

LÉKAŘSKÁ FAKULTA UNIVERZITY PALACKÉHO
V OLOMOUCI

Klinika otorinolaryngologie a chirurgie hlavy a krku
Přednosta: Prof. MUDr. Ivo Stárek, CSc.

MUDr. Zdeněk Hložek

Experimentální měření vlivu celkového objemu
středoušní dutiny na komplianci bubínku.

DOKTORSKÁ DISERTAČNÍ PRÁCE

OLOMOUC 2008

Disertační práce byla vypracována v rámci kombinovaného postgraduálního studia na Klinice otorinolaryngologie a chirurgie hlavy a krku Lékařské fakulty Univerzity Palackého v Olomouci

**Klinika otorinolaryngologie a chirurgie hlavy a krku
Lékařské fakulty Univerzity Palackého v Olomouci**

Přednosta: Prof. MUDr. Ivo Stárek, CSc.

**Experimentální měření vlivu celkového objemu
středoušní dutiny na complianci bubínku.**

Uchazeč: MUDr. Zdeněk Hložek

Školitel: Prof. MUDr. Ivo Stárek, CSc.

Prohlášení: Disertační práce je původní a vypracoval jsem ji samostatně a v tomto rozsahu nebyla dosud nikde publikována. Byly pouze odpřednášeny dílčí části a výsledky. Veškerá použitá literatura je uvedena jako součást práce.

Obsah

1	ÚVOD:	3
2	CÍL PRÁCE	6
3	PŘEHLED NĚKTERÝCH TERMÍNŮ POUŽÍVANÝCH V IMPEDANČNÍ AUDIOMETRII, PRINCIP TYMPANOMETRICKÉHO MĚŘENÍ A HODNOCENÍ.	8
3.1	PŘEHLED NĚKTERÝCH TERMÍNŮ POUŽÍVANÝCH V IMPEDANČNÍ AUDIOMETRII.....	8
3.2	PRINCIP TYMPANOMETRIE	12
3.3	PARAMETRY TYMPANOMETRICKÉ KŘIVKY	16
3.3.1	<i>Tvar křivky.</i>	16
3.3.2	<i>Číselné hodnoty, které charakterizují křivku</i>	17
4	METODA A POSTUP MĚŘENÍ	20
4.1	MODEL STŘEDNÍHO UCHA, NÁVRH, KONSTRUKCE.	20
4.1.1	<i>Postup měření na modelu středního ucha</i>	27
4.2	KADAVERY.....	29
4.2.1	<i>Postup měření na kadaverech</i>	29
5	VÝSLEDKY MĚŘENÍ	31
5.1	SLEDOVÁNÍ ZMĚN KOMPLIANCE A TVARU TYMPANOMETRICKÉ KŘIVKY NA MODELU STŘEDNÍHO UCHA V ZÁVISLOSTI NA VELIKOSTI UZAVŘENÉHO OBJEMU VZDUCHU ZA BUBÍNEM	31
5.1.1	<i>Sledování změn compliance v závislosti na velikosti uzavřeného objemu vzduchu za bubínkem</i>	31
5.2	SLEDOVÁNÍ ZMĚN KOMPLIANCE A TVARU TYMPANOMETRICKÉ KŘIVKY V ZÁVISLOSTI NA MNOŽSTVÍ TEKUTINY VE STŘEDOUŠNÍ DUTINĚ A JEJÍHO POSTAVENÍ VZHLEDEM K BUBÍNKU.	36
5.2.1	<i>Výsledky získané na jednodušší variantě modelu s objemem středoušní dutiny 1,06 cm³. Tekutina není v kontaktu s bubínkem.</i>	36
5.2.2	<i>Výsledky získané na jednodušší variantě modelu s objemem středoušní dutiny 1,06 cm³. Tekutina je v kontaktu s bubínkem.</i>	41

5.2.3	Výsledky získané na variantě modelu s objemem středoušní dutiny $0,59 \text{ cm}^3$.	
	Tekutina není v kontaktu s bubínkem.....	45
5.2.4	Výsledky získané na variantě modelu s objemem středoušní dutiny $0,59 \text{ cm}^3$.	
	Tekutina je v kontaktu s bubínkem.....	48
5.3	VÝSLEDKY MĚŘENÍ NA KADAVERECH.....	52
6	DISKUZE	64
7	LITERATURA:	70
8	SOUHRN	77
9	SUMMARY	78
10	SEZNAM PUBLIKACÍ:	79
11	PODĚKOVÁNÍ	83

1 ÚVOD:

Termín „kompliance“ je v audiologii používán u metod, které měří impedanci, případně změny impedance ušního převodního systému. Tato skupina měřících metod poskytuje doplňující informace u převodních poruch a částečně i u senzoneurálních poruch sluchu, které jinými současnými audiometrickými metodami nejsou dostupné. Do zavedení metod impedanční audiologie v 60. až 70. letech minulého století, byla diagnostika převodních poruch sluchu výhradně založena na stanovení rozdílu vedení zvuku kostí a vzduchem. Zjednodušení měřících přístrojů, jejich automatizace, snadné měření, technická spolehlivost a reprodukovatelnost získaných výsledků vedly k tomu, že využívání měření impedance ušního převodního systému se z klinických pracovišť v současnosti rozšířilo i do ORL ambulantních praxí.

Základy impedanční audiometrie pro současnou audiometrii byly položeny Metzem (1946, 1952); který použil fyzikálně-akustický princip měření podle Schustera (1934) a mohl při ručním měření uvést základní poznatky o zdánlivém odporu bubínku, funkci středoušních svalů a tuby. Metodiku měření zjednodušila soustava přístrojů konstruována podle Zwislockého (1957) založená na elektromechanickém principu měření impedance, která umožňuje měřit nejen zdánlivý odpor (impedanci), nýbrž i absolutní velikost zdánlivého odporu. Dosud používané přístroje využívají elektro-akustického principu měření elektro-akustického měřícího můstku podle Terkildsen a Scott-Nielsena (1959). (32,33,36,54).

Na principu určování impedance nebo jejich změn jsou založeny a používány měřící metody a postupy, které určují statickou complianci bubínku, sledují

komplianci bubínku v závislosti na jeho napětí, stanoví a sledují stapediální reflexy a všechny jejich objektivní parametry, umožňují funkční testy na prokázání tubární funkce, testy prokazující perforaci bubínku, unavitelnost středoušních svalů a podobně.

Základní a nejčastěji využívanou měřicí metodou ze skupiny metod impedanční audiometrie je tzv. tympanometrie. Výsledkem tohoto měření je graficky vyjádřená závislost hodnot změn kompliance v závislosti na napětí bubínku. Změny napětí bubínku je dosaženo zněnou tlaku ve zvukovodu. Grafický záznam tohoto měření poskytuje informace o pohyblivosti bubínku (komplianci) nebo jeho impedanci. Maximální hodnota kompliance a tlak, při které této hodnoty bylo dosaženo, jsou uvedeny i kvantitativně.

Fyziologické hodnoty změn kompliance při tympanometrii jsou uváděny v širokém rozmezí (1,7,15,17,41,53). Autoři prvotních prací, kteří se při tympanometrii věnovali sledování údajů o komplianci bubínku, se snažili jednoznačně najít souvislost mezi diagnózou a relativní hodnotou kompliance. Nulová hodnota kompliance (plochá křivka) znamená tekutinu ve středouší, nízká hodnota kompliance se měla vyskytovat při otoskleróze o něco vyšší u tympanosklerózy nebo cholesteatomu za celistvým bubínkem, vysoká hodnota pak při atrofické jizvě bubínku, extrémně vysoké hodnoty kompliance u přerušného řetězu kůstek (23,26). Další práce již tuto jednoznačnost u většiny diagnóz nenalezly (4,22,37,38,41,48,49). Přesto typizace křivek podle kategorií, jak je uvedl Linden (34,35) a další autoři (10,11,25,27) se s oblibou používá dodnes. V praxi v souvislosti s touto typizací také stále přetrvává zjednodušený mechanistický pohled při hodnocení tympanometrických nálezů.

Většinou spolehlivou informaci o příčině přináší ploché tympanometrické křivky nebo křivky bez ostrého vrcholu (2,5,14,28,31,39,47,24) Ale i tento tympanometrický nález dle našich zkušeností může být zavádějící. Cílem této práce bylo hledání odpovědí na některé otázky související s praktickými tympanometrickými nálezy.

2 CÍL PRÁCE

Cílem práce bylo na modelu středního a zevního ucha a kadaverech napodobit některé nálezy a stavy, které se vyskytují při tympanometrickém měření pokusit se na ně najít odpovědi.

1. Musí mít pacienti, u kterých se vyskytne plochá tympanometrická křivka nebo křivka bez ostrého vrcholu s velmi nízkou kompliancí bez převodní poruchy sluchu s negativním otoskopickým nálezem (při vyloučení artefaktu měření), tekutinu za bubínkem nebo srůsty?
2. Jak vysvětlit plochou tympanometrickou křivku nebo křivku bez ostrého vrcholu někdy i náhodně objevenou u nemocného s normálním otologickým nálezem i audiogramem?
3. Je přípustná kombinace normální tympanometrické křivky s peroperačně náhodně objevenou tekutinou za bubínkem?
4. Proč otoskopicky jasná atrofická jizva bubínku u jednoho pacienta při jinak normálním audiometrickém nálezu způsobí u některých velký vzestup kompliance, který významně vybočuje z normálních hodnot a u jiných se neprojeví?
5. Jak ovlivní tympanometrický nález fraktura v oblasti středoušních kůstek, nebo uvolnění závěsu stapediální protézky po operaci otosklerózy?
6. Čím je způsoben velký rozptyl kompliance u normálních otologických nálezů?

Na modelu ucha a na kadaverech jsme sledovali, zda podobné tympanometrické nálezy, jak byly uvedeny výše, lze napodobit, a jak je compliance bubínku a tvar tympanometrické křivky závislý na některých proměnných, jako je měnící se objem vzduchu za bubínkem, zátěž bubínku tekutinou ve středoušní dutině a změna zátěže bubínku, strukturami, které jsou s bubínkem spojené. Měření jsme rozdělili do několika následujících bodů.

1. Jak je na modelu středního ucha ovlivňována hodnota compliance v závislosti na velikosti uzavřeného objemu vzduchu za bubínkem.
2. Jak tekutina ve středoušní dutině a její postavení vzhledem k bubínku ovlivňuje complianci a tvar tympanometrické křivky.
3. Jak ovlivní hodnotu compliance na kadaverech přerušení řetězu středoušních kůstek na různé úrovni.

3 PŘEHLED NĚKTERÝCH TERMÍNŮ POUŽÍVANÝCH V IMPEDANČNÍ AUDIOMETRII, PRINCIP TYMPANOMETRICKÉHO MĚŘENÍ A HODNOCENÍ.

3.1 PŘEHLED NĚKTERÝCH TERMÍNŮ POUŽÍVANÝCH V IMPEDANČNÍ AUDIOMETRII.

Impedancí je v akustice míněn odpor, který je kladen určitým prostředím nebo látkou akustické energii. (12,32,33,40,42,43,45,54) Impedance je vektorová veličina. Skládá se z reálné složky – rezistence a imaginární složky – reaktance (tzv. „čistě“ reaktance). Reálná složka impedance (rezistence) je určena pouze vnitřním třením daného systému a není závislá na kmitočtu. Energie, která je pohlcena touto složkou je vyzařována ve formě tepla. Velikost imaginární složky impedance (reaktance) je kmitočtově závislá. Určuje ji tuhost a hmotnost systému.

Hodnoty obou složek reaktance (složka tuhosti a hmotnosti) jsou závislé na kmitočtu a působí proti sobě. Kmitočet, při kterém je velikost složky tuhosti a složky pružnosti stejná, je označován jako *rezonanční kmitočet*. Při tomto kmitočtu má reaktance nulovou hodnotu a neznamena pro systém ztrátu energie. Velikost impedance systému je proto v tomto případě výhradně určena reálnou složkou systému – jeho rezistencí. Systém při této hodnotě vykazuje nejmenší akustický odpor (Imaginární složka má nulovou hodnotu).

Imaginární složka akustické impedance a tím i celková hodnota akustické impedance je ve vysokých frekvencích ovlivněna hlavně hmotností (setrvačností) systému. Vyšší hmotnost nebo vyšší frekvence znamená vyšší reaktanci a tím i vyšší celkovou impedanci. Obdobně v hlubokých frekvencích se na výsledné impedanci

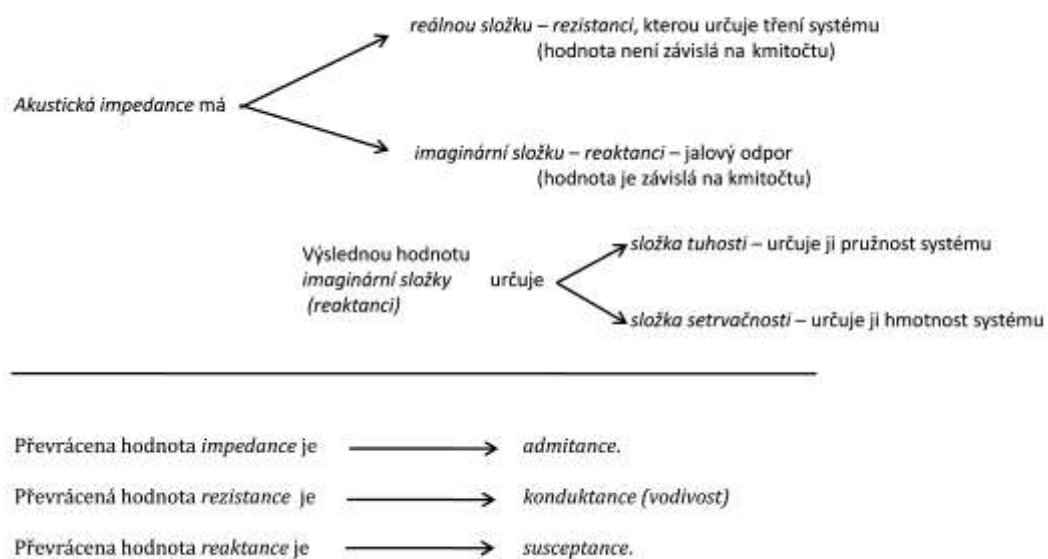
nejvíce podílí tuhost (pružnost) systému. Nižší tuhost znamená vyšší pružnost. Nižší frekvence při nižší tuhosti znamená celkový nárůst akustické impedance. Jinak řečeno, pokud se pro měření použije vysoký tón, hodnotu impedance nejvíce ovlivňuje hmotnost systému. Při nízkých tónech je impedance středního a zevního ucha nejvíce ovlivněna tuhostí systému (pružností).

Pokud se používá pro měření nízký kmitočet, je velikost imaginární složky impedance určené hmotností systému velmi malá, protože struktury středního ucha mají velmi malou hmotnost. Rovněž ztráty způsobené třením v systému, které nejsou kmitočtově závislé, jsou velmi malé. Při určitém vědomém zjednodušení můžeme zanedbat hmotnostní reaktanci i akustickou rezistenci středního a vnitřního ucha, lze pak tvrdit, že při měření impedance středního a zevního ucha za použití nízkých kmitočtů sledujeme pouze tuhost systému (45).

Protipólem tuhosti je poddajnost – *kompliance* (převrácená hodnota tuhosti), jejíž měření pro zjednodušení kalibrace a nastavení měřicích přístrojů se využívá nejčastěji. V určitém přeneseném smyslu a za určitých podmínek si pod termínem *kompliance* bubínku můžeme představit snadnost jeho pohyblivosti (poddajnosti). Přehled některých termínů používaných v impedanční audiometrii je uveden v tabulce 1. Vztahy mezi některými termíny akustické impedance jsou uvedeny na obr. 1.

Tab. č. 1. Některé termíny používané v impedanční audiometrii

<i>akustická impedance</i>	celková hodnota odporu, který je kladen určitým prostředím nebo látkou akustické energii.	vektorová veličina	je určen vektorovým součtem reálné složky impedance - rezistance a imaginární složky impedance - (čistou) reaktancí
<i>rezistence</i>	jeden z vektorů impedance	Reálná složka impedance	odpor kladený působící síle, který je určen vnitřním třením daného systému a není závislá na frekvenci působící síly
<i>reaktance („čistá“ reaktance)</i>	vektorový součet hmotné a tuhostní reaktance (jalový odpor)	imaginární složka impedance	je určena hmotou systému (složka hmotnostní), a tuhostí (složka tuhostní) systému a frekvencí působících silových změn
<i>hmotná reaktance</i>	hmotný jalový (zdánlivý) odpor	složka „čistá“ reaktance	zvyšuje se s rostoucí hmotností nebo rostoucí frekvencí
<i>tuhostní reaktance</i>	tuhostní jalový (zdánlivý) odpor	složka „čistá“ reaktance	zvyšuje se s klesající frekvencí nebo rostoucí tuhostí
<i>rezonanční kmitočet</i>	kmitočet, při kterém má čistá reaktance nulovou hodnotu		kmitočet při kterém je hodnota tuhostní a hmotnostní složky reaktance stejná
<i>jalový odpor</i>	synonymum pro „čistou“ reaktanci		
<i>admitance</i>	převrácená hodnota impedance		
<i>konduktance</i>	převrácená hodnota rezistence		
<i>susceptance</i>	převrácená hodnota reaktance		
<i>komplianci</i>	převrácená hodnota tuhostní reaktance - poddajnost		
<i>akustická vodivost</i>	synonymum konduktance		
<i>imitance</i>	termín, který je vztahován k impedanci nebo admitanci		

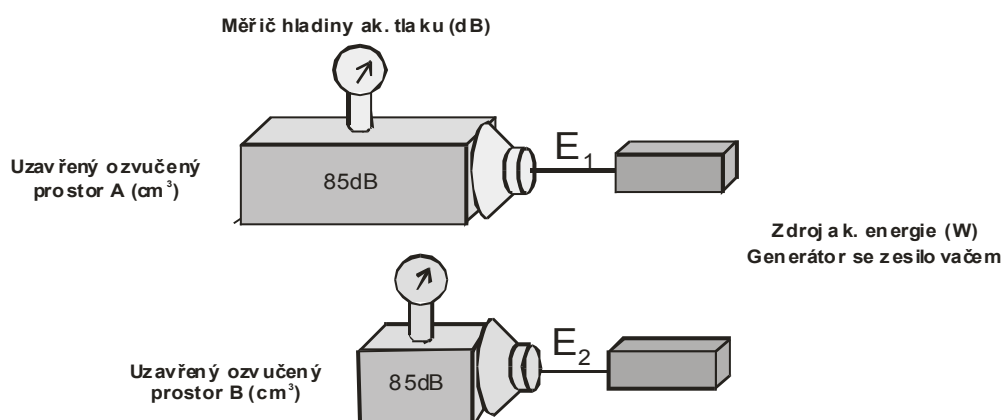


Obr. 1. Základní pojmy používané u impedanční audiometrie a jejich vztahy.

3.2 PRINCIP TYMPANOMETRIE

Při tympanometrickém měření se měří impedance bubínku (zdánlivý odpor bubínku) v závislosti na změně jeho napětí. Měření impedance bubínku je nepřímé. Používá tzv. elektroakustický princip měření (12,19,45,54).

Elektroakustický princip měření vychází z předpokladu, že na ozvučení uzavřeného prostoru tónem o určitém kmitočtu, na určitou hodnotu akustického tlaku potřebujeme jisté množství energie. Čím bude uzavřený prostor větší, při jinak stejných parametrech, tím bude zapotřebí větší množství energie na jeho ozvučení na stejnou hodnotu. (obr. 2).

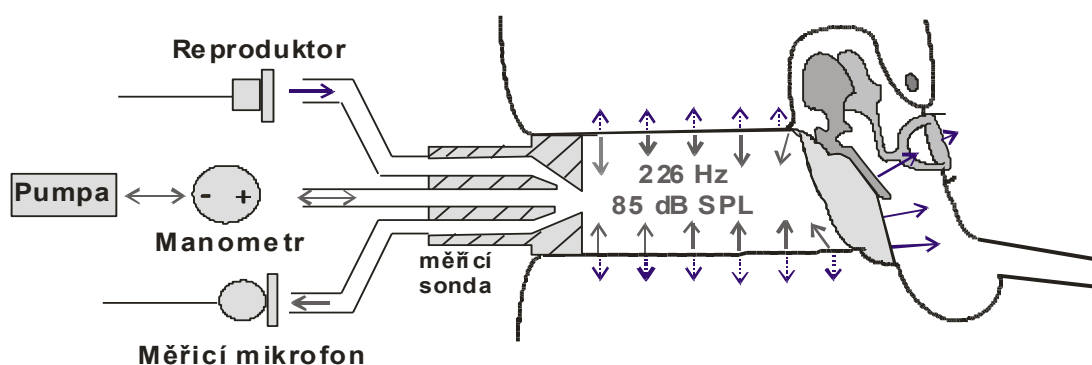


Obr. 2. Pro ozvučení uzavřeného prostoru „A“, který je v ideálních podmínkách vymezen akusticky nepropustnými stěnami, na určitý akustický tlak (85dB) je nutná energie E_1 Pro ozvučení menšího uzavřeného prostoru „B“ na stejný akustický tlak je potřeba energie E_2 . Za určitých podmínek je závislost mezi ozvučeným objemem prostoru a množstvím potřebné energie lineární.

Měření impedance bubínku při použití nízkých měřících kmitočtů, jak bylo uvedeno výše, je z technického hlediska výhodné, protože impedance bubínku je v nízkokmitočtové oblasti hlavně závislá na celkové tuhosti systému. Hmotnou reaktanci vzhledem k malé hmotnosti převodního aparátu středního ucha lze

zanedbat. Toto vědomé zjednodušení výrazně zjednodušuje kalibraci přístroje i interpretaci výsledků měření.

Pokud se pro měření použije tón 226Hz, je závislost mezi množstvím potřebné energie na ozvučení určitého uzavřeného prostoru lineární (12). Určité množství energie při určitém akustickém tlaku tak odpovídá určitému objemu uzavřeného prostoru. Z množství energie je tedy možno stanovit objem uzavřeného ozvučeného prostoru. Proto nebývá compliance na tomto kmitočtu vyjadřována jako převrácená hodnota impedance $1/\Omega$ (ohm), ale jako adekvátní akustický objem v cm^3 .

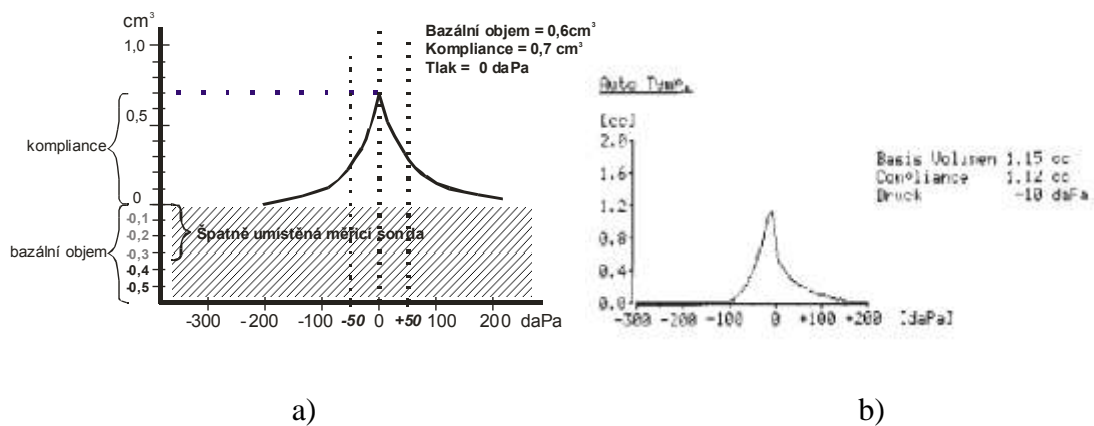


Obr. 3. Princip elektroakustického měření impedance.

Pro měření impedance bubínku je uzavřeného prostoru ve zvukovodu dosaženo vzduchotěsným ucpáním zvukovodu měřicí sondou (obr. 3). Je tak vytvořena uzavřená komůrka, která je vymezena stěnou zvukovodu a prostorem mezi bubínkem a měřicí sondou.

Měřicí sondou prochází několik kanálků. První je zakončen sondovým reproduktorem, který dodává do uzavřeného prostoru základní sondový měřicí tón (u nízkofrekvenční tympanometrie 226 Hz) tak, aby byl v uzavřeném prostoru

zvukovodu vytvořen akustický tlak 85 dB. Druhý kanálek je zakončen měřícím mikrofonom, který kontroluje akustický tlak v uzavřeném prostoru (85dB). Třetí kanálek je napojen na vzduchovou pumpu, kterou je možno měnit atmosférický tlak ve vzduchotěsně uzavřeném prostoru mezi sondou a bubínkem. Při předpokladu, že jedinou strukturou, přes kterou může akustická energie unikat, je bubínek (při vědomém zjednodušení předpokládáme, že stěny zvukovodu jsou akusticky nepropustné), právě poddajnost (kompliance) bubínku bude určující pro zdánlivé zvětšení uzavřeného prostoru mezi bubínkem a měřicí sondou. Zvýšení nebo snížení napětí bubínku a tím i jeho tuhosti – případně poddajnosti (kompliance), způsobí zdánlivé zvětšení nebo zmenšení tohoto uzavřeného ozvučeného prostoru. Při dosažení přetlaku nebo podtlaku v uzavřeném prostoru před bubínkem o 200 daPa je bubínek již tak napnut, že získává přibližně stejnou komplianci, jakou mají stěny zvukovodu. Stává se tak z pohledu zvukovodu pro akustickou energii neprostupný a přístroj v tomto případě měří adekvátní akustický objem uzavřeného prostoru mezi měřicí sondou a bubínkem. Výsledkem měření je grafický záznam, kde na ose „x“ je vynesena změna tlaku od - 300 daPa do +200 daPa a na ose „y“ velikost kompliance vyjádřená změnou velikosti adekvátního akustického objemu (cm^3 adekvátního akustického objemu) (18,32,33,44,45).



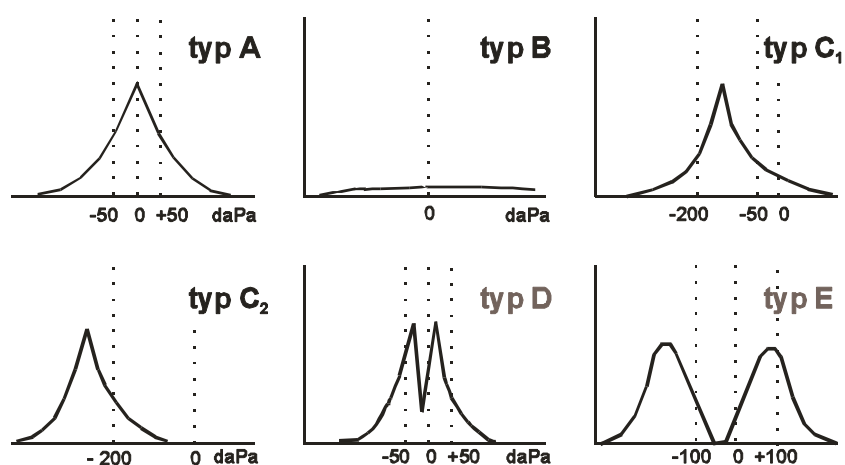
Obr. 4. a) Grafický záznam výsledků tympanometrického měření. Zobrazení šrafované oblasti je u většiny tympanometrů potlačeno. Křivka vychází z osy „x“. Proto je nutné si všimnout číselné hodnoty bazálního objemu na grafu, která vyjadřuje velikost této oblasti (viz část b).

b) Grafický výstup měření z klinického impedancmetru Siemens SD 30.

3.3 PARAMETRY TYMPANOMETRICKÉ KŘIVKY

3.3.1 TVAR KŘIVKY.

Samotná tympanometrická křivka nás informuje o pohyblivosti - poddajnosti bubínku (komplianci) v závislosti na tlaku. Liden (34,35) a další autoři (27,57,58) tympanometrické křivky rozdělili podle tvaru do několika typů (obr. 5). Základní křivka typu „A“ má tvar „zvonu“ a vrchol je v blízkosti nulového tlaku ve zvukovodu. Křivka typu „B“ je křivka, kdy bubínek nevykazuje ostrou změnu compliance. Compliance je nulová nebo velmi nízká (plochá křivka). Křivka typu „C“ je křivka, která má normální tvar, ale vrchol je posunut do záporných hodnot tlaku. Křivka s vrcholem při tlaku do - 200 daPa bývá označována jako „C₁“, přes - 200 daPa jako „C₂“. Křivky typu „D“ a „E“ se při nízkofrekvenční tympanometrii vyskytují vzácně. Přesto, že tato charakteristika křivek byla navržena v době, kdy se tympanometrie měřila relativní můstkovou metodou, s oblibou se toto dělení používá dodnes.



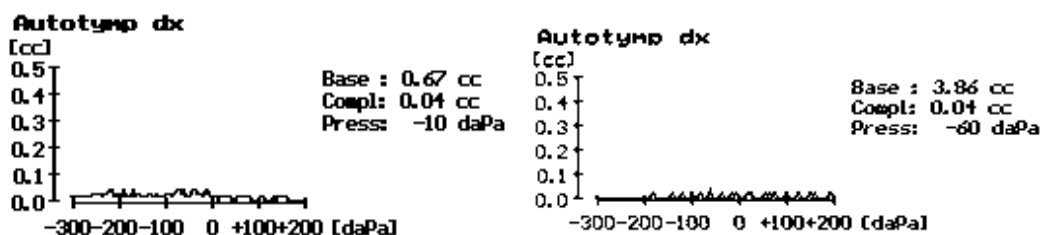
Obr. 5. Rozdělení křivek dle Lidena (křivky typu D a E se u nízkofrekvenční tympanometrie prakticky nevyskytují)

3.3.2 ČÍSELNÉ HODNOTY, KTERÉ CHARAKTERIZUJÍ KŘIVKU

Popis křivek rozdělením do jednotlivých typů je jednoduché, rychlé a v běžné praxi má i výpovědní hodnotu. Přesto si vždy musíme všimnout i numerických údajů, které křivky charakterizují. Kvantitativně se na křivce určuje bazální objem, hodnota compliance, tlak, při kterém je compliance největší a někdy gradient křivky, který procentuálně vyjadřuje nárůst strmosti křivky při jejím vrcholu. Při omezení hodnocení pouze podle kvalitativních kategorií (typ tvaru křivky) se snadno můžeme dopustit zásadního chybného závěru (37).

Bazální objem Obecně jde o akustický objem prostoru za měřicí sondou. Při celistvém bubínku udává bazální objem adekvátní akustický objem prostoru mezi měřicí sondou a bubínkem. Při perforaci neklade bubínek odpor sondovému tónu a nereaguje na tlakovou změnu změnou napětí. Akustická energie uniká přes perforaci bez odporu do středouší a pneumatického systému. Sondový tón ozvučuje celý tento prostor. Výsledkem je při utěsněném měřicím systému plochá tympanometrická křivka s hodnotou bazálního objemu zvukovodu, který je zvětšen o objem středouší a přilehlý pneumatický systém (ukázka na obr. 6). Tympanometry s omezeným měřicím rozsahem, nebo které neumožňují vypnutí automatiky, pouze vypíší chybové hlášení a tento stav nezachytí.

Komplikance: Kompliancí rozumíme „dynamickou“ complianci, která je získána z tympanometrického měření a vyjadřuje maximálně dosaženou complianci zmenšenou o complianci získanou při tlaku ve zvukovodu +200daPa. „Statická“ compliance vyjadřuje celkovou complianci systému včetně compliance zvukovodu. V klinické praxi se nepoužívá

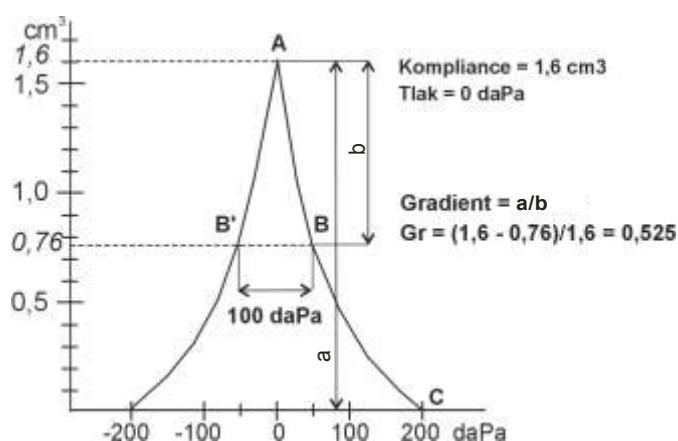


a)

b)

Obr. 6. Porovnání tympanometrických křivek. Na obou záznamech porovnejte velikost bazálního objemu. a) Serotubární katar u tříletého dítěte, b) Perforace bubínku - muž - 18let

Tlak: Bubínek má nejvyšší kompliance, pokud není ničím brzděn, když je nejlépe pohyblivý. Z parametrů, které můžeme ovlivnit a které mají vliv na napětí bubínku, je to tlak ve zvukovodu. Pokud napětí bubínku a tím i jeho impedance, není změněno tlakovým rozdílem před a za bubínkem, pak můžeme odvodit, že hodnota tlaku vzduchu ve zvukovodu, při které je nejvyšší compliance, odpovídá i tlaku vzduchu za bubínkem. Za fyziologickou hodnotu je u dospělých považován tlak ± 50 daPa, u dětí do 5 let ± 100 daPa.



Obr. 7. Výpočet hodnoty gradientu. Postup výpočtu – viz text.

Křivkový gradient: Procentuálně vyjadřuje nárůst strmosti křivky při jejím vrcholu. Na křivce se určí hodnota compliance – kóta „a“ (viz obr. 7). Určí se hodnota compliance, která byla získána proložením tympanometrické křivky horizontálou v bodech na vzestupném a sestupném rameni tympanometrické křivky (bod B a B'), mezi kterými je na ose „x“ rozdíl 100 daPA. Určí se hodnota compliance od této horizontály k vrcholu – kóta „b“. Poměr této hodnoty compliance (kóta „b“) k hodnotě celkové compliance (kóta „a“) udává gradient křivky (45).

Význam gradientu pro stanovení otologické diagnózy nebyl potvrzen (33) (mimo diagnózu serotubárního kataru) (2). Většina současných digitálních tympanometrů vypočítává hodnotu gradientu automaticky.

4 METODA A POSTUP MĚŘENÍ

Při hledání odpovědí na otázky, které jsou formulované v kapitole 2, v bodech 1 a 2, jsme se nechali inspirovat pracemi, které pro tympanometrická měření určitých stavů na bubínku využívaly jednoduché mechanické modely ucha (9,16,48,51,52). Abychom zvýšili reprodukovatelnost měření a současně měli možnost jednoduchým způsobem reprodukovatelně měnit některé parametry modelu, ve spolupráci s mechanickou dílnou Lékařské fakulty Univerzity Palackého v Olomouci jsme navrhli a vyrobili vlastní model ucha.

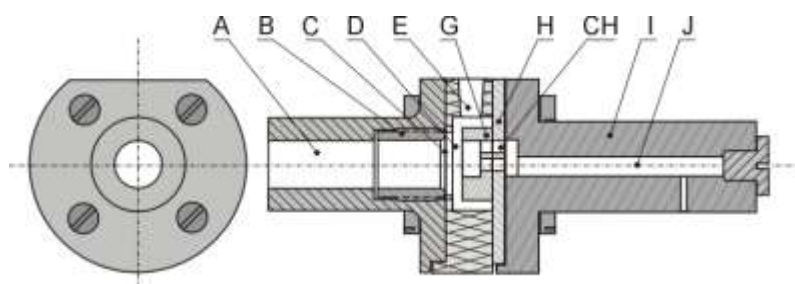
Odpověď na otázku formulovanou v bodě 3 jsme hledali modelováním patologických stavů na omezeném počtu kadaverózních preparátů spánkových kostí.

4.1 MODEL STŘEDNÍHO UCHA, NÁVRH, KONSTRUKCE.

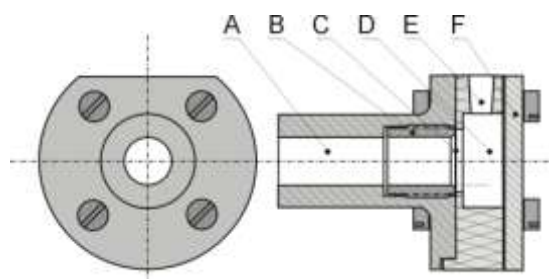
Model středního ucha byl navržen a vyroben ve dvou variantách. Obě varianty umožňují měnit objem pneumatického středoušního systému. První složitější varianta modelu (obr. 8) umožňuje navíc měnit pomocí redukčních válečků i objem středouší. Tuto variantu jsme využili pouze při měření vlivu uzavřeného objemu za bubínkem na velikost compliance (cíl formulovaný v bodě 1). Druhá zjednodušená sestava (obr. 9) byla použita pro sledování vlivu množství tekutiny ve středouší na complianci, sledování tvaru tympanometrické křivky vzhledem k orientaci hladiny tekutiny k bubínku (cíl formulovaný v bodě 2) i pro měření vlivu uzavřeného objemu za bubínkem na velikost compliance (cíl formulovaný v bodě 1).

Model je složen z několika dílů, které představují zevní střední a vnitřní ucho a umožňují modifikaci sestavy. Mezi zevní (díl A) a vnitřní ucho (díl B) je vložena

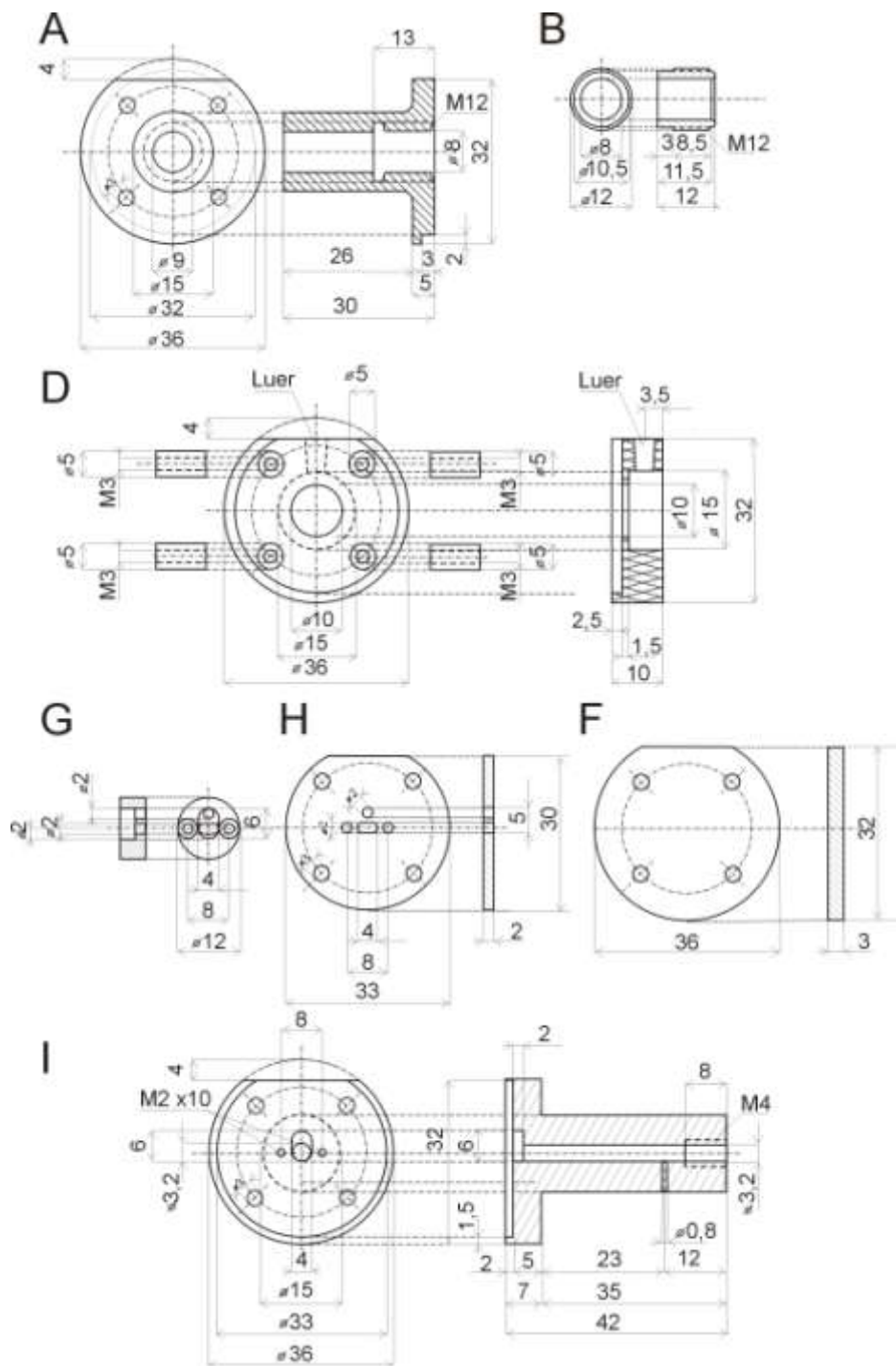
membrána představující bubínek (díl C). Impedanční působení řetězu kůstek na bubínek lze nastavit plynulou změnou napětí bubínku napínacím kroužkem (díl B). Na nezjednodušené variantě modelu jsme zkoušeli zatížit bubínek vložením kolumely, která byla impedančně zatížena modelem vnitřního ucha (díl I). Kótovaný výkres jednotlivých dílů je na obr 10. Většina dílů modelu ucha se využívá v obou sestavách.



Obr. 8. Model středního ucha. – složitější varianta. A – zevní zvukovod (materiál – hliník); B – napínací kroužek bubínku (materiál – mosaz); C – bubínek (materiál- viz text); D – středoušní dutina (materiál – plexisklo); E – Luer spojka pro rozšíření objemu středoušní dutiny o antrum a pneumatický středoušní systém; G – redukce objemu středního ucha; H – zadní stěna středoušní dutiny (materiál – plexisklo); CH – membrána oválného a kulatého okénka; I – vnitřní ucho (materiál – plexisklo); J - labyrint.



Obr. 9. Model středního ucha – zjednodušená varianta. A – zevní zvukovod; B – napínací kroužek bubínku; C – bubínek; D – středoušní dutina; E – Luer spojka pro rozšíření objemu středoušní dutiny o antrum a pneumatický středoušní systém; F – zadní stěna středoušní dutiny.



Obr. 10. Kótovaný výkres jednotlivých dílů modelu středního ucha. A – zevní zvukovod (materiál – hliník); B – napínací kroužek bubínku (materiál – mosaz); D – středoušní dutina (materiál – plexisklo); F – zadní stěna středoušní dutiny zjednodušené varianty (materiál – plexisklo); G – redukce objemu středního ucha (materiál hliník); H – zadní stěna středoušní dutiny (materiál – plexisklo); I – vnitřní ucho (materiál – plexisklo);

Anatomie vnějšího a středního ucha vykazuje značnou interindividuální variabilitu. Koncepce návrhu modelu proto umožňuje měnit velký počet parametrů.

Přesto již při návrhu modelu jsme museli změnu některých proměnných vyloučit nebo omezit, u jiných zvolit kompromisní nastavení, které by se blížilo průměrným fyziologickým hodnotám. U mechanické napodobeniny středoušních struktur není možné dodržet anatomické tvary ušních struktur a vnitřního ucha. Rovněž použité materiály mají jiné akustické vlastnosti. Jako nejkritičtější místo z tohoto pohledu je bubínek.

Díl A – zevní zvukovod. Profil zvukovodu byl zjednodušen na válec s vnitřním průměrem 10 mm. Jako materiál byl zvolen hliník. Objem zvukovodu byl stanoven při předpokládaném zasunutí koncovky měřicí sondy do zvukovodu do hloubky cca 1cm na 1,2 cm³. Hodnota odpovídá průměrnému objemu zvukovodu u dospělých pacientů. Zvukovod je zakončen bubínkem, který je uložen kolmo ke zvukovodu. Jeho napětí lze nastavit napínacím kroužkem (díl B). Aby bylo toto nastavení možné, nemohl být bubínek uložen šikmo.

Díl C – bubínek. Průměr bubínku je 9 mm. Průměr je určen osazením napínacího kroužku. Průměr bubínku jsme volili na podkladě měření pěti odlitků zvukovodu a středoušní dutiny na suchých preparátech kosti skalní a na základě operačních zkušeností s totální náhradou bubínku chondroperichondrálním štěpem u myringoplastik. Odlitky byly zhotoveny pomocí silikon-kaučukové otiskovací hmoty „Otoform-A/K“, která se používá pro otisky zevních zvukovodů při výrobě individuálních koncovek sluchadel. Na odlitcích zvukovodu a kosti skalní mělo místo uložení bubínku (annulus tympanicus) vždy oválný tvar. Rozměry nejužšího (x) a nejširšího místa (y) oválu jsou uvedeny v tabulce 2.:

Tab. č. 2. Rozměry změřené na odlitcích

č. odlitku	rozměr an. tympanicus		průměrný rozměr	středouší	
	x	y		hmotnost	objem
	mm	mm	mm	g	cm ³
1	9,25	11,50	10,38	2,22	0,73
2	8,10	10,80	9,45	1,98	0,65
3	8,15	10,45	9,30	1,85	0,61
4	7,90	10,90	9,40	0,98	0,32
5	8,00	11,10	9,55	1,32	0,44
Průměr	8,28	10,95	9,62	1,67	0,552

Výsledky měření tohoto malého vzorku velmi dobře korespondují s operačními zkušenostmi na naší klinice. Při myringoplastikách je nejčastěji volen při použití chondro-perichondrálního laloku rozměr laloku vykrajovaný chondrotomem o vnitřním průměru 9 mm.

Kritickým místem modelu, které nejvíce ovlivňuje měření, je použitý materiál bubínku, jenž se svými mechanickými vlastnostmi musí co nejvíce blížit skutečnému bubínku. To je být nepropustný, mít podobnou pevnost, pružnost, hmotnost a deformační paměť. Nejlépe tyto vlastnosti splňuje biologický materiál (fascie, perichondrium a podob.), který ale pro naše měření v modelu byl nepoužitelný. Rychle mění vlastnosti vlivem vysychání a nový čerstvý štěp nevykazuje zcela identické vlastnosti štěpu předchozího.

Postupně jsme vyzkoušeli různé umělé materiály: papír různé struktury a síly, celofán, latexovou gumu, hliníkovou fólii, PVC fólii různé síly. Zkoušeli jsme i kombinace dvou materiálů. Výsledky byly ale zcela nevyhovující. Jediným materiálem, s kterým jsme dosáhli uspokojivých výsledků, bylo až použití teflonové fólie o síle 0,05 mm. Tato fólie pak byla použita u všech dalších měření.

Díl D – střední ucho. Orientační objem lidského středního ucha byl určen nepřímo. Odlitky středoušní dutiny suchých preparátů kosti skalní byly očištěny, odstraněna přebytečná hmota otisku (hmota zvukovodu, antra, Eustachovy trubice). Byla zjištěna hmotnost takto upravených odlitků a ze specifické hmotnosti otiskovací hmoty ($3,02 \text{ g/cm}^3$) byl vypočten objem odlitého prostoru středního ucha jednotlivých odlitků. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 2. Průměrný objem odlitků byl $0,552 \text{ cm}^3$ (min.: $0,44 \text{ cm}^3$; max.: $0,73 \text{ cm}^3$). Velikost tohoto čistého prostoru byl měřen pro orientační představu, abychom se alespoň řádově přiblížili reálným objemům lidského středního ucha. Ty jsou velmi variabilní, jak vyplývá i z našeho malého měřeného vzorku. Ve skutečnosti k objemu středního ucha se musí přičíst celý objem pneumatického středoušního systému včetně antra, a ústí tuby. Naopak objem středoušních struktur (ušní kůstky, svaly, chorda tympani, středoušní sliznice) způsobí jeho redukci.

V modelu byl profil středního ucha zjednodušen na válec s vnitřním průměrem 15 mm a výškou 6 mm. Objem tohoto dílu je $1,06 \text{ cm}^3$. Abychom napodobili objemové poměry lidského středního ucha získaného z našeho orientačního měření ($0,552 \text{ cm}^3$) a vzdálenosti mezi bubínkem a promontoriem, je tento objem zmenšen válcovou vložkou o průměru 12 mm. Výšku této vložky lze měnit. V naší sestavě, která pak byla použita pro další měření, byl výsledný objem modelu $0,59 \text{ cm}^3$. Abychom mohli pod kontrolou zraku plnit tento prostor tekutinou, byl jako materiál použit povrchově leštěný polymethylmetakrylát (plexisklo).

Do válcové dutiny středního ucha ústí kónusový otvor „E“ (viz obr. 8, 9, 10). Rozměry a sklon kónusu odpovídají kónickému zúžení standardizované Luerovy spojky. Do něj se nasazuje plastová Luerova stříkačka, kterou lze měnit uzavřený

vzdušný prostor za bubínkem a simulovat tak rozdílné impedanční zatížení bubínku rozdílným objemem vzduchu za bubínkem u různých jedinců s různým objemem středního ucha a pneumatického středoušního systému.

Díl I – vnitřní ucho. Tento díl měl na složitější variantě modelu umožnit vložení TORPu mezi bubínek a oválné okénko. Tak měl napodobit impedanční zatížení bubínku řetězem kůstek a vnitřním uchem. Jako impedanční náhradu za řetěz kůstek jsme použili nejrobustnější souosý TORP fy Žemlička o hmotnosti 32,2 mg (55). Narazili jsme ale na problematickou stabilizaci a fixaci TORPu k bubínku a membráně oválného okénka. Fixace, která byla tvořená napětím membrány bubínku a membrány oválného okénka, nám neumožnila vytvořit dostatečně stabilní umístění TORPu, které by nezpůsobovalo velké artefakty při měření a jeho nízkou reprodukovatelnost. Změna tlaku ve zvukovodu způsobuje vychýlení bubínku, při kterém dochází k nekontrolovatelnému uvolnění protézky i v rámci jednoho měření. Proto jsme od měření na modelu v této variantě byli nuceni upustit a impedanční působení řetězu kůstek na bubínek jsme se snažili nahradit zvýšeným napětím bubínku napínacím kroužkem.

Mimo změny objemu středního ucha v určitých stupních vložení výplňové redukce středního ucha (díl G), je možno přes napojení umělohmotné stříkačky na kónusové spojení typu Luer do středního ucha simulovat vliv různých objemů pneumatického mastoideálního systému na výslednou complianci.

Hermetičnosti sestavy bylo dosaženo potřením styčných ploch jednotlivých dílů vazelínou a jejich stažením 8 šroubky M3 k dílu D (střední ucho). V tomto dílu jsou vlepeny mosazné závitové vložky. Tím je dosaženo pevného a stabilního spojení a zvýšení životnosti celé sestavy.

4.1.1 POSTUP MĚŘENÍ NA MODELU STŘEDNÍHO UCHA

Na modelu středního ucha jsme hledali odpověď na dvě otázky

4.1.1.1 *Jak je na modelu středního ucha ovlivňována hodnota kompliance v závislosti na velikosti uzavřeného objemu vzduchu za bubínkem.*

Z důvodů, které jsme rozebírali výše, jsme nemohli bubínek impedančně zatížit kolumelou, která by simulovala zátěž bubínku způsobenou řetězem kůstek. Tuto impedanční zátěž jsme nahradili různým předpětím bubínku, které nám umožnil napínací kroužek B, umístěný ve zvukovodu. Napětí bubínku bylo voleno tak, aby při bazálním objemu zvukovodu $1,2 - 1,5 \text{ cm}^3$, byla kompliance bubínku našeho modelu v oblasti fyziologických hodnot $0,30 - 1,40 \text{ cm}^3$ (1). Pak pro takto nastavené různé hodnoty kompliance byl postupně zvětšován objem „středoušního pneumatického systému“ od $0,5 \text{ cm}^3$ do dosažení maximální kompliance, kterou přístroj použitý pro naše měření umožňuje dosáhnout. Měření pro jednotlivé různé vstupní hodnoty kompliance bylo 3x opakováno a zaznamenáno do tabulky.

4.1.1.2 *Jak tekutina ve středoušní dutině a její postavení vzhledem k bubínku ovlivňuje komplianci a tvar tympanometrické křivky.*

Měření bylo provedeno na obou variantách modelu (viz. obr. 9). Základní objem středního ucha u složitějšího modelu ucha byl $0,59 \text{ cm}^3$, u jednoduššího modelu ucha $1,06 \text{ cm}^3$. Objem mastoidu byl zvolen na 0 cm^3 a 5 cm^3 . Středoušní dutina byla postupně plněna tekutinou. Měření bylo provedeno ve dvou polohách (viz obr. 11a a 11b). Byla sledována kompliance bubínku a tvar tympanometrické křivky.



Obr. 11. Postavení modelu při měření vlivu tekutiny na complianci.

a) Poloha 1 – osa zvukovodu směřuje vertikálně, otvor pro zvětšení objemu středouší směřuje horizontálně. Tekutina není v kontaktu s bubínkem..

b) Poloha 2 – osa zvukovodu je v horizontální poloze, otvor pro zvětšení objemu středouší směřuje vzhůru. Tekutina je v kontaktu s bubínkem.

Poloha 1) Model je orientován vertikálně (osa zvukovodu je orientována vertikálně), bubínek směřuje vzhůru. Tekutina není v kontaktu s bubínkem.

Poloha 2) Model je orientován horizontálně (osa zvukovodu je v horizontální poloze), otvor pro rozšíření objemu středouší (mastoidu) směřuje vzhůru. Tekutina je v kontaktu s bubínkem.

Pro všechna měření byl použit klinický impedancmetr Siemens SD 30 se sondovým tónem 226 Hz. Rychlost tlakové změny byla 50 daPa/s.

4.2 KADAVERY

Abychom nenarušili celistvost pneumatického systému, byla odebírána celá kost skalní (20,21). Aby po odběru nedošlo k deformaci lebky, mohl být odběr pouze jednostranný. Oboustranný odběr umožňují speciální kostní frézy (20,21,30,46), ale při jejich použití dojde vždy k narušení celistvosti pneumatického systému kosti skalní.

Kosti skalní byly odebrány do 6 až 18 hodin po smrti. Všechny níže uvedené úpravy a měření byly provedeny do 90 minut po odběru. Kost nebyla po odběru stabilizována fixačním roztokem, ani proplachována vodou nebo chlazená. U dárců nebylo možno zjistit otologickou anamnézu ani stav sluchu před smrtí. Pohlaví ani věk dárců nebyl sledován.

4.2.1 POSTUP MĚŘENÍ NA KADAVERECH

Před měřením bylo pod zvětšením operačním mikroskopem vyčištěno torzo zvukovodu, prohlédnut bubínek a zevně zkontrolována celistvost středoušní dutiny. Ústí porušené Eustachovy tuby bylo při následujících všech měřeních ucpáno tmelem. Jako tmel byla použita mastná modelína (plastelína).

Po této kontrole bylo provedeno *první* úvodní tympanometrické měření před zásahy na kosti (měření kompliance bubínku při neporušené středoušní dutině).

Při laterálním okraji tegment tympani bylo následně operační mikrofrézou vytvořeno okénko do středoušní dutiny o průměru cca 6 mm.

Druhé měření kompliance bubínku bylo provedeno při zejícím otvoru do středoušní dutiny. Tím jsme získali představu, jak změna zátěže bubínku (nekonečně velký prostor za bubínkem) ovlivní výslednou complianci.

Při *třetím* kontrolním měření jsme hermeticky uzavřeli tmelem okénko do středoušní dutiny (opakování prvního měření – compliance při reálném prostoru za bubínkem). Srovnáním výsledků prvního a třetího měření compliance bubínku jsme ověřili, zda při vytvoření otvoru do středoušní dutiny nedošlo k nechtěnému porušení středoušních struktur nebo zapadnutí úlomku kosti.

Při *čtvrtém* (s otevřeným otvorem) a *pátém* měření (s uzavřeným otvorem) byl rozrušen inkudo-stapediální kloub. Tím jsme modelovali první patologický stav. Kosti skalní, u kterých jsme neměli jistotu, že tímto zásahem nedošlo k narušení dalších struktur, nebylo toto měření zameranáno (většinou došlo současně k úplné nebo částečné luxaci kovádlinky).

Šesté a *sedmé* měření (otvor otevřen a uzavřen) bylo provedeno po luxaci kovádlinky a jejím odstranění. Ze souboru byly vyloučeny kosti skalní, u kterých bylo poškozeno kladívko nebo bubínek.

Kombinace měření s otevřeným a uzavřeným středouším byla prováděna pro získání představy jak je compliance středoušního systému na kadaverech ovlivněna vyloučením impedance uzavřeného prostoru za bubínkem. Po otevření středoušní dutiny compliance této složky vzroste tak, že impedanční působení středoušní dutiny na bubínek je zcela zanedbatelné. Výsledná změřená hodnota impedance bubínku je tak určena pouze impedancí zbývajících struktur (bubínek, řetěz kůstek).

Všechny výše popisované zásahy byly prováděny pod zvětšením operačního mikroskopu běžným středoušním mikrochirurgickým instrumentariem. Měření byla provedena pomocí klinického impedancmetru Siemens SD 30. Pro všechna měření byl použit sondový tón 226 Hz a rychlost tlakové změny 50 daPa/s.

5 VÝSLEDKY MĚŘENÍ

5.1 SLEDOVÁNÍ ZMĚN KOMPLIANCE A TVARU TYMPANOMETRICKÉ KŘIVKY NA MODELU STŘEDNÍHO UCHA V ZÁVISLOSTI NA VELIKOSTI UZAVŘENÉHO OBJEMU VZDUCHU ZA BUBÍNEM .

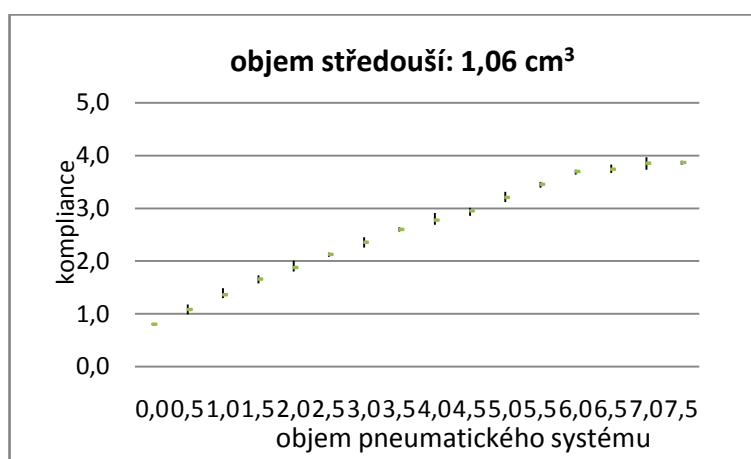
5.1.1 SLEDOVÁNÍ ZMĚN KOMPLIANCE V ZÁVISLOSTI NA VELIKOSTI UZAVŘENÉHO OBJEMU VZDUCHU ZA BUBÍNEM.

Měření bylo provedeno 2x na variantě modelu s objemem „středního ucha“ $1,06 \text{ cm}^3$ pokaždé s jiným napětím bubínku a jednou na variantě modelu s použitím redukčního válečku, který snížil objem „středního ucha“ na $0,59 \text{ cm}^3$. Pro každé nastavení předpětí bubínku bylo měření opakováno (stejně podmínky). Výsledky měření jsou uvedeny v tabulce č. 3.

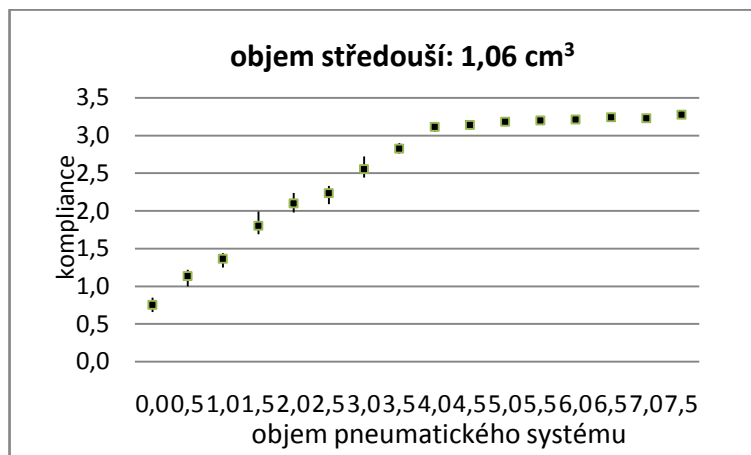
Pro přehlednost a sledování trendu nárůstu compliance v závislosti na stoupajícím objemu vzduchu za bubínkem jsou výsledky pro jednotlivé varianty měření zaznamenány do grafů na obr. 12, 13 a 14. Závislost je do určitého objemu vzduchu za bubínkem lineární, pak se již se stoupajícím objemem nemění. Objem, při kterém se mění průběh křivky, je určen nastaveným napětím bubínku. Při vyšším napětí je dosaženo vyšší impedance bubínku a nižší compliance. Závislost compliance na objemu vzduchu za bubínkem na obou variantách modelu má stejný průběh. Rozdíl je pouze v hodnotě počáteční compliance. U složitější varianty modelu je počáteční objem vzduchu za bubínkem menší a tomu odpovídá i menší výchozí compliance.

Tab. č. 3. Závislost kompliance bubínku na velikosti mastoidu. Měření bylo provedeno na obou typech modelu.

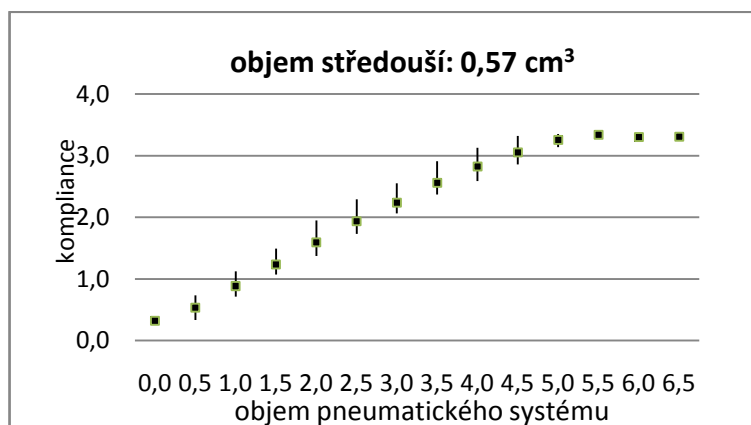
objem mastoidu cm ³	Objem středouší 1,06 cm ³			Objem středouší 1,06 cm ³			Objem středouší 0,59 cm ³		
	měření			měření			měření		
	č.1 cm ³	č.2 cm ³	č.3 cm ³	č.4 cm ³	č.5 cm ³	č.6 cm ³	č.7 cm ³	č.8 cm ³	č.9 cm ³
0,0	0,81	0,82	0,79	0,85	0,75	0,66	0,31	0,32	0,33
0,5	0,99	1,18	1,08	1,19	1,00	1,22	0,33	0,54	0,73
1,0	1,30	1,49	1,30	1,44	1,25	1,41	0,71	0,82	1,12
1,5	1,58	1,73	1,67	1,69	1,73	1,99	1,07	1,14	1,49
2,0	1,82	2,01	1,80	2,08	1,98	2,24	1,45	1,37	1,95
2,5	2,08	2,14	2,16	2,29	2,09	2,33	1,78	1,73	2,29
3,0	2,36	2,45	2,26	2,50	2,44	2,72	2,10	2,06	2,55
3,5	2,56	2,60	2,64	2,81	2,76	2,90	2,40	2,37	2,91
4,0	2,69	2,91	2,72	3,05	3,13	3,16	2,75	2,59	3,13
4,5	2,86	3,01	2,99	3,08	3,15	3,19	2,98	2,86	3,32
5,0	3,12	3,31	3,18	3,14	3,20	3,21	3,27	3,14	3,35
5,5	3,42	3,47	3,39	3,19	3,21		3,37	3,33	3,31
6,0	3,64	3,72	3,73	3,22	3,20		3,27	3,33	3,30
6,5	3,72	3,83	3,67	3,25	3,23		3,30	3,31	
7,0	3,87	3,97	3,73	3,27	3,19				
7,5	3,87	3,90	3,83	3,26	3,29				



Obr. 12. Závislost mezi kompliancí a uzavřeným objemem vzduchu za bubínkem, při nenapnutém bubínku – měřeno na modelu bez redukce objemu „středního ucha“



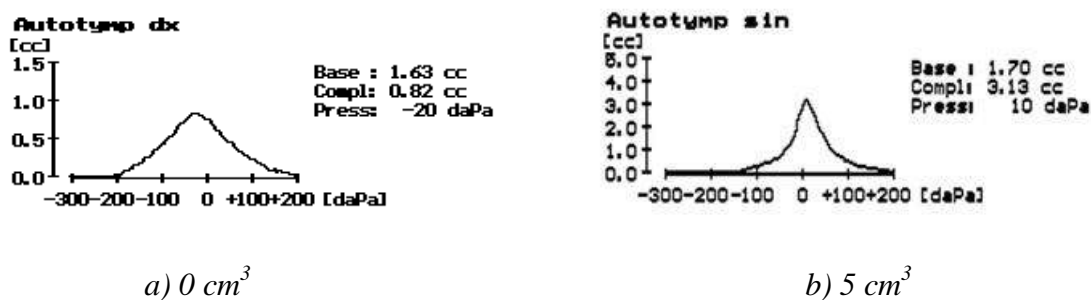
Obr. 13. Závislost mezi kompliancí a uzavřeným objemem vzduchu za bubínkem, při vypnutém bubínku – měřeno na modelu bez redukce objemu „středního ucha“.



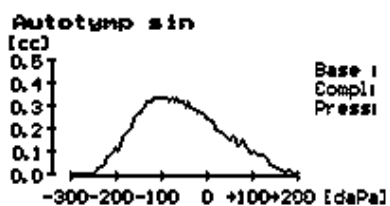
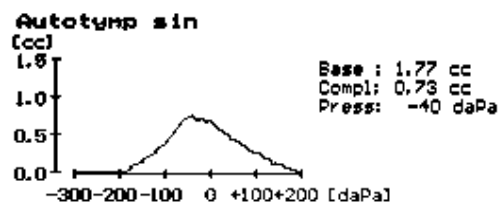
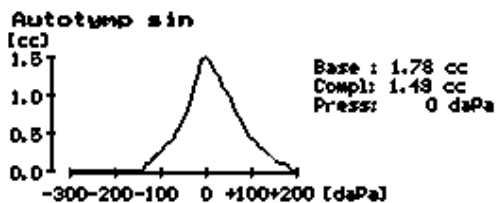
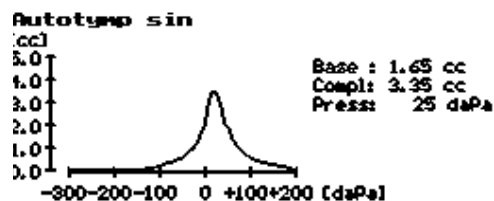
Obr. 14. Závislost mezi kompliancí a uzavřeným objemem vzduchu za bubínkem, při vypnutém bubínku – měřeno na modelu s redukováným objemem „středního ucha“.

5.1.1.1 Tvar křivky

Na obr. 15 jsou zobrazeny záznamy tympanometrické křivky na zjednodušeném modelu středního ucha s výchozím objemem vzduchu za bubínkem $1,06 \text{ cm}^3$. Křivky mají v celém rozsahu měření od nejmenšího dosažitelného objemu normální zvonovitý tvar. Oproti tomu na složitějším modelu (obr. 16) při nejmenším dosažitelném objemu křivka již mění svůj charakter. Oplošťuje se, ztrácí svůj ostrý vrchol. S narůstajícím celkovým objemem vzduchu za bubínkem se tvar tympanometrické křivky normalizuje.



Obr. 15. Tvary křivek u zjednodušeného modelu objem za bubínkem $1,06 \text{ cm}^3$, a) objem „mastoidu“ 0 cm^3 ; b) objem mastoidu 5 cm^3 . Zdánlivě rozdílná výška křivek je dána rozdílným rozsahem zobrazení grafu. (Klinický impedancmeter Siemens SD 30).

a) 0 cm^3 b) $0,5 \text{ cm}^3$ c) $1,5 \text{ cm}^3$ d) 5 cm^3

Obr. 16. Tvary křivek u složitější varianty modelu s výchozím objemem za bubínkem $0,59 \text{ cm}^3$, objem „mastoidu“ a) 0 cm^3 ; b) $0,5 \text{ cm}^3$ c) $1,5 \text{ cm}^3$; d) 5 cm^3 Zdánlivě stejná výška křivek je dána rozdílným měřítkem osy y na jednotlivých záznamech. (Klinický impedancmeter Siemens SD 30).

5.2 SLEDOVÁNÍ ZMĚN KOMPLIANCE A TVARU TYMPANOMETRICKÉ KŘIVKY V ZÁVISLOSTI NA MNOŽSTVÍ TEKUTINY VE STŘEDOUŠNÍ DUTINĚ A JEJÍHO POSTAVENÍ VZHLEDEM K BUBÍNKU.

Měření na jednodušší variantě modelu (objemem středouší $1,06 \text{ cm}^3$) i složitější variantě modelu (objemem středouší $0,59 \text{ cm}^3$) bylo pro každou polohu modelu provedeno s nastaveným objemem „mastoidu“ na 0 cm^3 a 5 cm^3 .

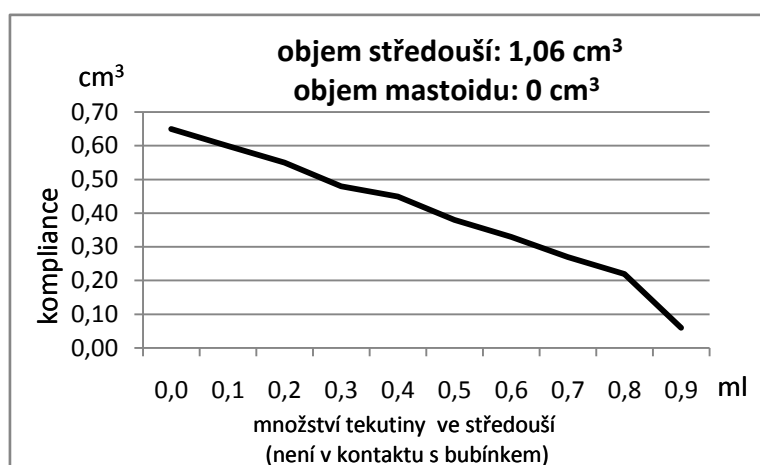
5.2.1 VÝSLEDKY ZÍSKANÉ NA JEDNODUŠŠÍ VARIANTĚ MODELU S OBJEMEM STŘEDOUŠNÍ DUTINY $1,06 \text{ cm}^3$. TEKUTINA NENÍ V KONTAKTU S BUBÍNEM.

V tabulce 4. jsou uvedeny hodnoty compliance v závislosti na množství tekutiny v postavení modelu, *kdy tekutina není v kontaktu s bubínkem* (poloha 1, viz obr 11a). V tomto postavení je při nulovém objemu „mastoidu“ závislost poklesu compliance na objemu vzduchu za bubínkem lineární (viz obr. 17). Tympanometrická křivka ztrácí ostrý vrchol a postupně se oplošťuje (viz obr. 18).

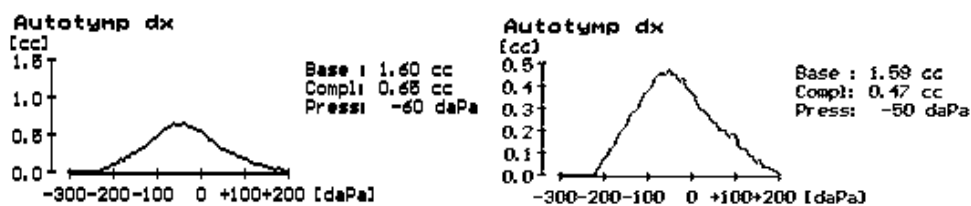
Situace při objemu „mastoidu“ 5 cm^3 je odlišná. Hodnota compliance a tvar křivky až do přidání $0,4 \text{ ml}$ tekutiny do „mastoidu“ se nemění. Při přidání $0,4 \text{ ml}$ hodnota compliance náhle klesá (viz obr. 19). Na tympanometrické křivce se objevují dva vrcholy. S dalším přidáváním tekutiny do středouší compliance nadále klesá a od přidání $0,6 \text{ ml}$ do středouší tympanometrická křivka má již opět jedno maximum, ale bez ostrého vrcholu (viz obr. 20). Hodnota compliance při přidání $0,6 \text{ ml}$ tekutiny do středouší odpovídá hodnotě compliance při objemu mastoidu 0 cm^3 při stejném plnění ($0,33; 0,27$).

Tab. č. 4. Hodnoty kompliance v závislosti na množství tekutiny za bubínkem získané na modelu s objemem $1,06 \text{ cm}^3$. Osa zvukovodu je ve vertikálním postavení (poloha 1), bubínek není v kontaktu s tekutinou.

mn. tekutiny za bubínkem	Mastoid 0 cm^3	Mastoid 5 cm^3
	kompliance	kompliance
ml	cm^3	cm^3
0,0	0,65	3,34
0,1	0,60	3,34
0,2	0,54	3,39
0,3	0,47	3,48
0,4	0,45	3,40
0,5	0,38	0,35
0,6	0,33	0,27
0,7	0,27	0,18
0,8	0,22	0,10
0,9	0,06	0,19
1,0		0,02

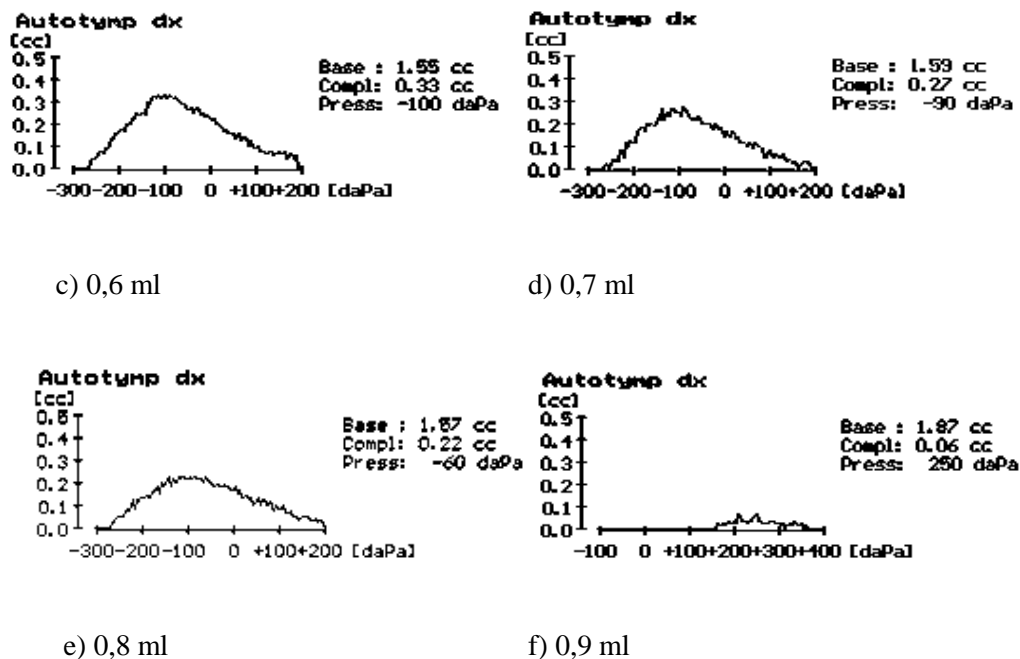


Obr. 17. Grafické vyjádření závislosti hodnoty kompliance na množství tekutiny za bubínkem, pokud **není** tekutina v kontaktu s bubínkem a mastoid ná nulový objem.

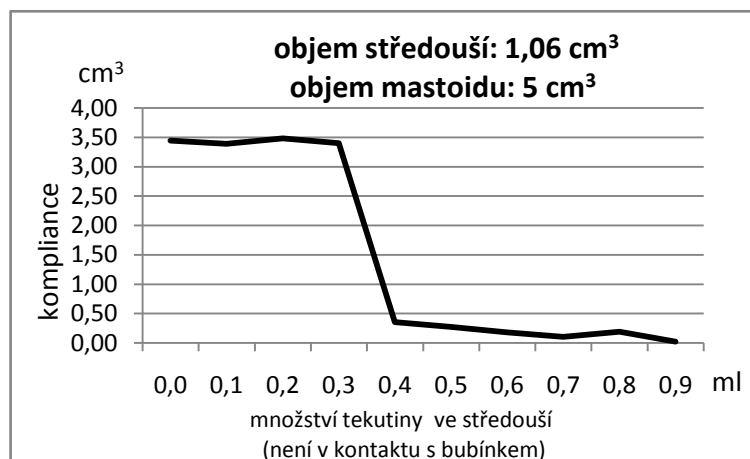


a) 0 ml

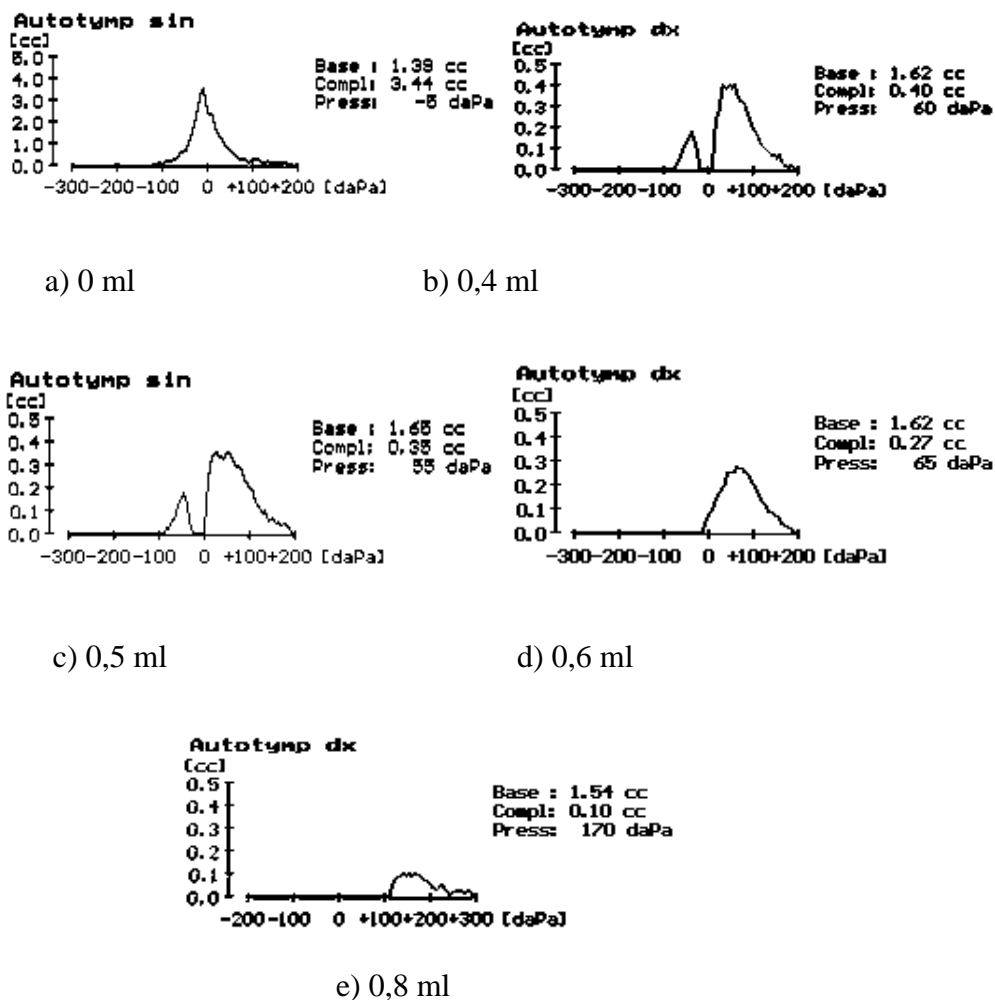
b) 0,3 ml



Obr. 18. Ukázka změny tvaru křivek při postupném plnění středoušní dutiny tekutinou na modelu s výchozím objemem středoušní dutiny $1,06 \text{ cm}^3$ a objemem mastoidu 5 cm^3 . Tekutina **není** v kontaktu s bubínkem. Přidáno a) 0 ml tekutiny; b) 0,3 ml; c) 0,6 ml; d) 0,7 ml; e) 0,8 ml; f) 0,9 ml. Zdálnivě stejná výška křivek je dána rozdílným měřítkem osy y na jednotlivých záznamech. (Klinický impedancemeter Siemens SD 30).



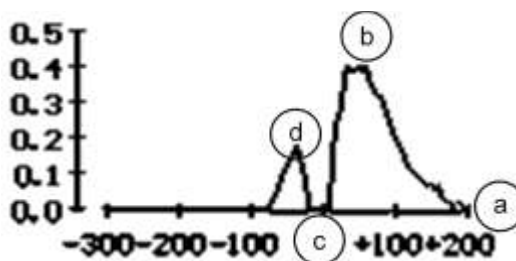
Obr. 19. Grafické vyjádření závislosti hodnoty kompliance na množství tekutiny za bubínkem, pokud **není** v kontaktu s bubínkem a mastoid má objem 5 cm^3 .



Obr. 20. Ukázka změny tvaru křivek při postupném plnění středoušní dutiny tekutinou na modelu s výchozím objemem středoušní dutiny $1,06 \text{ cm}^3$ a objemem mastoidu 5 cm^3 . Tekutina **není** v kontaktu s bubínkem: Přidáno a) 0 ml tekutiny; b) 0,4 ml; c) 0,5 ml; d) 0,6 ml; e) 0,8 ml. Zdánlivě stejná výška křivek je dána rozdílným měřítkem osy y na jednotlivých záznamech. (Klinický impedancemeter Siemens SD 30)

Změna tvaru křivky (křivka s dvěma vrcholy) i hodnoty kompliance nastává, až když hladina tekutiny ve středouši dosahuje k antru. Při vzestupu tlaku ve zvukovodu dojde k vtlačení bubínku do středouši, zmenšení středoušní dutiny a natlačení tekutiny do antra (bod „a“ na obr 21.). Komunikace s „mastoidem“ je zachována. Snižováním tlaku ve zvukovodu se opět zvětšuje středoušní dutina. Tekutina se vrací do středoušní dutiny, její vztlakovost na stěnách antra způsobí jeho

ucpání (bod „b“, obr. 21). To způsobí prudkou změnu objemu vzduchu za bubínkem a náhlý pokles kompliance (bod „c“, obr. 21) Při dalším snižování tlaku dochází odsátím tekutiny z antra a k jeho znovu otevření. To způsobí nový vzestup kompliance (bod „d“ na obr 21). Hodnota této kompliance je ale omezena zvýšeným napětím bubínku, které je opětně určováno podtlakem vzduchu ve zvukovodu a ne celkovým uzavřeným objemem vzduchu za bubínkem. Podobné tvary křivek můžeme vzácně zachytit i u našich pacientů.



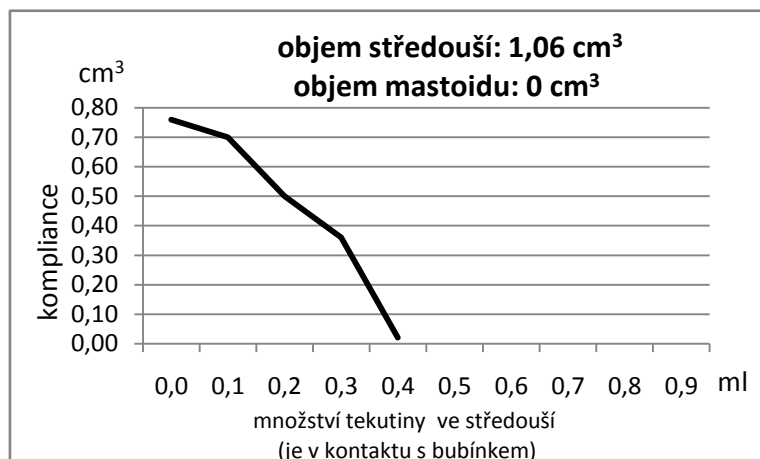
Obr. 21. Vznik dvojvrcholové tympanometrické křivky na modelu středního ucha.
Komentář viz text.

5.2.2 VÝSLEDKY ZÍSKANÉ NA JEDNODUŠŠÍ VARIANTĚ MODELU S OBJEMEM STŘEDOUŠNÍ DUTINY 1,06 cm³. TEKUTINA JE V KONTAKTU S BUBÍNEM.

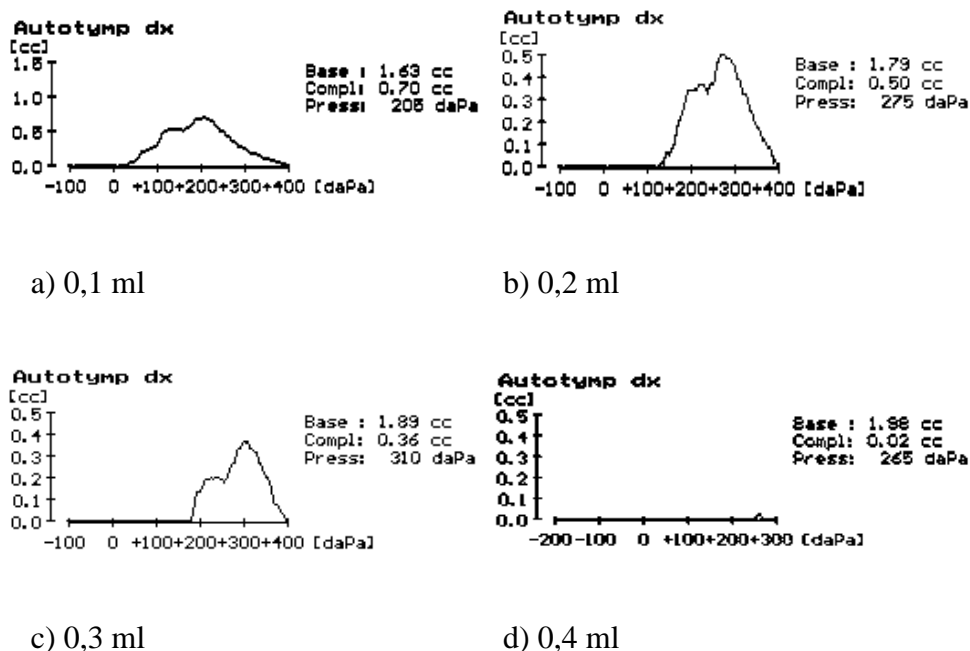
Měření na modelu o objemu 1,06 cm³. Tekutina je v kontaktu s bubínkem (poloha 2, viz obr 11b.), plnění středoušní dutiny roste po 0,1 ml. Objem pneumatického systému mastoidu je nastaven na 0 cm³ a pak na 5 cm³, Grafické vyjádření této závislosti pro objem mastoidu 0 cm³ je na obr. 22. Hodnoty kompliance jsou uvedeny v tabulce 5. Ukázky křivek z tohoto měření jsou na obr 23.

Tab. č. 5. Hodnoty kompliance v závislosti na množství tekutiny za bubínkem získané na modelu s objemem 1,06 cm³. Osa zvukovodu je v horizontálním postavení (poloha 2), bubínek je v kontaktu s tekutinou.

mn. tekutiny za bubínkem	Mastoid 0 cm ³	Mastoid 5 cm ³
	kompliance	kompliance
ml	cm ³	cm ³
0,0	0,76	3,45
0,1	0,70	3,40
0,2	0,50	3,47
0,3	0,36	3,43
0,4	0,02	3,43
0,5		3,43
0,6		3,17
0,7		3,01
0,8		3,37
0,9		3,38
1,0		0,14



Obr. 22. Grafické vyjádření závislosti hodnoty kompliance na množství tekutiny za bubínkem. Bubínek je v kontaktu s tekutinou, mastoid má nulový objem.

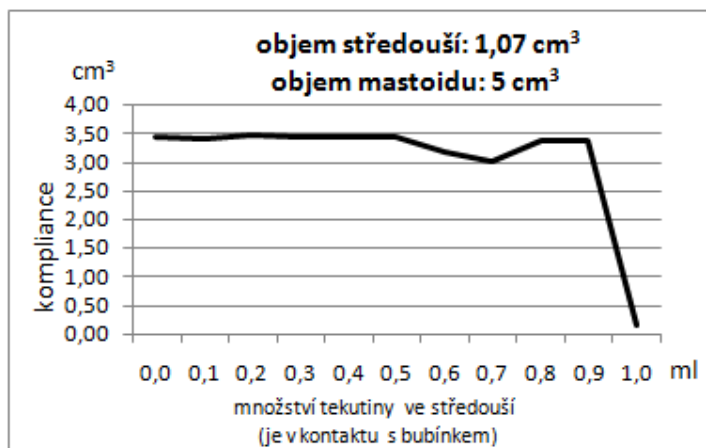


Obr. 23. Ukázka změny tvaru křivek při postupném plnění středoušní dutiny tekutinou na modelu s výchozím objemem středoušní dutiny 1,06 cm³ a nulovým objemem mastoidu. Tekutina je v kontaktu s bubínkem. Přidáno a) 0,1 ml tekutiny; b) 0,2 ml; c) 0,3 ml; d) 0,4 ml. Zdánlivě stejná výška křivek je dána rozdílným měřítkem osy y na jednotlivých záznamech. (Klinický impedancmeter Siemens SD 30).

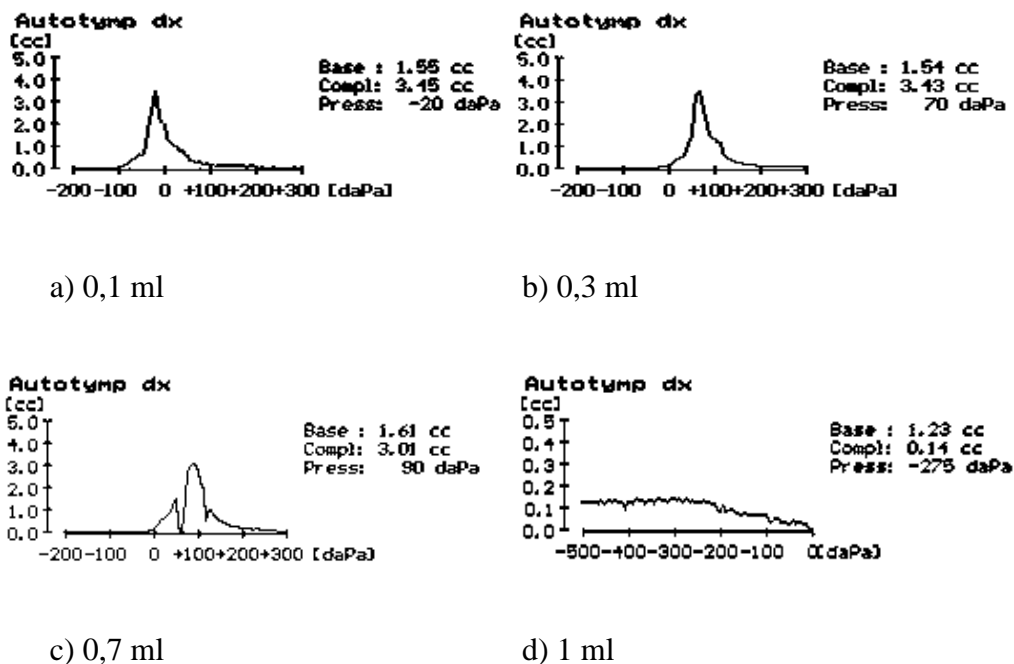
Při tomto uspořádání je pokles závislosti strmější než při uspořádání v postavení, kdy tekutina není v kontaktu s bubínkem (poloha 1) a pneumatický systém mastoidu má objem 0 cm³. Na křivce, pokud kompliance není nulová, je

jasně patrné maximum. Pokud připustíme analogii se situací na pacientech, tak tympanometrická křivka s jasným maximem u pacienta s nevyvinutým nebo blokováním pneumatickým středoušním systémem i při normálním tlaku nevylučuje přítomnost tekutiny za bubínkem.

Grafické vyjádření závislosti z tabulky 5. pro objem mastoidu 5 cm^3 , kdy tekutina je v kontaktu s bubínkem, je na obr. 24. Příslušné ukázky křivek z tohoto měření na modelu jsou na obr. 25.



Obr. 24. Grafické vyjádření závislosti hodnoty kompliance na množství tekutiny za bubínkem. Bubínek je v kontaktu s tekutinou, mastoid má nulový objem.



Obr. 25. Ukázka změny tvaru křivek při postupném plnění středoušní dutiny tekutinou na modelu s výchozím objemem středoušní dutiny $1,06 \text{ cm}^3$ a objemem mastoidu 5 cm^3 . Tekutina je v kontaktu s bubínkem. Přidáno a) 0,1 ml tekutiny; b) 0,3 ml; c) 0,3 ml; d) 0,4 ml. Zdálnivě stejná výška křivek je dána rozdílným měřítkem osy y na jednotlivých záznamech. (Klinický impedancemeter Siemens SD 30).

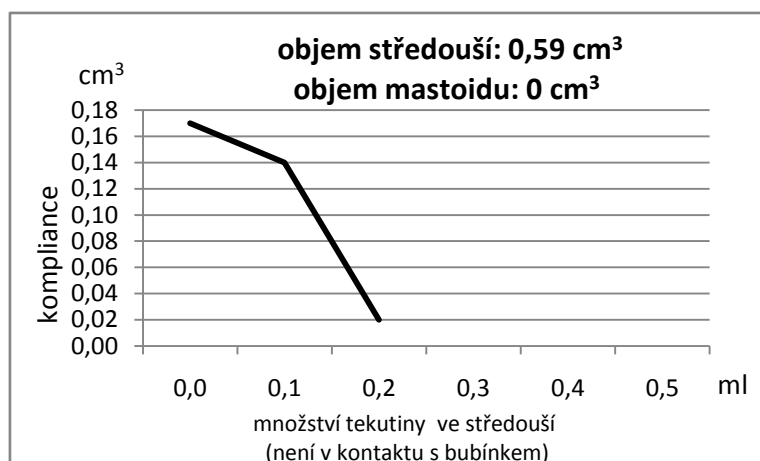
Tvar tympanometrické křivky si uchovává normální tvar prakticky až do zmenšení objemu středoušní dutiny modelu na $0,4 \text{ cm}^3$. To v našem modelu odpovídá 0,6 ml tekutiny ve středoušní dutině. I zde se objevují dvojrcholové tympanometrické křivky. Jejich vznik je způsoben mechanismem, který byl již vysvětlen v kapitole 5.2.1.

5.2.3 VÝSLEDKY ZÍSKANÉ NA VARIANTĚ MODELU S OBJEMEM STŘEDOUŠNÍ DUTINY 0,59 cm³. TEKUTINA NENÍ V KONTAKTU S BUBÍNKEM.

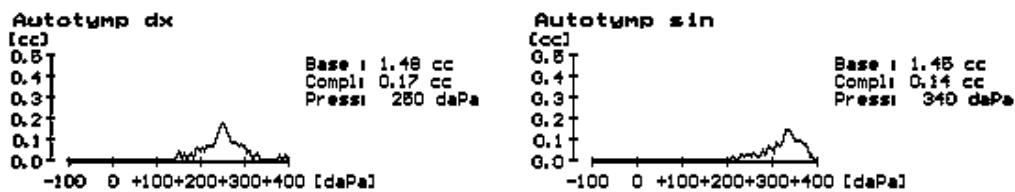
Změřené hodnoty compliance na variantě modelu s vnitřním objemem středouší 0,59 cm³ a osou zevního zvukovodu směřující vertikálně (poloha 1, viz obr 11a) jsou uvedeny v tabulce 6. Grafické vyjádření výsledků pro nulový objem mastoidu je zobrazeno na obr. 26. Tympanometrické křivky jednotlivých měření jsou uvedeny na obr. 27.

Tab. č. 6. Hodnoty compliance v závislosti na množství tekutiny za bubínkem získané na modelu s objemem 0,059 cm³. Osa zvukovodu je ve vertikálním postavení (poloha 1), bubínek **není** v kontaktu s tekutinou.

mn. tekutiny za bubínkem	Mastoid 0 cm ³	Mastoid 5 cm ³
	compliance	compliance
ml	cm ³	cm ³
0,0	0,17	3,54
0,1	0,14	1,33
0,2	0,02	0,29
0,3		0,03

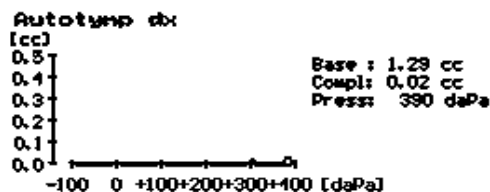


Obr. 26. Grafické vyjádření závislosti hodnoty compliance na množství tekutiny za bubínkem, pokud **není** tekutina v kontaktu s bubínkem a mastoid má nulový objem.



a) 0 ml

b) 0,1ml

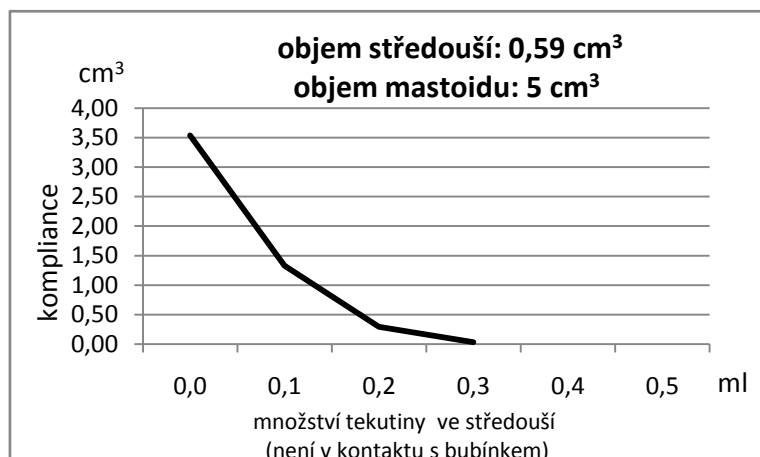


c) 0,2 ml

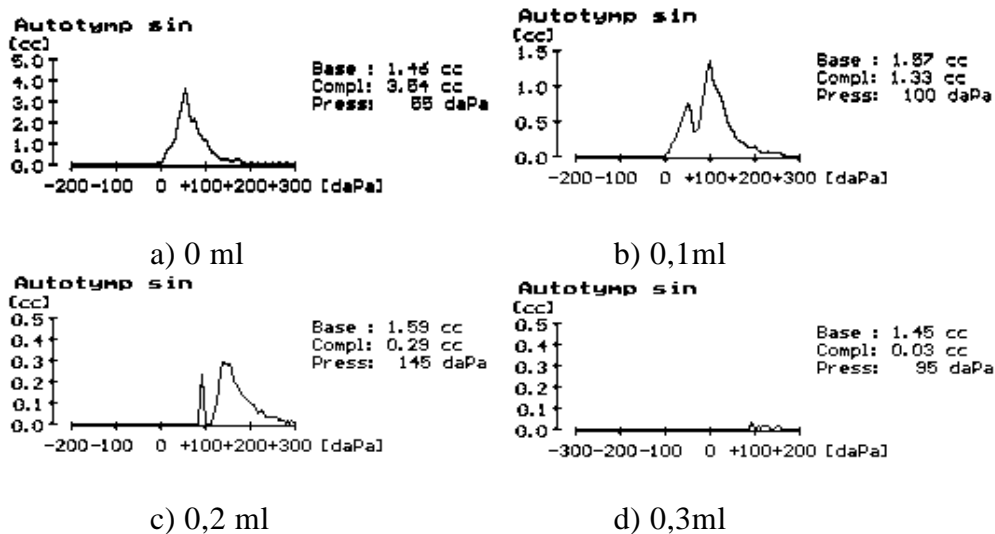
Obr. 27. Tvary tympanometrických křivek při postupném plnění středoušní dutiny tekutinou na modelu s výchozím objemem středoušní dutiny $0,59 \text{ cm}^3$ a objemem mastoidu 0 cm^3 . Tekutina **není** v kontaktu s bubínkem. Přidáno a) 0 ml tekutiny; b) 0,1 ml; c) 0,2 ml. (Klinický impedancemeter Siemens SD 30).

Pokud je objem středního ucha v modelu zmenšen redukčním válečkem, na objem středouší $0,59 \text{ cm}^3$, je vzdálenost mezi redukčním válečkem (díl „G“, viz obr. 8 a č. 10) a membránou představující bubínek velmi malá – 2,59 mm. Tato vzdálenost se dále zmenšuje pod 1 mm v prostoru mezi hranou redukčního válečku a osazením dílu, který představuje středoušní dutinu (díl „D“, viz obr. 8 a 10.). Proto i malé množství tekutiny, které se při plnění dostane do tohoto prostoru (jak bylo opakovaně při měření ověřeno vizuální kontrolou přes průhledné tělo dílu „G“), způsobí velký pokles compliance – vzestup impedance. V našem případě k tomu jevu stačilo již 0,2 ml tekutiny

Na grafu na obr. 28 je zobrazeno vyjádření výsledků z tabulky 6 pro objem mastoidu 5 cm^3 . Tympanometrické křivky jednotlivých měření jsou uvedeny na obr. 29.



Obr. 28. Grafické vyjádření závislosti hodnoty kompliance na množství tekutiny za bubínkem, pokud **není** tekutina v kontaktu s bubínkem a mastoid má objem 5 cm^3 .



Obr. 29. Ukázka změny tvaru křivek při postupném plnění středoušní dutiny tekutinou na modelu s výchozím objemem středoušní dutiny $0,59 \text{ cm}^3$ a objemem mastoidu 5 cm^3 . Tekutina **není** v kontaktu s bubínkem: Přidáno a) 0 ml tekutiny; b) 0,1 ml; c) 0,2 ml; d) 0,4 ml. Zdácnlivě stejná výška křivek je dána rozdílným měřítkem osy y na jednotlivých záznamech. (Klinický impedancemeter Siemens SD 30).

Při zvětšení objemu mastoidu na 5 cm^3 (obr. č 29) se na tympanometrických křivkách projevuje jev popsáný v kapitole 5.2.1., jehož výsledkem je křivka s dvěma vrcholy. I zde je pokles kompliance velmi rychlý. I zde se na tomto jevu uplatňuje

vzlínavost tekutiny mezi osazením středoušní dutiny pro bubínek, membránou bubínku a čelem válečku, který redukuje objem středouši.

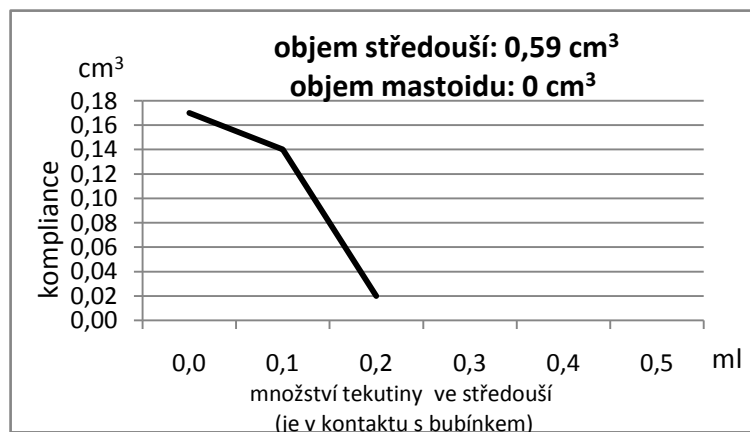
5.2.4 VÝSLEDKY ZÍSKANÉ NA VARIANTĚ MODELU S OBJEMEM STŘEDOUŠNÍ DUTINY 0,59 CM³. TEKUTINA JE V KONTAKTU S BUBÍNEM.

Změřené hodnoty compliance na variantě modelu s vnitřním objemem středouši 0,59 cm³ a osou zevního zvukovodu směřující horizontálně (poloha 2, viz obr 11b) jsou uvedeny v tabulce č. 7. Hodnoty výsledků pro nulový objem mastoidu z tabulky 7 jsou vyneseny v grafu na obr. 30. Tympanometrické křivky jednotlivých měření jsou zobrazeny na obr. 31.

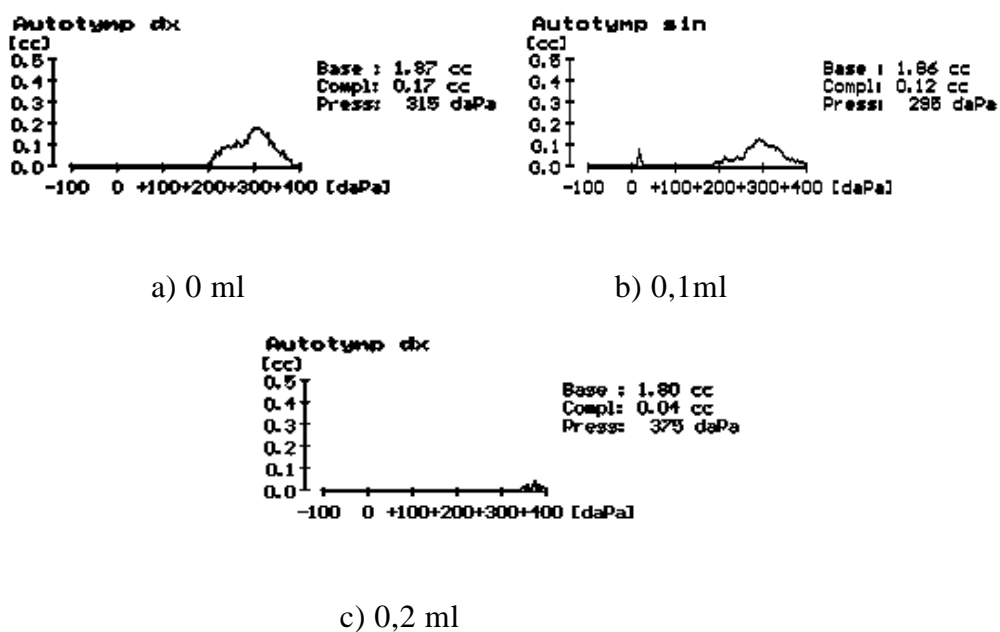
Tab. č. 7. Hodnoty compliance v závislosti na množství tekutiny za bubínkem získané na modelu s objemem 0,59 cm³. Osa zvukovodu je v horizontálním postavení (poloha 2), bubínek je v kontaktu s tekutinou.

mn. tekutiny za bubínkem	Mastoid 0 cm ³	Mastoid 5 cm ³
	compliance	compliance
ml	cm ³	cm ³
0,0	0,17	3,49
0,1	0,12	3,36
0,2	0,04	0,06

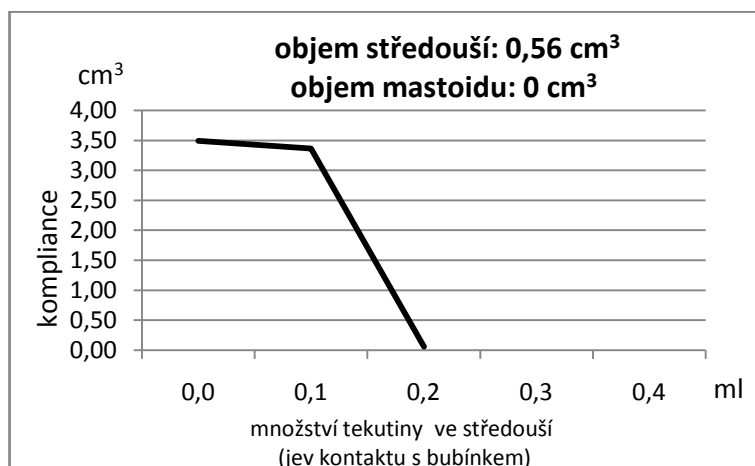
Obdobně jsou přeneseny hodnoty měření z tabulky č. 7 pro objem mastoidu 5 cm³ do grafu na obr. 32. Příslušné tvary tympanometrických křivek jsou zobrazeny na obr 33.



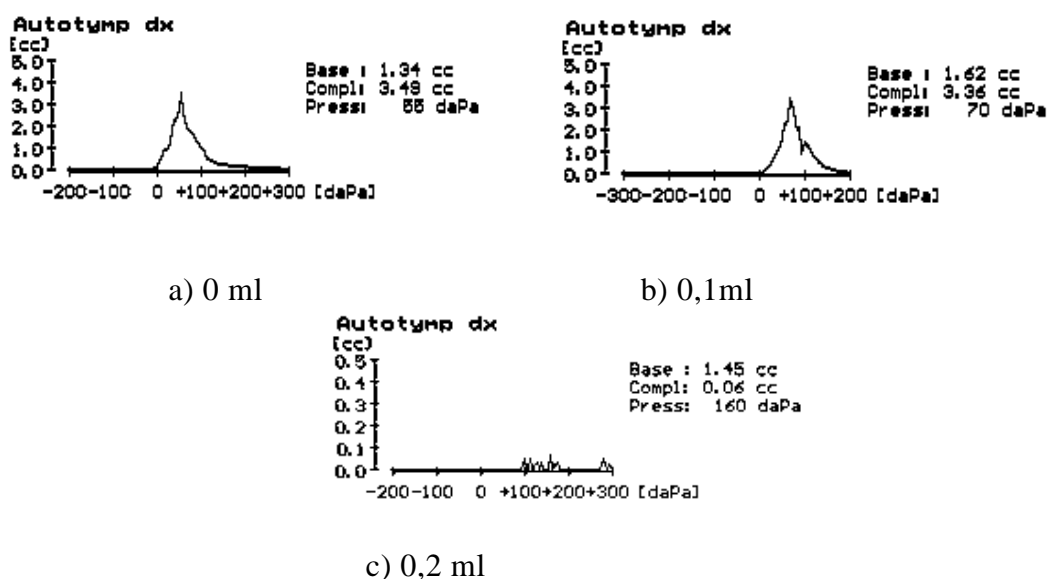
Obr. 30. Grafické vyjádření závislosti hodnoty kompliance na množství tekutiny za bubínkem. Bubínek je v kontaktu s tekutinou, mastoid má nulový objem.



Obr. 31. Ukázka změny tvaru křivek při postupném plnění středoušní dutiny tekutinou na modelu s výchozím objemem středoušní dutiny $0,59 \text{ cm}^3$ a objemem mastoidu 0 cm^3 . Tekutina je v kontaktu s bubínkem. Přidáno a) 0 ml tekutiny; b) 0,1 ml; c) 0,2 ml; d) 0,4 ml. (Klinický impedancmeter Siemens SD 30).



Obr. 32. Grafické vyjádření závislosti hodnoty kompliance na množství tekutiny za bubínkem. Bubínek je v kontaktu s tekutinou, mastoid má objem 5 cm^3 .



Obr. 33. Ukázka změny tvaru křivek při postupném plnění středoušní dutiny tekutinou na modelu s výchozím objemem středoušní dutiny $0,59 \text{ cm}^3$ a objemem mastoidu 5 cm^3 . Tekutina je v kontaktu s bubínkem. Přidáno a) 0 ml tekutiny; b) 0,1 ml; c) 0,2 ml; d) 0,4 ml. Zdálnivě stejná výška křivek je dána rozdílným měřítkem osy y na jednotlivých záznamech. (Klinický impedancemeter Siemens SD 30).

I při této sestavě klesá impedance velmi strmě. Již 2 ml tekutiny stačily pro vytvoření zcela ploché křivky bez vrcholu. Tympanometrická křivka s dvěma

vrcholy při tomto uspořádání měření zaznamenána nebyla. Na rozdíl od uspořádání měření, kdy osa zvukovodu směřovala vertikálně při objemu mastoidu 5 cm^3 , tekutina znehybněla bubínek dříve než by mohla být pohybem membrány bubínku přetlačována do antra modelu.

5.3 VÝSLEDKY MĚŘENÍ NA KADAVERECH

Výsledky získané měřeními na čerstvě odebraných kostech skalních byly po jednotlivých úpravách, které jsou uvedeny výše, zaznamenány do tabulky. Čísla preparátům byla přiřazována postupně. Pro měření jsme měli k dispozici celkem 25 kadaverozních kostí skalních. Celé plánované měření bylo provedeno pouze na 22 preparátech. Jeden preparát jsme byli nuceni z měření vyřadit pro porušení celistvosti středoušní dutiny při odběru, u dalších dvou nebyla provedena všechna plánovaná měření. Důvodem byla předčasná luxace kovádlinky při rozrušování inkudo-stapediálního kloubu. Těmto preparátům nebyla přiřazena čísla a nejsou zahrnuty do souboru. Výsledky měření jsou zaznamenány v tabulce č. 8.

Měření byla provedena pomocí klinického impedancmetru Siemens SD 30. Při všech měřeních byl získán normální tvar tympanometrické křivky zvonovitého tvaru (křivka typu „A“ dle klasifikace dle Lidena) s maximem compliance v oblasti nulového tlaku. U sedmi preparátů byly navíc měřeny psi-laterální stapediální reflexy.

Získané výsledky měření byly statisticky zpracovány na Katedře biomechaniky a technické kybernetiky Fakulty tělesné kultury Univerzity Palackého. Mimo stanovení základních statistických veličin (aritmetický průměr, medián, směrodatná odchylka, stanovení minimálních a maximálních hodnot) byly výsledky zpracovány pomocí Friedmanovy analýzy rozptylu a porovnání compliance mezi jednotlivými dvojicemi modelovaných stavů při uzavřeném a otevřeném středouší bylo provedeno pomocí znaménkového testu. Pomocí Spearmanova korelačního koeficientu byl zjišťován vztah mezi jednotlivými po sobě jdoucími měřeními v rámci otevřeného a uzavřeného středouší. Jako poslední statistické šetření bylo

provedeno srovnání normálních hodnot kompliance uvedených různými autory s hodnotami kompliancí modelových vztahů.

Tab. č. 8. Hodnoty měření kompliance získaných na preparátech kostí spánkových.

číslo prep.	bazální objem	první měření bez okénka	kompliance po vytvoření okénka v tegment tympani		přerušení inkudostapediálního kloubu		luxace (extrakce) kovádlinky	
			okénko uzavřeno	okénko otevřeno	okénko uzavřeno	okénko otevřeno	okénko uzavřeno	okénko otevřeno
	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³
1	0,59	0,29	0,31	0,40	0,36	0,81	1,47	2,50
2	0,56	0,63	0,61	0,76	0,80	1,50	1,07	1,20
3	0,44	0,98	1,02	4,50	1,22	4,30	2,16	4,50
4	0,46	0,58	0,65	0,55	0,88	1,86	1,58	3,20
5	0,60	0,22	0,24	0,41	0,28	0,60	1,63	2,60
6	0,60	0,21	0,25	0,30	0,52	0,90	1,02	0,93
7	0,60	0,41	0,40	0,59	0,80	1,10	0,95	1,50
8	0,44	0,32	0,33	0,60	0,40	0,90	0,83	2,64
9	0,60	0,25	0,39	0,60	0,79	1,21	0,94	4,41
10	0,32	0,40	0,41	0,44	1,66	1,70	4,64	4,66
11	0,38	0,43	0,47	0,46	0,60	1,21	2,05	2,70
12	0,56	0,76	0,89	1,63	1,03	2,20	1,61	3,05
13	0,32	0,19	0,16	0,24	0,40	0,63	0,96	1,50
14	0,46	0,26	0,22	0,26	0,48	0,52	0,98	0,89
15	0,30	0,40	0,50	2,40	0,66	2,60	1,90	3,20
16	2,10	0,88	0,94	1,40	1,20	3,50	1,64	5,80
17	2,64	0,36	0,46	1,43	1,20	1,77	1,48	1,77
18	1,42	0,81	1,04	2,30	1,40	2,62	2,03	2,62
19	1,12	0,18	0,24	0,37	0,34	0,83	0,80	0,83
20	1,07	1,79	1,68	5,83	1,91	5,12	1,97	5,12
21	1,30	0,55	0,56	0,96	0,92	1,51	1,30	1,51
22	1,09	1,38	1,51	10,68	1,96	10,73	3,34	10,73

Základní statistické veličiny základního souboru (aritmetický průměr, medián, směrodatná odchylka, minimum, maximum) jsou uvedeny v tabulce č. 9.

Tab. č. 9. Základní statistické veličiny základního souboru

n=22	první měření bez okénka	kompliance po vytvoření okénka v tegment tympani		přerušení inkudo-stapediálního kloubu		luxace (extrakce) kovádky	
		okénko uzavřeno	okénko otevřeno	okénko uzavřeno	okénko otevřeno	okénko uzavřeno	okénko otevřeno
Průměr	0,558182	0,603636	1,686818	0,900455	2,187273	1,652273	3,084545
Medián	0,405	0,465	0,6	0,8	1,505	1,53	2,63
Minimum	0,18	0,16	0,24	0,28	0,52	0,8	0,83
Maximum	1,79	1,68	10,68	1,96	10,73	4,64	10,73
Sm. odch.	0,410489	0,414701	2,462775	0,500547	2,261934	0,893457	2,232862

V tabulce č. 10 pro otevřené středouší a v tabulce č. 11 pro uzavření středouší, jsou uvedeny hodnoty korelačních koeficientů. Níže uvedené tabulky charakterizují těsnost vztahu mezi dvěma situacemi.

Tab. č. 10. Spearmanova korelace těsnosti vztahů pro uzavřené středouší

n = 22		vytv. ok. v tegm. tympani	luxace i-s kloubu	extrakce kovádky
bez okénka	bez okénka	1	0,829848*	0,663654*
vytvoření okénka	1	0,962147*	0,853024*	0,666478*
luxace i-s kloubu	0,829848*	0,853024*	1	0,660074*
extrakce kovádky	0,663654*	0,666478*	0,660074*	1

(*) Označené korelace jsou významné na hladině pravděpodobnosti $p < 0,05000$

Korelační koeficienty ukazují, že naměříme vyšší hodnotu compliance při prvním měření bez vytvořeného okénka, naměříme i vyšší hodnotu v příslušné situaci při uzavřeném otvoru do středouší následného měření (měření bez okénka; uzavřené vytvořené okénko v tegment tympani; přerušení inkudo-stapediálního kloubu – okénko uzavřeno; extrakce nebo luxace kovádky – okénko uzavřeno).

Tab. č. 11. Spearmanova korelace těsnosti vztahů pro otevřené středouší

n = 22	bez okénka	vytv. ok. v tegm. tympani	luxace i-s kloubu	extrakce kovadlinky
bez okénka	1	0,822599*	0,873693*	0,642272*
vytvoření okénka	0,822599*	1	0,900819*	0,644815*
luxace i-s kloubu	0,873693*	0,900819*	1	0,751272*
extrakce kovadlinky	0,642272*	0,644815*	0,751272*	1

(*) Označené korelace jsou významné na hladině pravděpodobnosti $p < 0,05000$

Korelační koeficienty i při měření s otevřeným středouším ukazují, že při otevřeném středouší jsou vztahy mezi následnými měřeními (úvodní měření bez okénka; vytvoření otvoru v tegment tympani – okénko otevřeno; přerušení inkudo-stapediálního kloubu – okénko otevřeno; extrakce nebo luxace kovadlinky – okénko otevřeno) statisticky významné. Vztahy jsou ale volnější než při uzavřeném středouší. Nejvolnější vztah je mezi úvodním měřením a extrakcí kovadlinky.

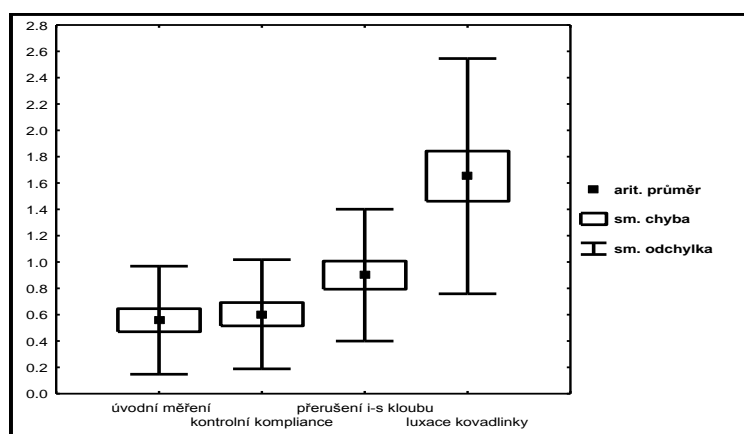
Výsledky analýzy dat ze zdrojové tabulky č. 8 pomocí Friedmanova testu pro závislá měření pro uzavřené středouší jsou uvedeny v tabulce č. 12.

Tab. č. 12. Výsledky analýzy pomocí Friedmanova testu pro uzavřený manipulační otvor.

	Průměrné pořadí	Součet pořadí	Průměr	Směrodatná odchylka
bez okénka	1,227273	27	0,558182	0,410489
po vytvoření okénka	1,772727	39	0,603636	0,414701
přerušení i-s kloubu	3	66	0,900455	0,500547
luxace kovadlinky	4	88	1,652273	0,893457

Friedmanova analýza ($\chi^2 = 61,363$; $p < 0,001$) nám potvrzuje, že mezi jednotlivými modelovými situacemi měřeními při uzavřeném středouší, je statisticky významný rozdíl v komplianci jednotlivých modelových situací. Jinými slovy snížení zátěže bubínku řetězem kůstek (přerušení inkudo-stapediálního kloubu –

odlehčení zátěže o třmínek a luxace kovadlinky – odlehčení zátěže o kovadlinku) způsobí statisticky významný rozdíl compliance. Statisticky významný rozdíl nebyl zaznamenán mezi úvodním měřením a kontrolním měřením compliance při uzavřeném manipulačním otvoru v tegment tympani. To potvrzuje, že samotné vytvoření manipulačního otvoru v tegment tympani nenarušilo středoušní struktury a další vzestup compliance v následujících měřeních byl způsoben pouze zásahem na řetězu kůstek. Přehledněji jsou výsledky Friedmanovy analýzy vyjádřeny v krabicovém grafu na obr. 34.

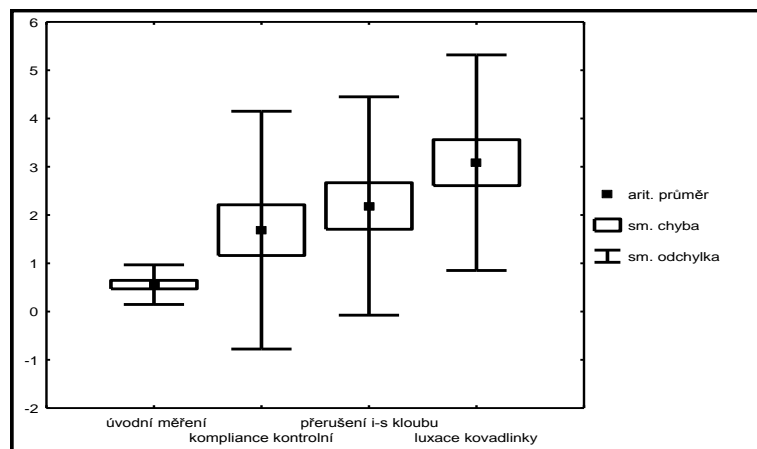


Obr. 34. Výsledky Friedmanovy analýzy pro uzavřený otvor v tegment tympani vyjádřeny graficky.

Obdobně bylo pro data ze zdrojové tabulky č. 8 provedeno šetření pomocí Friedmanova testu pro závislá měření pro otevřené středouší. Výsledky analýzy jsou uvedeny v tabulce 13. Grafické vyjádření tohoto šetření je zachyceno v krabicovém grafu na obr č. 35.

Tab. č. 13. Výsledky analýzy pomocí Friedmanova testu pro otevřený manipulační otvor.

	Průměrné pořadí	Součet pořadí	Průměr	Sm. Odchylka
bez okénka	1,068182	23,5	0,558182	0,410489
po vytvoření okénka	2,090909	46	1,686818	2,462775
přerušení i-s kloubu	3,090909	68	2,187273	2,261934
luxace kovadlinky	3,75	82,5	3,084545	2,232862



Obr. 35. výsledky znaménkového testu z tabulek č 16 - 17 pro otevřené tegment tympany vyjádřeny graficky.

I při této kombinaci měření mám Friedmanova analýza ($\chi^2 = 61,363$; $p < 0,001$) nám potvrzuje, že mezi všemi modelovými situacemi měřenými při otevřeném středouší je v komplianci jednotlivých modelových situací. Nárůst kompliance ale není tak výrazný, jak u měření s uzavřeným středouším. Statisticky významný rozdíl byl zaznamenán i mezi úvodním měřením a kontrolním měřením kompliance při otevřeném manipulačním otvoru v tegment tympani. To potvrzuje, že již jeho vytvoření významně sníží impedanční zátěž bubínku.

Tabulka č. 14 zachycuje výsledky znaménkového testu, který porovnává:

- 1) kompliance úvodního měření bez okénka proti kontrolnímu měření kompliance po otevření středoušní dutiny v oblasti tegment tympani a opětovném uzavření tohoto otvoru – řádek 1 (*bez okénka & po vytvoření okénka*),

- 2) compliance úvodního měření bez okénka proti complianci po přerušení inkudo-stapediálního kloubu při uzavřeném otvoru do středoušní dutiny – řádek 2 (*bez okénka & přerušení i-s kloubu*)
- 3) compliance úvodního měření bez okénka proti complianci po luxaci kovadlinky při uzavřeném středouši – řádek 3 (*bez okénka & luxace kovadlinky*).

Tab. č. 14. Znaménkový test pro vztah mezi úvodním měřením a následujícími úpravami při uzavřeném manipulačním otvoru

	Počet různých	Procenta $v < V$	Z	Úroveň p
bez okénka & po vytvoření okénka	22	77,2727	2,345208	0,019016*
bez okénka & přerušení i-s kloubu	22	100	4,477215	0,000008*
bez okénka & luxace kovadlinky	22	100	4,477215	0,000008*

(*) Označené testy jsou významné na hladině pravděpodobnosti $p < .05000$

Tabulka č 15 zachycuje výsledky znaménkového testu, který porovnává:

- 1) compliance po otevření středoušní dutiny v oblasti tegment tympani a jeho opětovném uzavření proti complianci po přerušení inkudostapediálního kloubu při uzavřeném otvoru do středoušní dutiny – řádek 1 (*po vytvoření okénka & přerušení i-s kloubu*)
- 2) complianci po otevření středoušní dutiny v oblasti tegment tympani a jeho opětovném uzavření proti complianci po luxaci kovadlinky při uzavřeném otvoru do středoušní

dutiny – řádek 2 (po vytvoření okénka & přerušení i-s kloubu)

Tab. č. 15. Znaménkový test pro vztah mezi kontrolním měřením a následujícími úpravami při otevřeném manipulačním otvoru

	Počet různých	procenta $v < V$	Z	Úroveň p
po vytvoření okénka & přerušení i-s kloubu	22	100	4,477215	0,000008*
po vytvoření okénka & luxace kovadlinky	22	100	4,477215	0,000008*

(*) Označené testy jsou významné na hladině pravděpodobnosti $p < .05000$

Tabulka č. 16 zachycuje výsledky znaménkového testu, který porovnává komplianci po přerušení inkudo-stapediálního kloubu při uzavřeném otvoru do středoušní dutiny proti komplianci po luxaci kovadlinky a to vždy při uzavřeném otvoru do středoušní dutiny – přerušení i-s kloubu & luxace kovadlinky.

Tab. č. 16. Znaménkový test pro vztah mezi přerušením i-c kloubu a luxací kovadlinky při uzavřeném manipulačním otvoru

	Počet různých	procenta $v < V$	Z	Úroveň p
přerušení i-s kloubu & luxace kovadlinky	22	100	4,477215	0,000008*

(*) Označené testy jsou významné na hladině pravděpodobnosti $p < .05000$

Tabulka č. 17 zachycuje výsledky znaménkového testu, který porovnává kompliance úvodního měření bez okénka proti následným měřením, a při otevřeném středouší. Jde o obdobný vztah, který je zachycený v tabulce č 14 pro uzavřené středouší.

Tabulky č. 17 a č. 18 zachycují výsledky znaménkového testu pro otevřené středouší, obdobně jako tabulky č. 13 a 14 pro uzavřené středouší.

Tab. č. 17. Znaménkový test pro vztah mezi úvodním měřením a následujícími úpravami při otevřeném manipulačním otvoru

	Počet různých	procenta $v < V$	Z	Úroveň p
bez okénka & komp.kontrolní	22	77,2727	2,345208	0,019016*
bez okénka & přerušení i-s kloubu	22	100	4,477215	0,000008*
bez okénka & luxace kovadlinky	22	100	4,477215	0,000008*

(*) Označené testy jsou významné na hladině pravděpodobnosti $p < 0.05000$

Tab. č. 18. Znaménkový test pro vztah mezi kontrolním měřením a následujícími úpravami při otevřeném manipulačním otvoru

	Počet různých	procenta $v < V$	Z	Úroveň p
komp.kontrolní & přerušení i-s kloubu	22	100	4,477215	0,000008*
komp.kontrolní & luxace kovadlinky	22	100,0000	4,477215	0,000008*

(*) Označené testy jsou významné na hladině pravděpodobnosti $p < 0.05000$

Tab. č. 19. Znaménkový test pro vztah mezi přerušením i-c kloubu a luxací kovadlinky při uzavřeném manipulačním otvoru

	Počet různých	procenta $v < V$	Z	Úroveň p
přerušeni i-s kloubu & luxace kovadlinky	22	100	4,477215	0,000008*

(*) Označené testy jsou významné na hladině pravděpodobnosti $p < 0.05000$

Analýza znaménkového testu potvrdila rozdíl hodnot kompliance mezi kombinacemi jednotlivých měření což koreluje se závěry Friedmanova testu.

Cílem posledního statistického šetření bylo zjistit, zda v našem souboru v jednotlivých modelových situacích na řetězci středoušních kůstek (rozrušení inkudo-stapediálního kloubu a luxaci kovadlinky) na kadaverech způsobí statisticky významný nárůstu počtu měření proti normálním hodnotám compliance dle doporučení American Speech-Language-Hearing Association (1). Tyto hodnoty pro zdravé jedince se v zásadě shodují s hodnotami compliance, které jsme získali na našem pracovišti u 92 pacientů s operačně potvrzenou otosklerózou (17). Mezní hodnoty compliance tohoto souboru s otosklerózou mají ještě větší rozptyl compliance ($0 \text{ cm}^3 - 3,1 \text{ cm}^3$) než hodnoty compliance které byly zjištěny při otoskleróze Profantentem a spoluprávníky (41).

Porovnání bylo provedeno pro měření při uzavřeném středouší. V tabulce č 20 jsou doporučené rozptyly dle ASLHA a mezní hodnoty u otosklerózy dle Profanta a spol. V tabulce č. 21 je porovnání absolutní a relativní četnosti překročení limitu v našem souboru proti hodnotám koppliance. V tabulce č. 22 je porovnání proti mezním hodnotám dle Profanta.

Tab. č. 20. Doporučené normální hodnoty compliance dle ASLHA hodnoty compliance dle Profanta a spol. při otoskleróze

	compliance	
	min.	max.
	cm^3	cm^3
American Speech-Language-Hearing Association (1989)	0,30	1,40
Profant a spol.(1994)	0,16	2,00

Tab. č. 21. Překročení limitu v našem souboru proti doporučeným hodnotám ASLHA

	absolutní četnosti			relativní četnosti			p
	pod normou	v normě	nad normou	pod normou	v normě	nad normou	
bez okénka	7	14	1	31,81818	63,63636	4,54545	0,3488
po vytvoření okénka	5	15	2	22,72727	68,18182	9,09091	0,1573
přerušení i-s kloubu	1	18	3	4,54545	81,81818	13,63636	0,0876
luxace kovádky		9	13		40,90909	59,09091	0,0001*

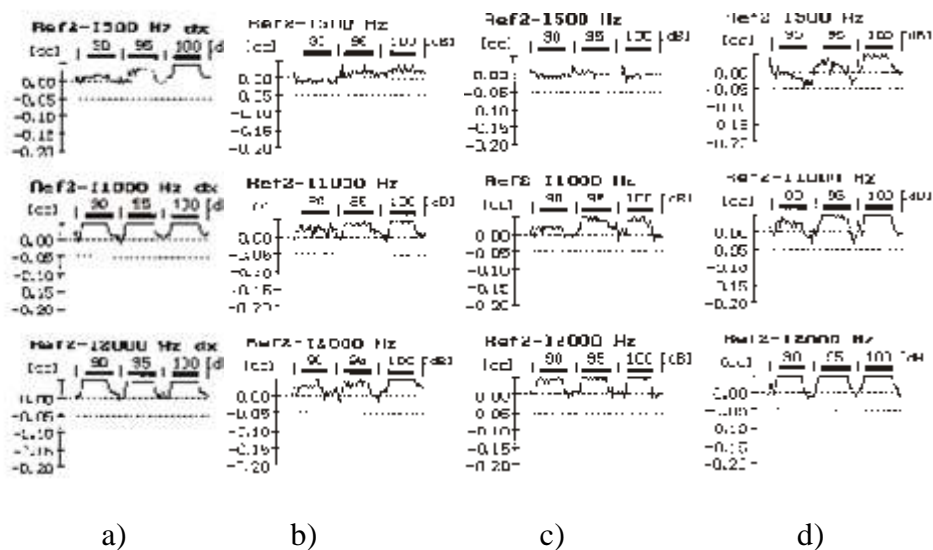
(*) Označené testy jsou významné na hladině pravděpodobnosti $p < .05000$

Tab. č. 22. Překročení limitu v našem souboru proti hodnotám dle Profanta a spol.

	absolutní četnosti			relativní četnosti			p
	pod normou	v normě	nad normou	pod normou	v normě	nad normou	
bez okénka		22			100		1
po vytvoření okénka		22			100		1
přerušení i-s kloubu		22			100		
luxace kovádky		17	5		77,27273	22,72727	0,0214*

(*) Označené testy jsou významné na hladině pravděpodobnosti $p < .05000$

Překročení doporučených hodnot normální úrovně compliance a hodnot při otoskleróze na statisticky významné úrovni v našem souboru je dosaženo až při luxaci kovádky.



Obr. 36. Ukázky tzv. „paradoxního reflexu“ a) první měření; b) otevření středouší; c) rozrušení inkudo – stapediálního kloubu; d) luxace kovádklinky. Měření bylo provedeno vždy při uzavřeném středouší. (impedancemeter Siemens SD 30)

Jak jsme uvedli v úvodu této části, pro doplnění jsme u všech preparátů provedli orientační vyšetření ipsilaterálních stapediálních reflexů. U všech preparátů bez jediné výjimky byly prokázány tzv. paradoxní reflexy. Označení je chybné protože se nejedná o reflexy ale o tzv. akusticko-mechanický efekt (33). Odlišují se od skutečných reflexů tím, že nastupují bez latence a mají v převážné většině opačnou výchylku proti normálním reflexům. Mimo jiné se objevují při tympanometrii u pacientů s otosklerózou. Nejsou aktivním jevem, a proto nemohou být dávány s otosklerózou do souvislosti. Jsou považovány za artefakt, který vzniká v prostoru mezi zvukovodem a měřící sondou tympanometru, interferencí mezi ipsilaterálním dráždicím tónem a sondovým tónem 226 Hz. Ukázky záznamů reflexů jsou na obr 36.

6 DISKUZE

Výslednou komplianci bubínku ovlivňují fyzikální vlastnosti samotného bubínku, impedanční zátěž uzavřeného prostoru za bubínkem a struktur, které jsou s bubínkem mechanicky spojené (řetěz kůstek, středoušní svaly ligamenta a slizniční závěsy). Výsledná kompliance pro určitý kmitočet je dána součtem těchto složek. Rozdělit tuto hodnotu na jednotlivé hodnoty příslušných komponent není možné. U konkrétního pacienta nemůžeme proto stanovit, která struktura ucha má na výsledné komplianci převažující vliv.

Při hledání odpovědí na otázky položené v úvodu práce jsme skutečnou situaci zjednodušili. Sledování různých faktorů ovlivňující komplianci jsme rozdělili do několika kroků. Na mechanickém modelu středního ucha jsme vyloučili vliv středoušních kůstek a omezili jsme vliv bubínku tím, že jsme nastavili jeho napětí na konstantní úroveň. Sledovali jsme pouze vliv jedné proměnné – uzavřeného objemu vzduchu za bubínkem. Jak vyplývá z grafů na obr. 12, 13 a 14 je závislost kompliance na objemu vzduchu za bubínkem lineární. Pokud je compliance modelového bubínku srovnatelná s kompliancí vzduchu v uzavřeném prostoru za bubínkem začne se na výsledné komplianci postupně uplatňovat. Až compliance bubínku převládne nad kompliancí vzduchu v uzavřeném prostoru za bubínkem, další nárůst objemu vzduchu za bubínkem již významně neovlivní výslednou hodnotu komplianci (viz. obr. 12, 13 a 14). Komplianci tak určuje převládající impedance bubínku.

Tvar tympanometrických křivek na modelu s objemem $1,06 \text{ cm}^3$ si v celém rozsahu uchovává normální tvar (viz ukázky na obr 15). Na modelu s objemem

0,59 cm³ při nulovém objemu mastoidu má křivka plošší vrchol. Pokud je ale napětí bubínku větší, může být již křivka bez ostrého vrcholu klasifikována jako křivka typu „B“. Tato modelová situace připouští nález, formulovaný v bodě 1 (str. 4), kdy u pacienta s anaplazií proc. mastoideus, křivka bez ostrého vrcholu nemusí signalizovat tekutinu za bubínkem a může se tak vyskytnout i při normálním sluchu jako náhodný nález (otázka formulovaná v bodě 2, str.4).

Křivky získané při plnění modelu středoušní dutiny rovněž velmi dobře napodobují normální tympanometrické křivky s peroperačním nálezem tekutiny za bubínkem (otázka č. 3, na str. 4). Při plnění středoušní dutiny našeho modelu tekutinou, při horizontální poloze zvukovodu (tekutina je v kontraktu s bubínkem), pokud zůstává pneumatický systém alespoň částečně vzdušný, si po dlouhou dobu tympanometrická křivka zachovává normální tvar (viz. obr. 25).

Odlišným způsobem jsme přistupovali ke sledování compliance na kadaverózních skalních kostech.

První úvodní měření bez okénka nás informovalo o celkové impedanci středoušního systému, na kterém se podílejí všechny složky středoušního systému. Následující měření na otevřené středoušní dutině bez zásahu na kůstkách zohlednilo vliv impedance vzduchu v prostoru za bubínkem. Samotné otevření středoušní dutiny způsobí proti stavu bez okénka statisticky významný nárůst compliance (sníží se impedance – vzestup compliance).

Spermanova korelace těsnosti vztahů pro uzavřené středouší ukazuje, že pokud při prvním měření bez okénka naměříme vyšší hodnotu, naměříme i statisticky významnou vyšší hodnotu v příslušné situaci následného měření s uzavřeným

okénkem (úvodní měření bez okénka proti přerušení inkudo-stapediálního kloubu nebo proti extrakci (luxaci) kovádky) Tento závěr neplatí pro úvodní měření bez okénka proti měření kompliance s vytvořeným okénkem a jeho znovu zavřením. Zde statisticky významný rozdíl nalezen nebyl. Tento výsledek nám potvrdil, že pouhé vytvoření okénka neovlivnilo celkovou complianci a středoušní systém tímto zásahem nebyl ovlivněn.

Podobný závěr statistické analýzy je i pro otevřené středouší, ale vztahy jsou volnější než při uzavřeném středouší. Nejvolnější vztah je mezi úvodním měřením bez okénka a extrakcí kovádky. Navíc je zde i významný statistický rozdíl mezi prvním úvodním měřením na preparátu bez vytvořeného okénka a měřením na preparátu se zejícím otvorem do středouší. To prokazuje převažující vliv impedance vzduchu v uzavřeném prostoru za bubínkem na celkové impedanci

Tam kde je počáteční compliance nízká, můžeme očekávat podle Spermanovy korelace těsnosti vztahů nižší compliance, jak při uzavřeném tak i otevřeném středouší při následných měřeních. V těchto případech můžeme předpokládat, že rozhodující vliv na výslednou complianci budou mít vlastnosti bubínku.

Na skutečnosti, že fixace třmínku při otoskleróze nezpůsobí statisticky významný pokles compliance se shoduje řada autorů (13,17,22,27,29,38,41,50,52,3) Přesto i v současných audiologických učebnicích můžeme najít informaci o nižší hodnotě compliance u otosklerózy. Větší naděje jsou vkládány do vysokofrekvenční tympanometrie se sondovým tónem 676 Hz a 1000 Hz (8,49). Ani zde ale nejsou jednoznačné výsledky.

Oproti tomu je obecně přeceňován vliv fraktury řetězu kůstek na vzestup compliance (23,32,33,41). V našem souboru na kadaverech při srovnání s přísnějším rozsahem normálních hodnot dle American Speech-Language-Hearing Association byl statisticky významně překročen horní limit normálních hodnot compliance až při extrakci kovadlinky. Pouze ve dvou případech z 22 (vzorek č. 10 a č. 22) bylo dosaženo věcně významného rozdílu hodnoty compliance proti možným hodnotám compliance u otosklerózy v souboru Profanta a spoluautorů. *To podporuje hypotézu, že samotná compliance nemá výpovědní hodnotu pro stanovení poruchy řetězu kůstek jak při jeho rozrušení tak i jeho fixaci.*

Přestože žádný mechanický model nedokáže věrně napodobit funkci živé tkáně, a i chování středoušních struktur na kadaverech se rovněž nemůže shodovat s chováním stejných živých struktur, domníváme se, že námi provedené pozorování nám přesto přineslo možné odpovědi na otázky, které byly formulované v počátku této práce (včetně otázek č. 4; 5 i 6). *Dle našeho pozorování rozhodující vliv na velikost compliance bubínku určují samotné vlastnosti bubínku a množství vzduchu v uzavřeném prostoru za bubínkem. Jako poslední se uplatňuje zátěž bubínku způsobená řetězcem kůstek včetně jeho pohyblivosti.*

Tympanometrické měření patří do baterie vyšetřovacích postupů uplatňovaných v otologii, ale musí se vždy brát jako metoda podpůrná a výsledky nesmí být hodnoceny šablonovitě, ale v kontextu s anamnézou, otologickým nálezem prováděným nejlépe při zvětšení a audiometrickým vyšetřením.

Pro úplnost a větší přehlednost rekapitulujeme možné odpovědi na otázky formulované na straně 4.

1. Musí mít pacienti, u kterých se vyskytne plochá tympanometrická křivka nebo křivka bez ostrého vrcholu s velmi nízkou compliancí bez převodní poruchy sluchu s negativním otoskopickým nálezem (při vyloučení artefaktu měření), tekutinu za bubínkem nebo srůsty?
2. Jak vysvětlit plochou tympanometrickou křivku nebo křivku bez ostrého vrcholu někdy i náhodně objevenou u nemocného s normálním otologickým nálezem i audiogramem?

Možná odpověď: Podle našeho měření podobný nález může způsobit malý objem vzduchu v prostoru za bubínkem, zvláště pokud je kombinován s větší tuhostí bubínku (anaplastický středoušní systém, granulace v antru, zvětšená tuhost bubínku).

3. Je přípustná kombinace normální tympanometrické křivky s peroperačně náhodně objevenou tekutinou za bubínkem?

Domníváme se, že podobný nález je přípustný, pokud alespoň část bubínku není v kontaktu s tekutinou a pneumatický systém zůstal alespoň částečně funkční

4. Proč otoskopicky jasná atrofická jizva bubínku u jednoho pacienta při jinak normálním audiometrickém nálezu způsobí u některých velký vzestup compliance, který významně vybočuje z normálních hodnot a u jiných se neprojeví?

Při pohyblivé atrofické jizvě na bubínku je impedance bubínku snížena. Rozhodující vliv na celkovou complianci pak má impedance vzduchu v prostoru za bubínkem. Větší objem tohoto prostoru má menší impedanci a způsobí větší celkovou complianci.

5. Jak ovlivní tympanometrický nález fraktura v oblasti středoušních kůstek, nebo uvolnění závěsu stapediální protézky po operaci otosklerózy?

Pokud je porušení kontinuity středoušních kůstek spojeno s atrofickou jizvou bubínku různé etiologie (následek hojení traumatické perforace, záněty, vliv operace...) a s velkým objemem pneumatického systému, můžeme očekávat vyšší hodnoty compliance. Pokud tyto podmínky splněny nebudou, compliance nemusí vybočovat z normálních hodnot.

6. Čím je způsoben velký rozptyl compliance u normálních otologických nálezů?

Podle našeho mínění je celková compliance nejvíce ovlivněna velkou variabilitou fyzikálních vlastností bubínku spolu s množstvím vzduchu který je uzavřen v prostoru za bubínkem. Vliv středoušních kůstek se projeví až jako poslední.

7 LITERATURA:

1. American Speech-Language-Hearing Association, Committee on Audiologic Evaluation – Working Group on Acoustic Immittance Measurement (1989). Draft: Guidelines for screening for hearing impairment and middle ear disorders. ASHA, 32,1989, 71-77.
2. American Speech-Language-Hearing Association. (2004). Guidelines for the Audiologic Assessment of Children From Birth to 5 Years of Age [Guidelines]. Available from www.asha.org/policy.
3. Bess, F. H. et al.: Inter-Ear Conductive Hearing Loss. Annual American Speech and Hearing Association Convention, Chicago, III, 1977.
4. Browning, G. G., Swan, L R, Gatehouse, S.: The doubtful value of tympanometry in the diagnosis of otosclerosis. *J. Laryng.*, 99, 1985, 6, 545-547.
5. Burke, P., Bain, J., Robinson, D., Dunleavey, J.: Acute red ear in children: controlled trial of non-antibiotic treatment in general practice. *BMJ.* 7, 1991 Sep , 303, 558-562.
6. Cinamon, U., Sade, J.: Tympanometry versus direct middle ear pressure measurement in an artificial model: Is Tympanometry an accurate method to measure middle ear pressure? *Otology & neurotology* 24, 2003, 6, 850-853.
7. Cooper, JC, Jr, Hearne, EM, III, and Gates GA.: Normal tympanometric shape. *Ear Hear* 1982; 3, 241-245.

8. Creten, WL, Van de Heyning, PH, and Van Camp, KJ. Immittance audiometry: normative data at 200 and 660 Hz. *Scand Audiol* 14, 1985; 115-121.
9. Endo, S., Shibahara, Y., Sakuma, M., Takasaka, T., Kawamoto, K., Okitsu, T., Kaneko, Y.: Tympanograms of otitis media with effusion: An experimental study (in Japanese). *J. Otolaryngol. Jpn.*, 86, 1983, 304-313.
10. Feldman, AS. 1975. Acoustic impedance-admittance measurements. In Bradford, LJ. (Ed.): *Physiological Measures of the Audio-Vestibular System*. New York, 1975, Academic Press, 87-145.
11. Feldman, AS., Wilber, LA. (Eds.): *Acoustic Impedance & Admittance: The Measurement of Middle Ear Function*. Baltimore: Williams & Wilkins, 1976, 103-155.
12. Gelfand, S.: *Essentials of audiology*, Thieme, New York, 1997, ISBN 0-86577-621-0.
13. Gersdorff, M., Stogart, T.: Phasor diagram- a comparative study between normal ears and otosclerotic ears. *Audiology*, 24,1985, 3, 167-173.
14. Haughton, P. M., Pardoe, K.: A comparison of otoscopy and tympanometry in the diagnosis of middle ear effusion. *Clin. Phys. Physiol. Meas.* 3, 1982, 213-230.
15. Himelfarb, M., Popelka, G., & Shannon, E. (1979). Tympanometry in normal neonates. *Journal of Speech and Hearing Research*. 22, 1979, 179–191.

16. Hiroshi, W., Tashimitsu, K., Hisashi, T.: Diagnosis of middle ear disease with eardrum perforation by a newly Developed sweep frequency measuring apparatus. *Audiology* 31, 1992, 132-139.
17. Hložek, Z.: Stanovení spolehlivosti audiometrických vyšetřovacích metod pro předoperační diagnostiku otosklerózy. *ČS Otolaryng.* 41, 1992, 4, 224 - 231.
18. Hložek, Z.: *Základy audiologie – miniskripta*, Vydavatelství UP Olomouc 1995, IBSN 80-7067-498-9.
19. Hložek, Z.: Základy impedanční audiometrie a její uplatnění při vyšetření převodních nedoslýchavostí. *Choroby hlavy a krku*, 13, 2004, 3-4, 17-28.
20. Hložková, M., Hložek, Z.: Method of treatment of temporal bone for teaching and autoeducative purposes. *Acta Univ. Palacki. Olomuc.(Olomouc), Fac.Med* 1991, 131, 273-278,
21. Hložková, M., Hložek, Z.: Problematika získání a úpravy kosti spánkové pro studijní a výukové účely. *Čs. Otolaryng.*,41, 1992, 4, 243-247.
22. Hofman, V., Fajstavr, J.: Tympanometricke nalezky u otosklerózy. *Cs. Otolaryng.*,32, 1983, 5, 294-298.
23. Chüden, H.: *Impedanz-Hörprüfung*. München - Wien - Baltimore, Urban - Schwarzenberg 1978.
24. Jensen, PM., Lous, J.: Criteria, performance and diagnostic problems in diagnosing acute otitis media. *Fam. Pract.*16, 1999, 262-268.

25. Jerger, J., J. L. Northern: Clinical impedance audiometry, 2nd ed. Thieme, Stuttgart 1980.
26. Jerger, J., Jerger, S., and Mauldin, L.: Studies in impedance audiometry. I. Normal and sensori-neural ears. Arch. Otolaryngol. 96, 1972, 513-523.
27. Jerger, J.: Clinical experience with impedance audiometry. Arch. Otolaryngol. 92, 1970, 311-324.
28. Johansen, EC., Lildholdt, T., Damsbo, N., Eriksen, EW.: Tympanometry for diagnosis and treatment of otitis media in general practice. Fam. Pract. 17, 2000, 317-322.
29. Katz, J.: Handbook of clinical audiology, Williams & Wilkins, Baltimore 1994, ISBN 0-683-04548-2.
30. Kubát, M., Janisch, R.: Rotační trepan k bezpečné bilaterální separaci kochley. Čs. Otolaryng., 29, 1980, 6, 374-377.
31. Lazo-Saenz, JG., Galvan-Aguilera, AA., Martinez-Ordaz, VA., et al.: Eustachian tube dysfunction in allergic rhinitis. Otolaryngol. Head Neck Surg. 132, 2005, 626-629.
32. Lehnhardt, E., Laszig, R.: Praxis der Audiometrie. Thieme, Stuttgart 2001, ISBN 3-13-369008-6.
33. Lehnhardt, E., Praktische Audiometrie. Thieme, Stuttgart 1987, ISBN 3-13-369008-6.

34. Lidén, G., Peterson, J.L., Bjorkman, G. Tympanometry. Arch. Otolaryngol. 92, 1970, 248-257.
35. Linden, G.: The scope and application of current audiometric tests. J. Laryngology Otol. 83, 1969, 507-520.
36. Metz, O.: The acoustic impedance measured on normal and pathological ears. Acta. Otolaryngol. (Stockh) 1946, 63(Suppl).
37. Miler, G. W., Keit, R. W.: Hypermobility of the incudostapedial joint: a clinical entity? Laryngoscope, 89, 1979, 1943-1950.
38. Muchnik, C., Hildesheimer, M., Rubinshtein, M., Gleitman, Y.: Validity of tympanometry in cases of confirmed otosclerosis. J. Laryng., 1989, 103.
39. Onusko, E.: Tympanometry. Am. Fam. Physician. 70, 2004, 1713-1720.
40. Petráčková, V., Krauz, J. za kol. autorů: Akademický slovník cizích slov. Academia Praha 1998, ISBN 80-200-0607-9.
41. Profant, M., Kabátová, Z., Kuniak, B.: Poddajnosť blanky bubienka pri otoskleróze. Otorinolaryngl. 43, 1994, 1, 8-10.
42. Sedláček, K.: Pokroky v audiologii. Pokroky v Otolaryngologii. Praha, Avicenum 1970.
43. Semerák, A., Využití impedanční audiometrie v podmínkách okresního ORL oddělení. ČS Otolaryng. 27, 1978, 2, 85-92.
44. Sheehy, J. L., Hughes, R.L.: The ABC's of impedance audiometry. Laryngoscope St. Louis, 84, 1974, 1935-1949.

45. Silman, S. Silverman, C.: Auditory diagnosis, principles and applications. Academic press San Diego, Kalifornia, 1991. ISBN 0-12-643451-4.
46. Turek, L.: Jednoduchý nástroj k odebírání preparátů spánkové kosti z pitvaných těl. Čs. Otolaryng., 23, 1974, 4, 239-240.
47. Uzun, C., Caye-Thomasen, P., Andersen, J, et al.: Eustachian tube patency and function in tympanoplasty with cartilage palisades or fascia after cholesteatoma surgery. Otol. Neurotol. 25, 2004, 864-872.
48. Van Camp, J. K., Shanks, J. EL, Margolls, R. H.: Simulation of pathological high impedance tympanograms. J. Speech Hear, res., 29, 1986, 4, 505-514.
49. Van Camp, J. K., Vogeleeer, M.: Normative multifrequency tympanometric data on otosclerosis. Scand. Audiol., 15, 1986, 4, 187-190.
50. Wada, H., Kobayashi, T., Tachizaki, H.: Diagnosis of middle ear disease with eardrum perforation by a newly developed sweep frequency measuring apparatus. Audiology. 31, 1992, 3, 132-139.
51. Wada, H., Kobayashi, T.: Dynamical behavior of middle ear: Experimental study with artificial middle ear model. J. Otolar. Jpn. 90, 1987, 717-722.
52. Wiley, T. L., Fowler, C. G.: Acoustis immittance measures in clinical audiology : a primer. Singular Publishing Group, San Diego ISBN 156593-693-0.
53. Zwislocki J: Some impedance measurements on normál and patholog-ical ears. J Acoust Soc Am 29, 1957b, 1312-1317

54. Zwislocki J: Some measurements of the impedance at the eardrum. J Acoust Soc Am 29, 1957a, 9, 349-356.
55. Žemlička - vývoj a výroba implantátů, Katalog výrobků, 2005

8 SOUHRN

Cíl: Pokusit se vysvětlit některé tympanometrické nálezy. Sledovat vliv velikosti uzavřeného prostoru za bubínkem na hodnotu compliance. Pokusit se určit ovlivnění compliance bubínkem, řetězem kůstek a uzavřeným prostorem za bubínkem.

Metody: Na mechanickém modelu vnějšího a středního ucha podle vlastního návrhu byl sledován vliv uzavřeného prostoru na hodnotu compliance. Na kadaverech byla sledována změna compliance po disjunkci incudo-stapediální kloubu, po incudiální dislokaci nebo extrakci a vliv zvětšení prostoru za bubínkem.

Výsledky: Tympanometrické křivky získané na navrženém modelu tvarem i velikostí odpovídaly křivkám získaným u pacientů. Velikost compliance v závislosti na velikosti uzavřeného prostoru za bubínkem na modelu rostla lineárně. Malý objem za bubínkem způsobil podobné změny na tympanometrické křivce jaké způsobuje tekutina za bubínkem. Přerušení řetězu středoušních kůstek na kadaverech způsobilo menší změny, než jsme očekávali. Z měření na 22 preparátech rozrušení incudo stapediálního kloubu způsobilo vzestup compliance přes normální hodnotu compliance (dle limitů doporučených American Speech-Language-Hearing Association) pouze u dvou preparátů.

Závěr: Výsledky této studie ukazují, že nejvíc hodnotu compliance určuje mechanický stav bubínku a uzavřený prostor za bubínkem. Complianci relativně nejméně ovlivňuje stav řetězu středoušních kůstek. Malá středoušní dutina nebo atrofická jizva na bubínku tak mohou způsobit atypické tympanometrické nálezy.

Klíčová slova: Compliance, tympanometry kadavery, model středního ucha, středoušní kůstky, disjunkce,

9 SUMMARY

Experimental measurement of the effect of total middle ear volume on ear-drum compliance

Objectives: Explanation of some tympanometric findings. Correlation of the volume of a retrotympanic space with the compliance value. Determination of the extent, in which the tympanic membrane, ossicular chain and the volume of a retrotympanic space influence the compliance value.

Methods: On a mechanical external-middle ear model, the influence of a closed space on the compliance value was tested. In addition to that, the relationship between the compliance change and incudostapedial disjunction, removal or dislocation of the incus as well as retrotympanic space increase was established on 22 cadaverous temporal bones.

Results: Experimental tympanometry curves were analogous to those gained in patients with physiological and various pathological middle ear conditions. In the experimental model, a linear increase of the compliance with the enlarging retrotympanic space was recorded. Small retrotympanic volume resulted in tympanometry changes analogous to those associated with a retrotympanic fluid accumulation. Any interruption of the ossicular chain caused minor changes of the tympanometry curves. The compliance increase after the incudostapedial joint interruption on cadaverous models was higher than physiological compliance values (according to the American Speech-Language-Hearing Association) in only two cases.

Conclusions: Our results demonstrate, that physical qualities of the tympanic membrane and retrotympanic space volume are two major factors, determining the compliance value. The latter is relatively very little influenced by the status of the ossicular chain. Small tympanic cavity or an atrophic tympanic membrane may therefore cause atypical tympanometry curves.

Key words: complianc, tympanometry, cadaver, middle ear model, middle ear bones, disjunction

10 SEZNAM PUBLIKACÍ:

10.1 PUBLIKOVANÁ ABSTRAKTA K TÉMATU:

1. Hložek, Z., Klačanský, J., Ivanič, I.: Tympanometrické nálezy na modelových situacích na kadaverech. *Novinky ve foniatрии 2002*; Galén; 100-101; 2002; ISBN 80-7262-188-2
2. Hitari F., Klačanský, J., Novotný, R., Hložek, Z., Sedláková-Prošková, M.: Morfológické vlastnosti chrupky ušnice s ohľadom na jej využitie v rekonštrukcii stredného ucha.
3. Hložek, Z., Klačanský, J., Sedláková-Prošková, M., Hitari F., M Novotný, R., Kincl, J.: Chrupkové myringoplastiky – funkčné výsledky. 51. kongres SSO, 3. Česko-Slovenský otoneurologický kongres 2. – 4. 9. 2004 Tatranská Lomnica, Stará Lesná.
4. Klačanský, J., Hložek, Z., Hitari F., Sedláková-Prošková, M., M Novotný, R., Chrapková P.: Chrupkové myringoplastiky. 51. kongres SSO, 3. Česko-Slovenský otoneurologický kongres 2. – 4. 9. 2004 Tatranská Lomnica, Stará Lesná.

10.2 PUBLIKOVANÁ ABSTRAKTA MIMO TÉMA:

5. Hubáček, J., Černá, I., Hložek, Z.: Ovlivnění růstu některých mikrobů He-Ne laserem v otorhinolaryngologii. *Sborník Využití laseru v lékařství*, s. 46-48. Olomouc 1982
6. Hubáček, J., Hložek, Z., Pucek, I., Navrátil, J.: Zkušenosti s He-Ne laserem v otorhinolaryngologii. *Sborník: Využití laseru v lékařství*, str. 49-51. Olomouc 1982
7. Hubáček, J., Pospíšilová, J., Hložek, Z.: Einfluss des Ne-He Lasers auf Wundheilung. *Sborník Laser 85*, Mnichov, s. 97, 1985
8. Hložek, Z.: Přínos audiologie pro neurootologickou diagnostiku, I. česko-slovenský neurootologický den (sborník přednášek); *Vesmír*; 40-44; 2002; ISBN 80-85977-44-3
9. Hložek, Z., Kantor, L., Vránová, I.: Skrining sluchu u rizikových dětí ve FN Olomouc, 17. dětský otorhinolaryngologický kongres a 3. Česko-slovenský foniatrický kongres 8. – 10. 9. 2005
10. Klačanský, J., Hitari, F., Hložek, Z., Novotný R.: Tak ako je to s tými chrupkami? *Kniha súhrnov 53*, Kongres SSO, Bánská Bystrica, 7. – 9. 10. 2006.

10.2.1 PŘEDNÁŠKY A PLAKÁTOVÁ SDĚLENÍ K TÉMATU:

1. Hložek, Z., Klačanský, J., Ivanič, I.: Tympanometrické nálezy na modelových situacích na kadaverech. XIII. celostátní foniatrický dny E. Sedláčková s mezinárodní účastí, Praha 24.-26. 10. 2002
2. Hložek, Z., Klačanský, J.: Audiometrie při chirurgii středního ucha VII. demonstrační kurz chirurgie středního ucha a disekce spánkové kosti. 15.-17. 2.2003
3. Hložek, Z., , Klačanský, J., Kutal, J., Ivanič, I.: Tympanometrické nálezy modelových situacích na kadaverech, seminář olomoucké otolaryngologické odpoledne 26.2.2003 Olomouc
4. Hložek, Z., Klačanský, J.: Audiologické nálezy po chrupavkových myringoplastikách 44. otologický den, Praha, 2.12.2004
5. Hložek, Z., Klačanský, J.: Audiologické nálezy po chrupavkových myringoplastikách. 13. kurz chirurgie středního ucha a disekce spánkové kosti.
6. Hložek, Z., Klačanský, J.: Audiologické nálezy po chrupavkových myringoplastikách. Olomoucké otorinolaryngologické odpoledne 3xO 28.4.2004
7. Hložek, Z. (lektor), Klačanský, J. (lektor), Hrnčířiková, D., Kohoutková, L.: Úloha audiometrie při chirurgii ucha, III. Demonstrační kurz chirurgie středního ucha a disekce spánkové kosti, Klinika otolaryngologie a chirurgie hlavy a krku, Ústřední vojenská nemocnice v Ružomberku, 21. 1. 2005
8. Hložek, Z.: Interpretace předoperačních tympanometrických nálezů. 14. kurz chirurgie středního ucha a disekce spánkové kosti. 26. – 28. dubna 2006
9. Hložek, Z., Klačanský, J., Sedláčková, M., Hitari, F., Novotný, R., Kincl, J.: Tympanometrické nálezy po chrupavkových myringoplastikách. Ušní kurz a disekce spánkové kosti, Olomouc, 2005.

10.2.2 PŘEDNÁŠKY A PLAKÁTOVÁ SDĚLENÍ MIMO TÉMA:

10. Hložek, Z.: Přínos audiologie pro neurootologickou diagnostiku, I. česko-slovenský neurootologický den 14. listopadu 2002, Kongresové centrum Brno
11. Hložek, Z., Hrnčířiková, D., Kohoutková, L.: Možnosti otoakustických emisí při audiologické diagnostice, 3xO – 23.3.2005
12. Hložek, Z., Kantor, L., Vránová, I.: Skrínigové vyšetření sluchu u rizikových novorozenců, 8. pracovní schůzka neonatologů Olomouckého kraje 19.5.05
13. Hložek, Z., Kantor, L., Vránová, I.: Skrínig sluchu u rizikových dětí ve FN Olomouc, 17. dětský otorinolaryngologický kongres a 3. Česko-slovenský foniatrický kongres 8. – 10. 9.2005 Piešťany

14. Klačanský, J., Hložek, Z.: Poznámky k chirurgickej liečbe atrézií vonkajšieho zvukovodu VII. demonštračný kurz chirurgie stredného ucha a disekcie spánkovej kosti. 15.-17. 2.2003
15. Klačanský, J., Hložek, Z.: Chirurgická liečba otosklerózy, VII. demonštračný kurz chirurgie stredného ucha a disekcie spánkovej kosti. 15.-17. 2.2003
16. Hubáček, J., Hložek, Z., Holibková A., Kolář, M., Petrová, Z.: Akutní epiglotitidy u dospělých, seminář olomoucké otolaryngologické odpoledne 26.2.2003 Olomouc
17. Klačanský, J., Hložek, Z.: Piston „To be or not to be“ 12. kurz chirurgie středního ucha a díekce spánkové kosti s mezinárodní účastí, 24. – 26. 9. 2003
18. Klačanský, J., Hložek, Z.: Otoskleróza, jak dál ? 43. otologický a kofochirurgický den 4.12.2003
19. Klačanský, J., Hložek, Z., Hitari, F., Prošková, M.: Jako je to vlastně s tými chrupavkami ...? Olomoucké otolaryngologické odpoledne 26. dubna 2006.
20. Hubáček, J., Janík, I., Hložek, Z.: CO₂ laser v ORL – historie současnost. Kongresová laserová asociace, Brno 5 a 6. 12. 2002

10.3 PŮVODNÍ VĚDECKÁ PUBLIKACE ČASOPIS BEZ IF K TÉMATU:

1. Hložek, Z., Navrátil, J., Ševčíková, L.: Srovnání výsledků vyšetření vodní sondou a tympanometrií u převodních nedoslýchavostí. Čs Otolaryng. 37, 1988, 345-348
2. Hložková, M., Hložek, Z.: METHOD OF TREATMENT OF TEMPORAL BONE FOR TEACHING AND AUTOEDUCATIVE PURPOSES Acta Univ. Palacki. Olomuc.(Olomouc), Fac.Med. 1991, 131, 273-278.
3. Hložková, M., Hložek, Z.: Problematika získání a úpravy kosti spánkové pro studijní a výukové účely. Čs. Otolaryng. 1992, 41, 4, 243-247.
4. Hložek, Z.: Základy impedanční audiometrie a její uplatnění při vyšetření převodních nedoslýchavostí. Choroby hlavy a krku, 2004, 13, 3-4, 17-28.

10.4 PŮVODNÍ VĚDECKÁ PUBLIKACE ČASOPIS BEZ IF MIMO TÉMA:

5. Polcrová, A., Hložek, Z.: Maligní nádory velkých slinných žláz. ČS Otolaryng. 1981, 30, 132-137.
6. Hložek, Z., Navrátil, J.: Neuromuskulární stimulátor. Čs. Otolaryng. 1983, 32, 247-248.
7. Hložek, Z., Navrátil, J., Ditmarová, J.: Experimentální dráždění vestibulárního aparátu teplým vzduchem. Čs. Otolaryng. 1984, 33, 79-83.

8. Hubáček, J., Hložek, Z., Pucek, I.: Zkušenosti s He-Ne laserem v otorhinolaryngologii. Čs. Otolaryng. 1984, 33, 135-140.
9. Polcrová, A., Navrátil, J., Hložek, Z., Jezdinský, J.: Elektroakupunktura u euralgií I. a II. větve trigeminu. Čs. Otolaryng. 1984, 33, 330-332.
10. Hložek, Z., Navrátil, J., Dvořáková, J.: Endoskopie a fotodokumentace nosohltanu a hrtanu u dětí. Čs. Otolaryng. 1985, 34, 55-58.
11. Jelínek, R., Kučera, J., Hložek, Z.: Endoskopie čelistních dutin. Čs. Otolaryng. 1985, 34, 79-82, 1985.
12. Hložek, Z.: Stanovení spolehlivosti audiometrických vyšetřovacích metod pro předoperační diagnostiku otosklerózy. Čs. Otolaryng., 1992, 41, 4, s. 224-231.
13. Hubáček, J., Uvízl, M., Hložek, Z.: Zkušenosti s léčbou aftózní stomatitidy a herpes labialis zářením NE-Ne laseru. Čs Otolaryng., 1992, 41, 5, 276-280.
14. Hložek, Z.: Základy audiologie – miniskripta, Vydavatelství UP Olomouc 1995, IBSN 80-7067-498-9,
15. Klačanský, J., Sedláková, Hložek, Z., Chrapková, P., M., Hitari F.: Anatomické výsledky myringoplastik. Choroby hlavy a krku, 2004, 13, 3-4, 39-43.
16. Klačanský J., Sedláková, M., Hitari, F., Hložek, Z., Chrapková, P.: Chirurgická léčba otosklerózy – revize po stapedoplastikách. Choroby hlavy a krku, 2004, 13, 3-4, 39-42.
17. Hitari F., Klačanský J., Novotný R., Hložek Z., Sedláková – Prošková, M., Chrapková, P.: Posttransplatické zmeny elastickej chrupky. Choroby hlavy a krku, 2004, 13, 3-4, 46-49.
18. Janík, I., Stárek, I., Hložek, Z., Hubáček, J., Novotný, R., Dvořáčková, J.: Histomorfological transformation of the auricular cartilage after carbon dioxide laser-assisted Mustardé otoplasty, Lasers Med Sci 2008, in print.

11 PODĚKOVÁNÍ

Především bych chtěl poděkovat odbornému asistentovi Janu Širokému, CSc., který vzbudil můj zájem o audiologii ještě během studií na lékařské fakultě a audiologické sestře Ludmile Ševčíkové, která stála při mých audiologických začátcích.

Dále bych chtěl poděkovat Prof. MUDr. Jiřímu Hubáčkovi, DrSc., který mi umožnil plně se této oblasti věnovat. Za jeho vedení se postupně podařilo přístrojově, personálně a prostorově dohnat patnáctileté zpoždění, které po odchodu asistenta Širokého na klinice vzniklo.

Další poděkování patří mým školitelům Prof. MUDr. Juraji Klačanskému, CSc. a Prof. MUDr. Ivovi Stárkovi, CSc., za odborné vedení při tvorbě této práce a za cenné rady a připomínky při zpracovávání tématu.

Dále bych chtěl poděkovat panu Žemličkovi, který stál při návrhu a realizaci prvního mechanického modelu ucha (v práci nebyl použit) a panu Pruckovi pracovníkovi mechanické dílny LF UP Olomouc za realizaci konečné podoby modelů.

Poděkování patří i pracovníkům anatomického ústavu LF UP Olomouc, jmenovitě Ing. Jozefu Ivaničovi za odběr sekčního materiálu pro druhou část práce a RNDr. Milanu Elfmarkovi z katedry biomechaniky a technické kybernetiky Fakulty tělesné kultury UP Olomouc za statistické zpracování získaných dat.