente: realni otpor i imaginarnu reaktansu. Važna su tri parametra koja se analiziraju: rezistanca na 5 Hz, rezistanca na 20 Hz i reaktansa na 5 Hz, na osnovu kojih se određuje stepen proksimalne i distalne opstrukcije, i air trapping. Ova testiranja pokazuju veću osetljivost kod bronhodinamskih testiranja u odnosu na konvencionalne metode. Razvojem ove tehnologije očekuje se njena još veća primena u medicini.

Ključne reči: *impulsna oscilometrija, respiratorna impedanca, rezistanca i reaktansa*

SUMMARY

Impulse oscillometry is a new exploratory method in medicine and pulmonology. The 1st International Conference on Impulse Oscillometry was held in Florence in August 2000, conjoined with the 10th European Respiratory Society Conference. It has defined the initial recommendations for the respiratory impedance measurement. Impulse oscillometry is a method applied to determine the mechanical features of the lungs and the respiratory system and to measure the respiratory impedance by including the impulses into the system under investigation. The respiratory impedance represents the interaction between the resistance and reactivity features of the respiratory system, primarily measured by the impulse oscillometry method. The respiratory impedance is defined as the respiratory resistance complex (a mathematical concept) which includes two components: the real resistance and the imaginary reactance. Three analysed parameters are crucial for estimating the proximal and distal obstruction, and air trapping: resistance to 5 Hz, resistance to 20 Hz and reactance to 5 Hz. These tests exhibit a greater sensitivity in bronchodynamic testing than the standard ones. Further advances of this technology will enable its broader application in medicine.

Key words: *impulse oscillometry, respiratory impedance, resistance, reactance*

Impulsna oscilometrija

Impulsna oscilometrija je nov metod u medicini i pulmologiji. Prvi međunarodni skup o impulsnoj oscilometriji, održan je u Firenci avgusta 2000. g. tokom Desetog evropskog kongresa pulmologa, i dao je početne smernice o merenju respiratorne impedance. 1995. godine je u svetu bilo 50 impulsnih oscilometara, dok danas funkcioniše 1.600 aparata.

Impulsna oscilometrija je metod koji se koristi za određivanje mehaničkih osobina pluća i respiratornog sistema merenjem *respiratorne impedance* (Z) preko unosa impulsa u sistem koji se proučava. *Impedanca* predstavlja kompleksan otpor. *Respiratorna impedanca* (Z) predstavlja interakciju između osobine otpora i reaktivnosti respiratornog sistema, primarno merena metodom impulsne oscilometrije. *Respiratorna impedanca* (Z) se opisuje kao kompleks (matematički pojam) otpora disajnih puteva koji uključuje dve komponente:

- realni otpor-**rezistancu** (R) i
- imaginarni otpor -**reaktansu** (X).

Rezistanca (R) je rezultat mehaničkog disanja realnog dela, predstavlja otpor u disajnim putevima. Rezistanca je potrošač energije, troši ventilatornu energiju i pretvara je u toplotu. **Reaktansa** (X) predstavlja reaktivni i otpor koji je sadržan u onom delu pluća gde nije moguće izmeriti realan otpor, a to je 60% disajnih puteva na periferiji i daje nam informaciju o periferiji i stanju zida grudnog koša. Sadrži dve komponente: **kapacitansu** (C) i **inertansu** (I).

Kapacitansa (C) predstavlja negativni deo reaktanse. Korespondira sa traheobronhijalnim elasticitetom i sa promenama plućnih volumena. Sposobnost skladištenja energije u kapacitansi (*elastic recoil*) je potrebna za pasivnu ekspiraciju.

Inertansa (I) je pozitivni deo reaktanse. Predstavlja kretanja vazduha u bronhijalnom stablu. Nema kliničkog značaja (1-8).

Impulsni oscilometar (IOS)

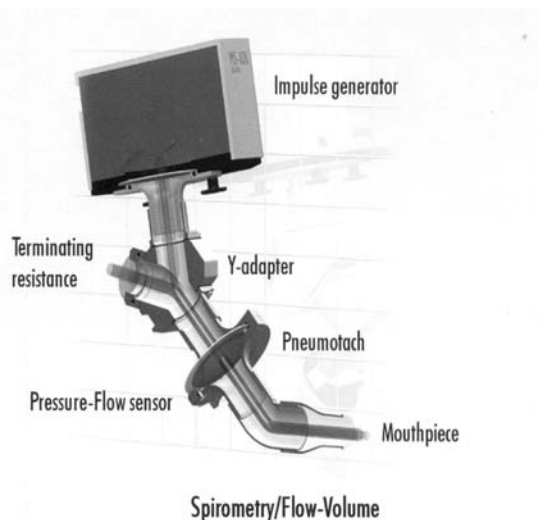
Respiratorna impedanca se meri *impulsnim oscilometrom* (IOS). Najzastupljeniji impulsni oscilometar u pulmološkoj praksi je firme Jeger sa sopstvenim softverom (*Master Screen IOS*). Glavna odlika impulsnog oscilometra (IOS) je da generiše neprekidni spektar signala u određenom frekventnom opsegu. Impulsni oscilometar produkuje neprekidni impulsni signal u vremenskom opsegu koji mora biti odvojen od disanja filtriranjem signala. Ovo se vrši analizom vremena i frekvencije preko *Brze Furijeove transformacije* (FFT) u diskretni signal u frekventnom opsegu. Za IOS je

naročito važan opseg od 5-35 Hz. U zavisnosti od frekventnog opsega impulsni oscilometar meri funkcionalnost respiratornog sistema, i može biti dobijena informacija o mehaničkim osobinama: plućnog parenhima (ispod 2 Hz), centralnih i perifernih disajnih puteva (5-15 Hz) i zidova disajnih puteva (100-200 Hz).

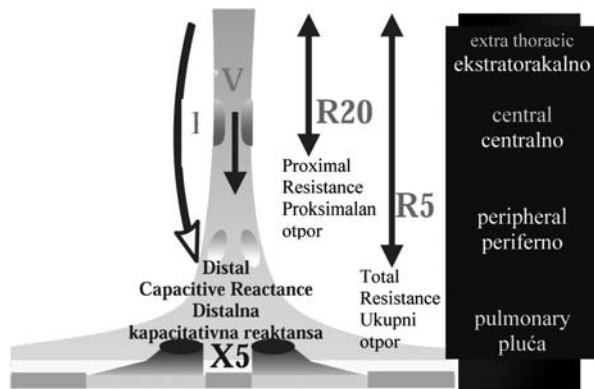
Impulsni oscilometar i princip rada (9, 10) (slika 1):

1. usnik
2. pneumotahograf
3. krajnji otpornik (membrana)
4. generator impulsa (zvučnik)
5. transdjuser (prenosnik)
6. Y- adapter
7. softver

Slika 1. Impulsni oscilometar



Slika 2. Odnosi plućne fiziologije kod impulsne oscilometrije



1. Usnik mora biti od plastike i čvrst;
2. Pneumotahograf služi za merenje otpora u disajnim putevima;
3. Krajnji otpornik ili membrana čini ceo sistem poluzatvorenim. Ima beznačajan efekt na spontano disanje. Impedanca (Z) se određuje disanjem

sobnog vazduha preko pneumotahografa, Y-adaptera i krajnjeg otpornika (membrana).

4. Generator impulsa (zvučnik-loudspeaker) stvara impulse koji se šalju u disajne puteve. Stvara impulsni oblik test signala koji sadrži nemejljive frekvencije, a distribucija svih ovih frekvencija nazvana je spektrom.

5. Transdjuser (prenosnik) ima dva tipa, za protok (V) i usni pritisak (P). Prenosnik spojen sa pneumotahografom registruje signale totalnog pritiska i totalnog protoka i prenosi informacije od spontanog disanja i nadređenog impulsnog signala.

6. Y- adapter susreće respiratorni signal i signal generisan u zvučniku. Generiše talasnu formu signala dok pacijent udiše sobni vazduh preko usnika, pneumotahografa i krajnjeg otpornika, koji je u podređenom položaju u odnosu na impuls koji se generiše u zvučniku.

7. Softver je najvažniji deo IOS-a. Sam impulsni oscilometar je konstruisan pre 20 godina ali nije stavljen u funkciju jer nije bilo softverskih mogućnosti. Danas razvijeni softver kalkuliše veoma komplikovane matematičke proračune. Na osnovu toga prikazuje vrednosti zadatih parametara, grafičke modele koji su važni za analizu testiranja i grafičku interpretaciju za pacijenta, kako preko pisanog nalaza tako i preko kompjutera, radi razumevanja bolesti.

Osobine impulsnog oscilometra

Impulsni test signal obezbeđuje širok spektar frekvencija od 0 do 100 Hz. Brza je metoda jer je dovoljno 30 sekundi snimanja ili 4 ciklusa spontanog disanja. Metod je neinvazivan i objektivan za određivanje respiratorne impedanse. Visoka rezolucija snimanja sa maksimalnih 10 merenja u sekundi. Daje specifičnu informaciju u kombinaciji sa spirometrijom, telesnom pletizmografijom, difuzijom i drugim metodama. IOS je portabilan sa *notebook* kompjuterom.

Mogućnosti IOS-a je određivanje parametara ukupne impedance (Z5), ukupne rezistance na 5 herca (R5), rezistance na 20 herca (R20), reaktanse na 5 herca (X5), rezonantne frekvence (Fres), astma indeksa (AX). Dobijeni impulsni test signal skoro ne zavisi od kooperacije pacijenta, zbog toga je pogodan u pedijatriji (11-14), gerijatriji, medicini rada, kao i pulmologiji, otorinolaringologiji, anesteziologiji (15), sportskoj medicini i eksperimentalnoj medicini. Testiran je bez napora i pri mirnom disanju. Idealan je za izvođenje bronhodilatorskih testova (17-21). Osnovna osobina je diferenciranje između proksimalne (centralni disajni putevi) i distalne (periferni disajni putevi) plućne opstrukcije. Osetljiv je za određivanje ekstra-

torakalnih promena u disajnim putevima. Služi za diferenciranje između respiratornog kolapsa i opstrukcije. Preko manevra vitalnog kapaciteta (VC-manevra) daje odgovore na dalja klinička pitanja. Dobijeni parametri obezbeđuju vredne informacije za ranu dijagnozu plućnih bolesti naročito astme, i praćenje terapije. Postoji mogućnost automatske grafičke interpretacije kao prikaza za pacijenta. *Udah po udah* analiza za određivanje diferencijacije protoka i volumena inspiratornih i ekspiratornih parametara, za diferenciranje pogoršanja hronične opstruktivne bolesti pluća i srčanog puštanja.

Ograničenost impulsne oscilometrije je kod detekcije i diferenciranja restriktivnih poremećaja, i moguće je samo kod uznapredovalih oblika restriktivnih plućnih bolesti. Insuficijentan je metod kod diferenciranja između distalne opstrukcije i distalne restrikcije i moguće je samo sa dodatnim određivanjem vitalnog kapaciteta - VC (spirometrija).

Opšte preporuke za merenja

Pacijent treba da sedi u uspravnom položaju, glava je u blagoj ekstenziji, nos je zatvoren, obrazi se fiksiraju dlanovima, plastični usnik treba postaviti između zuba, jezik postaviti ispred usnika, potpuno usnama obljuditi usnik, skinuti višak odeće. *Asistent* treba da dostigne visoku vrednost svih parametara koja se postiže spontanom disanjem, bez dubokih udaha i bez saveta za disanje, instrukcijama asistenta pre i za vremenja merenja. Testiranje: pacijent mora biti podučen pre testiranja. Pacijent se mora adaptirati na usnik posle pokretanja programa i aktiviranja generatora zvuka (*loudspeaker*). Kada je vidljivo spontano disanje merenje može početi.

Ocena kvaliteta merenja se vrši preko Grafikona ukupne respiratorne impedance (Z5-Volumen) i volumena bez artefakta. Potrebno je da su parametri R5 i X5 u njihovom očekivanom odnosu napredviđene vrednosti. Koherenca (Co) je najbolji način kontrole kvaliteta. Analiziraju se Co5 od 5 Hz i Co20 od 20 Hz. Odličan kvalitet je kada je Co5 vrednosti 0.7 i više, a Co20 vrednosti 0.9 i više.

Važni parametri

R5 ili totalni otpor disajnih puteva, uključuje ekstratorakalne, centralne i periferne disajne puteve.

R20 ili proksimalna rezistanca uključuje ekstratorakalne i pre svega centralne disajne puteve.

X5 ili distalna (periferna) kapacitativna reaktansa predstavlja spoljnu periferiju pluća koja uključuje elastičnost pluća i komponente toraksa.

Fres ili rezonantna frekvenca predstavlja presecanje krive reaktanse sa nultom osom. *AX* ili *astma index* je polje između nulte ose i krive reaktanse. *AX* i *Fres* služe za bronhodinamska ispitivanja.

Interpretacija IOS ispitivanja može biti standardna, proširena, za bronhodinamska testiranja, analiza *-udah po udah* i model interpretacije.

1. Standardna interpretacija

R5- abnormalna ako je iznad 150% od predviđene vrednosti;

X5- abnormalna ako je iznad -0.15 kPa/l/s od predviđene vrednosti;

Plućna funkcija je abnormalna ako je R5 ili X5 ili oba parametra u abnormalnom opsegu i zajedno određuju stepen jačine bolesti. Frekventni odgovor spektra rezistance i reaktanse dopušta dalju kvantifikaciju proksimalne, distalne i ekstratorakalne. Grafikon ukupne respiratorne impedance i volumena (Z5-Volumen) predstavlja jasnu razliku između kolapsa disajnih puteva (*air trapping*) i opstrukcije.

2. Proširena interpretacija

R20 ako je normalan ili iznad 150% od predviđene vrednosti ukazuje na proksimalni respiratorni otpor;

3. Ocena bronhodinamskih testova

Za bronhoproprovokacioni test pozitivan nalaz:

R5 preko 50%;

Fres preko 40% ($FEV_1 - 20\%$);

Za bronhodilatatorni test pozitivan nalaz:

R5 ispod 25%;

Fres ispod 20% ($FEV_1 + 15\%$);

4. *Udah po udah* analiza ne primanjuje se u svakodnevnom radu. Predstavlja analizu svakog udaha.

5. *Model interpretacije* predstavlja šematski prikaz centralnih, perifernih disajnih puteva, pluća i zida grudnog koša kao i njihovih dominantnih vrednosti. Služi za prikaz nalaza pacijentu. Primenjiv samo do 7 godina starosti i ako nema ekstratorakalne stenoze.

Tumačenje nalaza kod bolesti

Asthma Kod postavljanja dijagnoze astme je idealan metod je može da detektuje otpore u disajnim putovima daleko pre pojave simptoma. Obično nalazi prikazuju proksimalnu opstrukciju koja može biti u lakom, srednje teškom i teškom stepenu, gde dolazi do povećanja vrednosti R5 preko 150% od predviđenih vrednosti a vrednost R20 je obično isto povećana preko 150% ili je normalna. Može biti povišena vrednost samo X5, što predstavlja distalnu opstrukciju. U pogoršanjima astme vrednosti proksimalne prelaze u distalnu opstrukciju tako da su R5 i

X5 vrednosti povišene. Vrednost ove metode kod astme je izuzetno važna, takođe kod praćenja terapije, pogotovo u slučajevima kada su vrednosti spirometrije i telesne pletizmografije u granicama normi. Grafikon ukupne impedance i volumena prikazuje specifičan oblik krivulje zarobljenosti vazduha (*air trapping*).

Hronična opstruktivna bolest pluća

Distalna opstrukcija se prikazuje kod hroničnog bronhitisa, tako da su vrednosti R5 preko 150%, R20 normalne ili preko 150%, a vrednost X5 je preko - 0.15. Obično distalna opstrukcija korespondira sa nalazima spirometrije. Vrednost perifernijske opstrukcije je od značaja za praćenje terapije HOBP jer daje potpuniji odgovor u odnosu na spirometriju i telesnu pletizmografiju. Na Grafikonu ukupne impedance i volumena kod HOBP prikazuje se specifična kriva.

Ekstratorakalna stenoza i disfunkcija glasnica se prikazuju u promeni vrednosti R20 i R5, a X krivulja je izmenjenog izgleda. Nalazi se kompariraju sa nalazima spirometrije i tada imaju potpuniju vrednost.

Na našem Odseku za plućne bolesti i funkcionalnu dijagnostiku VMC Novi Sad od 2001. godine je urađeno 10.000 uporednih analiza impulsne oscilometrije, spirometrije i telesne pletizmografije.

ZAKLJUČAK

Impulsna oscilometrija je nov metod koji se koristi u medicini, a naročito u pulmologiji. Impulsna oscilometrija je metod koji se koristi za merenje respiratorne impedance preko unosa impulsa u disajne puteve. Respiratorna impedanca predstavlja kompleksan otpor u disajnim putevima i plućima, koji sadrži dve komponente: realan otpor i imaginarnu reaktansu. Pogodan je za funkcionalna merenja jer nije potrebna velika saradnja pacijenta. Važna su tri parametra koja se analiziraju R5, R20 i X5, na osnovu kojih se određuje stepen proksimalne i distalne opstrukcije i *air trapping*. Ova testiranja pokazuju veću osetljivost kod bronhodinamskih testiranja u odnosu na konvencionalne metode. Razvojem ove tehnologije očekuje se još veća primena u medicini.

SKRAĆENICE

Z	impedanca
R	rezistanca
X	reaktansa
C	kapacitansa

I	inertansa
IOS	Impulsni oscilometar
Hz	herci
FFT	brza Furijeova transformacija
V	protok
P	usni pritisak
Z5	ukupna impedanca na 5 herca
R5	ukupna rezistanca na 5 herca
R20	rezistanca na 20 herca
X5	reaktansa na 5 herca
Fres	rezonantna frekvencija
AX	astma indeks
VC	vitalni kapacitet
RV	rezidualni volumen
Co5	koherenca na 5 herca
Co20	koherenca na 20 herca

LITERATURA

- Smith HJ, Vogel J, Arnold J, Eichler R. Impulse Oscillometry for Early Diagnostic Obstructive Airway Disease, Special Edition IOS, Jaeger, Copyright, May 1997.
- Vogel J, Smidt U, Impulse oscillometry: Analysis of lung mechanics in general practice and the clinic, epidemiology and experimental research, pmi Verlagsgruppe GmbH, Grakfurt am Main, 1994.
- Wouters EF. Total Respiratory Impedance Measurement by Forced Oscillations, A Noninvasive Method to Assess Bronchial Response in Occupational Medicine, Experimental Lung Research, 1990, 16, S.25-40.
- Van de Woestijne KP, Desager KN, Duiverman EJ, Marchal F. Recommendations for Measurement of Respiratory Input Impedance by means of the Forced Oscillation Method. Special Edition IOS, Jaeger, Copyright, May 1997.
- Solyman L, Lāndsér FJ, Duiverman E. Measurement of resistance with the forced oscillation technique, Eur Respir J 2/4 S (1989) 150s-53s.
- Van Noord JA, Van de Woestijne KP, Demedts M. Clinical applications and modelling of forced oscillation mechanics of the respiratory system, Eur Respir J 4 (1991) 247-48.
- MacLeod D. Use of a within-breath forced oscillation technique-Development and clinical applications, 1997, MD Thesis, University of London, UK.
- Sly PD, Hayden MJ, Petak F, Hantos Z. Measurement of low-frequency respiratory impedance, Am J Respir Crit Care Med, 1996.
- Pumonology I. User manual, Version 4.5, Copyright by Erich Jaeger GmbH, Hoehenberg, Germany, First edition, August 2000.
- Master Screen, Instruction Manual, Version 4.5, Copyright by Erich Jaeger GmbH, Hoehenberg, Germany, 2000.
- Malmberg LP, Pelkonen T, Poussa A. et al. Determinants of respiratory system input impedance and bronchodilator response in healthy Finnish preschool children, Clin Physiol & Func Im, 2002, 22:64-71.
- Klug B, Bisgaard H, Lung function measurement in awake young children, Eur Respir J, 1995, 8: 2067-75.
- Desager K, Vryens C, Muls E, van der Woestijne K, Use of the forced oscillations technique in infants, Eur Respir J, 1991, 4 (2): 246-52.
- Mazurek HK, Marchal F, Derelle J, Hatahet R, Moneret-Vautrin D, Monin P. Specificity and Sensitivity of Respiratory Impedance in Assessing Reversibility of Airway Obstruction in Children, Chest 107 (1995) 996-1002.
- Kuhnle GE, Bandt T, Torh U, Goetz AE, Smith HJ, Peter K. Measurement of respiratory impedance by impulse oscillometry-effects of endotracheal tubes, Resp Exp Med, 2000, 2000: 17-26.
- Official statement of the of the Thoracic Society was adopted by the ATS board of directors, Guidelines for methacholine and exercise challenge testing- 1999, Am J Respir Crit Care Med, 2000, Vol 161.pp 309-29.
- An den Elshout FJJ, van de Woestijne KP, Folgering HThM. Variations of Respiratory Impedance with Lung Volume in Bronchial Hyperreactivity, Chest 98 (1998) 358-64.
- Kohlhäufel M, Brand P, Scheuch G, Schulz H, Häussinger K, Heyder J. Impulse Oscillometry in Healthy Nonsmokers and Asymptomatic Smokers: Effects of Bronchial Challenge with Methacholine, J Aerosol Med 14/1 (2001) 1-12.
- Schmekel B, Smith HJ, The diagnostic capacity of forced oscillation and forced expiration techniques in identifying asthma by isocapnic hyperpnoea of cold air, Eur Respir J 1997, 10: 2243-49.
- An den Elshout FJJ, van de Woestijne KP, Folgering HThM. Variations of Respiratory Impedance with Lung Volume in Bronchial Hyperreactivity, Chest 98 (1998) 358-64.
- Hellinckx J, De Boeck K, Bande-Knops J, van der Poel M, Demedts M. Bronchodilator response in 3-6.5 years old healthy and stable asthmatic children, Eur Respir J 12 (1998) 438-43.