Akustička rinometrija : povezanost vrijednosti minimalne površine poprečnog presjeka nosa i tjelesne površine u zdravih ispitanika

Jurlina, Martin

Doctoral thesis / Disertacija

2006

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, School of Medicine / Sveučilište u Zagrebu, Medicinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:105:303145

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

Repository / Repozitorij:

Dr Med - University of Zagreb School of Medicine Digital Repository



Središnja medicinska knjižnica

Jurlina , Martin (2006) ***Akustička rinometrija : povezanost vrijednosti minimalne površine poprečnog presjeka nosa i tjelesne površine u zdravih ispitanika [Acoustic rhinometry : correlation between the minimal cross-sectional area of the nasal cavity and body surface area in normal patients].*** **Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu.**

http://medlib.mef.hr/237

University of Zagreb Medical School Repository
http://medlib.mef.hr/

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
MEDICINSKI FAKULTET

Martin Jurlina

Akustička rinometrija: povezanost vrijednosti minimalne površine poprečnog presjeka nosa i tjelesne površine u zdravih ispitanika

DISERTACIJA

Zagreb, 2006.

Disertacija je izrađena u Klinici za bolesti uha, nosa i grla Kliničkog bolničkog centra i Medicinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu

Voditelj rada: prof. dr. sc. Ranko Mladina

Hvala mojim roditeljima na njihovom obavljenom poslanju i podršci koju crpim sve do ovih dana...

Hvala prof.dr.sc. Ranku Mladini na svemu što je za mene učinio kao stručnjak i čovjek..

Hvala prof.dr.sc.Davoru Ivankoviću na statističkoj obradi i dragocjenim savjetima bez kojih bi put do kraja ovog djela bio puno trnovitiji..

Hvala Krsti, Paji, Prsteku, Marici, Borenitu i Anamariji, mojim dragim kolegama i prijateljima na velikoj pomoći pri izradi ovog djela..

…Kaziju i Tammy s ljubavlju

SADRŽAJ

POPIS OZNAKA I KRATICA 5

1. UVOD 7

1.1 Objektivna procjena nosne opstrukcije 10
1.2. Akustička reflektometrija 13
1.3. Akustička rinometrija 23
1.3.1. AR uređaj 25
1.3.2. Način mjerenja 30
1.3.3. Kalibracija AR uređaja 35
1.3.4. Mjerenje 39
1.3.5. Interpretacija mjernih krivulja 45

2. CILJ RADA 49

3. MATERIJALI I METODE 51

4. REZULTATI 54

5. RASPRAVA 60

5.1. AR u rinologiji 62
5.1.1. Kirurgija septuma i estetska kirurgija 62
5.1.2. Hipertrofija donjih nosnih školjki i proučavanje patologije nosne sluznice 63
5.1.3. Objektivna procjena prohodnosti nosa u dojenčadi i male djece. 64
5.1.4. Bazične studije fiziologije nosne sluznice i utjecaja lijekova na nosnu sluznicu 66
5.1.5. Opstruktivni poremećaji spavanja 66
5.1.6. Kraniofacijalne malformacije 67
5.2. Nedostaci AR 67
5.3. Očekivane vrijednosti MCA u zdravih ispitanika 68

6. ZAKLJUČCI 74

7. SAŽETAK 75

8. SUMMARY 76

9. LITERATURA 77

10. BIOGRAFIJA 82

POPIS OZNAKA I KRATICA

A - površina poprečnog presjeka (cijevi, nosa)

AR - akustički rinometar, akustička rinometrija

c - brzina zvuka u akustičkom mediju

CT - kompjutorizirana tomografija

CV - koeficjent varijabilnosti

d - dijametar, promjer

dB - decibel

ΔP - razlika, gradijent tlaka

δ - Dirac delta funkcija

f - frekvencija zvučnog vala

Hz - Herz

ICSR - Internacionalni komitet za standardizaciju rinomanometrijskih nalaza

kPa - 1000 Pascala (mjera tlaka)

L - aksijalna dužina mjernog objekta (cijevi, nosa)

λ - valna dužina zvučnog vala

MCA - (Minimal Cross-sectional Area), minimalna površina poprečnog presjeka jedne nosne šupljine

MRI - nuklearna magnetska rezonanca

OK - Oklahoma, Savezna država, SAD

OSAS - (Obstructive Sleep Apnoa Syndrome) opstruktivni poremećaj spavanja

ω - kutna frekvencija

P - tlak

pTCA - srednja vrijednost TCA izmjerene u nativnom stanju sluznice i nakon dekongestije

R - otpor

ρ - gustoća

SAD - Sjedinjene Američke Države

SD - standardna devijacija

SI - standardni sustav mjernih jedinica

SIDS - (Sudden Infant Death Syndrome) sindrom nagle dojenačke smrti

t - vrijeme

TCA - ("Total Cross-sectional Area") suma vrijednosti MCA za lijevu i desnu nosnu šupljinu

V - volumen

VIP - vazoaktivni intestinalni peptid

Z - akustička impedancija

z_n - karakteristična akustička impedancija u točki prostora n

1. UVOD

U evoluciji razvoj nosa započinje prijelazom životinja iz vode na kopno. Nos je ključan organ za nesmetanu izmjenu zraka između okoline i donjih dišnih puteva. U njemu se kondicionira udahnuti zrak da bi se manje iritirala sluznica donjih dišnih puteva i da bi difuzija plinova između zraka i krvi u plućnim alveolama bila što kvalitetnija. Udahnuti zrak u nosu se klimatizira (ovlažuje i zagrijava), nakon čega se filtracijom mehanički i kemijski iz njega eliminiraju iritirajuće i toksične tvari hvatanjem čestica u gel-komponentu nosnog sekreta. Na taj se način u isto vrijeme sprječava oštećenje nosne sluznice i kontakt potencijalnih alergena s mastocitima.

Nos je ključni organ za osjet mirisa, a time u velikoj mjeri i okusa. Iako je miris u čovjeka tijekom evolucije izgubio na važnosti, on u karnivora (psi, mačke) i dalje predstavlja najvažniji osjet za snalaženje u prostoru.

Jedna od često zanemarenih funkcija koju je ljudski nos poprimio tijekom razvoja govora jest uloga u rezonantnom sustavu kojim se modulira osnovni laringealni ton, što je vrlo važno za boju glasa i razumljivost govora.

Da bi nos mogao ispuniti sve svoje zadaće, on ima specifičnu građu s osnovnim ciljem kontinuiranog osiguravanja adekvatnog protoka zraka. Laminarno i turbulentno strujanje zraka u nosnim šupljinama se međusobno izmjenjuju ovisno o dijelu ciklusa inspirija i ekspirija. Pri normalnom disanju postotak turbulentnog strujanja zraka varira od 10% do 20% ukupnog vremena ciklusa inspirija i ekspirija[1].

Površina kontakta između udahnutog zraka i nosne sluznice kod turbulentnog strujanja je veća, što omogućava njegovo efikasnije i brže ovlaživanje i grijanje. Vrtloženje i stupanj turbulencije su bez sumnje jednoznačno određeni geometrijom nosne šupljine i razlikom tlakova na njezinom ulazu i izlazu.

Kod kritičnog suženja nosne šupljine povećava se postotak turbulentnog strujanja zraka u odnosu na laminarno strujanje, što predstavlja patološki podražaj nosne sluznice. Za kliničara-rinologa je važna spoznaja o načinu strujanja zraka u nosnim šupljinama ovisno o stupnju i mjestu njihove opstrukcije.

Nos je složeni aerodinamički sustav koji možemo raščlaniti na nekoliko različitih elemenata (slika 1.).



1 2 3 4

Legenda: 1 - nosnice

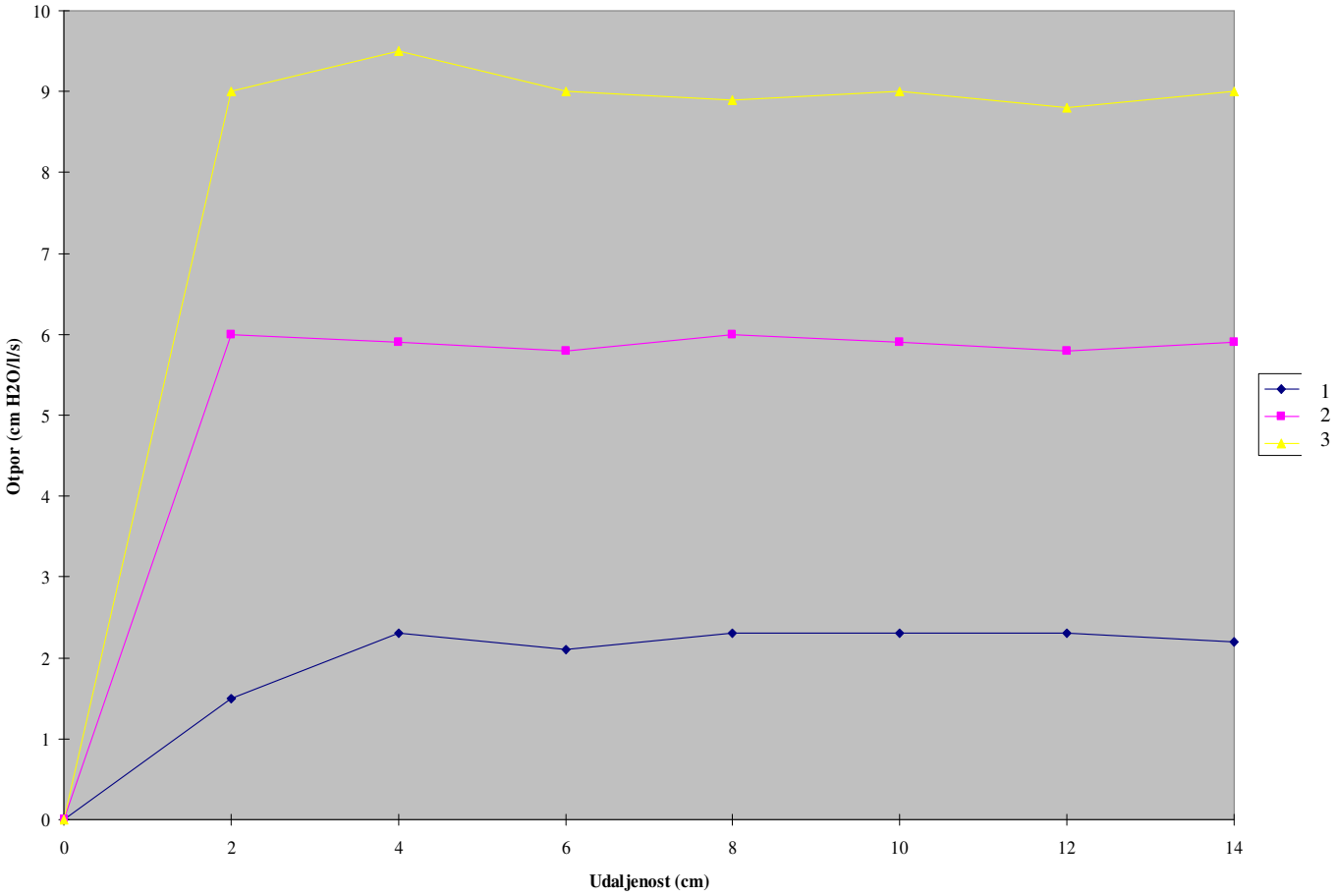
2 - prednji segment (“ostium internum”- valvula, isthmus nasi)

3 - srednji segment

4 - stražnji segment

Slika 1. Shematski aerodinamički prikaz nosne šupljine, modificirano prema[1]

Prednji segment nosne šupljine (valvula) aerodinamski predstavlja visoki predotpor strujanju zraka i samim time ključni mehanizam u brzoj regulaciji nosnog otpora. U svim je stanjima sluznice u normalnoj nosnoj šupljini mjesto najvećeg otpora strujanju zraka locirano upravo na tom mjestu. Height i Cole ga i nazivaju segmentom najvećeg otpora u struji zraka (“the most resistive segment”). Oni su kateteriziranjem nosa utvrdili da se u svim stanjima nosne sluznice ključno povećanje nosnog otpora strujanju zraka zbiva u početna tri centimetra nosne šupljine, dok njezini stražnji segmenti nemaju bitnog utjecaja na ukupni nosni otpor (grafikon 1.)[2,3,4].



Legenda: 1 - dekongestirana sluznica,
2 - nativna sluznica,
3 - kongestirana sluznica

Grafikon 1. Prikaz nosnog otpora kao funkcije aksijalne udaljenosti od ulaza u nosnu šupljinu u različitim stanjima nosne sluznice, modificirano prema[3]

Bachmann taj segment nosne šupljine raščlanjuje na tri dijela: nosnice, anatomski ostium internum (nosna valvula) i isthmus nasi. Isthmus nasi ima najmanju površinu i stoga igra ključnu ulogu u determiniranju ukupnog nosnog otpora zračnoj struji. On, za razliku od ostala dva, nije morfološki (anatomsko-funkcionalni) pojam, nego je *funkcionalno određen kao najmanja*

površina poprečnog presjeka nosa okomita na struju zraka smještena između nosne pregrade i limena nasi.

Za otpor strujanju zraka važna je ukupna površina hidrauličkog (aerodinamskog) presjeka prostora kroz koji se zrak kreće. Stoga se preko vrijednosti hidrauličkog presjeka nepravilne konture prostora mogu svesti na pravilnu, okruglu površinu[3,5,6]. Ta spoznaja je važna za pravilnu procjenu aerodinamičkih i geometrijskih (anatomskih) parametara nosne šupljine.

1.1 Objektivna procjena nosne opstrukcije

Osjećaj otežanog nosnog disanja izrazito je subjektivna kategorija koju je vrlo teško objektivno interpretirati.

Normalno nosno disanje kao vrlo važan segment u cjelini zdravlja prepoznaje Zwaardemaker već krajem XIX. stoljeća te preporučuje fizikalnu provjeru nosnog disanja i nazopulmonalnih funkcijskih testova kao osnovni dio statusa u svakog bolesnika[7].

Insuficijentnost prednje rinoskopije u procjeni prohodnosti nosnih šupljina uočena je još početkom XX. stoljeća[8].

Vrlo je dobro poznata činjenica da osjećaj nosne opstrukcije ne korelira s rezultatima rinomanometrijskih mjerenja ukoliko ispitanici dišu kroz obje nosnice zbog kompenzatornog disanja na prohodnijoj strani nosa. Korelacija postaje vrlo dobra ukoliko ispitanici prilikom ispitivanja sukcesivno dišu kroz lijevu i desnu stranu nosa[9-12].

Zbog svega navedenog ne čudi da potreba za objektivnom procjenom kvalitete nosnog disanja perzistira već duže od jednog stoljeća.

Prvi pokušaji su se temeljili na gruboj procjeni snage forsiranog ekspirija kroz nos ispitanika na dorzumu šake ispitivača. Na sličnom se principu temelji i rinohigrometrija, najstarija metoda za objektivnu procjenu prohodnosti nosa. Ona nam daje grubu informaciju o nosnoj prohodnosti na temelju veličine površine sjajne i hladne metalne pločice postavljene neposredno ispod nosnica ispitanika koja se zamagli toplom i vlažnom strujom izdahnutoga zraka. Iako ispočetka čisto kvalitativna dijagnostička metoda, ona se s vremenom razvila u kvantitativnu metodu objektivne procjene nosnog disanja zahvaljujući ingenioznim inovacijama

graviranja koncentričnih polja na površini metalne pločice i uporabom termografskih tekućih kristala[7,13-16].

Razvoj endoskopa i funkcionalne endoskopske kirurgije sinusa doveo je do velikih pomaka u našem razumijevanju funkcije nosa zahvaljujući jasnom anatomskom prikazu nosnih šupljina, epifarinksa, paranazalnih sinusa i važnih susjednih struktura.

Radiološkim metodama pretrage (CT i MR) danas smo u stanju prikazati detaljnu trodimenzionalnu strukturu nosa i paranazalnih sinusa.

Endoskopske i radiološke dijagnostičke tehnike su statičke i nisu nam u stanju pružiti potrebnu informaciju o brzim promjenama u debljini nosne sluznice. Zbog toga nismo u stanju kvantificirati stupanj i, što je još važnije, dinamiku nosne opstrukcije. Endoskopska metoda je pritom izrazito subjektivnog karaktera, dok je kod CT pretrage prisutna ekspozicija ispitanika ionizirajućem zračenju[17,18].

Rinomanometrija i nasal peak flow-metrija objektivne su dinamičke metode pretrage koje se temelje na mjerenju nosnog otpora kao funkcije protoka zraka i transnazalnoga gradijenta tlakova (razlika u tlakovima između nosnica i koana). Nosni otpor je definiran kao omjer volumena zraka koji struji kroz nosnu šupljinu pri određenom transnazalnom gradijentu tlaka; $R = \Delta P/V$. Sinkroniziranim snimanjem ΔP i V dobivamo karakteristične rinomanometrijske krivulje disanja s linearnom komponentom kao posljedicom laminarnog strujanja zraka i eksponencijalnom komponentom uzokovanom turbulentnim gibanjima zraka pri većim volumnim protocima.

Rinomanometrijska krivulja nam pokazuje koliki je transnazalni gradijent tlaka potreban da bi se određeni volumen zraka proventilirao kroz nosnu šupljinu zadane površine poprečnog presjeka. Zbog jednostavnijeg mjerenja poželjno je fiksirati jednu od tih vrijednosti, pa su se vremenom razvile volumno-konstantne i tlačno-konstantne rinomanometrijske tehnike.

Kako je tlačno-konstantna tehnika mjerenja bitno jednostavnija i reproducibilnija u odnosu na volumno-konstantnu, ona je danas apsolutno metoda izbora.

Prema preporukama Internacionalnog komiteta za standardizaciju rinomanometrijskih nalaza (ICSR) mjerenje ventilacijske funkcije nosa kod fiziološkog strujanja zraka mjeri se aktivnom prednjom rinomanometrijom. Stražnja rinomanometrija, kojom se mjeri protok zraka

sondom u epifarinksu, napuštena je zbog izrazito kompliciranе tehnike mjerenja koja zahtijeva velik stupanj suradnje ispitanika uslijed čega su moguće velike pogreške pri mjerenju.

Sve tlačno-konstantne metode mjerenja rabe princip pneumotahografije uz pomoć spiroreceptora.

ICSR preporučuje ispis vrijednosti ΔP i V u x,y dijagramu kao logaritamski prikaz zrcalnih vrijednosti obje strane nosa uz ispis u SI jedinicama i izračunavanje nosnog otpora na fiksiranim vrijednostima ΔP od 75, 150 i 300 kPa.

Za dijagnostičke potrebe se, pored vrijednosti nosnog otpora i volumnog protoka obje strane nosa pri fiksnim vrijednostima tlaka, navodi i prirast volumnog protoka kod podvostručenja vrijednosti tlaka.

1.2. Akustička reflektometrija

DuBois je prvi izmjerio impedanciju donjih dišnih puteva metodom analize refleksije niskofrekventnih zvučnih valova[19]. Na tim niskim frekvencijama zvučnih valova (od 1 do10 Hz), gdje su valne dužine znatno veće od dimenzija mjernog objekta, donji dišni putevi mogu se aproksimirati jednodimenzionalnim sustavom triju serijski vezanih elemenata (otpor, podatljivost i inertnost). Kod nešto viših frekvencija akustičkog impulsa (oko70 Hz), primijećeno je da komprimiranje plinova unutar alveola djeluje poput šanta (paralelnog puta), što omogućava identifikaciju otpora i inertnosti dišnih puteva odvojeno u odnosu na okolna tkiva[20].

Kada se valna dužina aplicirane akustičke energije svojim dimenzijama približava mjernom objektu (kod viših frekvencija), takve aproksimacije nažalost više nisu moguće. Kao kritičnu frekvenciju do koje rigidnu cijev možemo aproksimirati jednodimenzionalnim sustavom serijski vezanih elemenata smatramo onu koja zadovoljava jednadžbu 1.

$$f = c/\lambda \approx c/4L \qquad (1)$$

gdje je f frekvencija, c brzina u akustičkom mediju, a λ valna dužina zvuka.

Pritom je dužina objekta mjerenja (L) otprilike jednaka četvrtini valne dužine. Iznad te kritične frekvencije odgovor na akustički podražaj ovisi o serijski distribuiranim karakteristikama objekta, koje je pritom moguće i izmjeriti.

Prije daljnje analize valja svakako napomenuti neke karakteristike koje zvučni impuls mora imati da bi se mogla izvesti geometrijska analiza prostora kojim se širi.

Za geometrijsku analizu rabi se širokopojasni akustički impuls velike amplitude i kratkog trajanja, jer on sadrži cijeli spektar frekvencija iste amplitude čime postižemo mnogo bolju prostornu rezoluciju uz manju distorziju[21].

Teorija proračuna prostora analizom akustičke refleksije predmnijeva jednodimenzionalne fronte akustičkih valova u svim točkama analize (gibanje molekula

akustičkog medija poput klipa ravnoga čela unutar cijevi), što zadovoljavaju oni valovi koji ispunjavaju uvjete zadane jednadžbom 2.

$$f < c/2d \qquad (2)$$

pri čemu je c brzina zvuka u zadanom akustičkom mediju, a d maksimalni dijametar analiziranog objekta[20].

Impedancija mjerenog sustava (Z) pri zadanoj kutnoj frekvenciji (ω)jednoznačno je zadana omjerom zvučnog tlaka (P) i volumnog protoka zraka tj. akustičkog medija (V). Ukoliko izmjerimo tlak i volumni protok kod zadane kutne frekvencije (fiksni ω), što je ustvari uzimanje Fourierove transformacije ovih vremenski zavisnih varijabli (P i V), vrlo lako možemo izračunati impedanciju promatranog sustava. Ukoliko se akustički impuls sastoji od više frekvencija, impedanciju možemo izračunati individualnim Fourierovim transformacijama za parametre P i V prema jednadžbi 3.

$$Z(\omega) = P(\omega)/V(\omega) \qquad (3)$$

Mjerenje vrijednosti P i V, potrebnih za izračunavanje Z, relativno je jednostavno kod nižih frekvencija, a pri višim frekvencijama postaje vrlo komplicirano.

Za daljnju diskusiju važno je razlučiti pojam karakteristične impedancije (z). Ako analiziramo širenje zvučnog vala kroz cijev zadane površine poprečnog presjeka (A), gdje je x aksijalna udaljenost od ulaza u cijev, karakteristična impedancija u točki x_0 ustvari je aktualna impedancija Z izmjerena na ulazu u beskonačno dugu cijev konstantne površine poprečnog presjeka jednake onoj u točki x_0 (Ax_0).

Karakteristična impedancija za rigidnu cijev konstantnog dijametra (a time i površine poprečnog presjeka) s beznačajnim unutrašnjim gubicima realan je broj, jer kad akustički val jednom uđe u cijev, nema njegove refleksije sve do izlaza iz nje i stoga se niti jedan njegov dio nikada ponovno ne vraća do ulaza u cijev.

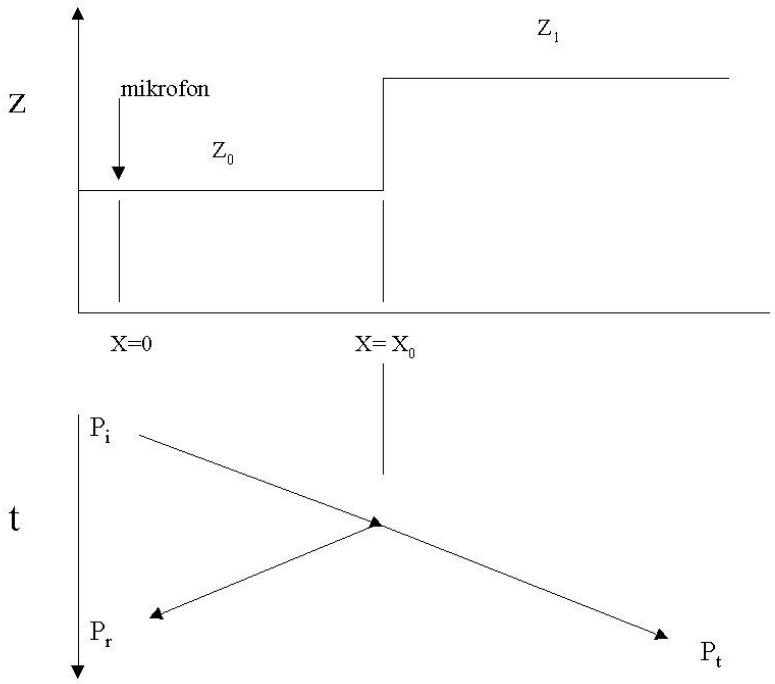
Karakteristična impedancija rigidne cijevi konstantnog dijametra, za valove s jednodimenzionalnom frontom širenja (koji zadovoljavaju jednadžbu 2.), jednoznačno je

određena karakteristikama akustičkog medija (plina) unutar cijevi i površinom njezinog poprečnog presjeka, što je prikazano formulom 4.

$$z = \rho_0 c_0 / A \qquad (4)$$

pri čemu je ρ_0 gustoća akustičkog medija (plina), c_0 brzina zvuka u zadanom akustičkom mediju te A površina poprečnog presjeka zadane rigidne cijevi .

Ukoliko u svojoj propagaciji akustički val naiđe na promjenu u površini poprečnog presjeka (a time i impedancije) cijevi kroz koju putuje, dolazi do njegove refleksije i vraćanja dijela akustičke energije prema ulazu u cijev (slika 2).



Legenda: $z_{0,1}$ - karakteristične impedancije, P_i - inicijalni akustički impuls, P_r - reflektirani dio inicijalnog akustičkog impulsa, P_t - transmitirani dio inicijalnog akustičkog impulsa, t - proteklo vijeme

Slika 2. Shema gibanja zvučnog vala kroz cijev s jednim diskontinuitetom površine poprečnog presjeka (dijametra)

Analizirajući reflektirani dio (Pr) inicijalnog akustičkog impulsa (Pi) na liniji akustičke transmisije (x_0) koja se javlja u vremenu $t = 2\ x_0/c$, možemo izvesti sljedeće zaključke:

Nakon ulaza akustičkog impulsa Pi u cijev ($x = 0$ za $t = 0$), on putuje prema njenom izlazu segmentom cijevi karakteristične impedancije z_0 sve do linije akustičke transmisije na kojoj dolazi do promjene dijametra cijevi, a samim time i njezine karakteristične impedancije (u

točki $x = x_0$, za $t = x_0 /c$). Karakteristike toga impulsa nakon ulaza u cijev možemo prikazati formulom 5

$$P(x,t) = Pi\ \delta\ (t-x/c),\ \ t<x_0/c \qquad (5)$$

pri čemu je Pi inicijalna amplituda a δ Dirac delta funkcija.

Na tom specifičnom mjestu dolazi do refleksije dijela akustičke energije koja putuje natrag prema ulazu u cijev (Pr), dok ostatak akustičke energije podliježe transmisiji i nastavlja pravocrtno gibanje (Pt) u smjeru vala Pi segmentom cijevi karakteristične impedancije z_1. Akustički tlak (amplituda vala) u cijevi za vrijeme $t>x_0 /c$ prikazan je formulom 6

$$P(x,t) = Pr\ \delta\ (t+(x-2\ x_0)/c) + Pt\ \delta\ (t-x/c),\ \ t>x_0/c \qquad (6)$$

pri čemu su Pr i Pt amplitude reflektiranog vala i dijela vala koji podliježe transmisiji. Prostorni kontinuitet tlaka i volumne brzine na mjestu $x = x_0$ zadan je jednadžbama 7 i 8

$$Pi + Pr = Pt \qquad (7)$$

$$Pi /z_0 - Pr/z_0 = Pt/z_1 \qquad (8)$$

Pri čemu su z_0 i z_1 specifične impedancije segmenata cijevi lijevo i desno od točke x_0 (linija akustičke transmisije).
Uvrštavanjem jedne jednadžbe u drugu dobivamo jednadžbu 9

$$Pr / Pi = (z_1 - z_0) / (z_1 + z_0) \qquad (9)$$

Analizirajući jednadžbe 7-9, razvidno je da se reflektiraju samo oni akustički valovi koji simultano zadovoljavaju uvjete iz jednadžbi 7 i 8.

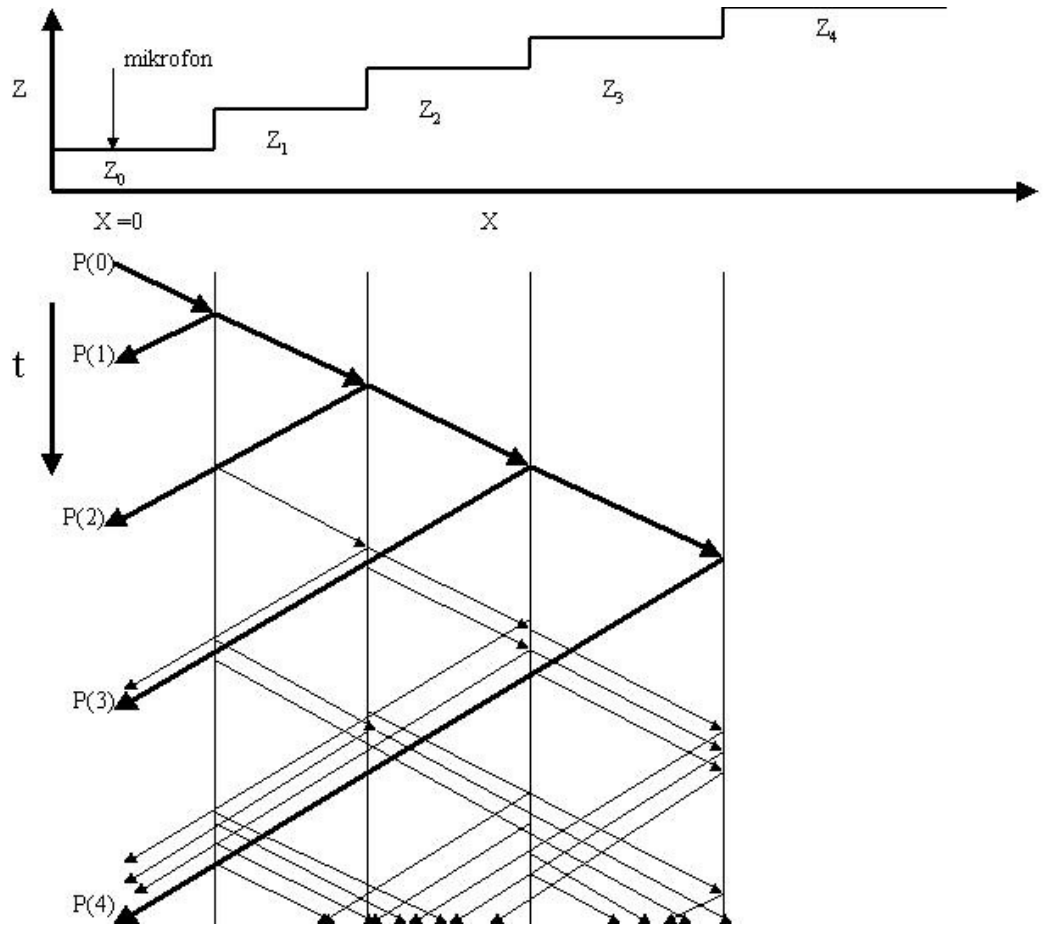
Ukoliko nije zadovoljen uvjet da je $z_1 \neq z_0$ iz jednadžbe 9, tj. ako nema linije akustičke transmisije, nema ni refleksije.

Ukoliko su nam poznate vrijednosti amplitude inicijalnog i reflektiranog akustičnog impulsa te vrijednosti akustičke impedancije $z_{0,}$ vrlo lako možemo iz jednadžbe 9 izračunati impedanciju z_1.

Ako izračunamo impedanciju nepoznatog segmenta cijevi (z_1), poznavajući gustoću plina (ρ) unutar promatranog akustičkog sustava (cijevi), možemo uvrštavanjem prije spomenutih varijabli u jednadžbu 4 izračunati nepoznatu površinu poprečnog presjeka segmenta cijevi akustičke impedancije z_1.

Upravo taj princip analize omjera amplituda emitiranih i reflektiranih akustičkih valova, kojim se, poznavajući geometriju i impedanciju jednog segmenta akustičkog sustava (mjerna sonda), vrši proračun impedancije i geometrije nepoznatog segmenta akustičkog sustava (nosna šupljina), čini fizikalnu osnovu akustičke reflektometrije, a time i akustičke rinometrije.

Akustički sustav je u stvarnosti mnogo kompliciraniji, pri čemu postoje multipli diskontinuiteti površine poprečnog presjeka i impedancije s posljedičnim multiplim refleksijama, što je pojednostavljeno prikazano slikom 3.



Legenda: $z_{0\text{-}4}$ - karakteristične impedancije, P(0) - inicijalni akustički impuls, P(1-4) - reflektirani dijelovi inicijalnog akustičkog impulsa, t - proteklo vijeme

Slika 3. Shema gibanja zvučnog vala kroz cijev s multiplim diskontinuitetima površine poprečnog presjeka (dijametra)

Akustički impuls P(0) koji ulazi u cijev s lijeve strane (t = 0, x = 0) podliježe brojnim refleksijama i transmisijama na mjestima linija akustičke transmisije u vremenu t. Vrlo je važna činjenica da na svakoj liniji akustičke transmisije postoji *samo jedan val koji u tom mjestu podliježe prvoj refleksiji*. Takav val nazivamo *primarnim valom*. Valove koji su se višekratno reflektirali na određenoj liniji akustičke transmisije nazivamo *sekundarnim valovima*.

Jasno je da je akustička informacija koju dobivamo mikrofonom u točki x = 0 konglomerat primarnih i sekundarnih valova. Međutim, bez obzira na ukupni broj valova koji detektiramo u određenom vremenskom intervalu t (n), *za taj vremenski interval uvijek postoji samo jedan korespondirajući primarni val P(n).*

Ta spoznaja je neobično važna jer nam omogućava sukcesivno izračunavanje impedancije za svaki pojedini dio akustičkog sustava (z_0, z_1, z_2..... z_n). Slijed i logiku proračuna možemo ukratko opisati na sljedeći način:

Ukoliko snimimo amplitude inicijalnog impulsa i njegovog primarnog vala s prve linije akustičke transmisije u vremenu t_1 (P(0) i P(1)) i ako nam je poznata vrijednost z_0, možemo vrlo lako izračunati z_1 uvrštavanjem poznatih vrijednosti u jednadžbu 9.

Poznavajući P(0) i P(1), možemo uvrštavanjem u jednadžbu 7 izračunati amplitudu vala koji podliježe transmisiji i reflektira na liniji akustičke transmisije između z_1 i z_2 Reflektirani dio akustičkog vala vraća se prema ulazu u cijev.

Na tom mjestu jedan se njegov dio ponovno reflektira na liniji akustičke transmisije između z_0 i z_1 i nastavlja svoj put u smjeru širenja inicijalnog impulsa, a dio akustičkog vala podliježe transmisiji na istoj liniji akustičke transmisije i bilježimo ga mikrofonom kao val P(2).

Kako je z_0 inicijalno poznat (impedancija sonde), a z_1 prethodno izračunat iz P(0) i P(1), jedina nepoznata varijabla ostaje z_2, koji sada lako možemo uzračunati iz P(1), P(2) i z_1 , uvrštavanjem u jednadžbu 9.

Sljedeći zabilježeni signal je kompleksnije građe, jer se sastoji od primarnog vala P(3) i sekundarnih valova (u ovom slučaju samo jedan).

Udjel sekundarnog vala u signalu se može izračunati jer je on funkcija z_0 , z_1 i z_2, koje su nam sve poznate. Vrlo je važna činjenica da su udjeli svih sekundarnih valova u signalu P(n) funkcije impedancija z_0 , z_1 .... z_{n-1}, koje su nam u trenutku tn sve poznate[21].

Ovu induktivnu proceduru možemo ukratko sažeti na sljedeći način:

Pretpostavimo da je kompjutor zabilježio, tj. da su nam poznate, vrijednosti prvih n impedancija s linija akustičke transmisije koje odgovaraju promjenama površine poprečnog presjeka.

Svi podaci o signalu su tada zabilježeni mikrofonom do vremenskog intervala n (t_n), uključivši i njega samog.

Kompleksni signal zabilježen mikrofonom u vremenu n+1 je kombinacija sekundarnih valova s prvih n linija akustičke transmisije (poznate vrijednosti) i primarnog vala s n+1 linije akustičke transmisije (nepoznata vrijednost).

Taj primarni val, koji nastaje refleksijom s n+1 linije akustičke transmisije (specifičnih impedancija z_n i z_{n+1}), modificiran je ponovnim prolaskom kroz sve prethodno nam poznate linije akustičke transmisije (z_0 , z_1.... z_n).

Stoga je P(n+1), koji je izmjeren i poznat, funkcija z_{n+1} (nepoznato) i z_0 , z_1 .... z_n (poznato). Tako možemo lako izračunati z_{n+1}.

Na taj način možemo jednostavno i brzo u sekvencijalnom nizu izračunati sve karakteristične impedancije za promjene površine poprečnog presjeka cijevi kojom se akustički impuls giba.

To se učinkovito postiže algoritmom koji su razvili Ware i Aki[22], prikazanim jednadžbom 10.

$$P(t) = P(1)\,\delta\,(t-t1) + P(2)\,\delta\,(t-t2) + ... P(n)\,\delta\,(t-tn) \qquad (10)$$

Ključna je spoznaja da je moguće izračunati karakterističnu impedanciju akustičkog sustava kao funkciju vremena putovanja i izmjerene amplitude akustičkog impulsa.

Ukoliko preuredimo jednadžbu broj 4, ona dobija slijedeći oblik

$$A(x) = \rho_0\, c \,/\, z(t)\ ,\ t = 2x/c \qquad (11)$$

čime postaje razvidno da je moguće izračunati oblik ekvivalentnog geometrijskog sustava kao funkciju površine poprečnog presjeka ovisno o aksijalnoj udaljenosti A(x) iz vrijednosti specifične impedancije.

Tu vidimo da je vrijeme putovanja (t) ustvari ekvivalent jednodimenzionalnoj aksijalnoj udaljenosti (x) od ulaza u cijev i da su te varijable povezane brzinom putovanja zvučnog vala

unutar zadanog akustičkog medija (c), pri čemu je x = ct/2 (jer val zbog refleksije dva puta prolazi put x prije detekcije mikrofonom!).

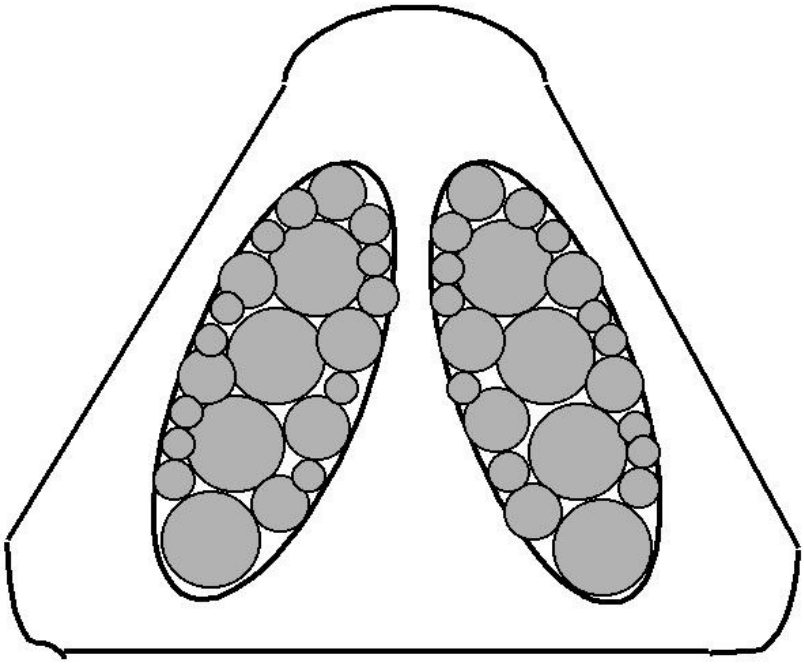
1.3. Akustička rinometrija

Iako isprva osmišljena kao metoda analize geometrije donjih dišnih puteva, metoda akustičke reflektometrije u pulmologiji nije zauzela očekivano mjesto jer ju je istisnula spirometrija zbog jednostavnijeg mjerenja i pružanja kvalitetnijih informacija o funkciji donjih dišnih puteva.

Nakon obećavajućih pilot studija mjerenja gornjih dišnih puteva metodom akustičke reflektometrije, Jackson iz Bostona donosi opremu i software u Aarhus (Danska) te zajedno s Hilbergom i Pedersenom osniva tim koji je na temelju analize refleksije akustičkih valova pokušao rekonstruirati geometriju nosne šupljine. Prva klinička ispitivanja metode su obavljena 1987. godine, a prvi su rezultati publicirani 1989. godine[23-25].

Akustička rinometrija (AR) nam, koristeći prije opisane principe akustičke reflektometrije, prikazuje površinu poprečnog presjeka nosne šupljine kao funkciju udaljenosti između nosnica i koana. Usporedbom amplituda inicijalnog jednodimenzionalno propagirajućeg zvučnog vala i zvučnog vala nastalog njegovom refleksijom na mjestu promjene akustičke impedancije (koja je posljedica promjene površine poprečnog presjeka nosne šupljine kojom se inicijalni val širi), koristeći činjenicu da je na temelju izmjerenog vremenskog intervala između detekcije inicijalnog i reflektiranog vala te poznate specifične brzine širenja zvučnih valova lako izračunati prevaljeni put (udaljenost od nosnica prema koanama), u mogućnosti smo rekonstruirati geometrijske karakteristike nosne šupljine kojom se zvučni val širi.

Akustički rinometar prikazuje nosnu šupljinu kao konglomerat cilindara varijabilnog dijametra i jednake dužine poredanih jedan do drugoga u frontalnoj ravnini (slika 4)



Slika 4. Shema prezentacije nosnih šupljina u akustičkoj rinometriji

Površina svakog cilindra izračunava se kao funkcija aksijalne udaljenosti na temelju reflektiranih akustičkih valova po principima akustičke reflektometrije.

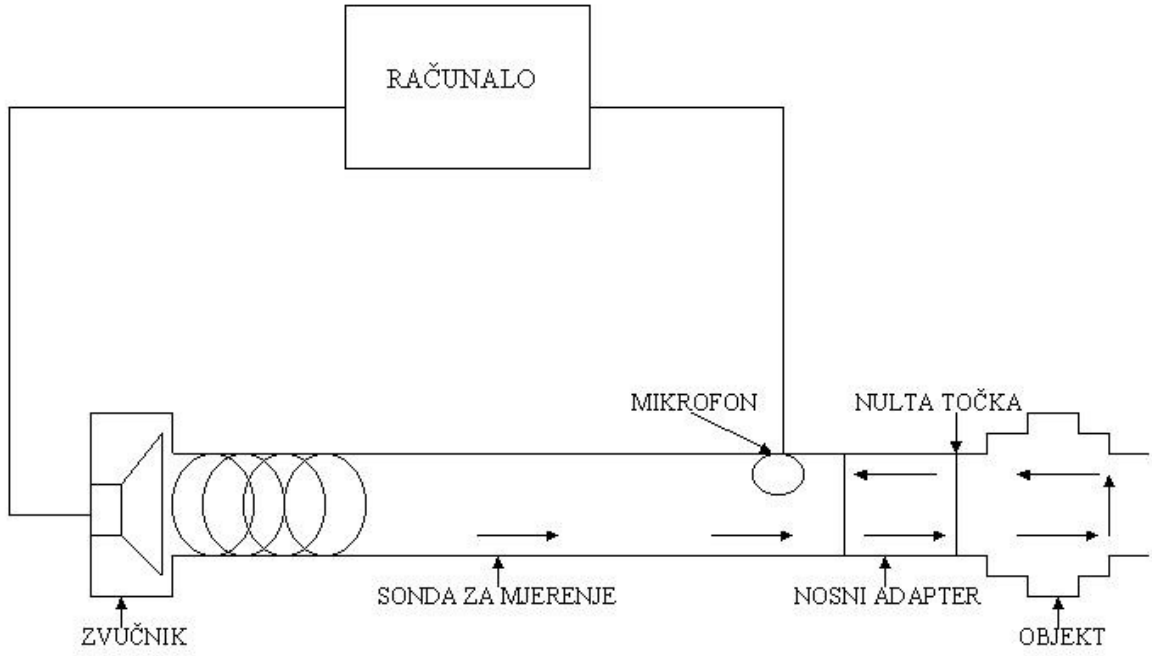
Broj cilindara kojima je prikazana nosna šupljina varira ovisno o proizvođaču uređaja i verziji softwarea korištenog za digitalnu obradu podataka.

Pritom je u svakoj točki duž osovine cilindara vrijednost ukupne površine u frontalnoj ravnini (površina poprečnog presjeka nosa) jednaka sumi svih jediničnih površina cilindara u toj istoj točki.

1.3.1. AR uređaj

Danas u svijetu postoji nekoliko relevantnih proizvođača akustičkih rinometara: RhinoMetrics (Lynge, Danska), Hood Laboratories (Pembroke, SAD), GM Instruments (Kilwinning, Engleska).

Princip rada akustičkog rinometra je prikazan slikom 5.



Slika 5. Shema principa rada akustičkog rinometra

Piezoelektričnim efektom generira se inicijalni akustički impuls koji se rigidnom cijevi (mjerna sonda) preko nosnog adaptora uvodi u nosnu šupljinu.

U nosnoj šupljini dolazi do njegovih multiplih refleksija, nakon čega reflektirani zvučni valovi putuju natrag u sondu, gdje se zajedno s inicijalnim zvučnim impulsom detetktiraju mikrofonom.

Potom se, na temelju analize razlike intenziteta (amplituda) inicijalnog impulsa i zvučnih valova nastalih njegovim refleksijama u postoru nosne šupljine, postulatima akustičke reflektometrije rekonstruira geometrija prostora (nosne šupljine) u kojem dolazi do refleksija inicijalnog impulsa.

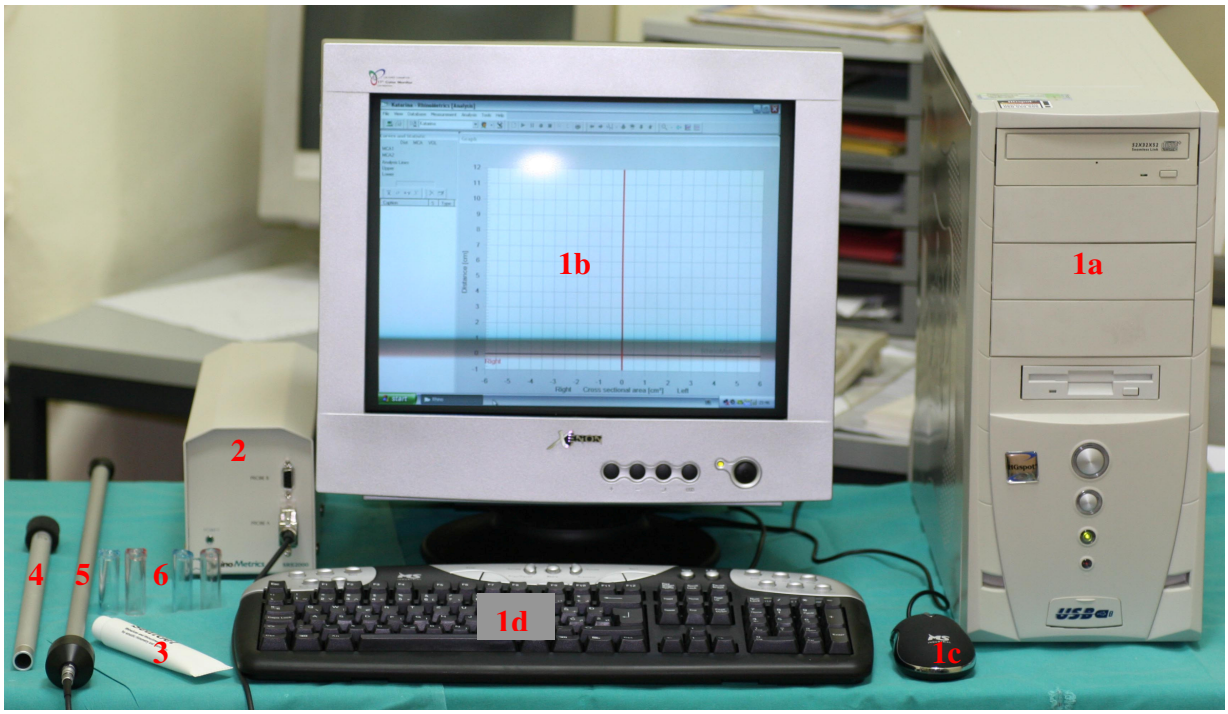
AR uređaji tvrtke RhinoMetrics jedini rabe kontinuirani inicijalni akustički impuls širokog spektra, dok je on u AR uređajima drugih proizvođača oblika jediničnog kratkotrajnog inicijalnog akustičkog impulsa širokog spektra i velike amplitude.

Ubrzo se po uvođenju AR u svakodnevnu kliničku praksu pokazalo da je, zbog velikog utjecaja načina mjerenja na rezultate te zbog lakšeg uspoređivanja rezultata i komunikacije među centrima, nužno standardizirati metode mjerenja i interpretacije rezultata.

Zbog toga je, u sklopu Odbora za standardizaciju objektivnih mjerenja nosne šupljine pri Europskom rinološkom društvu, 1994. godine formiran Pododbor za standardizaciju u akustičkoj rinometriji.

Pododbor je zasjedao u sklopu XVIII. Europskog rinološkog kongresa održanog u Barceloni 2000. godine te donio preporuke o standardizaciji načina mjerenja i interpretaciji rezultata, koje su objavljene u suplementu časopisa *Rhinology* od prosinca 2000. godine.

U Klinici za otorinolaringologiju Kliničkog bolničkog centra Zagreb u uporabi je AR uređaj SRE 2000 danske tvrtke RhinoMetrics (slika 6).



Legenda:

1 - osobno računalo PC kofiguracije

(1a - centralna jedinica, 1b - monitor, 1c - miš, 1d - tipkovnica),

2 - vanjski modul za akustičku rinometriju

3 - gel za akustičko brtvljenje

4 - kalibracijska sonda

5 - mjerna sonda

6 - nosni adaptori

Slika 6. Akustički rinometar RhinoMetrics SRE 2000

Uređaj se sastoji od modula koji u sebi sadrži digitalni signalni procesor za generiranje i analizu kontinuiranog širokopojasnog zvučnog signala. Signal se putem R-258 mjerne sonde (58 cm duga cijev unutrašnjeg promjera 12 mm napravljena od legure lakih metala) preko anatomskog nosnog adaptora prenosi u nos.

Sonda u svom srednjem dijelu sadrži mikrofon kojim se za vrijeme mjerenja detektiraju inicijalni i reflektirani zvučni impulsi.

Modul je preko COM ulaza povezan s računalom PC konfiguracije u kojem se digitalno obrađuju zabilježeni podaci.

Rezultati AR mjerenja ispisuju se na monitoru ili priključenim štampačem.

Sistem koristi programsku verziju Rhino 1.28/ 1.11 (RhinoMetrics, Lynge) s frekvencijom obrade podataka od 44 kHz, filterskom frekvencijom 10.6 kHz te prostornom rezolucijom od 0.4 cm na y-osi (udaljenost od nosnica do koana).

Da bi rezultati mjerenja bili vjerodostojni, AR metoda mora biti:

1) Precizna
2) Ponovljiva
3) Reproducibilna

Preciznost: poklapanje rezultata dobivenih mjerenjem sa stvarnim vrijednostima objekta mjerenja

Ponovljivost: poklapanje rezultata dobivenih sukcesivnim mjerenjem jednog te istog objekt koje obavlja isti ispitivač pri konstantnim uvjetima mjerenja

Reproducibilnost: poklapanje rezultata dobivenih mjerenjem jednog te istog objekta, koje obavlja drugi ispitivač(ili više ispitivača) pri promjenjivim uvjetima mjerenja [26]

Preciznost AR uređaja proizvođač pri njegovom optimiziranju tijekom proizvodnje testira na tzv. standardnom nosnom modelu. *Standardni nosni model* je teflonski cilindar dužine 9 cm, poznatog dijametra, koji se postupno i u pravilnim intervalima povećava s aksijalnom udaljenosti, simulirajući stvarne dimenzije nosa. Kako je površina poprečnog presjeka standardnog nosnog modela poznata u svakoj točki duž njegove osovine, lako se može provjeriti preciznost mjerenja, što je važno i za daljnje kontinuirano održavanje adekvatne funkcije AR tijekom uporabe[27].

Preciznost metode je provjerena i usporedbom rezultata AR mjerenja sa stvarnim vrijednostima dobivenim volumnim modelima na glavama kadavera (usporedba volumena šupljine nosa dobivenih AR i volumena vode istisnute iz nosne šupljine) te MRI i CT nalazima kadavera i živih ispitanika[23,24,28].

Ponovljivost AR testiramo sukcesivnim mjerenjima standardnog nosnog modela od strane koje obavlja isti ispitivač, što je ujedno korisno i za njegovo uvježbavanje.

Reproducibilnost AR metode je dokazana usporedbom rezultata sukcesivnih mjerenja standardnog nosnog modela, kako različitim AR uređajima istog proizvođača, tako i AR uređajima različitih proizvođača koji rabe različite tehnike generiranja inicijalnog impulsa (kontinuirani, odnosno pojedinačni inicijalni impuls)[29,30].

Prema preporuci Odbora za standardizaciju objektivnih mjerenja nosne šupljine pri Europskom rinološkom društvu, proizvođač je prilikom isporuke uz svaki AR uređaj dužan dostaviti jasne podatke o:

- preciznosti i ponovljivosti mjerenja dotičnim uređajem na standardnom nosnom modelu
- aksijalnoj prostornoj rezoluciji, frekvenciji obrade podataka i filtera te opsegu mjerenja
- kalibraciji, načinu testiranja uređaja i povezivanja sonde s nosom (tip adaptora)
- načinu održavanja AR uređaja i higijenskim mjerema za ispitanike
- uvjetima okoline pri AR mjerenjima (temperatura, okolna buka, vlažnost zraka)
- sigurnosnim mjerama (napon, odsutnost eksplozivnih plinova u okolnoj atmosferi zbog piezoelektričnog efekta)[27].

1.3.2. Način mjerenja

Nakon provedene standardizacije opreme način mjerenja postaje glavni izvor pogrešaka pri mjerenju, što je potvrđeno u svim novijim literaturnim navodima. Pritom u analizi načina mjerenja valja razlučiti sljedeće čimbenike koji imaju velik utjecaj na pogreške pri mjerenju:

1. ispitivač
2. ispitanik
3. uvjeti okoline
4. nosni adaptor
5. tehnika mjerenja

Ad 1.)

Uvježbanost ispitivača je važan čimbenik u postizanju kvalitetnih i vjerodostojnih rezultata AR mjerenja.

Parvez u svojoj studiji o mjerama standardizacije u AR navodi statistički bitne razlike između uvježbanih i neuvježbanih ispitivača u vremenu mjerenja, broju pogrešnih mjerenja, ponovljivosti mjerenja i procjeni nosnog volumena do udaljenosti 7 cm od ulaza u nos. On navodi 20 sati intenzivnog praktičnog vježbanja kroz 5 dana kao minimalni vremenski period potreban za uvježbavanje ispitivača[30].

Uvježbavanje ispitivača se provodi na standardnom nosnom modelu i potom na ispitanicima s dekongestiranom nosnom sluznicom, pri čemu se kao standard za ponovljivost mjerenja preporučuje koeficijent varijabilnosti (CV= standardna devijacija/srednja vrijednost[26]) <5% između izmjerenih krivulja za dekongestiranu nosnu sluznicu[27].

Svaki centar u kojem se obavljaju AR mjerenja trebao bi organizirati program za vježbanje ispitivača u cilju postizanja i održavanja njihove uvježbanosti, kako bi rezultati AR mjerenja bili precizni i ponovljivi.

Ad 2.).

Prije AR mjerenja moramo aklimatizirati ispitanike zbog eliminacije intrinzičkih (tjelesna aktivnost) i ekstrinzičkih (promjena temperature i vlažnosti okoline) čimbenika koji utječu na stanje nosne sluznice. Aklimatizaciju ispitanika postižemo njihovim mirovanjem u trajanju od 20-30 minuta u prostoriji u kojoj se mjeri[31,32].

Iako je tehnika AR mjerenja u odnosu na druge objektivne metode pretrage u rinologiji mogo manje zahtjevna u smislu potrebne suradnje ispitanika, potrebno je informirati ispitanika o načinu i svrsi mjerenja i motivirati ga u cilju postizanja potrebnog minimuma suradnje.

Tijekom mjerenja ispitanik mora održati namješteni položaj tijela i glave i izbjegavati nagle pokrete kako bi se održali željeni položaj sonde u odnosu na akustičku osovinu nosa i potrebnu razinu akustičkog brtvljenja između nosnog adaptera i nosnice.

Također je važno upozoriti ispitanika da ne diše, ne guta ili ne fonira tijekom mjerenja. Disanjem i gutanjem se naime mijenja tlak u nosnim šupljinama, što bitno utječe na funkciju mikrofona smještenog u sondi te dovodi do fluktuacije i nekonzistencije rezultata AR mjerenja. Tomkinson navodi statistički bitne razlike u rezultatima AR mjerenja tijekom disanja (manje vrijednosti MCA pri inspiriju, i obratno)[33].

Disanje i gutanje je najlakše izbjeći tako da ispitanika zamolimo da duboko udahne, zatim izdahne i zadrži dah. Kako je AR SRE 2000 u stanju učiniti 20 analiza nosne šupljine i prosječno prezentirati 4.4 krivulje u jednoj sekundi (svaka prezentirana krivulja predstavlja prosjek izmjerenih vrijednosti 5 analiza nosne šupljine), vrijeme potrebne apneje je kratko i ispitanici je u pravilu održavaju bez ikakvih problema.

Ukoliko ispitanik nosi naočale, potrebno ih je ukloniti zbog moguće distorzije prednjih segmenata nosne šupljine.

Ad 3.).

Okolna buka može dovesti do pogrešaka pri mjerenju zbog interferencije s inicijalnim i reflektiranim akustičkim impulsima. Okolna buka razine 60-74 dB dovodi i do deseterostrukog povećavanja CV.

Promjenom temperature i vlažnosti okoline mijenja se i gustoća zraka, a time i brzina zvuka u njemu, što dovodi do promjena u izmjerenoj aksijalnoj udaljenosti, a time i njezinog odnosa prema izmjerenoj površini MCA (jednadžba 11).

Promjene su proporcionalne udaljenosti od nosnica i Djupesland ih procjenjuje na $0.4mm/^0C$[30,34].

Nužno je zbog toga održavati konstantne fizikalne uvjete okoline za vrijeme mjerenja i ponoviti kalibraciju AR uređaja ukoliko dođe do njihovih bitnijih promjena.

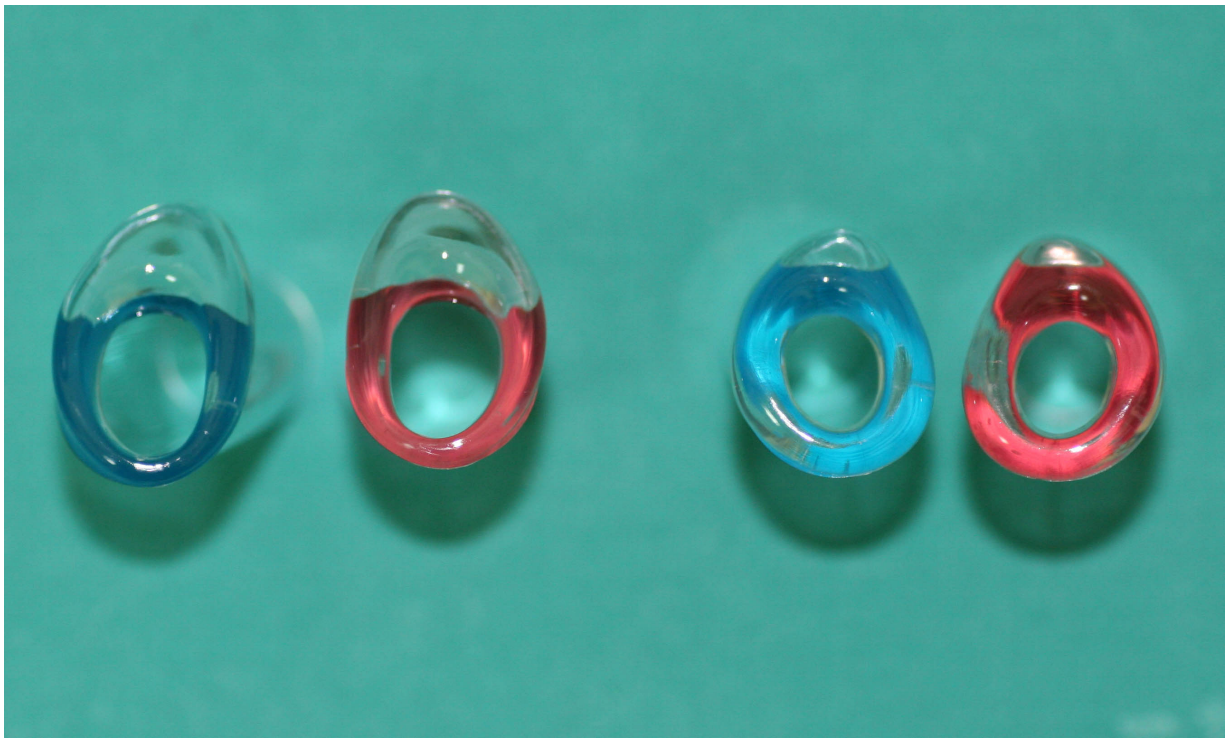
Ad 4.).

Nosni adaptor je važan čimbenik za ispravnost rezultata AR mjerenja zbog dva razloga.

On je dio mjernog objekta koji svojim akustičkim karakteristikama djeluje na inicijalni i reflektirani akustički impuls, i zbog toga što on povezuje sondu s ispitanikovim nosom.

Mjesto kontakta nosnog adaptora s ispitanikovim nosom je kritično zbog potrebe istovremenog postizanja dva gotovo suprotna cilja: uspostavljanja akustički idealne komunikacije (bez ikakvih akustičkih gubitaka) između sonde i mjernog objekta (nosne šupljine) i izbjegavanja jatrogene deformacije mjernog objekta.

Danas su u uporabi anatomski i konični tipovi nosnih adaptora. Anatomski nosni adaptor je plastični cilindar dužine 5 cm, anatomski oblikovan i odrezan pod kutem od 60^0 u odnosu na svoju osovinu na slobodnom kraju koji se prislanja na nosnice. Standardno se izrađuje u dvije veličine (ovisno o veličini nosnice ispitanika), posebno za lijevu i desnu nosnicu (slika 7 i 8).



Slika 7. Anatomski nosni adaptori (u dvije veličine)

Anatomski nosni adaptor se nakon aplikacije tankog filma gela za akustičko brtvljenje na površinu kontakta s nosnicom nježno na nju prislanja, izbjegavajući pritom deformaciju nosnice zbog pretjeranog pritiska adaptora.

Konični adaptor je na slobodnom kraju zaobljen cilindar gdje se nalazi otvor različite veličine. Izrađuje se u više veličina (obično 7), ovisno o veličini nosa. Konični adaptor se nakon aplikacije gela umeće u nosni vestibulum[35].



Slika 8. Anatomski nosni adaptori. Vidljiv je kut od 60^0 koji anatomski oblikovan kraj zatvara s osovinom adaptora.

Danas sejoš uvijek vodi živa diskusija između različitih centara o karakteristikama anatomskih i koničnih nosnih adaptora u smislu njihove prikladnosti za AR mjerenja.

Naš je stav da su anatomski adaptori mnogo prikladniji za AR mjerenja zbog toga što uzrokuju manju deformaciju početnog nosnog segmenta, čak i kad se rabe bez gela za brtvljenje.

Konični adaptori neizbježno dovode do značajne distorzije vestibuluma nosa s potiskivanjem nosnih krila prema lateralno pri pokušaju postizanja idealnog akustičkog brtvljenja. To dovodi do širenja područja nosne valvule s posljedično lažno većim izmjerenim vrijednostima.

Zbog prije navedenih razloga mi u svom radu koristimo isključivo anatomske nosne adaptore.

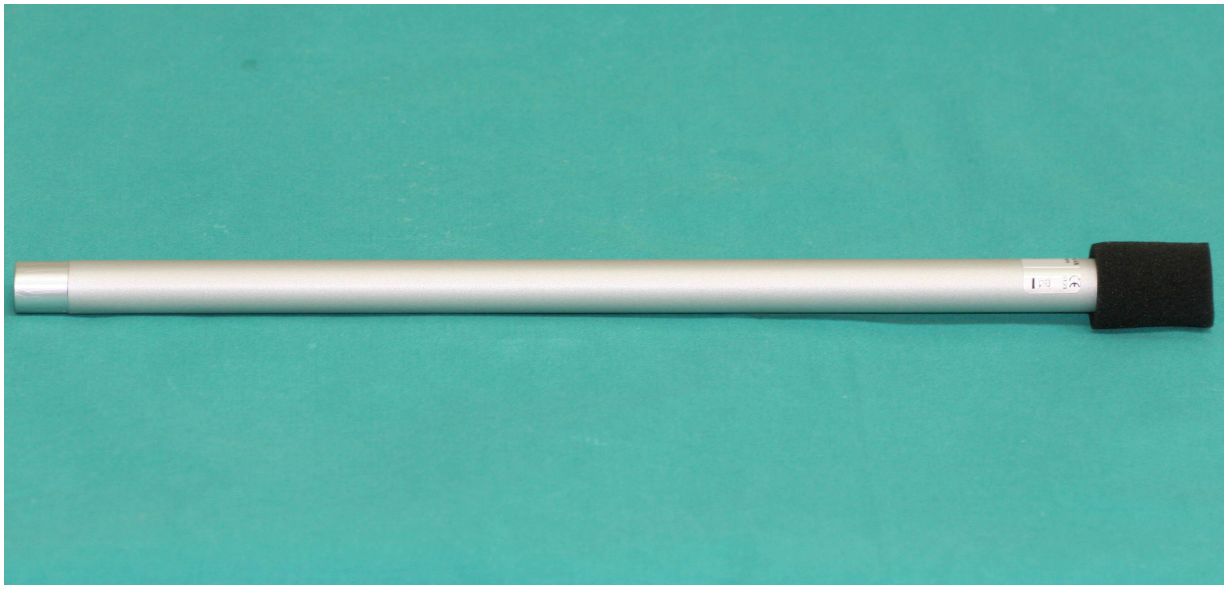
Uz pravilan odabir veličine anatomskog nosnog adaptora i uporabu gela za akustičko brtvljenje, distorzija početnog segmenta nosa je pri pažljivom rukovanju zanemariva i preciznost mjerenja početnog segmenta nosa veća nego pri mjerenju s koničnim adaptorom[35,36].

Ad 5).

Svi dosad opisani čimbenici pravilnom tehnikom mjerenja postaju harmonična cjelina, što rezultira preciznim, ponovljivim i reproducibilnim izmjerenim geometrijskim vrijednostima nosa. AR uređaj moramo kalibrirati prije svakog mjerenja.

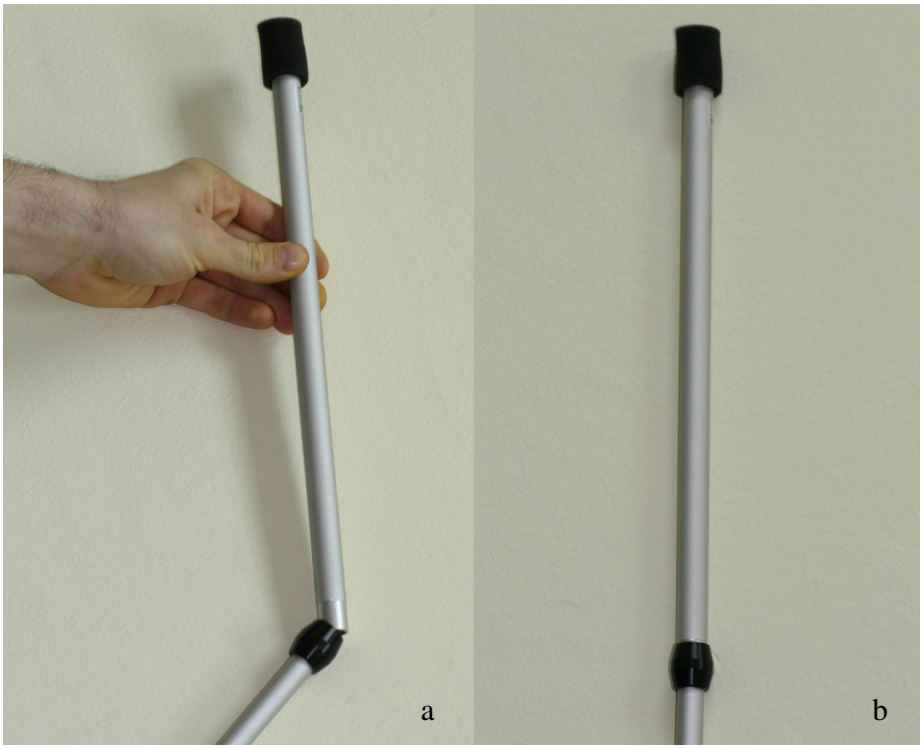
1.3.3. Kalibracija AR uređaja

Procesom kalibracije "upoznajemo" računalo s karakteristikama inicijalnog impulsa, kako bi pri kasnijim mjerenjima ispitanika moglo odvojiti inicijalni impuls od primarnih i sekundarnih valova te na temelju njihove analize rekonstruirati geometriju prostora u kojem se zbivaju refleksije[37].



Slika 9. Kalibracijska sonda

Kalibracija AR uređaja započinje tako da na mjernu sondu postavimo kalibracijsku sondu dužine 34 cm i unutrašnjeg promjera 12 mm, na čijem je slobodnom kraju polietilenska mrežica prekrivena spužvom (slika 9 i 10).



Slika 10. Kalibracija (prva faza)

a) postavljanje kalibracijske sonde na slobodni kraj mjerne sonde

b) učvršćivanje kalibracijske sonde

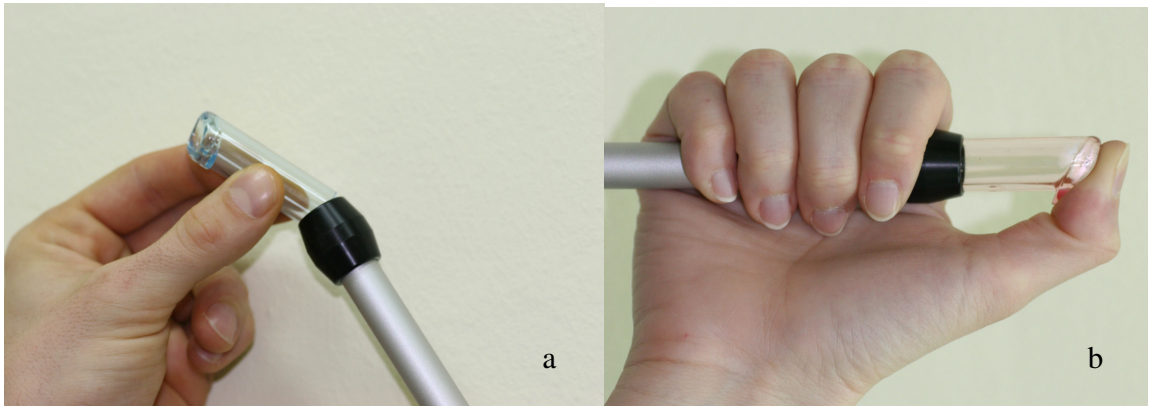
Inicijalni impuls nakon generiranja putuje akustičkom sondom, gdje se detektira mikrofonom smještenim u sredini sonde.

Kako nema promjena dijametra (a time i akustičke impedancije) kod prijelaza zvuka u kalibracijsku sondu, jedina refleksija inicijalnog impulsa zbiva se na polietilenskoj mrežici.

Tu dolazi do refleksije dijela inicijalnog akustičkog impulsa (primarni val) koji putuje natrag u sondu i detektira se mikrofonom, dok njegov ostatak podliježe akustičkoj transmisiji u okolinu.

Udaljenost od mikrofona do polietilenske mrežice osigurava nam dovoljno velik vremenski interval za odvajanje inicijalnog impulsa i primarnog vala.

Nakon uspješnog odvajanja inicijalnog impulsa i primarnog vala na sondu postavljamo anatomski nosni adaptor čiji slobodni kraj začepimo palcem (slika 11).



Slika 11. Kalibracija (druga faza)
a) nakon kalibracijske sonde na slobodni kraj mjerne sonde postavljamo nosni adaptor
b) nakon postavljanja nosnog adaptora začepimo ga palcem, čime završavamo drugu fazu kalibracije

Inicijalni impuls nakon generiranja ponovno putuje sondom, gdje se detektira mikrofonom smještenim u sredini sonde. On se sada u cijelosti reflektira na začepljenom slobodnom kraju anatomskog nosnog adaptora i reflektirani val se detektira mikrofonom.

Taj manevar je potreban da bi računalo moglo ukalkulirati dužinu adaptora (5 cm), koji je za njega dio mjernog objekta, u aksijalnu udaljenost do točke 0 (ulaz u nosnu šupljinu), kako bi u kasnijim mjerenjima ispitanika moglo izračunati stvarnu aksijalnu udaljenost unutar nosne šupljine.

Vrijeme za koje zvuk prevali udaljenost od mikrofona do slobodnog kraja anatomskog nosnog adaptora (i natrag!) interval je u kojem se mora obaviti analiza reflektiranih primarnih i sekundarnih valova i njihovo odvajanje od inicijalnog vala. Računalo na temelju tih podataka rekonstruira geometriju nosne šupljine u kojoj se reflektira inicijalni val.

1.3.4. Mjerenje

Ispravnom tehnikom mjerenja valja osigurati pravilan i konstantan položaj sonde u odnosu na ispitanikov nos i postići što kvalitetniju akustičku komunikaciju između nosa i nosnog adaptora. Sonda treba biti postavljena u smjeru tzv. akustičke osovine nosa (eng. "acoustic axis of the nose") kako bi se u što većoj mjeri izbjegle nepravilne refleksije inicijalnog impulsa unutar nosne šupljine i dobili što precizniji rezultati mjerenja[24].



Slika 12. Aplikacija nosnog adaptora.
Osovina nosnog adaptora zatvara kut od 15^0 sa sagitalnom ravninom



Slika 13. Aplikacija nosnog adaptora.
Osovina nosnog adaptora zatvara kut od 45^0 sa horizontalnom ravninom

Da bi se osovina mjerne sonde poklopila s akustičkom osovinom nosa, sonda mora zatvarati kut od otprilike 45^0 s horizontalnom ravninom dna nosne šupljine i oko 10 - 15^0 sa sagitalnom ravninom septuma i nosne kolumele (slike 12 i 13)[30].

Dosad je publiciran niz različitih manevara kojima se to postiže.

Passali i Roithmann koriste različite tipove kraniostata kojima se fiksira ispitanikova glava (poput fiksatora za oftalmološki pregled procjepnom lampom).

Parvez preporuča kontrolu položaja sonde namještanjem zrake na sondu pričvršćenog laserskog pokazivača u fiksnu točku na obrazu ispitanika i kontrolu položaja glave poklapanjem paraaksijalne sjene sprijeda osvijetljene ispitanikove glave na zidu iza njegovih leđa.

Fisher i Roithmann za postizanje i održavanje optimalnog nagiba sonde koriste modificirane stalke[30,36,38,39].

Mi se za postizanje optimalnog nagiba sonde koristimo modificiranim mikrofonskim stalkom, pri čemu je on pričvršćen u položaju idealnih nagiba sonde prema sagitalnoj i horizontalnoj ravnini. Dovoljno je ispitanika posjesti tako da je leđima oslonjen na zid, pri čemu ga možemo još dodatno fiksirati modificiranom mjernom skalom, nakon čega pažljivo prislonimo sondu na ispitanikovu nosnicu pomičući je u kraniokaudalnom smjeru.

Sondom je lakše rukovati ukoliko se ne koristi nikakav stalak. Kut od 60^0 pod kojim je odrezan anatomski oblikovan slobodni kraj nosnog adaptora omogućava da pri njegovom pravilnom prislanjanju na nosnicu sonda otprilike zatvara kut od 45^0 s horizontalnom ravninom dna nosne šupljine pa valja samo pripaziti na postizanje željenog nagiba prema sagitalnoj ravnini nosne kolumele, što uvježbanom ispitivaču ne predstavlja veći problem[30].

Kao što je već prije navedeno, ključno je postići i održati što bolju akustičku komunikaciju (bez ikakvih akustičkih gubitaka) između mjerne sonde i nosne šupljine.

Ukoliko postoje akustički gubici, izračunate vrijednosti MCA su bitno veće od stvarnih, što dovodi do pojave nestabilnosti krivulja i pojave lažnih podvostručenja krivulja. Njih lako prepoznajemo jer izgledaju poput sjene stvarnih krivulja koje prate cijelom njihovom dužinom.

Akustički gubitak na mjestu kontakta nosnog adaptora i nosnice možemo detektirati i po jasno čujnom karakterističnom zvuku inicijalnog akustičkog impulsa u prostoru.

Da bismo postigli što bolje akustičko brtvljenje i izbjegli deformacije proksimalnog dijela nosa zbog prejakog pritiska adaptora, koristimo se gelom za akustičko brtvljenje.

Rabe se tvornički 1% karbopolni vodotopivi gel (Seal Gel, RhinoMetrics, Lynge), vazelin ili gel za akustičko brtvljenje koji se koristi pri ultrazvučnom pregledu.

Gel se nanosi na adaptor u tankom filmu debljine oko 2 mm prije samog namještanja na nosnicu (slika 14). U slučaju perzistiranja akustičkog gubitka nanosimo dodatni sloj gela na nosni adaptor.

Ukoliko niti taj manevar nije dovoljan, mjerenje se ponavlja.



Slika 14. Nanošenje gela za akustičko brtvljenje na slobodni kraj anatomskog nosnog adaptora

Slobodni kraj anatomskog nosnog adaptora se nakon aplikacije gela nježno prislanja na ispitanikovu nosnicu, izbjegavajući njezinu deformaciju i pazeći pritom na pravilan položaj sonde u odnosu na akustičku osovinu ispitanikovog nosa (slika 15)



Slika 15. Pravilna aplikacija anatomskog nosnog adaptora kojom se u najvećoj mogućoj mjeri prevenira distorzija nosnog predvorja

Ukoliko je mjerenje korektno provedeno, na ekranu računala će se pojaviti tipična krivulja koja se sukcesivno generira u pravilnim vremenskim intervalima.

Kada nema promjena u 3-4 uzastopno generirane tipične krivulje, mjernu krivulju zamrzavamo i time je mjerenje završeno.

Potrebno je učiniti tri sukcesivna mjerenja za svaku stranu nosa. Eliminiraju se zamrznute krivulje koje oblikom evidentno odstupaju od tipične AR krivulje, kao i krivulje tipičnog izgleda s odstupanjem većim od 10% u odnosu na ostale krivulje.

Da bismo dobili kvalitetniju informaciju o omjeru koštane i sluzničke komponente geometrije nosa, nakon mjerenja ispitanika u nativnom stanju nosne sluznice dekongestiramo nosnu sluznicu ispitanika i ponavljamo po tri AR mjerenja za svaku stranu nosa.

Kako stupanj kongestije sluznice nosa fiziološki varira tijekom dana (nosni ciklus) neobično je važno provesti njezinu potpunu dekongestiju zbog dobivanja vjerodostojnih podataka o koštanoj komponenti nosne geometrije.

Potpunu dekongestiju nosne sluznice postižemo oksimetazolinskim nosnim sprayem (0.05% oksimetazolin, Operil) tako da ispitanik uštrcava oksimetazolinsku otopinu u svaku stranu nosa, udišući pritom duboko na nos sve dok ne osjeti gorki okus otopine u ždrijelu.

Isti postupak se ponavlja nakon 5 minuta. Vremenski interval od 15 minuta smatra se minimumom potrebnim za potpunu dekongestiju nosne sluznice[27].

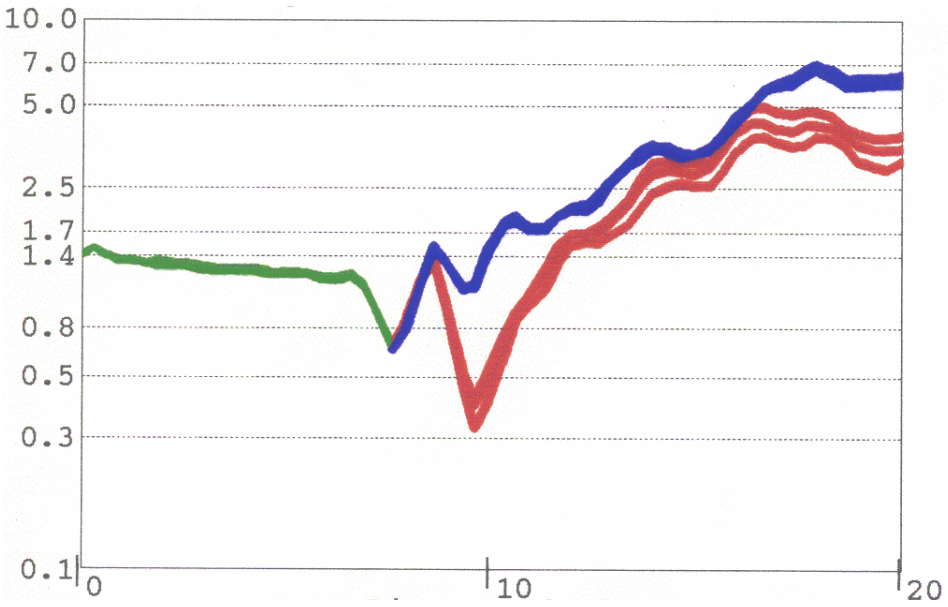
Zbog istog razloga bilo bi poželjno učiniti više AR mjerenja nativnog stanja nosne sluznice istog ispitanika u različim vremenskim razdobljima tijekom dana.

1.3.5. Interpretacija mjernih krivulja

Rezultat AR mjerenja prikazuje se u obliku krivulje kao funkcija površine poprečnog presjeka nosne šupljine u odnosu na udaljenost od ulaza u nosnu šupljinu do koana.

Takav oblik krivulje (površina-udaljenost) u sebi sadržava potpunu informaciju o geometriji nosne šupljine, a integral željenog segmenta površine poprečnog presjeka u intervalu udaljenosti predstavlja volumen tog segmenta (intervala udaljenosti) nosne šupljine.

Kako u ovom trenutku nema nikakvih smjernica u svezi načina grafičkog prikazivanja AR krivulja, postoje dva različita načina njihove grafičke prezentacije[27].

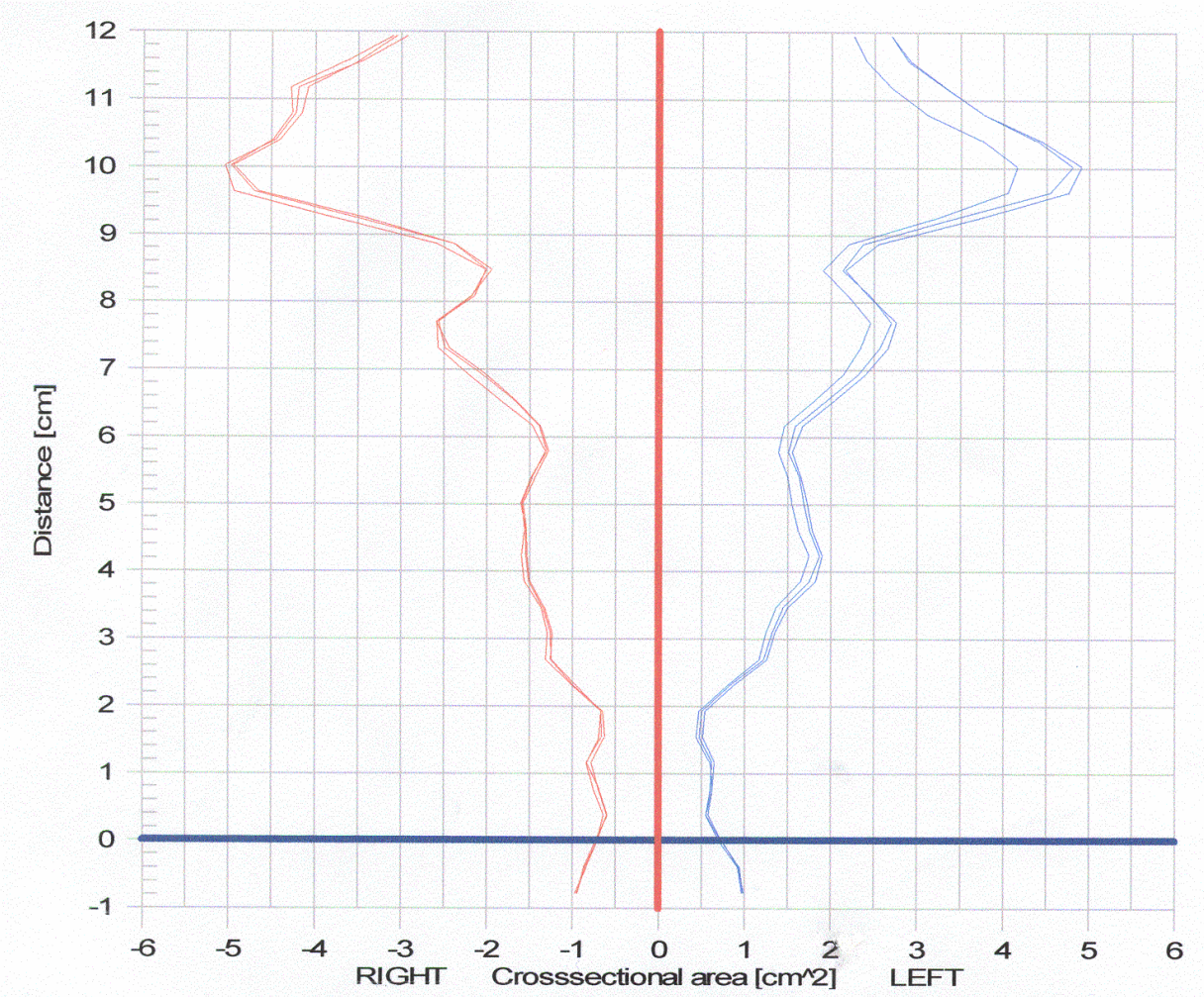


Slika 16. Prikaz AR krivulje u obliku logaritamske skale, pri čemu je na y-osi prikazana površina poprečnog presjeka nosne šuupljine izražena u cm^2, a na x-osi aksijalna udaljenost od nosnica do koana izražena u cm

Tvrtke Hood Laboratories (Pembroke, SAD) i GM Instruments (Kilwinning, Velika Britanija) prikazuju AR krivulje u obliku logaritamske skale, pri čemu vrijednosti na x-osi

predstavljaju udaljenost od ulaza u nosnu šupljinu do koana izraženu u cm, a vrijednosti na y-osi predstavljaju površinu poprečnog presjeka nosne šupljine izraženu u cm^2 (slika 16).

Tvrtka RhinoMetrics (Lynge, Danska) prikazuje AR krivulje u obliku linearne skale, pri čemu vrijednosti na x-osi predstavljaju površinu poprečnog presjeka nosne šupljine izraženu u cm^2, a vrijednosti na y-osi predstavljaju udaljenost od ulaza u nosnu šupljinu do koana izraženu u cm. AR krivulje obje nosne šupljine prikazuju se jednim grafikonom na ekranu/listu papira (slika 17.).



Slika 17. Prikaz AR krivulje u obliku linearne skale, pri čemu je na y-osi prikazana aksijalna udaljenost od nosnica do koana izražena u cm, a na x-osi površina poprečnog presjeka nosne šupljine izražena u cm^2

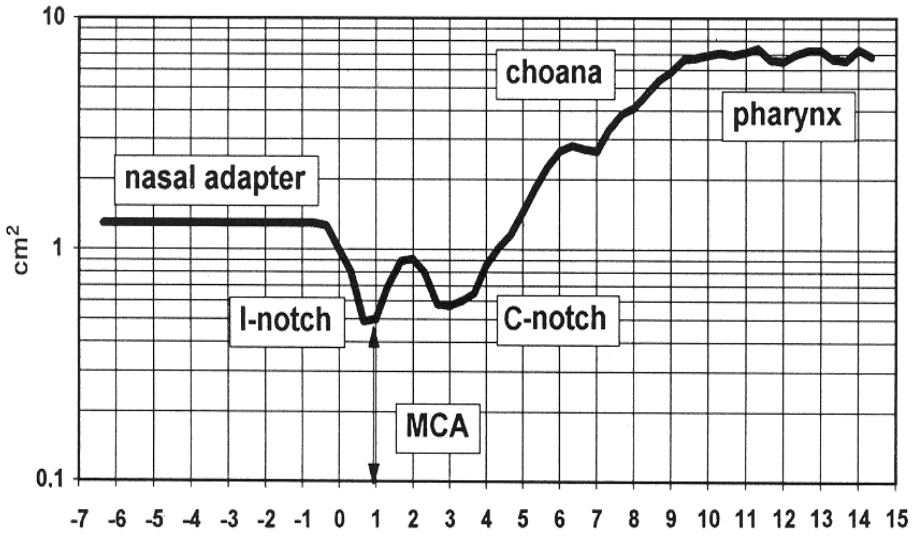
AR krivulje se moraju analizirati kao cjelina. Analizom samo njihovih pojedinih segmenata ne možemo dobiti pravu sliku o uzroku, mjestu i stupnju eventualne nosne opstrukcije.

Zbog istog razloga je nužno zaključke koje smo izveli analizom AR krivulja korelirati s anamnestičkim podacima te podacima pribavljenim kliničkim pregledom i drugim dijagnostičkim metodama (CT, MRI, rinomanometrija i sl.).

Kao što je već navedeno u početnom dijelu uvoda, pojedini segmenti nosne šupljine u većoj su mjeri povezani s osjećajem nosne opstrukcije i na njega u većoj mjeri utječu.

Rinomanometrijske studije pokazale su da se u svim stanjima nosne sluznice ključno povećanje nosnog otpora strujanju zraka zbiva u početna tri centimetra nosne šupljine, dok njezini stražnji segmenti nemaju bitnog utjecaja na ukupni nosni otpor[2,3,4].

Analizirajući izgled tipične AR krivulje, možemo analogno tome zaključiti da geometrija nosne šupljine korespondira s rinomanometrijskim nalazima (slika 18).



Slika 18. Shematski prikaz tipične AR krivulje koja ima oblik uzlaznog slova W, pri čemu je I-čvor vrijednost površine poprečnog presjeka nosne šupljine u području isthmusa nasi, a C-čvor vrijednost površine poprečnog presjeka nosne šupljine u području donje nosne školjke. Kao MCA označena je najmanja vrijednost površine poprečnog presjeka nosne šupljine koja se normalno nalazi u I čvoru ili C čvoru. Modificirano po[40]

Tipična AR krivulja ima oblik uzlaznog slova W, pri čemu se poprečni presjek površine nosa povećava s udaljenošću od nosnica prema koanama i najuži dio nosne šupljine u pravilu nalazi na udaljenosti do 3 centimetra od nosnica. U tom nosnom segmentu su opisana dva kritična suženja.

Prvo suženje nalazi se u regiji nosne valvule i naziva se ***I-čvor*** (eng. "isthmus-notch") dok se drugo suženje nalazi u regiji prednjeg segmenta donje nosne školjke i naziva se ***C-čvor*** (eng. "concha-notch")[41]. Obje se vrijednosti analizom AR krivulje moraju zabilježiti zajedno s njihovim udaljenostima od nosnica.

Apsolutni minimum površine poprečnog presjeka nosne šupljine zabilježen AR krivuljom nazivamo ***minimalnom površinom poprečnog presjeka nosne šupljine (eng."minimal cross sectional area", MCA)*** i u ispitanika s normalnim disanjem i anatomijom nosne šupljine on se nalazi u I-čvoru ili C-čvoru. Ukoliko se MCA ne nalazi u I-čvoru ili C-čvoru, njezinu veličinu i udaljenost od nosnica moramo posebno zabilježiti i prikazati zajedno s vrijednostima I-čvora i C-čvora.

Jednako tako moramo zabilježiti i veličinu nosnog volumena u prvih 5 cm nosne šupljine (Vol. 0-5). Maksimum učinka dekongestiva bilježimo u srednjem dijelu nosne šupljine na udaljenosti od 2 do 5 cm od nosnica, što korespondira s erektilnim tkivima septuma i donjih nosnih školjki. Veličina volumena segmenta nosne šupljine na udaljenosti od drugog do petog centimetra od ulaza u nosnu šupljinu (Vol. 2-5) stoga je ključna za analizu dinamike nosne sluznice.

Prema preporuci Odbora za standardizaciju objektivnih mjerenja nosne šupljine pri Europskom rinološkom društvu, kod publiciranja rezultata AR mjerenja svakako se moraju navesti sljedeći podaci:

1. ***Oprema*** - ime proizvođača i tip AR uređaja, tip i verzija softwarea, frekvencija filtera i obrade podataka, aksijalna prostorna rezolucija
2. ***Izmjerene vrijednosti*** - Vol. 0-5 (ili Vol. 2-5 ako se analiziraju promjene nosne sluznice), dva minimuma vrijednosti s njihovim udaljenostima od nosnica (do 5 cm od nosnica), MCA navesti zasebno ako ne korespondira s I-čvorom ili C-čvorom[27,41,42].

2. CILJ RADA

Prije stotinjak godina Rubner je otkrio da je potrošnja energije u toplokrvnih životinja i ljudi linearno proporcionalna površini njihova tijela[43]. Sukladno tome pokazalo se da je i potrošnja kisika također linearno proporcionalna površini tijela. Kako je nos u čovjeka ključni organ u normalnoj respiraciji, mjera za dopremu kisika u organizam bila bi prema tome nosna prohodnost koja je jednoznačno određena mjestom najvećeg otpora struji zraka tj. njegovim najužim segmentom (MCA).

S tim premisama provest ću istraživanje koje bi obuhvatilo reprezentativni uzorak u skupini zdravih ispitanika, kako bih mogao utvrditi postoji li statistički znakovita korelacija između vrijednosti MCA i površine tijela.

Ako postoji statistički znakovita povezanost vrijednosti MCA i tjelesne površine, u perspektivi bi se mogao odrediti korektivni faktor koji povezuje vrijednost tjelesne površine i MCA. U budućnosti bi se onda, na temelju izmjerenih vrijednosti visine i težine ispitanika, moglo izračunati kolika je fiziološka, očekivana vrijednost MCA dotičnog ispitanika.

Ukoliko bi se mogla jednoznačno odrediti očekivana vrijednost MCA za svakog ispitanika, lako bi se moglo izračunati i koliko odstupanje od očekivanih vrijednosti možemo smatrati patološkim.

Pritom je važna činjenica da su antropometrijski parametri visine i težine (a time i tjelesne površine) ispitanika lako mjerljive vrijednosti.

Osnovna premisa moga istraživanja bila bi ta da ***vrijednost MCA nije jedinstvena i jednaka za cijelu populaciju, nego da svaka osoba (ili manje skupine osoba) ima svoju, individualnu vrijednost MCA*** koju je moguće izračunati iz vrijednosti antropometrijskih parametara visine i težine (odnosno površine tijela).

Na taj način bi AR mogla postati bitno objektivnija pretraga na temelju koje bi se sa znatno većom sigurnošću nego do sada moglo donositi odluke o smjeru i načinu liječenja pojedinog rinološkog bolesnika.

Bitno bi se unaprijedila njezina klinička primjena, čime bi se AR učinkovito prenijela iz laboratorija u svakodnevnu kliničku praksu. Na taj bi način ona postala dijagnostička metoda na temelju koje bi se mogle donositi daljnje dijagnostičke i terapijske smjernice (tzv. “decision making examination”).

3. MATERIJALI I METODE

Studija obuhvaća reprezentativni uzorak od 157 zdravih ispitanika (68 muških i 89 ženskih).

Ispitanici obuhvaćeni studijom nasumce su odabrani u osnovnim i srednjim školama, Medicinskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu i među osobama hospitaliziranim u Klinici za bolesti uha, nosa i grla Medicinskog fakulteta i Kliničkog bolničkog centra u Zagrebu.

Svaki je ispitanik (ili njegov roditelj) prije mjerenja bio usmeno upoznat s karakterom studije i načinom mjerenja. Dobio je formular za obaviješteni pristanak ispitanika koji je potom vlastoručno potpisao.

Da bi ušli u studiju, ispitanici su morali imati subjektivno normalno nosno disanje i nisu smjeli imati nikakvih znakova akutne upale gornjih dišnih puteva. Nisu smjeli imati značajnijih deformacija nosne pregrade (dijagnosticirane prednjom rinoskopijom i fiberendoskopskim pregledom nosne šupljine koji je obavio isti ispitivač) niti anamnestičkih podataka o alergiji ili kroničnim upalnim bolestima nosa i paranazalnih sinusa.

Ispitanici su podijeljeni u sljedeće dobne skupine:

- skupina I - učenici prvog razreda osnovne škole, starosti 6-7 godina (39 ispitanika)
- skupina II - učenici osmog razreda osnovne škole, starosti 13-l4 godina (44 ispitanika)
- skupina III - učenici četvrtog razreda srednje škole, starosti 18-19 godina (46 ispitanika)
- skupina IV - odrasli ispitanici stariji od 24 godina (28 ispitanika)

Struktura uzorka zdravih ispitanika prikazana je tablicom I.

Skupina	Ženski ispitanici	Muški ispitanici	Ukupno
I (6-7 godina)	19	20	39
II (13-14 godina)	31	13	44
III (18-19 godina)	21	25	46
IV (>24 godine)	18	10	28
Ukupno	89	68	157

Tablica I. Distribucija ispitanika prema dobi i spolu

Mjerenje vrijednosti MCA u ispitanika učinjeno je tehnikom AR mjerenja detaljno opisanom u uvodu.

U svakog ispitanika učinjena su po tri AR mjerenja svake strane nosa u nativnom stanju sluznice i po tri mjerenja u dekongestiranom stanju sluznice.

Eliminirane su krivulje koje su pokazivale značajna odstupanja (>10%) prema kriterijima Pododbora za standardizaciju u akustičkoj rinometriji[27].

Dekongestija sluznice je postignuta lokalnom aplikacijom 0.05% otopine oksimetazolina (Operil kapi za nos) u obliku nosnog spraya. Kao vrijeme potrebno za postizanje adekvatne dekongestije uzet je vremenski interval od 15 minuta.

MCA za svaku stranu nosa izračunata je kao srednja vrijednost raspoloživih krivulja.

Ukupna minimalna površina poprečnog presjeka nosne šupljine (eng.total cross-sectional area, TCA) definirana je kao suma vrijednosti MCA za svaku stranu.

Prosječna TCA (pTCA) definirana je kao srednja vrijednost TCA izmjerenih u nativnom stanju sluznice i nakon dekongestije. Na taj je način u najvećoj mjeri eliminiran utjecaj nosnog ciklusa i mogućih tehničkih pogrešaka na rezultate mjerenja.

Kao ulazne vrijednosti pTCA za statističku obradu u svakog ispitanika su uzete po dvije najmanje vrijednosti ukupne prosječne površine poprečnog presjeka nosa do udaljenosti od 50 mm od nosnica prema koanama. Prva je vrijednost nazvana pTCA nosnog isthmusa ($pTCA_{isthmus}$), a druga pTCA donje nosne školjke ($pTCA_{concha}$).

Visina i težina ispitanika izmjerene su mjernom skalom i osobnom vagom, nakon čega su iz normograma izračunate vrijednosti površine tijela za svakog ispitanika.

Podaci su pripremljeni za statističku analizu uz pomoć programa Excel, 5.0 (Microsoft Corporation, SAD). Normalnost distribucije podataka za statističku obradu testirana je Kolmogorov-Smirnovljevim testom. Statistička povezanost pTCA je potom analizirana u odnosu na tjelesnu površinu i dob za svakog ispitanika.

Za analizu statističke znakovitosti povezanosti vrijednosti pTCA i tjelesne površine uporabljen je test multiple regresijske analize.

Analiza statističke povezanosti učinjena je s programom Statistica, 7.1 (StatSoft, Inc., Tulsa, OK, SAD).

4. REZULTATI

Distribucija podataka bila je normalna u cijelom uzorku. Izračunate vrijednosti za cijeli uzorak prikazane su tablicom II, a za svaku grupu tablicom III.

Vrijednosti	TP	$pTCA_{isthmus}$	$pTCA_{concha}$
Srednja vrijednost	$1.55m^2$	$1.22cm^2$	$1.35cm^2$
Standardna devijacija	0.39	0.2	0.3

Legenda:

$pTCA_{isthmus}$ - srednja ukupna minimalna površina poprečnog presjeka nosne šupljine na razini nosne valvule,

$pTCA_{concha}$ - srednja ukupna minimalna površina poprečnog presjeka nosne šupljine na razini donje nosne školjke

TP – tjelesna površina

Tablica II. Izračunate vrijednosti TP, $pTCA_{isthmus}$ i $pTCA_{concha}$ za cijeli uzorak

Grupa	TP	SD	$pTCA_{isthmus}$	SD	$pTCA_{concha}$	SD
I (6-7 godina)	$0.94m^2$	0.07	$1.01cm^2$	0.09	$1.16cm^2$	0.17
II (13-14 godina)	$1.61m^2$	0.13	$1.24cm^2$	0.19	$1.31cm^2$	0.34
III (18-19 godina)	$1.84m^2$	0.19	$1.32cm^2$	0.18	$1.51cm^2$	0.33
IV (>24 godine)	$1.81m^2$	0.2	$1.33cm^2$	0.13	$1.42cm^2$	0.18

Legenda:

$pTCA_{isthmus}$ - srednja ukupna minimalna površina poprečnog presjeka nosne šupljine na razini nosne valvule,

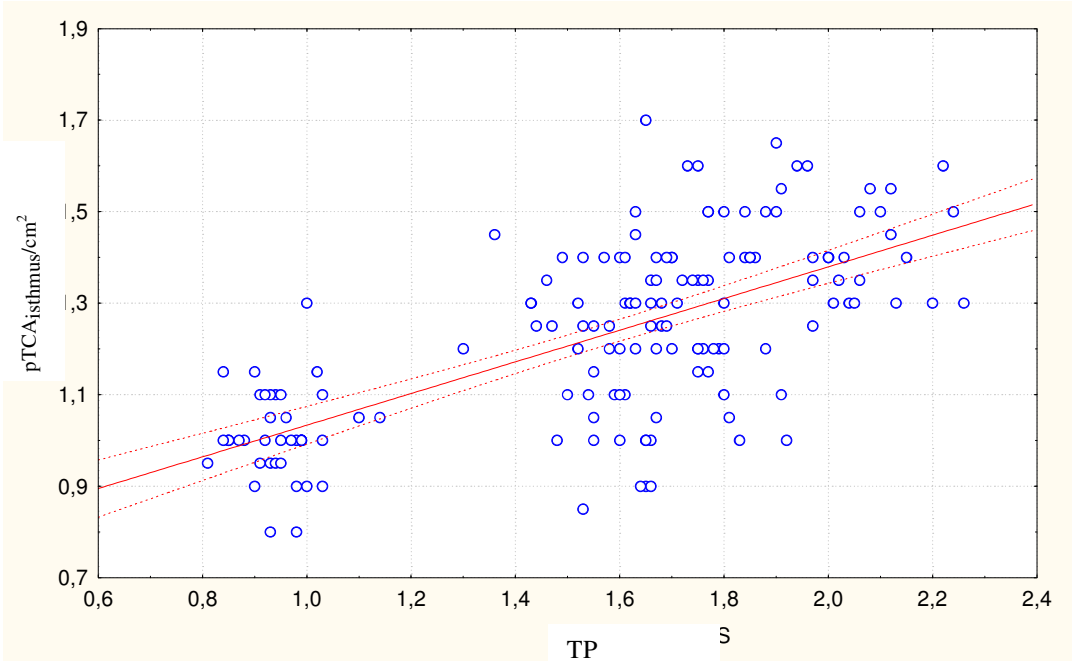
$pTCA_{concha}$ - srednja ukupna minimalna površina poprečnog presjeka nosne šupljine na razini donje nosne školjke

TP - tjelesna površina

SD - standardna devijacija

Tablica III . Izračunate vrijednosti TP, $pTCA_{isthmus}$ i $pTCA_{concha}$ po grupama

Rezultati testa multiple regresijske analize s TP kao prediktorom i vrijednostima pTCA na nivou nosnog isthmusa ($pTCA_{isthmus}$) i donje nosne školjke ($pTCA_{concha}$) kao kriterijskim varijablama prikazane su dijagramima 1 i 2.



$$pTCA_{isthmus} = (0.687 + 0.346 \times TP)\ cm^2 \qquad (1)$$

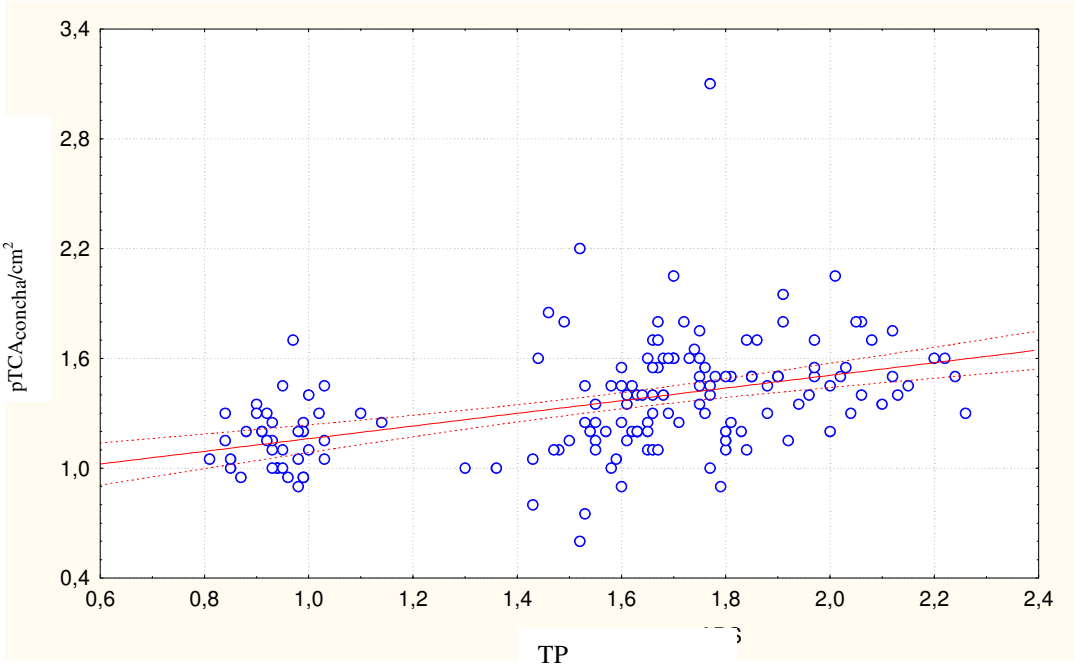
$$p<0.0001$$

Legenda:

$pTCA_{isthmus}$ - srednja ukupna minimalna površina poprečnog presjeka nosne šupljine na razini nosne valvule

TP - tjelesna površina

Dijagram 1. Rezultat statističke analize povezanosti vrijednosti prediktora TP i kriterijske varijable $pTCA_{isthmus}$



$$pTCA_{concha}\ pTCA_{isthmus}/cm^2 = (0.815 + 0.346 \times TP)\ cm^2 (2)$$

$$p<0.0001$$

Legenda:

$pTCA_{concha}$ - srednja ukupna minimalna površina poprečnog presjeka nosne šupljine na razini donje nosne školjke

TP - tjelesna površina

Dijagram 2. Rezultat statističke analize povezanosti vrijednosti prediktora TP i kriterijske varijable $pTCA_{concha}$

Analizom dijagrama 1 i 2 razvidno je da postoji statistički znakovita korelacija ($p<0.001$) između TP kao prediktora i izračunatih vrijednosti pTCA kao kriterijskih varijabli, kako na razini isthmusa nasi tako i na razini donje nosne školjke.

Rezultati testa multiple regresijske analize statističke povezanosti vrijednosti površine tijela i dobi ispitanika kao prediktora i vrijednosti pTCA na razini isthmusa i donje nosne školjke kao kriterijskih varijabli prikazani su tablicom IV.

Konstantni prediktor	Zavisne varijable	p
TP	$pTCA_{isthmus,\ concha}$	<0.0001
Dob ispitanika	$pTCA_{isthmus,\ concha}$	0.898

Legenda:

$pTCA_{isthmus}$ - srednja ukupna minimalna površina poprečnog presjeka nosne šupljine na razini nosne valvule

$pTCA_{concha}$ - srednja ukupna minimalna površina poprečnog presjeka nosne šupljine na razini donje nosne školjke

TP - tjelesna površina

Tablica IV . Rezultati multiple regresijske analize sattističke povezanosti vrijednosti tjelesne površine i dobi ispitanika kao prediktora i vrijednosti pTCA na razini isthmusa i donje nosne školjke kao kriterijskih varijabli

Analizom rezultata prikazanih tablicom IV razvidno je da postoji statistički znakovita povezanost ($p<0,0001$) između tjelesne površine ispitanika kao prediktora i izračunatih vrijednosti pTCA, kako na razini isthmusa nasi tako i na razini donje nosne školjke. Istovremeno nema statistički znakovite povezanosti ($p=0,898$) između dobi ispitanika kao prediktora i izračunatih vrijednosti pTCA, kako na razini isthmusa nasi tako i na razini donje nosne školjke.

5. RASPRAVA

Nosne šupljine su konglomerati uglavnom nepromjenjivih koštanih struktura presvučenih vrlo varijabilnom i dinamičnom sluznicom. Sluznica se sastoji od respiratornog epitela ispod kojega se nalazi erektilno tkivo u plićem sloju, a rahlo vezivno tkivo u dubljim slojevima neposredno iznad same kosti.

Površinske strukture sluznice mijenjaju svoje dimenzije u kratkom razdoblju pod utjecajem različitih kemijskih supstanci (adrenergički, kolinergički te non-adrenergičko-kolinergički sustavi). Za razliku od površinskih struktura, dublje strukture sluznice mijenjaju svoje dimenzije u duljem razdoblju, uglavnom pod utjecajem hormona.

Sama veličina površine poprečnog presjeka nosne šupljine, koja je ujedno mjera njezine prohodnosti, jednoznačno je određena prije opisanim konglomeratom koštanih struktura i sluznice. Kada vrijednosti površine poprečnog presjeka nosa padnu ispod kritične, dolazi do otežanog nosnog disanja sa svim nepoželjenim popratnim efektima.

Osjećaj otežanog nosnog disanja je izrazito subjektivna kategorija koju je teško objektivno interpretirati. Slaba korelacija subjektivnog osjećaja nosne opstrukcije s nalazima prednje rinoskopije poznata je već gotovo cijelo stoljeće[8].

To je vrlo lako razumjeti ukoliko se prisjetimo činjenice da su nosne šupljine dva relativno uska i dugačka hodnika odvojena nosnom pregradom koja nam ne dozvoljava njihovu simultanu inspekciju. Zbog toga je ispitivaču teško rekonstruirati trodimenzionalni izgled cijele nosne šupljine i procijeniti stupanj njezine deformacije na temelju sukcesivnih pojedinačnih pregleda lijeve i desne strane nosa. Nadalje, gledajući u nosnu šupljinu, ne možemo rabiti binokularni vid te je stoga nismo u mogućnosti trodimenzionalno percipirati. To se poglavito odnosi na procjenu dubine unutar prostora nosne šupljine, što je ključno za određivanje mjesta i procjenu stupnja eventualne opstrukcije.

Određivanje prohodnosti nosa u počecima razvoja rinologije uglavnom je bilo subjektivno. Temeljilo se na kliničkom pregledu kojim je liječnik na temelju vlastite procjene stanja sluznice, jednostavnih kliničkih pokusa i anatomskih odnosa u nosnoj šupljini zaključivao o stupnju njezine opstrukcije.

Prvi pokušaji objektivne procjene nosne prohodnosti temeljili su se na gruboj procjeni snage forsiranog ekspirija kroz nos ispitanika na dorzumu šake ispitivača. Na sličnom se principu temelji i rinohigrometrija, najstarija metoda za objektivnu procjenu prohodnosti nosa. Ona nam na temelju opsega zamagljenosti sjajne i hladne površine metalne pločice postavljene neposredno ispod nosnica ispitanika toplom i vlažnom strujom izdahnutoga zraka daje grubu informaciju o nosnoj prohodnosti[7,13-16].

U zadnjih je pedesetak godina, s razvojem novih dijagnostičkih metoda (rinomanometrija, nosna peak-flowmetrija, endoskopija, tomografija, CT, MRI), u području rinološke dijagnostike došlo do znatnih pomaka u smjeru objektivnog određivanja prohodnosti nosa.

Endoskopija je izrazito subjektivna dijagnostička metoda na temelju koje je teško objektivno procijeniti stupanj nosne opstrukcije. Ona se, zajedno s funkcionalnom kirurgijom sinusa, zbog jasnog anatomskog prikaza nosnih šupljina, paranazalnih sinusa, epifarinksa i važnih susjednih struktura, pokazala vrlo korisnom u kirurškom liječenju paranazalnih sinusa[17].

Radiološke dijagnostičke metode (CT, MRI) statičke su i spore te nisu u stanju kvalitetnom informacijom pratiti dinamiku promjene debljine nosne sluznice. Na temelju njih ne možemo kvantificirati dinamiku i stupanj nosne opstrukcije.

Vrlo je teško podesiti parametre rada uređaja kako bi se kvalitetno izdiferencirala nosna sluznica, što je nužan preduvjet za trodimenzionalnu rekonstrukciju nosne šupljine i kvantificiranje stupnja njezine opstrukcije. Valja naglasiti i da je ekspozicija ispitanika ionizirajućem zračenju važan ograničavajući čimbenik kod CT pretrage[18].

Rinomanometrija je korisna neinvazivna objektivna dijagnostička metoda pretrage koja nam daje kvalitetnu informaciju o dinamici promjene nosne sluznice i stupnju nosne opstrukcije. Ona nam na temelju aerodinamičkih parametara volumnog protoka zraka pri fiksnoj vrijednosti razlike tlakova unutar nosne šupljine u svakom trenutku prikazuje njezinu prohodnost.

Međutim, brojne su studije pokazale da osjećaj nosne opstrukcije ne korelira s rezultatima rinomanometrijskih mjerenja, poglavito ukoliko ispitanici dišu kroz obje strane nosa zbog kompenzatornog disanja na prohodnijoj strani nosa. Korelacija postaje vrlo dobra ukoliko ispitanici prilikom ispitivanja sukcesivno pojedinačno dišu kroz jednu stranu nosa.

Nadalje, rinomanometrija nam uopće ne daje nikakvu informaciju o geometriji nosne šupljine. Ona nam daje *samo informaciju o stupnju, ali ne i lokalizaciji* nosne opstrukcije[9-12].

5.1. AR u rinologiji

AR je najnovija (Hilberg, 1989) i jedna od najpristupačnijih objektivnih metoda procjene geometrije nosnih šupljina. U cijelosti je neinvazivna i neškodljiva te stoga lako primjenljiva. Ona na temelju analize refleksije akustičkih valova odaslanih u nosnu šupljinu rekonstruira njezinu geometriju kao funkciju površine poprečnog presjeka, izraženu u kvadratnim centimetrima, u odnosu na udaljenost od nosnica do koana.

S pomoću AR mjeri se geometrija nosnih šupljina s posebnim naglaskom na apsolutni minimum površine poprečnog presjeka nosne šupljine, tzv. područje minimalnog poprečnog presjeka nosne šupljine ("minimal cross sectional area", MCA), koje je ujedno i mjera prohodnosti nosne šupljine.

Iz svega navedenog razvidno je da se radi o brzom, pouzdanom i reproducibilnom mjerenju statičkih, anatomskih parametara koje nam u svakom trenutku daje jasnu predodžbu o točnoj lokalizaciji i stupnju nosne opstrukcije. S AR smo zbog brzine i jednostavnosti mjerenja u stanju pratiti dinamiku promjene stupnja kongestije nosne sluznice.

AR je zbog tih karakteristika vrlo brzo zauzela važno mjesto u rinologiji. U prilog tome govori podatak o više od 200 članaka o različitim aspektima primjene AR publiciranih u poslijednjih 13 godina. Od toga broja se više od jedne trećine njih bavi AR u kontekstu indikacija za kirurško liječenje ili analizom rezultata kirurškog liječenja rinoloških bolesnika[25].

Analizirajući dosad objavljene studije, možemo zaključiti da se AR pokazala važnom dijagnostičkom pretragom u sljedećim rinološkim područjima:

5.1.1. Kirurgija septuma i estetska kirurgija

Velika većina publiciranih članaka o primjeni AR u rinokirurgiji bavi se problemom patologije nosne pregrade i donjih nosnih školjki, što je vjerojatno posljedica činjenica da je upravo na njih usmjeren najveći dio kirurških zahvata sa ciljem poboljšavanja nosnog disanja.

U većini članaka je potvrđena dobra korelacija AR mjerenja s kliničkom procjenom stupnja nosne opstrukcije uzrokovane deformacijom nosne pregrade[25,36,44].

Međutim, u procjeni rezultata kirurškog liječenja (septoplastika ili rinoplastika) AR mjerenjima postoje razlike.

Većina autora navodi statistički bitno povećanje postoperativnih vrijednosti MCA i subjektivnog osjećaja poboljšanja nosnog disanja u odnosu na prijeoperativne vrijednosti[25,44,40].

Međutim, prema nekim autorima nema statistički bitne razlike između prijeoperativnih i postoperativnih vrijednosti MCA i subjektivne procjene nosne prohodnosti[45].

Razliku u rezultatima možemo objasniti činjenicom da je u svim studijama u istom aktu učinjeno više operacijskih zahvata, najčešće septoplastike i turbinoplastike, pa je teško komparirati i valorizirati učinak pojedinog operacijskog zahvata na poboljšanje nosnog disanja.

Tu činjenicu, kao i utjecaj fizioloških promjena nosne sluznice (nosni ciklus, hipertrofija nosne sluznice bilo koje geneze) i placebo efekt (do 20% uspješnosti gotovo svakog liječenja!), moramo imati na umu pri svakom pokušaju AR procjene uspješnosti kirurškog liječenja nosne pregrade i njezine korelacije sa subjektivnom procjenom nosnog disanja[25].

5.1.2. Hipertrofija donjih nosnih školjki i proučavanje patologije nosne sluznice

AR se, zajedno s rinomanometrijom, pokazala ključnom dijagnostičkom pretragom u procjeni dinamike promjena nosne sluznice, što je od iznimnog značenja u evaluaciji patoloških promjena sluznice donjih nosnih školjki.

U bolesnika s hipertrofijom sluznice donjih nosnih školjki MCA je smještena u C-čvoru i statistički je značajno manja nego u zdravih ispitanika, tako da AR krivulja ima oblik silaznog slova W. Nakon dekongestije se MCA pomiče prema naprijed i smještena je u I-čvoru, kao kod velike većine zdravih ispitanika.

MCA se niti u jednom stanju sluznice apsolutnim vrijednostima ne izjednačava s onima u zdravih ispitanika.

AR metodom možemo valorizirati i utjecaj kompenzatorne hipertrofije (koštane ili sluzničke komponente) donjih nosnih školjki u perzistenciji osjećaja nosne opstrukcije na

kontralateralnoj strani nosa kod uspješnog kirurškog liječenja izrazitih deformacija nosne pregrade[40,46].

Kao kriterij za hipertrofiju sluznice donjih nosnih školjki uzima se najmanje 100%-tno povećanje MCA nakon dekongestije u C-čvoru[47].

Procjena dinamike reakcije nosne sluznice na stimulaciju alergenom izrazito je važna u evaluaciji alergijskih promjena nosne sluznice.

AR mjerenjem prije i poslije ciljane stimulacije sluznice glave donje nosne školjke inkriminiranim alergenom možemo dobiti jasnu sliku o vrsti alergena i opsegu reakcije ciljnog tkiva nosne sluznice na temelju izrazitog smanjenja vrijednosti MCA nakon stimulacije[40].

Praćenjem dinamike MCA nativne i dekongestirane nosne sluznice u dužem vremenskom intervalu, u stanju smo kvantificirati stupanj spontane regresije nosne sluznice na konzervativno liječenje[25,48].

To nam daje neslućene mogućnosti unapređivanja dijagnostike i liječenja alergološko-rinoloških bolesnika i stoga je upravo to područje gdje se očekuju najveći probici i korist AR.

Zbog toga valja standardizirati uvjete i način evaluacije reakcije nosne sluznice na histaminsku provokaciju te standardizirati provokacijske otopine i način evaluacije stupnja reakcije nosne sluznice na stimulaciju[49].

Kako je najveći dio erektilnog tkiva nosne sluznice smješten u srednjoj trećini nosne šupljine, segment volumena nosne šupljine od 2 do 5 cm udaljen od ulaza u nosnice (Vol. 2-5) smatra se najegzaktnijim parametrom u procjeni dinamike promjena nosne sluznice[27].

5.1.3. Objektivna procjena prohodnosti nosa u dojenčadi i male djece.

Nužnost nesmetanog nosnog disanja u dojenčadi i male djece uvjetovana visokim položajem grkljana, kao i velika učestalost alergija i infekcija gornjih dišnih puteva u toj dobi čine objektivnu procjenu stupnja nosne opstrukcije neobično važnom.

Otežano nosno disanje u dojenčadi i male djece dovodi do poremećaja u njihovom ponašanju i zaostajanja u rastu i razvoju.

U dugotrajnim i najtežim slučajevima nosne opstrukcije, u dojenčadi može doći do kardiopulmonalnih promjena s povećanim rizikom od nagle dojenačke smrti ("Sudden Infant Death Syndrome", SIDS)[50].

Kako prije spomenuti nedostaci drugih dijagnostičkih metoda u toj dobi još više dolaze do izražaja i kako rinomanometrijsko mjerenje nije moguće učiniti zbog nedostatka potrebne suradnje, AR se u dojenčadi nametnula kao metoda izbora u objektivnoj procjeni nosne prohodnosti.

U prilog tome govori i neočekivani stupanj preciznosti potvrđen neovisnim studijama o poklapanju rezultata AR mjerenja sa stvarnim dimenzijama koana dojenčadi i male djece dobivenih rekonstrukcijom CT nalaza i direktnim mjerenjima[51].

AR se u dojenčadi i male djece pokazala korisnom u procjeni dinamike sluzničnih promjena, stupnja nosne opstrukcije i terapijskih rezultata pri evaluaciji astme (spastičkog bronhitisa) i alergijskog rinitisa te koanalne atrezije.

Važna je njezina uloga u procjeni dimenzija nosne šupljine kod kongenitalnih i stečenih septalnih i kraniofacijalnih deformacija.

AR se u dojenčadi i male djece mjeri optimiziranim sondama, pri čemu se generira tipična ascendentna krivulja s MCA u području isthmus internusa (nosne valvule), u dojenčeta prosječne apsolutne vrijednosti 0.1 cm^2.

Vrijednost MCA se podvostručuje do kraja prve godine života. S rastom i razvojem javlja se i drugo suženje u području glave donje nosne školjke i AR krivulja počinje sličiti onoj u odraslih.

Prisutnost drugog suženja u dojenčadi i male djece predstavlja patološki oblik krivulje. U dobi od 6 do 8 godina AR krivulja izgledom gotovo potpuno odgovara AR krivulji u odraslih i mjerenja se mogu vršiti manjim anatomskim nosnim adaptorom[49,52].

Iz tog razloga su djeca u dobi od 7 godina najmlađa skupina ispitanika u našoj studiji.

5.1.4. Bazične studije fiziologije nosne sluznice i utjecaja lijekova na nosnu sluznicu

Zahvaljujući primjeni AR i rinomanometrije, danas smo u stanju egzaktno i objektivno izmjeriti utjecaj lijekova i intrinzičkih čimbenika (hormoni, simpatički i parasimpatički sustav, histamin, VIP, kalikreini, metaboliti arahidonske kiseline) na stupanj i dinamiku kongestije nosne sluznice.

U tom smislu su vrlo korisni reproducibilni modeli inducirane histaminske kongestije nosne sluznice koji nam kao kontrolna skupina u perspektivi omogućavaju kvantificiranje utjecaja pojedinog čimbenika na stupanj kongestije nosne sluznice[49].

5.1.5. Opstruktivni poremećaji spavanja

Proučavanje i liječenje opstruktivnih poremećaja dišnih puteva povezanih sa spavanjem. (obstructive sleep apnea, OSAS) zauzima u posljednjih nekoliko desetljeća sve važnije mjesto u kirurgiji glave i vrata.

Danas je objektivno valorizirana učestalost OSAS-a u populaciji te njegov utjecaj na kvalitetu života i povećani rizik od kardiovaskularnih bolesti.

Osnovni preduvjet uspješnoga kirurškog liječenja OSAS-a je egzaktno utvrđivanje mjesta opstrukcije u području gornjih dišnih puteva. AR mjerenjem smo u mogućnosti vrlo precizno odrediti mjesto, stupanj i karakter (sluznica ili kost) opstrukcije u području nosne šupljine.

U zadnjih nekoliko godina tvrtka RhinoMetrics razvila je sustav Rhinosleep koji nam, na osnovi procjene trajanja i stupnja opstrukcije transnazalno u jednjak uvedenog kolapsibilnog latex-katetera uzrokovanog ekstraluminalnim pritiskom okolnog tkiva, daje vrlo preciznu informaciju o visini, stupnju i dinamici opstrukcije u području gornjih dišnih puteva.

Stupanj i visina opstrukcije katetera mjere se modificiranom metodom akustičke reflektometrije. To polisomnografiji daje sasvim novu dimenziju i omogućava nam ciljano kirurško liječenje[53].

5.1.6. Kraniofacijalne malformacije

Bolesnici s rascjepom nepca predstavljaju veliki izazov za rinokirurga, zbog često udruženih teških kraniofacijalnih deformacija.

Isto tako kirurško liječenje malformacija srednjeg ličnog masiva uzrokuje znatne promjene oblika i veličine nosne šupljine.

U tom smislu nam je važan egzaktan prikaz geometrije koštanih struktura koji dobivamo AR mjerenjima nosne šupljine u dekongestiranom stanju nosne sluznice.

Na taj način možemo definirati kritična mjesta opstrukcije unutar nosne šupljine te planirati način i redoslijed kirurškog liječenja.

U mogućnosti smo planirati postoperativni izgled nosne šupljine u odnosu na njezinu očekivanu prohodnost što je dosad nezabilježena kategorija u dijagnostici kraniofacijalnih malformacija[54,55].

5.2. Nedostaci AR

Rezimirajući sve dosad rečeno, možemo zaključiti da se AR pokazala nezamjenjivom dijagnostičkom metodom u rinologiji, poglavito u slučajevima u kojima su potrebna brza, ponovljiva i reproducibilna objektivna mjerenja geometrije nosne šupljine.

To je osobito naglašeno pri procjeni dinamike i stupnja kongestije nosne sluznice, te međusobnog odnosa između sluznice i koštanih struktura i njihovom relativnom udjelu u ukupnoj veličini nosne opstrukcije.

Međutim ona, kao i svaka druga dijagnostička metoda, ima svoje nedostatke, koji su bitni ograničavajući čimbenik u njezinoj primjeni.

AR metodom procijenjeni volumen i površina poprečnog presjeka nosne šupljine iza izrazito velikog suženja bitno su manji od njihovih stvarnih vrijednosti. U ovom trenutku taj problem još uvijek nije riješen, što znatno otežava ukupnu objektivnu procjenu izrazito sužene nosne šupljine (jaka deformacija, izrazita kongestija kod provokacijskog testa, dojenačka nosna šupljina)[27].

Prema nekim studijama, rezultati AR mjerenja (kao i kod rinomanometrije) ne koreliraju sa subjektivnim osjećajem nosne opstrukcije ukoliko ispitanici dišu kroz obje nosnice. To je poslijedica kompenzatornog učinka prohodnije strane nosa na ukupno nosno disanje. Ukoliko ispitanici sukcesivno dišu samo kroz jednu nosnicu, korelacija postaje vrlo dobra[9].

U analizi bolesnika s OSAS, dojenčadi i male djece vrlo je važna egzaktna procjena dimenzija stražnjih dijelova nosne šupljine i nazofarinksa.

Iako postoje literaturni navodi o preciznom određivanju geometrije nazofarinksa i funkcije velofaringealnog sfinktera, većina autora se slaže da to u ovom trenutku nije moguće učiniti[56,57].

Glavni argumenti koji govore u prilog potonje tvrdnje jesu činjenica da u AR krivulja CV raste s udaljenošću od nosnica, utjecaj ušća paranazalnih sinusa na distorziju i rasap inicijalnog impulsa u stražnjim dijelovima (udaljenost >5cm od nosnica) nosne šupljine te nedostaci u samom AR algoritmu koji u ovom trenutku postoje i na čijoj se korekciji intenzivno radi[24,28,50,58].

5.3. Očekivane vrijednosti MCA u zdravih ispitanika

Osim tih, uglavnom tehničkih, čimbenika glavni ograničavajući faktor u kliničkoj primjeni AR jest činjenica da nam ona ne daje nedvosmislen odgovor na pitanje kolika je očekivana, fiziološka vrijednost MCA za pojedinog ispitanika.

Analogno tome, u ovome trenutku ne znamo niti koje vrijednosti MCA možemo smatrati patološkim za dotičnog ispitanika.

Ukoliko bismo uspjeli nedvosmisleno odrediti te vrijednosti, mogli bismo bitno proširiti kliničku primjenu AR i s mnogo većom sigurnošću postaviti indikacije za daljnje pretrage te način i redoslijed liječenja.

U prilog tome govori i činjenica da do danas nije objavljen ***ni jedan članak*** u kojem su vrsta liječenja i selekcija bolesnika učinjeni isključivo na temelju patoloških vrijednosti AR mjerenja.

Dosad je bilo više pokušaja određivanja standardnih vrijednosti MCA, ali oni se zapravo svode na određivanje prosječne vrijednosti MCA u zdravih ispitanika i određivanje tzv. kritične vrijednosti (praga, "treshold value") ispod koje neminovno dolazi do otežanog nosnog disanja[27,36,40,41].

Hilberg u svojoj seriji od 1756 zdravih ispitanika navodi prosječnu vrijednost MCA od 0.6 cm^2 +/- 0.18 cm^2(SD). Vrijednosti na 5 i 2.5 percentili bile su 0.36 cm^2 i 0.32 cm^2, pa on predlaže 0.35 cm^2 kao kritičnu vrijednost MCA na kojoj dolazi do osjećaja nosne opstrukcije[27].

Grymer u studiji 82 ispitanika navodi srednju vrijednost nativne TMCA ("Total Minnimal Cross-sectional Area"; suma vrijednosti MCA za lijevu i desnu stranu nosa) od 1.46 cm^2 i dekongestirane TMCA od 1.88 cm^2. Ona nalazi statistički bitno veći volumen nosa u žena u odnosu na muškarce u nativnom stanju sluznice. Međutim, nakon dekongestije ta se razlika gubi. Ne nalazi statistički znakovite povezanosti između visine, odnosno težine ispitanika i vrijednosti TMCA[41].

Lenders navodi srednju vrijednost MCA od 0.73 cm^2 +/- 0.2 cm^2 u studiji koja je obuhvatila 134 zdrava ispitanika[42].

Roithmann nalazi srednju vrijednost nativne MCA od 0.62 cm^2 i dekongestirane MCA od 0.67 cm^2 u 51 zdravog ispitanika[36].

Grymer predlaže selekciju bolesnika za rekonstrukciju nosne pregrade u slučaju vrijednosti MCA $\leq$ 0.4 cm^2 u nativnom stanju nosne sluznice te MCA$\leq$0.5 cm^2 u dekongestiranom stanju nosne sluznice povezane s osjećajem nosne opstrukcije na istoj strani nosa[59].

Mann navodi prijeoperativnu razliku u MCA$\geq$0.1 cm^2 između lijeve i desne strane nosa kao statistički značajan prediktor uspješnosti operacijskog zahvata (procjena bolesnika i AR mjerenja). On navodi također da je veća vjerojatnost uspjeha operacijskog zahvata ukoliko je ta prijeoperacijska razlika zabilježena u C-čvoru nego u I-čvoru[40].

Grymer navodi efekt dekongestije u MCA jednaku ili veću od 0.2 cm^2 kao statistički znakovitu prediktivnu vrijednost za osjećaj nosne opstrukcije[60].

Nasuprot tim tvrdnjama, ja mislim da vrijednost MCA, kao i njezina kritična vrijednost ("treshold value") nisu jedinstvene vrijednosti jednake za cijelu populaciju.

Jasno je da predložene vrijednosti od 0.35 cm^2, odnosno 0.4 cm^2,predstavljaju kritičnu vrijednost MCA za veliku većinu odrasle populacije, ali je isto tako jasno i to da su one neselektivne i krajnje upitne za dječju populaciju.

Po mom mišljenju, svaka osoba (ili manje skupine osoba) ima svoju, individualnu vrijednost MCA, te sukladno tome i kritičnu vrijednost MCA, ispod koje možemo reći da postoje objektivni kriteriji za postojanje nosne opstrukcije.

Individualizaciju vrijednosti MCA bilo bi najlakše učiniti preko lako mjerljivog antropometrijskog parametra.

Do danas, prema relevantnim literaturnim navodima, unatoč brojnim istraživanjima nije dokazana korelacija ni s jednim antropometrijskim parametrom. Povezivanje MCA s nekim lako mjerljivim antropometrijskim parametrom bitno bi pridonijelo standardizaciji i individualizaciji rezultata AR mjerenja[41,61].

Prije stotinjak godina Rubner je otkrio da je potrošnja energije u toplokrvnih životinja i ljudi linearno proporcionalna površini njihova tijela. Ubrzo potom otkriveno je da su i svi ostali temeljni fiziološki mehanizmi, među kojima i potrošnja kisika, također linearno proprocionalni tjelesnoj površini[43].

Potrošnja kisika je istovremeno jednoznačno određena i kapacitetom, tj. kalibrom gornjih dišnih puteva kao mjerom za njegov transport u donje dišne puteve.

Kako je u zdravih ljudi nos ključni organ za transport zraka u donje dišne puteve, ***mjera za dopremu kisika u organizam bila bi prema tome nosna prohodnost*** koja je pak jednoznačno određena mjestom najvećeg otpora struji zraka tj. njegovim najužim segmentom (MCA).

U skladu s tim spoznajama, osnovna hipoteza mog istraživanja je ta da bi MCA trebala biti linearno proporcionalna tjelesnoj površini.

Kako bih testirao hipotezu, proveo sam istraživanje na uzorku od 157 zdravih ispitanika slučajno odabranih u osnovnoj i srednjoj školi, medicinskom fakultetu i među osobama hospitaliziranim u Klinici za bolesti uha, nosa i grla KBC Zagreb.

Analizirajući distribuciju ispitanika po dobi, prikazanu tablicom I, vidljiva je velika heterogenost ispitanika u grupi IV (koja je i inače manja po broju ispitanika u odnosu na ostale dobne grupe) prema njihovoj dobi u odnosu na ostale grupe koje su dobno homogene.

To je posljedica pretpostavke da po završetku rasta i razvoja ličnog skeleta dob ispitanika nema značajan utjecaj na dimenzije nosne šupljine, što je u velikoj mjeri potvrđeno rezultatima analize statističke povezanosti dobi ispitanika s vrijednostima pTCA (tablica IV).

Isto tako bilo bi poželjno da je dobna razlika između grupa manja.

Obje činjenice su, nažalost, posljedica financijskih i tehničkih poteškoća tijekom izrade studije.

Analizirajući podatke prikazane tablicom III, vidljivo je da su vrijednosti tjelesne površine i pTCA na razini donje nosne školjke u grupi IV bile neočekivano manje od onih u grupi III.

To je vjerojatno posljedica činjenice da su ispitanici u grupi III bili u prosjeku viši, pa su tako i njihove vrijednosti tjelesne površine bile veće od vrijednosti tjelesne površine ispitanika u grupi IV.

Izmjerene vrijednosti pTCA u populaciji zdravih ispitanika nešto su veće od vrijednosti navedenih u relevantnoj literaturi.

Dva su najvjerojatnija razloga tome:

Ovdje se radi o prosječnim, srednjim vrijednostima TCA između nativnog i dekongestiranog stanja sluznice. Za mjerenje prosječnih vrijednosti TCA odlučio sam se kako bih u najvećoj mjeri eliminirao utjecaj nosnog ciklusa na izmjerene vrijednosti i minimalizirao efekt eventualnih tehničkih pogrešaka pri mjerenju, sve u svrhu dobivanja maksimalno kvalitetnih podataka koji bi mogli sugerirati trend i statističku znakovitost povezanosti tjelesne površine i kalibra nosne šupljine.

Nadalje, u ovom ispitivanju nije korišten gel za akustičko brtvljenje, pa je moglo doći do akustičkih gubitaka i posljedično nešto većih izmjerenih vrijednosti. To bi isto tako mogao biti razlog nešto manje konzistencije izmjerenih vrijednosti TCA u stražnjim partijama nosne šupljine[40,59].

Rezultati multiple regresijske analize prikazani dijagramima 1 i 2 pokazuju statistički znakovitu povezanost ($p<0,0001$) između vrijednosti tjelesne površine kao prediktora i izmjerenih vrijednosti pTCA kao kriterijskih varijabli, kako na razini isthmusa nasi tako i na razini donjih nosnih školjki.

Rezultati multiple regresijske analize s vrijednostima tjelesne površine i dobi ispitanika kao prediktorom i izmjerenim vrijednostima pTCA na razini ishmusa i donje nosne školjke kao kriterijskim varijablama prikazani su tablicom IV.

Analizirajući prikazane rezultate, razvidno je da postoji statistički znakovita povezanost ($p<0,0001$) između vrijednosti tjelesne površine kao prediktora i izmjerenih vrijednosti pTCA kao kriterijske varijable, kako na razini isthmusa nasi tako i na razini donje nosne školjke.

Nasuprot tome, nema statistički znakovite povezanosti ($p = 0,898$) između dobi ispitanika kao prediktora i izmjerenih vrijednosti pTCA kao kriterijske varijable, kako na razini isthmusa tako i na razini donje nosne školjke.

To drugim riječima znači da se varijabilnost pTCA može objasniti vrijednostima TP s vrlo velikim stupnjem statističke znakovitosti ($p<0,0001$, za obje vrijednosti pTCA, kako na razini ishmusa nasi tako i na razini donje nosne školjke).

Nasuprot tome, varijabilnost pTCA nije moguće objasniti s dobi ispitanika s prihvatljivim stupnjem statističke znakovitosti ($p=0,898$).

U tom su smislu interesantne jednadžbe (1) i (2) u kojima je jasno definirana linearna povezanost vrijednosti tjelesne površine i izmjerenih vrijednosti pTCA.

Ona ima oblik pravca s ishodištem na osi y (bazične vrijednosti pTCA).

Na taj se način vrijednost pTCA može izračunati iz vrijednosti TP prema jednadžbama (1) i (2).

Vrijednost pTCA bila bi jednaka sumi bazičnih vrijednosti pTCA na razini isthmusa i donje nosne školjke (0,687 cm^2 i 0,815 cm^2, slijedom) i umnoška korektivnog faktora (0,346) s vrijednostima TP.

Rezultati istraživanja sugeriraju da bi se mogla izračunati očekivana, fiziološka vrijednost površine poprečnog presjeka nosne šupljine iz antropometrijskog parametra tjelesne površine s vrlo visokim stupnjem pouzdanosti.

Tjelesnu površinu možemo izračunati iz lako mjerljivih parametara tjelesne visine i težine.

Na taj način nam postaju dostupne očekivane, fiziološke vrijednosti ukupne površine poprečnog presjeka nosne šupljine u ispitanika ukoliko su nam poznate vrijednosti njihove visine i težine.

Sve rečeno govori u prilog tezi da svaka osoba (ili manje skupine osoba) ima svoju, individualnu vrijednost pTCA, a sukladno tome i MCA, koja bi se mogla izračunati iz izmjerenih antropometrijskih vrijednosti tjelesne visine i tjelesne težine.

Sukladno tome, i kritična vrijednost MCA, ispod koje možemo reći da postoje objektivni kriteriji za postojanje nosne opstrukcije, najvjerojatnije je individualna vrijednost, ili vrijednost karakteristična za manje skupine osoba.

Daljnjim kliničkim istraživanjima na bitno većim uzorcima ispitanika moralo bi se utvrditi očekivane, fiziološke vrijednosti MCA, te koliko odstupanje od fizioloških vrijednosti MCA možemo smatrati patološkim.

Isto tako je moguće da postoji rasna, pa čak i spolna razlika u distribuciji vrijednosti MCA.

To svakako zahtijeva daljnja opsežna multicentrična istraživanja na velikom broju ispitanika različite dobi, spola i rasa[61].

Ukoliko se teza o "individualizaciji" vrijednosti MCA pokaže točnom i potvrdi širim kliničkim istraživanjima, AR bi postala bitno objektivnija klinička pretraga.

Na temelju rezultata AR mjerenja moglo bi se sa znatno većom sigurnošću nego do sada donositi odluke o smjeru i načinu liječenja pojedinog rinološkog bolesnika.

Time bismo znatno doprinijeli kliničkoj primjeni AR i prenijeli je iz laboratorija u svakodnevnu kliničku praksu, čime bi postala dijagnostička metoda na temelju koje bi se mogle donositi daljnje dijagnostičke i terapijske smjernice (tzv. "decision making examination").

6. ZAKLJUČCI

- Od uvođenja AR u kliničku uporabu postoji potreba za određivanjem standardnih, fizioloških vrijednosti MCA u zdravih ispitanika kako bi mogli objektivno procjeniti stupanj i značaj nosne opstrukcije.
- Prema rezultatima istraživanja u grupi od 157 zdravih ispitanika razvidno je da postoji statistički znakovita povezanost ($p<0,0001$) između tjelesne površine ispitanika kao prediktora i izračunatih vrijednosti pTCA kao kriterijske varijable, kako na razini isthmusa nasi tako i na razini donje nosne školjke, dok istovremeno nema statistički znakovite povezanosti ($p=0,898$) između dobi ispitanika kao prediktora i izračunatih vrijednosti pTCA kao kriterijske varijable, kako na razini isthmusa nasi tako i na razini donje nosne školjke.
- Rezultati istraživanja sugeriraju da pTCA, a sukladno tome i MCA, nije jedinstvena vrijednost jednaka za cijelu populaciju zdravih osoba, nego svaka osoba (ili manje skupine osoba) ima svoju, individualnu pTCA (MCA).
- Očekivana, fiziološka vrijednost površine poprečnog presjeka nosne šupljine bi se mogla izračunati iz lako mjerljivih antropometrijskih parametara tjelesne visine i težine s vrlo visokim stupnjem pouzdanosti.

7. SAŽETAK

Slaba korelacija subjektivnog osjećaja nosne opstrukcije s nalazima prednje rinoskopije poznata je već gotovo cijelo stoljeće.

Za kvalitetnu dijagnostiku i pravilan odabir načina liječenja rinoloških bolesnika nužna je objektivna procjena prednjeg, najužeg segmenta nosne šupljine.

Akustička rinometrija nova je metoda objektivne procjene geometrije nosne šupljine koja, na temelju analize refleksije akustičkih valova odaslanih u nosnu šupljinu, vrši njezinu rekonstrukciju kao funkciju površine poprečnog presjeka izražene u kvadratnim centimetrima u odnosu na udaljenost od nosnica do koana.

Apsolutni izmjereni minimum površine poprečnog presjeka nosne šupljine zabilježen AR krivuljom nazivamo minimalnom površinom poprečnog presjeka nosne šupljine (minimal cross sectional area, MCA).

Ona mora biti standardizirana na jednostavan i pristupačan način kako bi se mogao objektivno procjeniti stupanj i značenje nosne opstrukcije, odabrati adekvatan način liječenja i uspoređivati rezultate liječenja.

Prema rezultatima istraživanja u grupi od 157 zdravih ispitanika razvidno je da postoji statistički znakovita povezanost ($p<0,0001$) između tjelesne površine ispitanika kao prediktora i izračunatih vrijednosti pTCA kao kriterijske varijable, kako na razini isthmusa nasi tako i na razini donje nosne školjke, dok istovremeno nema statistički znakovite povezanosti ($p=0,898$) između dobi ispitanika kao prediktora i izračunatih vrijednosti pTCA kao kriterijske varijable, kako na razini isthmusa nasi tako i na razini donje nosne školjke.

MCA nije jedinstvena vrijednost jednaka za cijelu populaciju zdravih osoba, nego svaka osoba (ili manje skupine osoba) ima svoju, individualnu vrijednost MCA

Rezultati istraživanja sugeriraju da bi se mogla izračunati očekivana, fiziološka vrijednost površine poprečnog presjeka nosne šupljine iz lako mjerljivih antropometrijskih parametara tjelesne visine i težine s vrlo visokim stupnjem pouzdanosti.

.

8. SUMMARY

ACOUSTIC RHINOMETRY: CORRELATION BETWEEN THE MINIMAL CROSS-SECTIONAL AREA OF THE NASAL CAVITY AND BODY SURFACE AREA IN NORMAL PATIENTS

Martin Jurlina

That nasal symptoms are often inconsistent with rhinoscopic findings has been recognized for a century. However, the proper diagnosis and treatment of nasal pathology requires an objective evaluation of the narrow segments of the anterior part of the nasal cavities.

Acoustic rhinometry is a recently developed technique, which allows measurement of the relationship between the cross-sectional area of the nasal cavity and the distance into the nasal cavity. The method is based on analysis of sound reflection from the nasal cavity taking into account properties of incident sound submitted to the nasal cavity, along with associated reflected sound waves. The smallest recorded cross-sectional area is labeled minimall cross-sectional area (MCA).

As a result, there is a need for MCA values to be standardized in a simple way that facilitates the comparison of results and the selection of our treatment regimens.

The author has examined a group of 157 healthy subjects with normal nasal function. A statistically significant correlation ($p<0,0001$) was found between the body surface area (BSA) and both mTCA at the level of the nasal isthmus and the head of the inferior turbinate. The age of subjects was not found to be a statistically significant predictor ($p=0,898$) for the value of mTCA.

The problem is that the value of MCA is not a unique parameter for the entire population, but rather a distinctive value for particular subject (or smaller groups of subjects).

The results show that the expected value of MCA can be calculated for every subject based on their anthropometric data of height and weight.

9. LITERATURA

1. Fischer R. Die Physik der Atemstromung in der Nase. Doktorska disertacija. Sveučilište u Berlinu, 1969.
2. Fischer R. Die Messung und graphische Auswertung des Stromungwiderstandes der Nase. Arch Ohren Nasen Kehlkopheilkd 1970; 197: 72-84.
3. Bachmann W. Die Funktiondiagnostik der behinderen Nasenatmung. Springer . Berlin-Heidelberg. 1982.
4. Height JS, Cole P. The site and function of the nasal valve. Laryngoscope. 1983; 93: 49-55.
5. Bachmann W. Experimentelle Untersuchungen zur Funktion des anatomischen innen Nasenslochs. Arch Ohren Nasen Kehlkopheilkd 1968; 191: 658-664.
6. Bachmann W. Untersuchungen uber Morphologie und Funktion des vorderen Nasenabschnittes. Kritische Analyse der derzeitigen Rhinomanometrie und Vorschlag zu ihrer Standardisierung. Doktorska disertacija. Sveučilište u Heidelbergu. 1973.
7. Zwaardemaker H. Atembeschlag als Hulfmittel zur Diagnose der nasalen Stenose. Archiv fur Laryngologie und Rhinologie 1894; 1: 174-177.
8. Wright J, Smith H. A Textbook of the Diseases of the Nose and Throat. Lea and Feibiger. Philadelphia. 1914.
9. Roithmann R, Cole P, Chapnik J, Barreto SM, Szalai JP, Zamel N. Acoustic Rhinometry, Rhinomanometry and the Sensation of Nasal Patency: A Correlative Study. J Otolaryngol 1994; 23: 454-458.
10. Naito K, Cole P, Fraschetti et al. Nasal patency: subjective and objective. Am J Rhinol 1989; 3: 93-97.
11. Eccles R, Lanchashire B, Tolley NS. Experimental studies on nasal sensation of airflow. Acta Otolaryngol (Stockh) 1987; 103: 303-306.
12. Jones AS, Willat DJ, Durham LM. Nasal airflow: resistance and sensation. J Laringol Otol 1989; 103: 909-911.
13. Glatzel P. Zur Prufung der Luftdurchgangigkeit der Nase. Therapeutische Gegenwart 1901; 42: 348-351.

14. Gertner R, Podoshin L, Fradis M. A simple method of measuring the nasal airway in clinical work. J Laryngol Otol 1984; 98: 351-355.
15. Canter RJ. A non-invasive method of demonstrating the nasal cycle using flexible liquid crystal thermography. Clin Otol 1986; 11: 329-336.
16. Fischer EW, Palmer CR, Lund VJ. Monitoring fluctuations in nasal patency in children: acoustic rhinometry versus rhinohygrometry. J Laryngol Otol 1995; 109: 503-508.
17. Stammberger H. Endoscopic Endonasal Surgery - Concepts in Treatment of Recurring Rhinosinusitis. Part I. Anatomic and Patophysiologic Considerations. Otolaryngol Head Neck Surg 1986; 94: 134-136.
18. Roithmann R, Shankar L, Hawke M, et al. CT imaging in the Diagnosis and Treatment of Sinus Disease: A Partnership Between the Radiologist and the Otolaryngologist. J Otolaryngol 1993; 22: 253-260.
19. DuBois AB, Brody AW, Lewis DH, Burgess BF. Oscillation mechanics of lungs and chest in man. J Appl Physiol 1956; 8: 587-594.
20. Peslin RJ, Papon C, Duviver C, Richalet J. Frequency response of the chest: modeling and parameter estimation. J Appl Physiol 1975; 39: 523-534.
21. Jackson AC, Butler JP, Millet EJ, Hoppin FG Jr., Dawson SV. Airway geometry by analysis of acoustic pulse response measurements. J Appl Physiol: Environ Exercise Physiol 1977; 43 (3): 523-536.
22. Ware JA, Aki K. Continuous and discrete inverse-scattering problems in a stratified elastic medium. I. Plane waves at normal incidence. J Acoust Soc Am 1971; 45: 911-921.
23. D'Urzo AD, Lawson VD, Vassal KP. Airway area by Acoustic Response Measurements and Computed Tomography. Am Rev Respir Dis 1987; 135: 392-395.
24. Hilberg O, Jackson AC, Swift DL, Pedersen OF. Acoustic rhinometry: evaluation of the nasal cavity geometry by acoustic reflection. J Appl Physiol 1989; 66: 295-303.
25. Grymer LF. Clinical application of acoustic rhinometry. Rhinology 2000; suppl. 16: 35-43.
26. ISO, BIPM, IEC, OIML, BSI. International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology. PD 6461, part 1.
27. Hilberg O, Pedersen OF. Acoustic rhinometry : recommendations for technical specifications and standard operating procedures. Rhinology 2000; suppl. 16: 3-17.

28. Min YG, Jang YJ. Measurements of Cross-sectional Area of the Nasal Cavity by Acoustic Rhinometry and CT Scanning. Laryngoscope 1995; 105: 757-759.
29. Djupesland PG, Quian W, Furlott H, Cole P, Zamel N. Acoustic rhinometry: a study of transient and continuous noise techniques with nasal models. Am J Rhinol 1999; 13: 323-329.
30. Parvez L, Erasala G, Noronha A. Novel techniques, standardization tools to enhance reliability of acoustic rhinometry measurements. Rhinology 2000; suppl. 16: 18-28.
31. Clement PA. Committee report on standardization of rhinomanometry. Rhinology 1984; 22: 151-155.
32. Sipiila J, Nyberg-Simola S, Suonpaa J, Laippala P. Some fundamental studies on clinical measurement conditions in acoustic rhinometry. Rhinology 1996; 34: 206-209.
33. Tomkinson A, Eccles R. Errors arising in cross-sectional area estimation by acoustic rhinometry produced by breathing during measurement. Rhinology 1995; 33(3): 138-140.
34. Djupesland PG, Lyholm B. Technical abilities and limitations of acoustic rhinometry optimized for infants. Rhinology 1998; 36: 104-113.
35. Lenders HG. Akustische Rhinometrie: Eine Analyse der Messmethode und ihrer klinischen Anwendung. Doktorska disertacija, Sveučilište u Ulmu, 1992.
36. Roithmann R, Cole P, Chapnik J, Shpirer I, Hoffstein V, Zamel N. Acoustic Rhinometry in the Evaluation of Nasal Obstruction. Laryngoscope 1995; 105: 275-280.
37. Fredberg JJ, Wohl MEB, Glass GM, Dorkin HL. Airway data by acoustic reflections measured at the mouth. J Appl Physiol: Respirat Environ Exercise Physiol 1980; 48(5): 749-758.
38. Passali D, Bellusi L, Biagini C, DiGirolamo S. Positional Acoustic Rhinometry. (Abstract 233), Abstract book of XV Congress of European Rhinologic Society and XIII International Symposium on Infection and Allergy of the Nose, Copenhagen, Gentofte University Hospital, 1994; 232.
39. Fisher EW, Boreham AB. Improving the reproducibility of acoustic rhinometry: a customized stand giving control of height and angle. J Laryngol Otol 1995; 109: 536-537.
40. Mann WJ, Reichelmann H, Hinni ML. Acoustic Rhinometry - Predictive Value in Septal and Turbinate Surgery. Adv Oto Rhin Laryngol 1997; 51: 61-67.

41. Lenders HG, Pirsig W. Diagnostic value of acoustic rhinometry: Patients with allergic and vasomotor rhinitis compared with normal controls. Rhinology 1990; 28: 5-16.
42. Grymer LF, Hilberg O, Pedersen OF, Rasmussen TR. Acoustic rhinometry: Values form adults with subjective normal nasal patency. Rhinology 1991; 29: 35-47.
43. Max Rubner (1854-1932) - Energy Physiologist. JAMA 1965; 194: 198-199.
44. Grymer LF, Hilberg O, Pedersen OF, Elbrond O. Acoustic Rhinometry: Evaluation of the Nasal Cavity with Septal Deviations, Before and after Septoplasty. Laryngoscope 1989; 99: 1180-1187.
45. Reber M, Rahm F, Monnier P. The role of acoustic rhinometry in the pre- and postoperative evaluation of surgery of the nasal obstruction. Rhinology 1998; 36: 184-187.
46. Grymer LF, Hilberg O, Pedersen OF, Elbrond O. Turbinate Hypertrophy - Evaluation of the Nasal Cavity by Acoustic Rhinometry. Arch Otolaryngol Head Neck Surg 1990; 116: 283-289.
47. Grymer LF, Illum P, Hilberg O. Bilateral inferior turbinoplasty in chronic nasal obstruction. Rhinology 1996; 34: 50-53.
48. Hilberg O, Grymer LF, Pedersen OF. Spontaneous variations in congestion of the nasal mucosa. Ann of Allergy, Asthma & Imm 1995; 74: 516-521.
49. Parvez L, Hilberg O, Vaidya M, Noronha A. Nasal histamine challenge: a reproducible model of induced congestion measured by acoustic rhinometry. Rhinology 2000; suppl. 16: 45-50.
50. Djupesland PG, Pedersen OF. Acoustic rhinometry in infants and children. Rhinology 2000; suppl. 16: 52-58.
51. Djupesland PG, Quian W, Furlott H, Rotnes JS, Cole P, Zamel N. Acoustic rhinometry: a study of transient and continuous noise techniques with nasal models. Am J Rhinol 1999; 13: 323-329.
52. Djupesland PG, Lyholm B. Changes in nasal airway dimensions in infancy. Acta Otolaryngol (Stockh) 1998; 118: 852-858.
53. Rasmussen SB. osobna komunikacija.
54. Kunkel M, Hochban W. The influence of maxillary osteotomy on nasal airway patency. Mund Kiefer Gesichs Chir 1997; 1: 194-198.

55. Kunkel M, Wahlmann U, Wagner W. Acoustic airway profiles in unilateral cleft palate patients. Cleft Palate Craniofac J 1999; 36(5): 434-440.
56. Kunkel M, Wahlmann U, Wagner W. Objective, noninvasive evaluation of velopharyngeal function in cleft and noncleft patients. Cleft Palate Craniofac J 1999; 35(1): 35-39.
57. Mostafa BE. Detection of adenoidal hypertrophy using acoustic rhinometry. Eur Arch Otorhinolaryngol 1997; Suppl 1: S27-S29.
58. Hilberg O, Pedersen OF. Acoustic rhinometry: influence of paranasal sinuses. J Appl Physiol 1996; 80: 1589-1594.
59. Grymer LF, Illum P, Hilberg O. Septoplasty and compensatory inferior turbinate hypertrophy: a randomized study evaluated by acoustic rhinometry. J Laryngol Otol 1993; 107: 413-417.
60. Grymer LF, Hilberg O, Pedersen OF. Prediction of nasal obstruction based on clinical examination and acoustic rhinometry. Rhinology 1997; 35: 43-57.
61. Morgan NJ, MacGregor FB, Birchall MA, Lund VJ, Sittalpalam Y. Racial differences in nasal fossa dimensions determined by acoustic rhinometry. Rhinology 1995; 33: 224-228.

10. BIOGRAFIJA

Martin Jurlina

Rodio se u Zagrebu, 02. studenoga 1966. godine, u kojem je završio osnovnu školu.

*MIOC (*XV. Gimnazija), u Zagrebu, završio je u školskoj godini 1984./85.

Medicinski Fakultet Sveučilišta u Zagrebu upisao je u školskoj godini 1986./87.
Diplomski rad s naslovom "Karcinomi usne šupljine stadija T4" izradio je u Klinici za kirurgiju lica, čeljusti i usta Medicinskog i Stomatološkog fakulteta u Zagrebu, pod mentorstvom prof.dr.sc. Miše Viraga i obranio u ožujku 1993. godine.

Stručni ispit položio je u srpnju 1994. godine.

Specijalizaciju iz Otorinolaringologije i cervikofacijalne kirurgije započeo je u ožujku 1996. godine u Klinici za bolesti uha, nosa i grla Kliničkog boničkog centra i Medicinskog fakulteta u Zagrebu, Šalata 4.

Specijalistički ispit iz Otorinolaringologije i cervikofacijalne kirurgije položio je u prosincu 2000. godine.

Magistarski rad s naslovom “Sternohioidna fascija medijalnoga hvatišta u rekonstrukciji grkljana nakon parcijalne vertikalne laringektomije” izradio je u Klinici za bolesti uha, nosa i grla Kliničkog boničkog centra i Medicinskog fakulteta u Zagrebu, Šalata 4, pod mentorstvom prof.dr.sc.Željka Bumbera i obranio u ožujku 2002. godine.

Specijalizaciju iz Maksilofacijalne kirurgije započeo je u siječnju 2005. godine u Klinici za kirurgiju lica, čeljusti i usta Medicinskog i Stomatološkog fakulteta u Zagrebu, u Kliničkoj bolnici Dubrava, Avenija G.Šuška 6.

Zaposlen je u Klinici za bolesti uha, nosa i grla Kliničkog boničkog centra i Medicinskog fakulteta u Zagrebu, Šalata 4.