

Egy nyolcéves gyermek énekelt és beszélt magánhangzóinak akusztikai jellemzői. Esettanulmány

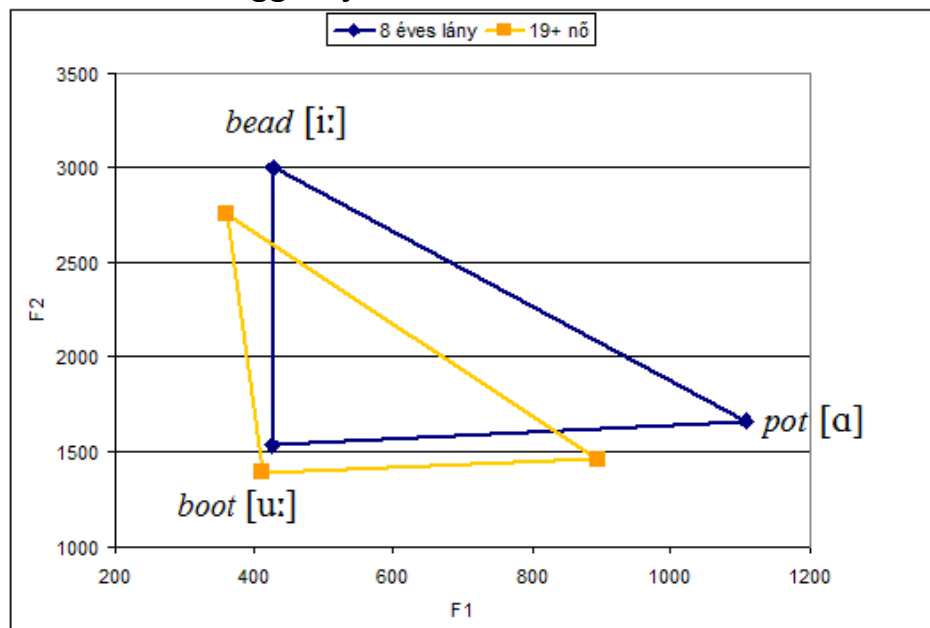
The differences between adults and children in speaking voice are well known for many languages, while the analysis of adults' singing voice still has to answer many questions. However, only a few studies are available so far (with a limited amount of information) on changes of Hungarian vowels as a function of age and on the acoustic analysis of singing voice. In addition, the (acoustic) analysis of the sung vowels of children is under-researched not only for Hungarian, but for other languages as well. The present study investigates the spoken and sung versions of an 8-year-old girl's vowels (*i*, *á*, *ú*) in the sequence *IV* and in three folk songs by measuring the formant frequencies appearing in LPC spectral envelope between $F3/f$ (175 Hz) and $F5/f'$ (698 Hz). Our results suggest that no vowel centralization appears as a function of pitch, which seems to be one of the main differences between adult (trained) singers' and young (non-expert/advanced) singers' sung vowels. The data also lead to many new questions (e.g. in the topic of children's vocal efficiency, and vowel-quality production in singing).

1. Bevezetés

Köztudott, hogy a gyermekek beszédhangja jelentősen különbözik a felnőttekétől, hiszen beszédképző szerveik még hatalmas fejlődés előtt állnak. Ugyanakkor míg a felnőttek énekprodukciónak az utóbbi évtizedekben több külföldi és néhány magyar kutatás is vizsgálta, addig a gyermekek énekhangjával kapcsolatban alig vannak jól dokumentált akusztikai kutatások. Mindeközben magyar nyelven még nem áll rendelkezésre a gyermekek beszédhangjának korcsoportonkénti szisztematikus akusztikai elemzése sem, hiszen az eddig közölt akusztikai adatokkal is szolgáló kutatások (Gósy, 1981; 1984; van der Stelt et al., 2005) csak korlátozott életkori szegmensekkel kapcsolatos adatokat tartalmaznak (hároméves korig). Így bár a jelen dolgozat elsődleges célja a gyermekek énekelt magánhangzóinak vizsgálata, a beszélt hangok jellemzőivel kapcsolatban is (új) eredményekkel szolgál.

A gyermekek beszédhangja nagymértékben eltér a felnőttekétől, elsősorban az eltérő testméretek miatt. A kisebb testmagasság következtében rövidebb toldalékcső a magánhangzók létrehozásakor magasabb formánsértékeket (F_1 , F_2 stb.) produkál (Fant, 1975; Nordström, 1975; Gósy, 1984; Huber, 1999; Lee et al. 1999). A formánsok a zöngé felhangjaiból (h_1 , h_2 , h_3 stb.) a toldalékcső sajátrezonanciái (R_1 , R_2 stb.) által felerősített nyálábok, melyek akusztikailag jellemzik a magánhangzó-minőséget, az első két formáns pedig egyértelműen meg is határozza az adott magánhangzót (részletesebben l. Gósy, 2004). A gyermekek ejtésében (részben a magas formánsfrekvenciák következtében) nagyobb az akusztikai magánhangzóter is, azaz nagyobb mértékű a magánhangzók elkülönülése (a formánsértékek mentén) (Lee et al., 1999, Vorperian – Kent, 2007). Az akusztikai magánhangzóteret a hangok első két

formánsértékének koordinátaival ábrázolt pontok által bezárt tér adja, melynek legtávolabb eső pontjai a magyarban az *í*, *á*, *ú* vokálisok. Az 1. ábra egy amerikai angol kísérlet adatait szemlélteti az akusztikai magánhangzótér változásáról az életkor függvényében.



1. ábra: A magánhangzótér változása amerikai angol anyanyelvű női beszélőknél. A háromszögek csúcspontjaiban a kísérlet során rögzített hangsorok szerepelnek, mellettük zárójelben a vokális IPA átírásban (Lee et al., 1999)

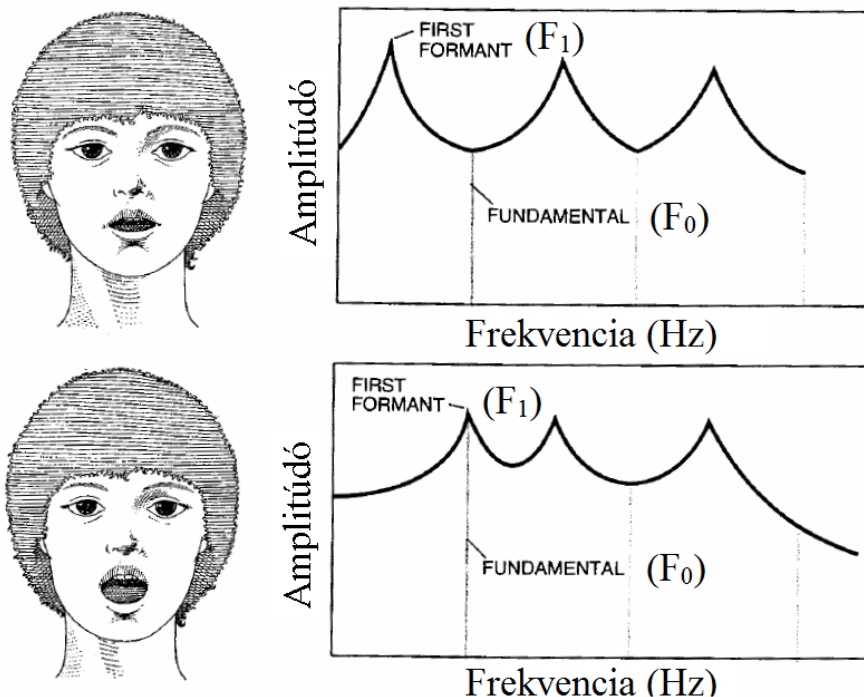
A puhább szövetű, rugalmasabb és egyben kisebb gégeben a hangszalagok is rövidebbek: a hangszalagok mérete a születéskor 4-8 mm, míg a felnőtt nők esetében közel 21 mm, a férfiaknál körülbelül 29 mm (Welch – Howard, 2002), tehát a felnőtt méretek elérése előtt jelentős változáson esnek át. A rövid szalagok következtében pedig a gyermek alaphangja (F_0) is magasabb a felnőtt beszélőnél (I. Nordström 1975, Lee et al., 1999). Ám nem csak a toldalékcső méretei, hanem az alakja is eltérő lehet az életkorban és fejlettségben különböző beszélők között (Nordström, 1975; 1977). Az eltérő méreteket és arányokat szemlélteti a 2. ábra.



2. ábra: Keresztmetszeti MRI felvétel egy 4 éves lány (balra) és egy 54 éves férfi (jobbra) toldalékcsővéről (a toldalékcső hosszának méréséhez berajzolt vonalakkal) (Vorperian – Kent, 2007)

A gyermek fejlődésével és fiziológiai növekedésével együtt a beszédprodukciónak és annak akusztikai vetületének is változik. Általános tendencia, hogy a hangszalagok és a toldalékcső növekedése miatt az F_0 és a formánsok értéke csökken, illetve szűkebb lesz az akusztikai magánhangzótér is (Eguchi – Hirsch, 1969; Lee et al., 1999; Vorperian – Kent 2007). Ám a fiúk és lányok növekedése különböző ütemben és mértékben következik be, így egy adott életkortól fogva szignifikáns különbségek jelentkeznek a nemek között a beszédakusztikai jellemzőkben is. Amerikai angol adatok alapján az alaphang magassága és csökkenésének tendenciája 12, míg a beszélő fizikai adottságaira is jobban jellemző F_2 és F_3 mintázatai 11 éves korban különülnek el nemek szerint (Lee et al., 1999). A magyar nyelvre eddig még nem végeztek longitudinális vizsgálatokat, ám az eddigi, fiatalabb korcsoportra vonatkozó eredmények (Gósy, 1981; 1984; van der Stelt et al., 2005) egybevágnak a nemzetközi adatokkal. Nyolcéves korban a gyermekek beszédhangjaira még nem a felnőtt formánsfrekvencia-értékek jellemzőek, ezeket a lányok körülbelül 14, a fiúk csak 15 éves korban érik el (Lee et al., 1999). Azt viszont bizonyosan tudjuk, hogy a 8. életévben már kialakult a magánhangzórendszer, tehát a gyermek rendelkezik az anyanyelvének artikulációs bázisában szereplő összes hanggal (Gósy, 2005).

Az éneklés mint produkciós technika sok szempontból eltér a beszédétől. (Az éneklés akusztikai viselkedéséről több fizikai-akusztikai leírást is láthatunk [vö. pl. Tarnóczy, 1982], a jelen tanulmányban azonban az éneklés artikulációjának a beszédhangokra gyakorolt hatását vizsgáljuk). Az éneklés F_0 -tartománya nagyobb, az énekesek (főként pedig a magasabb hangosztályok, azaz a szopránok és tenorok) többnyire magasabb alaphangon ejtik a beszédhangokat, mint a beszéd átlagos alaphangmagassága. Ennek következtében a hang összetétele is megváltozik: felhangszerkezete „ritkább” lesz. A magas F_0 az $F_0 > F_1$ helyzetben további változásokat is okoz, hiszen az énekes nem tudja kihasználni az impedanciát, amely az éneklés során az intenzitásnövekedést segíti (l. Wolfe et al., 2009), így csökken a hang intenzitása (3. ábra, fent), másrészt nem képes az F_1 -et az eredeti, a magánhangzó-minőség szempontjából meghatározó frekvenciaértéken realizálni. Ekkor az intenzív és szép hangszínezetű hang eléréséhez az énekes hangolási technikákkal, elsősorban az F_1 -et kialakító R_1 hangolással ($F_1 : F_0$) élhet (3. ábra, lent): arra törekszik, hogy azt az F_0 -ra emelje (Sundberg, 1977; Garnier et al., 2010), akképpen, hogy növeli állkapcsa nyitásszögét a magánhangzók artikulálásakor.



3. ábra: Az F_1 és F_0 intenzitása az $F_0 > F_1$ helyzetben hangolás nélkül (fent), és az F_1 (vagy R_1) hangolása (az állkapocsnyitás növelésével) az $F_0 > F_1$ helyzetben (lent) (Sundberg, 1989)

Az alaphang intenzitásának és magasságának növeléséhez megváltozott artikuláció az ejtett magánhangzó-minőségekre is hatással van, hiszen éppen az egyik legfontosabb, a hangzóminőséget alakító formáns változik (az állkapocs nyitásszöge és a nyelvállásfok módosult artikulációs mozgásai által). Az eddigi kutatások azt bizonyították, hogy a magánhangzóejtés az F_0 emelésével egyre nehezebbé válik, ugyanis az akusztikai magánhangzótér magas alaphangokon egyre jobban szűkül, a hangzórealizációk variabilitása egyre kisebb lesz. A centralizáció hatására mind a produkcióban (Bloothoft – Plomp, 1984; Joliveau et al., 2004; Millhouse – Clermont, 2007, Deme, 2011; Grácsi – Deme, 2011), mind a percepcióban (Scotto di Carlo – Germain, 1985; Millhouse – Clermont, 2007; Deme, 2011) nehezebb lesz a vokálisok differenciálása.

Egy akusztikai törvényszerűség hatására a toldalékcső képes aerodinamikai energiát tárolni, és akusztikai energia formájában visszajuttatni a hangszalagokhoz, így segítve azok rezgését. A jelenség további akusztikai különbségeket okoz az ének és a beszéd között, hiszen felerősíti a spektrum felső tartományát (Sundberg, 1989; Titze, 2004). Ezt az énekes a toldalékcső szűkítésével éri el.

A gyermekek énekhanga a szakirodalomban igen korlátozott mértékben és csak kevés vizsgálati szempontot előtérbe helyezve jelenik meg, ugyanis szinte kizárólag a fiú és lány hangok különbségének kutatása zajlik. Ezen belül is főként a perceptuális elkülöníthetőség kérdését tárgyalják (l. Welch – Howard, 2002; Sergeant et al., 2005; Rinta – Welch, 2009), mely néhol akusztikai paraméterek vizsgálatán is alapul (Mecke – Sundberg, 2010). A kutatások korlátozottságának oka egyébként nagyon egyszerű: a vizsgálatokat ugyanis

legtöbb esetben az motiválta, hogy egyesek bizonyítani, mások cáfolni kívánták, hogy az egykor csak fiúkat szerepeltető (angolszász) templomi kórusok „felhígulása” (az a fejlemény, hogy azok már lányokat is befogadnak), lerontja a kórushangzást (Welch – Howard, 2002). A jelen cikk szerzőjének tudomása szerint jelenleg csak egyetlen olyan szakirodalmi forrás áll rendelkezésre (White, 1999), mely a gyermekek énekelve ejtett magánhangzóinak spektrumát elemzi. E tanulmány viszont nem vizsgálja a formánszerkezet változását az F_0 függvényében, így nem ad képet arról, megjelennek-e a felnőtteknél megfigyelhető, az éneklésre jellemző tendenciák. Izgalmas kérdéseket vet fel továbbá egy 19. század végi könyv, mely egy énektanár tapasztalatait összegzi a gyermek és felnőtt énekhang különbségeiről (Howard 1898). Számos ott megfogalmazott (a gyakorlati tanítás során lejegyzett) megállapítást mára tudományos kutatások során validáltak, ám a szöveg egyes állításainak kísérleti úton történő ellenőrzése a mai napig nem történt meg. Ilyenek a gyermekek hangregisztereire vagy hangtartományára vonatkozó megfigyelések is. Howard (1898) szerint nagy problémát jelent, hogy az énektankönyvek szerzői általában olyan regiszterben és tartományban kottázzák le a tanítandó műveket, mely a felnőtt női alt hangkategória regiszteri és hangterjedelmi lehetőségeit tükrözi, és nem a gyermekhang képességeihez igazodik. Ennek az idézett szerző szerint egyértelmű oka van: a tananyagot kialakító tanárok, zenészek a hangmagassági, hangszínezeti hasonlóságból kiindulva azonosnak tekintik a kétféle (gyermeki és felnőtt női alt) énekhangot és paramétereiket, azaz nem veszik figyelembe a hangterjedelmi különbségeket, illetve a beszédképző szervek eltérő méreteit és fejlettségi fokát, amelyekre viszont gyakorló tanárok egyértelmű bizonyítékokat látnak a tanítás során.

A szakirodalom és az ott nem tisztázott problémakörök alapján a jelen kutatásunkhoz a következő kérdéseket fogalmaztuk meg: 1. Hogyan realizálódnak a magánhangzók egy magyar nyelvű gyermek beszédejtésében? Valóban magasabb formánsértékek és nagyobb akusztikai magánhangzótér jellemző a gyermekhangra, mint a felnőttre? 2. Hogyan realizálódnak a magánhangzók a gyermek énekejtésében? Az éneklés során is magasabb formánsértékek és nagyobb akusztikai magánhangzótér jellemző? Vagy megjelennek a felnőtt éneklés során tapasztalható tendenciák (centralizáció)? 3. Hogyan tér el a gyermek énekhangja a (képzett) felnőtt énekhangtól? Milyen artikulációs és akusztikai különbségek figyelhetők meg? 4. Hogyan alakul a gyermek énekhangjának hangterjedelme?

Hipotéziseink szerint 1. a gyermekek akusztikai magánhangzótere a beszédben nagyobb, formánsértékei magasabbak, mint a felnőtt beszélőké, 2. az éneklés során viszont e magánhangzótér a felnőtt beszélőkhöz hasonló módon centralizálódik (különösen $F_0 > F_1$ esetén), ám a magas F_1 és F_2 -nek köszönhetően attól eltérő mértékben. Feltételezzük továbbá, hogy 3. a gyermek éneklés során ejtett magánhangzói a formánsértéken túl további akusztikai különbségeket is mutatnak a felnőtt énekelt ejtésű magánhangzókhoz képest (pl.

a spektrális eloszlásban), illetve hogy 4. a gyermek énekhangjának hangterjedelme nem vág egybe maradéktalanul a női alt hangkategória hangterjedelmével.

2. Anyag, módszer, kísérleti személy

A hipotézisek vizsgálatára tervezett kísérletben egy nyolcéves lánygyermek beszélve és énekelve ejtett magánhangzóinak (*á, í, ú*) elemzését végeztük el. A gyermek korosztályában zeneileg képzettnek számít, a rendszeres zeneiskolai zongora- és szolfézsórák mellett énekhangjának fejlettségét igazolja az is, hogy már több alkalommal eredményesen szerepelt népdaléneklési versenyeken.

A beszédprodukciónak vizsgálatához kitartott, *IV* szerkezetű jelentés nélküli hangsorokat (logatomokat) és népdalok (*Csipkefa, Este van már, Szegény legény*) szövegeit rögzítettük beszédejtésben. A logatomokban szereplő magánhangzók a magyar köznyelvi *á, í, ú* hangok voltak, melyek a magánhangzótér szélső pontjait képezik a magyar nyelv artikulációs bázisában. A jelen kutatásban a népdalok esetében is ennek a három magánhangzó-minőségnek az előfordulásait vizsgáltuk (a dalokban összesen 86, a logatomokban 12 darab magánhangzót).

Az énekhang elemzéséhez szintén a *lá, lí, lú* hangsorokat rögzítettük skálamenetben, két oktáv terjedelemben a kis *f* (= 175 Hz) és kétvonalas *f* (= 698 Hz) zenei hangok között. A pontos intonációt elősegítendő a rögzítés előtt a skála hangjain szóló szinuszhangok sorozatát juttattuk fülhallgatón a gyermek fülébe, majd a kezdőhang ismétlése után a hallott hangsorozat imitálására kértük a megadott logatommal. A második feladat a három népdal eléneklése volt, itt viszont már nem adtunk meg kezdőhangot, így azokat a gyermek a neki kényelmes fekvésben és alaphangon indíthatta. Összesen 97 darab, logatomban rögzített és 86 darab, népdalban rögzített, énekelve ejtett magánhangzót vizsgáltunk.

A dalokat és logatomokat egy korábbi kísérlet során egy harmincéves profi szoprán énekessel is rögzítettük, beszélt és énekelt ejtésben (Grácsi – Deme, 2011) ugyanezen felvételi körülmények között. A női énekhang életkor és képzettség paraméterek mentén történő vizsgálatát e korábbi anyag felhasználásával végeztük.

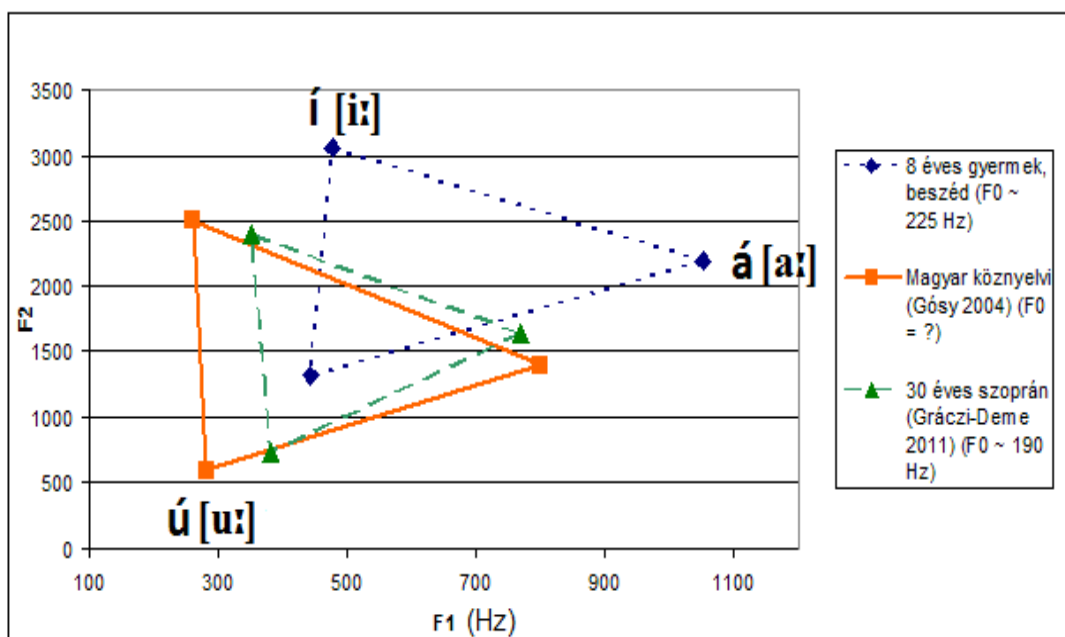
A hangrögzítést csendesített szobában végeztük AT 4040 típusú mikrofonnal, 24 kHz-es mintavételezési frekvencián, 16 biten, M-Audio Fasttrack Pro típusú külső hangkártya segítségével. Az akusztikai elemzés során a felvett magánhangzók első két formánsának (F_1 , F_2) frekvenciaértékét mértük (a magánhangzó-időtartam 50%-ánál elhelyezett mérőpontban, LPC analízis segítségével) a Praat 5.1 (Boersma – Weenink, 2009) és a Wavesurfer 1.8.8 (Sjölander – Beskow, 2009) szoftverek segítségével. A statisztikai elemzéshez az SPSS 14.0 programot használtuk.

Itt említjük meg az énekhang mérésével kapcsolatos nehézségeket is, hiszen eredményeink értelmezéséhez fontos adalékul szolgálnak. A gyermek énekhangja esetében sajátos spektrális eloszlást tapasztaltunk: ugyanis az első három felharmonikus intenzitása az F_0 -lal közel megegyező volt, tehát sokkal magasabb, mint azt a felnőtt énekhangnál tapasztaltuk. Ennek következtében az F_1 értékek mérése problematikus vált: a h_1 , h_2 , h_3 az F_0 -lal szinte megegyező intenzitása miatt nem minden helyzetben volt egyértelműen eldönthető, hogy a spektrum burkológörbéjének alsó tartományán mely csúcs jelöli az F_1 helyét, tehát milyen frekvenciaértéket vesz fel az F_1 -et kialakító üregi sajátrezonancia, az R_1 . A megemelt F_0 intenzitásának megmaradása bizonyítja ugyan, hogy van valamilyen hangolási jelenség, ám a szájüreget elhagyó akusztikai jel LPC analízise (ebben a helyzetben) önmagában nem elegendő arra, hogy eldönthessük, hogy az F_1 (azaz R_1) az F_0 -ra, vagy valamely felharmonikusra (h_1 , h_2) hangolódik-e (vö. 10. ábra). Az énekléshez hasonló szélsőséges beszédprodukciós technikák mérés technikai nehézségeinek kiküszöbölése már több alternatív hangrögzítési és hangelemzési metódus kikísérletezésére sarkallta a kutatókat, ám teljes mértékben kielégítő megoldás, legjobb tudásunk szerint, még a mai napig nem született (az eddigi metodológiai lehetőségek összegzését lásd Wolfe et al., 2009). A jelen kutatásban (Sundberg 1968-as és 1969-es munkájához hasonlóan) FFT analízis segítségével igyekeztünk pontosítani a kérdéses F_1 értékek mérését, azaz figyelembe vettük, hogy a burkológörbe F-csúcsai közötti összetevők is utalnak a valódi pólus helyére. Ennek ellenére adataink feltétlenül a mérési technikát (és annak korlátait) figyelembe véve kezelendők.

3. Eredmények

3.1. A beszélve ejtett magánhangzók akusztikai elemzése

Az első fázisban a beszélve ejtett hangzókat elemeztük. Az első két formáns értékével ábrázolt hangok által bezárt akusztikai teret szemlélteti a 4. ábra.

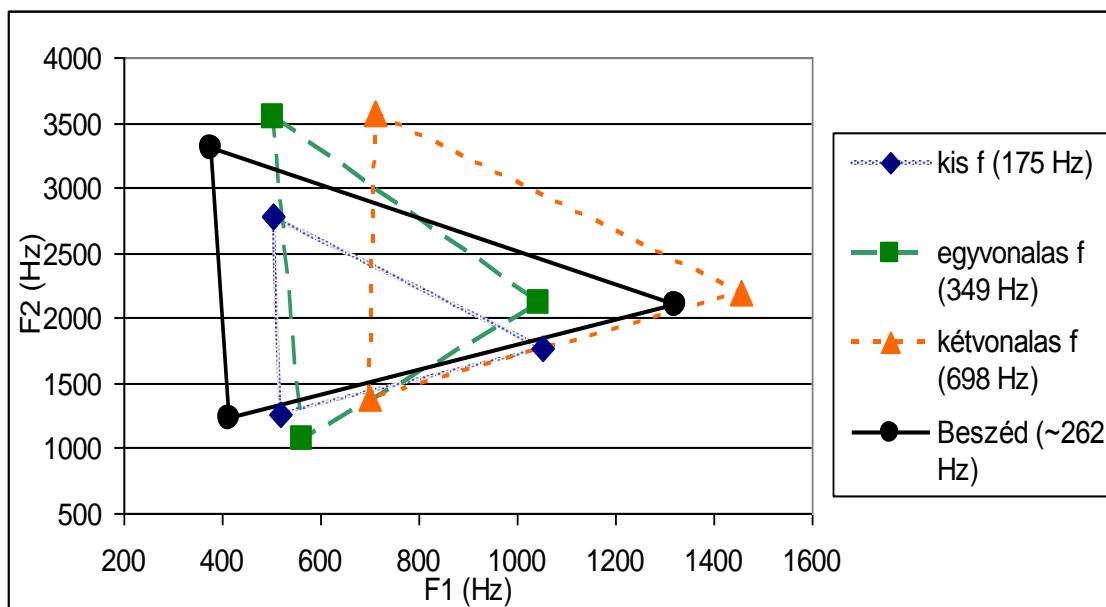


4. ábra: Az akusztikai magánhangzótér a beszédben. A gyermek beszédejtésének eredményei összevetve a felnőtt magyar köznyelvi adatokkal, és egy 30 éves profi szoprán énekes ejtésével

A 4. ábrán a gyermek beszédhangjainak realizációján kívül a magyar köznyelvi magánhangzók felnőtt nőknél és férfiaknál mért átlagértékei (Gósy, 2004) és egy harmincéves profi szoprán beszédejtésében mért formánsértékei (Grácsi – Deme, 2011) is láthatók. Az eredményeket összevetettük a már korábban idézett longitudinális kutatást végző nemzetközi szakirodalom adataival is (Lee et al., 1999, 1. ábra). Megállapítható, hogy a magyar adatok életkor szerinti eltérései az angol adatoknak megfelelően alakultak. A felnőtt nő magánhangzói az átlaghoz közel realizálódnak, ám formánsértékei magasabbak, mint a köznyelvi értékek (hiszen az ott mért átlagban az alacsonyabb formánsértékeken realizálódó férfi beszédejtés is szerepel). A gyermek beszédejtésének vokálisai pedig mind a női, mind a köznyelvi értékeknél magasabb F_1 és F_2 értékeken, és nagyobb akusztikai magánhangzótérben valósulnak meg. Az akusztikai magánhangzótér életkor szerinti változásának mértéke a két nyelvben eltérőnek látszik, ám ez a különbség feltehetőleg főként a nyelvek eltérő hangkészletének köszönhető.

3.2 Az énekelve ejtett magánhangzók akusztikai elemzése

Az 5. ábra azt mutatja, hogyan változik az akusztikai magánhangzótér az F_0 emelésével a 8 éves gyermek ének- és beszédejtésében. Az ábrán a három, páronként egy-egy oktávnyi távolságra lévő, köztük a legmagasabb és legmélyebb F_0 -t is tartalmazó alaphangon mért akusztikai magánhangzótér és a beszédejtést vetjük össze.

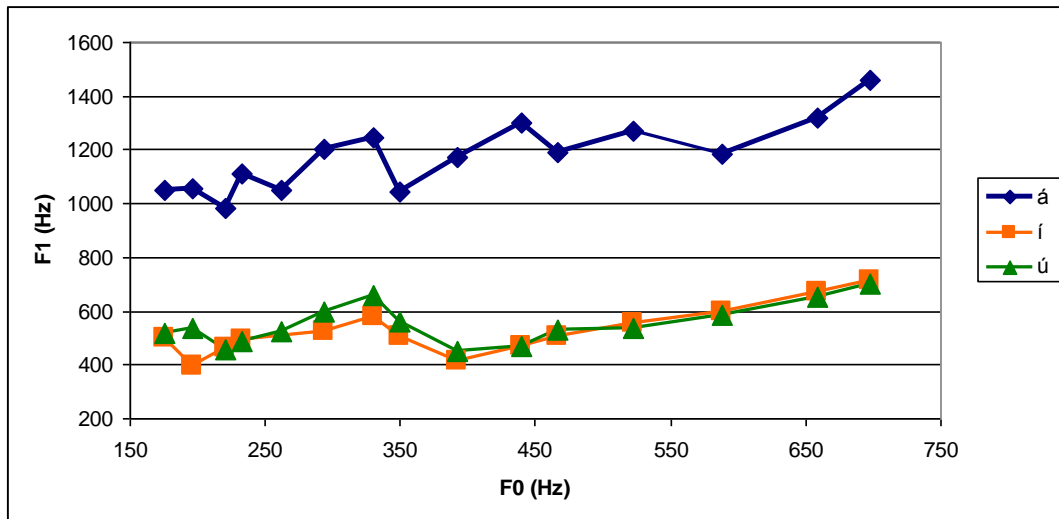


5. ábra: Az akusztikai magánhangzótér alakulása oktávonként az énekelt alaphang-magasságokon ($F_{0 \min} = 175 \text{ Hz}$, $F_{0 \max} = 698 \text{ Hz}$) és a beszédben a 8 éves gyermek ejtésében

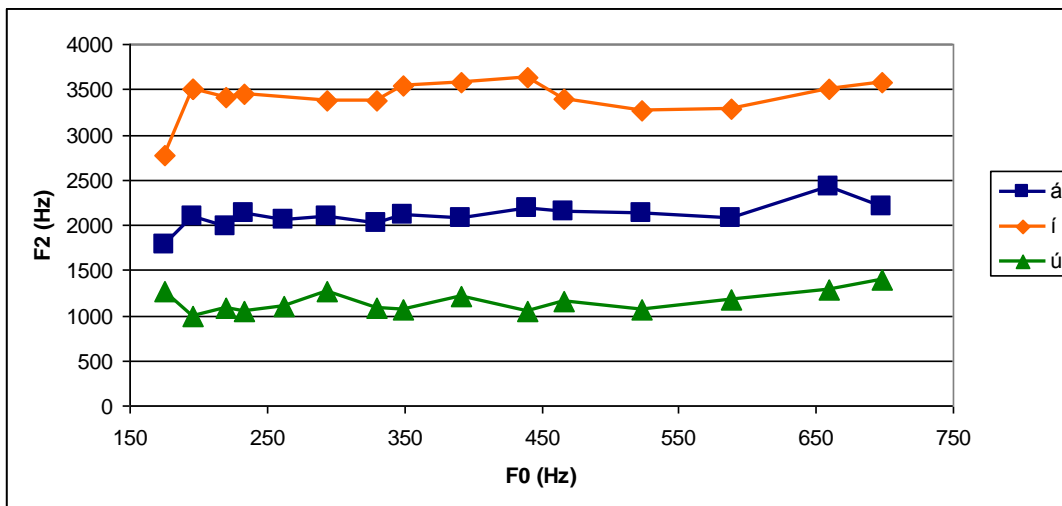
Az ábrán az akusztikai magánhangzótér bizonyos mértékű eltolódása látható ugyan (az alaphang oktávonkénti F_0 -emelésével az éneklés során), de egyértelmű centralizációt nem tapasztalunk. A gyermek éneklése során változó akusztikai magánhangzótér kérdését ezért tovább tárgyaljuk a következő alfejezetben.

Az énekelt hangmagasságokat a beszéddel összevetve látható, hogy a legalacsonyabb (az $F_{0 \text{ beszéd}}$ -nél mélyebb) F_0 esetében az akusztikai magánhangzótér kisebb, mint a beszélt alaphangon ejtett vokálisoknál, ami azt jelenti, hogy (a beszédejtésben tapasztalható képest) kevésbé sikerült a beszélőnek a magánhangzók differenciálása. Az akusztikai magánhangzótér szűkülése itt feltehetően azért lépett fel, mert a beszédhangnál mélyebb alaphang(ok)on a hangadás és az alaphang elérése is nehezebb volt a gyermek számára, ezért nagyobb erőfeszítést igényelt, így tehát a magánhangzó-minőségek pontos ejtésére nem juthatott elegendő figyelem és energia. Ezt támasztja alá az is, hogy a legmélyebb (és az $F_{0 \text{ beszéd}}$ -nél alacsonyabb többi) alaphangnál auditív úton is megfigyelhettünk nazalizációt, glottalizációt vagy szorítást (azaz a nyelvtő leszorításának akusztikai nyomát), amelyek az éneklés során egyértelműen a fonáció nehézségének következtében fellépő jelenségeknek tekinthetők. Az eredmények egyúttal azt is igazolják, hogy a jelen kísérletben elért legmélyebb alaphangmagasság (a beszédejtés átlagos alaphangja alatti többi alaphangmagassággal együtt) alapvetően a gyermek (egészséges, illetve kényelmesen ejthető) énekhangerjedelmének sem része.

Az egyes beszédhangok F_1 értékeinek változását a 6., az F_2 értékek változását pedig a 7. ábra szemlélteti.



6. ábra: Az első formáns értékének változása az alaphang emelésével a skála hangjain a kis f (175 Hz) és a kétvonalas f (698 Hz) zenei hangok között.



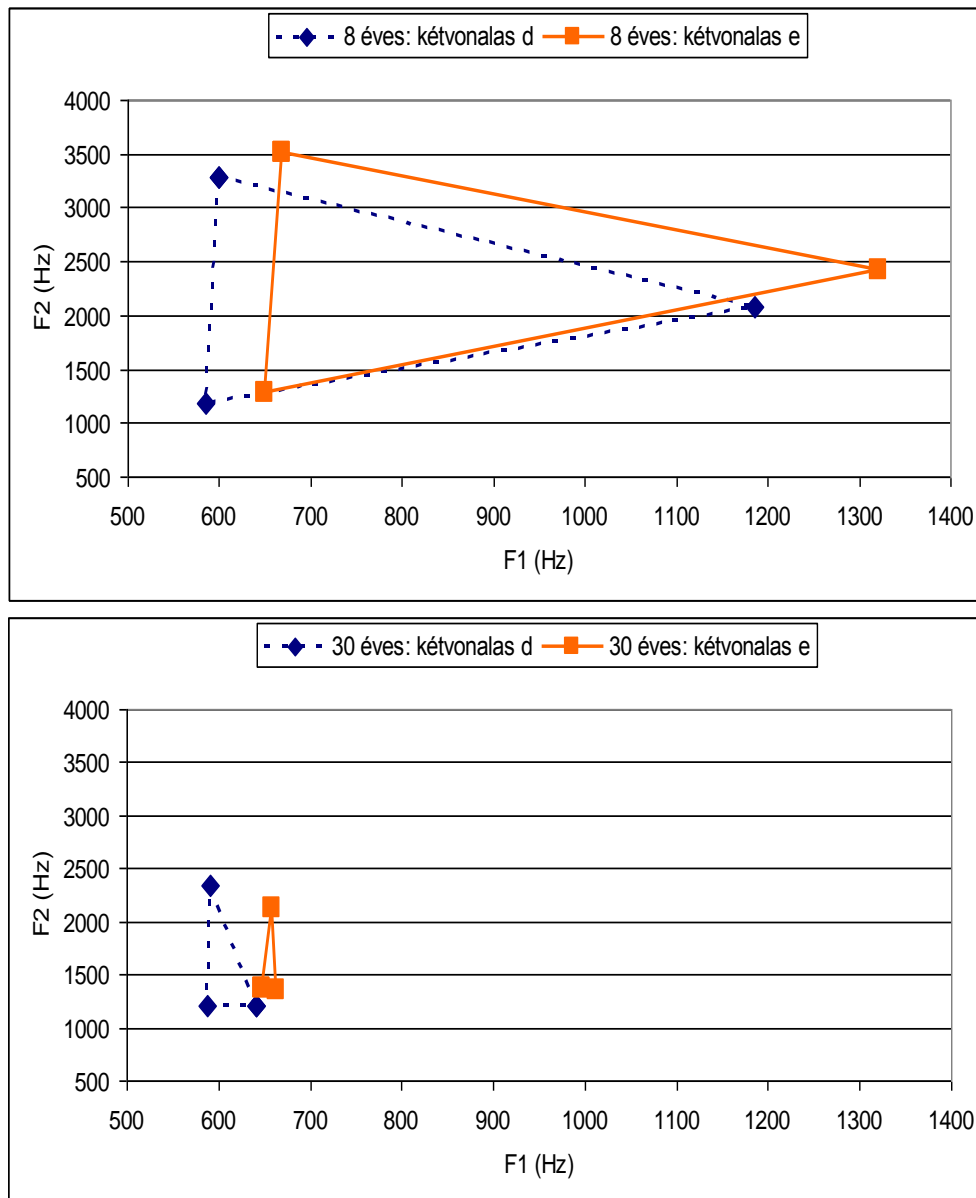
7. ábra: A második formáns értékének változása az alaphang emelésével a skála hangjain a kis f (175 Hz) és a kétvonalas f (698 Hz) zenei hangok között).

Az *i* és *ú* esetében látható, hogy amint az alaphang eléri a beszédhangok beszédbeli realizációjának F_1 -ét (440 Hz-nél), az F_1 gyakorlatilag nem különíthető el az F_0 -tól. Ám ismét ki kell emelnünk, a gyermek énekhangjánál tapasztalt sajátos spektrális eloszlásnak, azaz az első három felharmonikus intenzitásának felerősödése miatt az F_1 értékek mérése problematikus (ehhez bővebben lásd az *Anyag, módszer és kísérleti személy* fejezetet).

Az alaphang egyetlen vokális esetében sem éri el a második formáns frekvenciaértékét, így nem találtunk $F_2 : F_0$, sem pedig $F_2 : h_1$ hangolást (lásd 7. ábra). Az F_2 változása (feltehetőleg részben a magas frekvenciaérték következtében) tehát nem mutat szorosabb összefüggést az alaphang emelkedésével.

3.2.1. Az akusztikai magánhangzótér szűkülésének kérdése

Az 5. ábra tanúsága szerint az akusztikai magánhangzótér – elvárásainkkal ellentétben – nem szűkül jelentős mértékben (bár a 6. ábrán az is látható, hogy az *i* és *ú* hangminőségek elkülönítése az F_1 mentén a 440 Hz-es zenei egyvonalas a alaphangtól felfelé már nem lehetséges). A centralizáció mértékének érzékeltetésére összevetettük az adatokat egy korábbi kutatás eredményeivel (Grácsi – Deme, 2011), ahol az adatközlő egy 30 éves profi szoprán énekes volt. A magánhangzó-realizációk és az akusztikai vokális tér változásainak különböző hangmagasságokon tapasztalható eltéréseit szemlélteti a 8. ábra.



8 ábra: A 8 éves gyermek és a 30 éves szoprán énekes akusztikai magánhangzótérének összevetése a kétvonalas d (588 Hz) és kétvonalas e (659 Hz) zenei hangok alaphangmagasságán

A két adatközlő beszédejtésének különbségeit már a 4. ábra kapcsán elemeztük, azokat a korábbi, nemzetközi eredményekkel egybevetve találtuk. Az énekelt ejtés elemzése során viszont nem csak az elvárásainknak megfelelő,

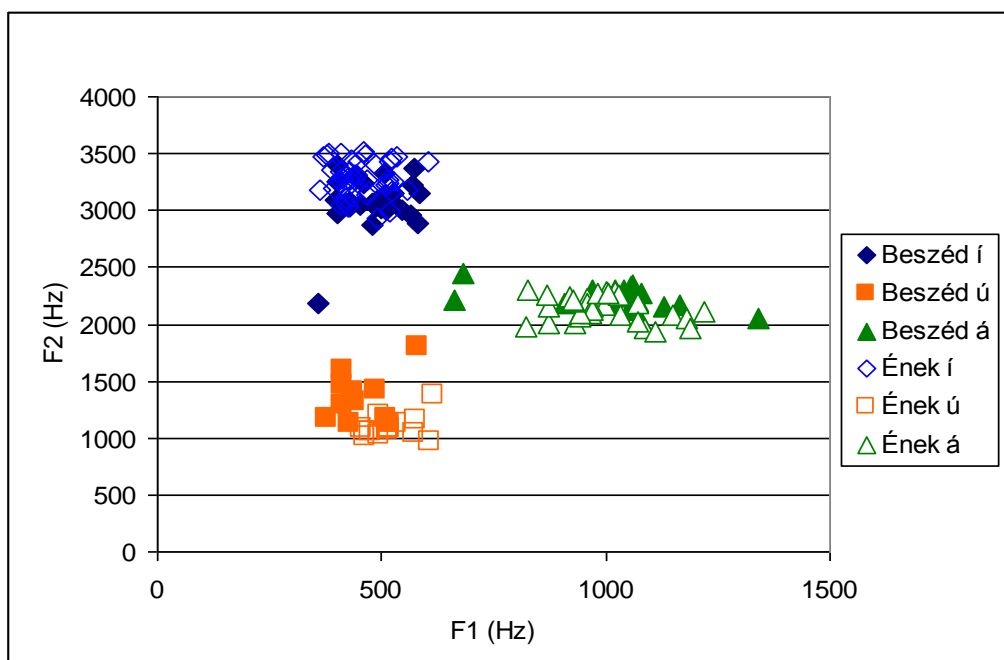
hanem azoktól eltérő eredmények is születtek. Jól láthatóan igazolódott az egyik feltevésünk, miszerint: az akusztikai magánhangzótér a gyermekeknél relatíve nagyobb maradhat magas énekelt alaphangmagasságon is. Erre többek közt azt a magyarázatot találjuk elfogadhatónak, hogy a gyermek beszédhangjainak formánsai jelentősen magasabban realizálódnak, így az F_0 emelése kevésbé érintheti ezeket. Ám ha alaposabban megvizsgáljuk a vokális tér változását, azt látjuk, hogy az akusztikai adatok éppen a centralizációval ellentétes(!) artikulációs változásokra utalnak. Az adatok szerint a vokálisok elkülönülésének megtartását az *á* F_1 -ének, illetve az *í* és az *á* F_2 -jének emelkedése biztosítja, ami az egyébként is nagy állkapocsnyitással ejtett *á* esetében a beszédben tapasztalhatónál nyitottabb ejtést, az elől és középen képzett *í* és *á* esetében pedig a beszédben tapasztalhatónál palatálisabb ejtést jelent. A 6. ábrán is látható módon az *á* hang F_1 -e egy adott F_0 -ig változó (hol csökkenő, hol növekvő) értéken jelenik meg, de a három, a jelen kutatásban rögzített legmagasabb alaphangmagasságon már folyamatosan növekszik (588 Hz-től). Ebből azt a következtetést is megkockáztathatjuk, hogy az F_1 változásának tendenciájában „törést” okozó 588 Hz-es F_0 kritikus határértéket jelenthetett a beszélőnek, ezért az F_0 elérése után (valamilyen oknál fogva) nagyobb erőfeszítéssel igyekezett a differenciált magánhangzóejtésre. A magasabb formánsértékek azonban azt is jelentik, hogy az itt mért frekvenciakülönbségek (az emberi hallás érzékenységének logaritmikus változása miatt) kisebbnek számítanak a percepció szempontjából, mint az alacsonyabbak. A humán percepció számára érzékelhető akusztikai távolság ugyanis nem a frekvencia, hanem az azokból levezethető (ám attól eltérő léptékű sorozatot adó) bark-skála értékek függvénye. Ennek megfelelően bár a számok azt mutatják, hogy nagyobb a különbség az egyes hangminőségek közt a produkció szempontjából, ez nem jelenti, hogy percepció is ugyanilyen mértékben képes differenciálni a magánhangzókat.

Az eredmények láttán tehát felmerül a kérdés, hogy a gyermekek az éneklés során vajon valóban képesek-e a differenciáltabb magánhangzóejtésre, és hogy ez megjelenik-e ejtett hangzóik percepciójában is. Ennek vizsgálatára a jövőben észlelési kísérleteket tervezünk.

3.2.2. A beszéd- és énekhang eltérése

A beszéd- és énekhang összevetése különösen érdekes azokban az esetekben, mikor az énekesek saját beszélt hangterjedelmükben énekelnek, hiszen az itt tapasztalható különbségek hozzájárulnak annak a problematikának a megértéséhez is, mely a beszéd- és énekhangszínezet akusztikai elkülöníthetőségét okozza.

A 9. ábrán a nyolcéves gyermek a beszélt hangterjedelemben (195–295 Hz) ejtett összes magánhangzó-előfordulása látható ejtismódonként.



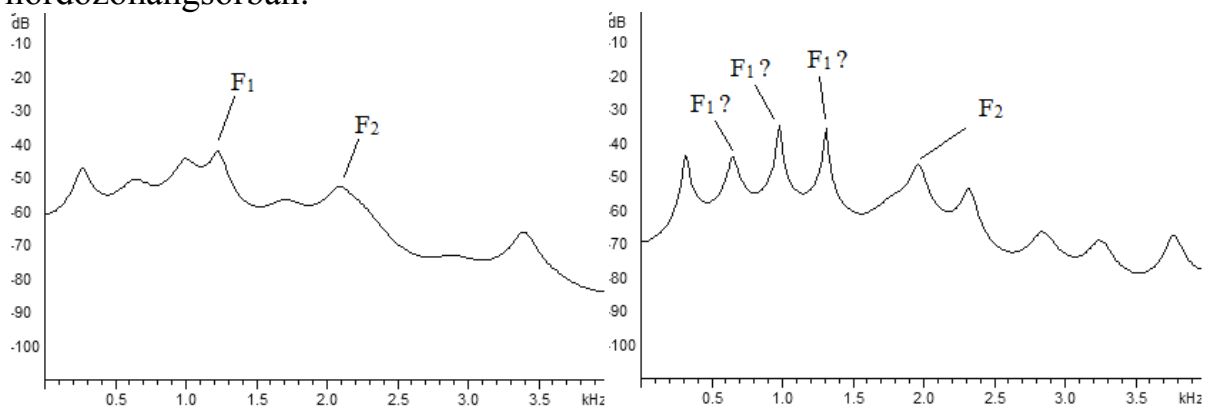
9. ábra: A nyolcéves gyermeknek a beszélt hangterjedelemben (195–295 Hz) ejtett összes magánhangzó-előfordulása ejtismódonként

Bár a hangzók elkülönülése egy-egy kiugró előfordulást leszámítva nem tűnik jelentősen különbözőnek a beszélt és énekelt ejtés esetében, a statisztikai elemzés szignifikáns eltérést mutat. (Mivel az adatok a Shapiro-Wilk próba szerint nem normál eloszlásúak, ezért az összevetést a Mann-Whitney U-próbával végeztük.) Az *ú* esetében statisztikai különbség van mindkét formáns értékében (az F_1 esetében: $Z = -2,317$; $p = 0,009$; az F_2 esetében: $Z = -3,751$; $p < 0,001$), az *í* esetében az F_2 ($Z = -4,702$; $p < 0,001$), illetve az *á* esetében is az F_2 mutat jelentős eltérést ($Z = -2,316$; $p = 0,021$). Az *ú* eltérése a kétféle ejtésben könnyen belátható, hiszen a beszédben is alacsony frekvenciaértékű F_1 -e és F_2 -je az éneklés során abba a tartományba esik, ahol a már említett h_1 , h_2 , h_3 intenzitásérősödése jelentős változásokat okoz. Ennek megfelelően eltolódhatnak a spektrumon mérhető magasabb intenzitású csúcsok, azaz eltérő formánsértékeket kaphatunk. Az *í* F_2 -je viszont magas, 3 kHz fölötti, így azt ez a változás nem befolyásolhatja (és érdekes módon az ennél sokkal alacsonyabb F_1 -ére sem hat). Mivel az *á* esetében is a magas, 2 kHz fölötti összetevő mutat különbséget, az alsó harmonikusok intenzitásérősödése itt sem lehetséges magyarázat.

Az *í* és *á* esetében azt feltételezzük, hogy az F_2 változását egy a következőkben is tárgyalandó spektrális eltérés okozza: a toldalékcső szűkítése következtében fellépő intenzitásérősödés a spektrum felső tartományán. Az intenzitásérősödés következtében ugyanis lehetségesnek tartjuk, hogy valamilyen módon az intenzív csúcsok helyei is eltolódnak a felső tartományban. Ez részben bizonyítaná a gyermek hangképzésének a felnőtt hangképzési technikáihoz való hasonlóságát is.

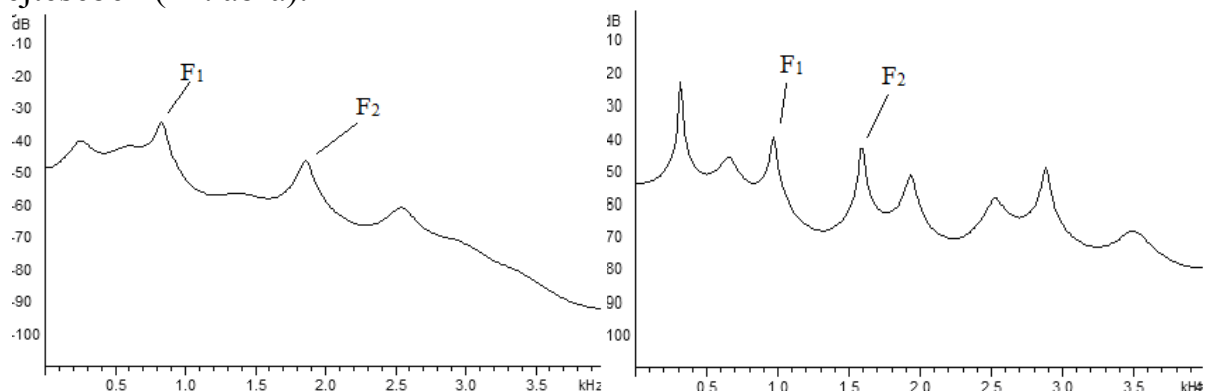
3.2.3. A spektrális eloszlás kérdése

Amint azt a bevezetőben is említettük, a profi énekesek kihasználják, hogy toldalékcsovünk képes a hangszalagrezgés segítésére, így a hangspektrum felső tartományának, ezáltal pedig a(z ének)hang intenzitásának erősítésére. Annak vizsgálatára, hogy a nyolcéves, korosztályában zeneileg képzett gyermek énekhangképzési technikája már tartalmazza-e ezt a képességet, megvizsgáltuk az egyes hangjainak spektrális eloszlását, majd összevetettük ezeket a profi énekes ejtésének hangspektrumaival. (Az énekelt ejtés alaphangmagassága a két beszélőnél közel azonos volt.) Az *á* hang példáját szemlélteti a 10. ábra a *járok* hordozóhangsorban.



10. ábra: Az *á* hang spektruma a gyermek ejtésében, a *járok* szóban (a bal oldalon látható a beszéd: $F_0 = 300$ Hz, a jobb oldalon az ének: $F_0 = 320$ Hz), a spektrumon jelöltük az első két formáns feltételezett helyét

A 10. ábrán egyfelől az éneklés során felerősödő alsó felharmonikusok, másfelől a felső (akár már 2 kHz fölötti) tartomány enyhe intenzitásérősödése is látható. A különbségeket minden bizonnyal az énekprodukciónak technikai sajátosságai okozzák. A spektrumokat összevetettük az ugyanezen fonetikai kontextusban realizálódó *á* hanggal a profi szoprán (l. Grácz – Deme, 2011) ejtésében (11. ábra).



11. ábra: Az *á* hang spektruma a profi szoprán ejtésében, a *járok* szóban (a bal oldalon látható a beszéd: $F_0 = 170$ Hz, a jobb oldalon az ének: $F_0 = 314$ Hz), a spektrumon jelöltük az első két formáns feltételezett helyét

A gyermek és felnőtt *a* hangjainak akusztikuma alapján különbség állapítható meg a két korosztály, illetve a két eltérő technikai fejlettségű beszélő énekejtésében: míg a gyermeknél enyhe, addig a felnőttél nagyobb intenzitás-erősödés látható a spektrum felső régiójában. Bár a hangonkénti szisztematikus vizsgálat és a matematikai összevetés elvégzése előtt nem bocsátkozhatunk messzemenő következtetésekbe, az eredmények lehetőséget adnak a kutatás további irányát meghatározó előfeltevések megfogalmazására. A hangspektrum energieloszlásának további kutatása ugyanis megválaszolhatja azt a tanításmethodikailag nagyon is releváns kérdést, hogy milyen hangerő, milyen intenzitás várható el a gyermekek énekprodukciónjában. A jelen eredmények alapján azt feltételezzük, hogy a gyermekek énekejtése halk, a felnőttéhez képest kvázi *piano* teljesítményre képes, a nagyobb hangerő túlzott erőtetése ennek megfelelően pedig akár káros hatással is lehet a beszédképző szervekre. Az R_1 (vagy F_1) F_0 -ra hangolásának kérdése szintén összefügg a hangerő-produkcióval, hiszen a hangolás elmaradása (más hangolási stratégiák hiányában) szintén intenzitásvesztést okoz, tehát feltehető, hogy a hangolás képessége nélkül a gyermekhang szintén nem lehet alkalmas a hangos éneklésre egészséges fonációval (főként a magas F_0 -tartományokon).

Az alsó tartományon látható spektrális különbségek (az alsó harmonikusok intenzitásnövekedésének) magyarázatához további, a sáv szélességet és formánsintenzitást is vizsgáló kutatásokat látunk szükségesnek. Feltételezésünk szerint az eltérő intenzitáseloszlás oka valamifajta (az eltérő artikulációból vagy a szubglottális és szupraglottális üregrendszerek egymásra hatásából fakadó) elnyelődési jelenség lehet (mely a formáns intenzitásának csökkentésével párhuzamosan növeli annak sáv szélességét l. Huber, 1999; Daime, 2009).

3.3. A gyermek énekelt és beszélt hangterjedelme

Korábbi énektanári feljegyzések utalnak rá, hogy az énekkönyvek szerzői (a tananyagban foglaltak alapján) a gyermekek énekhang-terjedelmét és hangfekvését a felnőtt női alt hangkategóriával közel azonosnak tartják (lásd pl. Howard, 1898). Fontos kérdés, hogy ez a megfigyelés megállja-e a helyét a jelen magyarországi énekképzésben, de olyan kutatásról, mely a ma Magyarországon használatos tankönyveket ilyen szempontok szerint vizsgálná, vagy az énektanárok vélekedéséről adna összegzést a jelen cikk szerzőjének nincs tudomása. Tudományosan tehát nem tekinthetjük bizonyítottnak, hogy a (köz)oktatásban a gyermekhangot a felnőtt alt hangosztállyal egyenértékűként kezelnék, ugyanakkor énektanár kollégák személyes közlései azt sugallják, hogy a könyvek néha valóban ennek az „elvnek” megfelelően lekottázott dalokat tartalmaznak, melyeket az órai alkalmazáshoz transzponálni kell a gyermekeknek kényelmesebb, magasabb fekvésbe. Annak vizsgálatát, hogy a két említett hangosztály esetleges azonosítása reális, avagy irreális elképzelés volna-e, a jelen kutatásban alapozzuk meg.

Ahogy a gyermek énekhang akusztikai mérésre, úgy az alaphang-terjedelem megállapítására sem találunk megfelelően adatolt és megfelelő mennyiségű tudományos eredményt, így az eddigi szakirodalom alapján sem a két hangosztály különbségét, sem pedig azonosságát nem tudjuk alátámasztani. A gyermek énekelt hangtartományának provizórikus meghatározása ehhez a kérdéshez kíván hozzájárulni.

A vizsgált kislány beszélt átlagos alaphangtartománya méréseink alapján 195 Hz és 295 Hz között volt. A szórásból kihagytuk az irreguláris zöngével ejtett magánhangzókat, ugyanis a szakirodalomból tudható, hogy glottalizáció esetén az alapfrekvencia a beszélő jellemző hangterjedelme alá csökken (Böhm – Újvári, 2008). Az így kapott $F_{0\text{beszéd}} \text{ átlag}$ tartományába a kis g, kis a, kis h, egyvonalas c, egyvonalas d zenei hangok esnek. A gyermek énekelt hangtartományának megítélését elsősorban auditív sajátosságok alapján végeztük, azaz kiszűrtük a skálázáskor szorított, nazalizált vagy glottalizált hangok alaphangmagasságait. Ezek a normáltól eltérő produktions módok ugyanis (a beszédben tapasztaltakhoz hasonlóan) a hangterjedelem felfelé vagy lefelé kiterjesztésére tett kísérletek velejárói voltak. Ilyen módon azt állapítottuk meg, hogy a gyermek énekhangterjedelme megközelítőleg 220/233 Hz és 588/659 Hz között van, az e fölötti és alatti tartományon nehézségeket tapasztaltunk a hangadásnál. Ebbe az intervallumba a kis h, az egyvonalas c, d, e, f, g, a, h, illetve a kétvonalas c, d, e zenei hangok esnek. A felnőtt női alt hangterjedelemtől általánosan elterjedt, hogy az kis f-től az egyvonalas a-ig terjedő tartományt fedi le (Várnai, 1975), mely tehát a kísérletben résztvevő gyermek itt mért hangtartományával részben átfedésben van, de annál lejjebb helyezkedik el. A jelen kutatás adatközlőjére tehát igaznak tekinthető az az állítás, hogy hangterjedelme nem vág egybe a női alt hangkategória hangterjedelmével: az alsó és a felső határa is magasabban helyezkedik el.

A hangtartomány kérdése igen fontos a gyermek által az éneklés során használt regiszterek miatt is. A magasabb tartományt ugyanis inkább a fejregiszter, míg a mélyebbet inkább a mellkasi regiszter alkalmazásával tudja elérni az énekes. A gégealkotó szövetek puhasága és sérülékenysége miatt viszont a nem megfelelő regiszter (Howard 1898-as munkája szerint gyermekek esetében ez a mellkasi regiszter) használata akár egy egész életre kiható káros következményekkel járhat. Howard állítása szerint a gyermekek számára a magasabb hangok éneklésére alkalmas fejregiszter alkalmazása volna a kívánatos, amiből az is következik, hogy a használt hangtartomány alsó határának relatíve magasnak kellene lennie.

Fontos leszögeznünk, hogy adataink a további elemzésekig nem támasztják alá maradéktalanul, hogy az itt meghatározott hangköz lefedhető-e a gyermekek számára egészséges, nem túlerőltetett zöngéképzéssel.

4. Következtetések

A gyermekbeszéd akusztikai elemzésével kapcsolatos átfogó kutatás a magyar nyelvre jelenleg még nem áll rendelkezésre, ám az eddigi, szűkebb korcsoportokra kapott eredmények (Gósy, 1981; 1984; van der Stelt et al., 2005) megfeleltek a nemzetközi szakirodalomban írtakkal. A gyermeki énekhang elemzése ráadásul eddig csak a nemzetközi szakirodalomban jelent meg, és ott is csak szűkebb kérdéskörben kutató vizsgálatok születtek: elsősorban a nemi különbségeket elemezték. A témában lefolytatott számos percepciós kutatást a brit angol, az amerikai angol és német nyelvre (McAllister et al., 1993; McAllister, 1997; Welch – Howard, 2002; Sergeant et al., 2005; Rinta, 2009; Rinta – Welch, 2009) ráadásul csak jóval kevesebb akusztikai egészítette ki (Mecke – Sundberg, 2010; White, 1999). Ezek közül is csak a legutóbbinak volt célja a gyermek magánhangzó-realizációinak formánsszerkezetét vizsgálni az éneklés során.

A gyermekek énekhangjával kapcsolatos vizsgálandó terület a hangterjedelem kérdése is. Mint említettük, korábbi feljegyzések utalnak rá, hogy az énekkönyvek szerzői (a tananyagban foglaltak alapján) a gyermekek énekhangterjedelmét és hangfekvését a felnőtt női alt hangkategóriával közel azonosnak tartják (lásd pl. Howard, 1898). Olyan kutatásról, mely a ma Magyarországon használatos tankönyveket ilyen szempontok szerint vizsgálná, vagy az énektanárok vélekedéséről adna összegzést a jelen cikk szerzőjének nincs tudomása. Tudományosan tehát nem tekinthetjük bizonyítottnak, hogy a (köz)oktatásban a gyermekhangot a felnőtt alt hangosztállyal egyenértékűként kezelnék, ugyanakkor énektanár kollégák személyes közlései azt sugallják, hogy a könyvek néha valóban ennek az „elvnek” megfelelően lekottázott dalokat tartalmaznak. Annak felmérésére, hogy jelenleg milyen vélekedés (vagy vélekedések) élnek a gyermekhang jellemzőiről az énektanárok között, hogy a tankönyvek tartalma által sugalltak általánosságban megfelelnek-e ennek a gyermekhangról alkotott tanári tapasztalatrendszernek, illetve hogy valóban kimutatható-e a tankönyvi anyagokban az említett azonosítás a két (azaz a gyermek és a felnőtt alt) hangtípus között, a továbbiakban kérdőíves felmérést tervezünk általános- és középiskolai, illetve egyetemi és magántanárok bevonásával. A jelen kutatásban adatközlőnk hangterjedelmének meghatározásával a problémakör akusztikai vizsgálatát alapozzuk meg.

A bevezetőben megfogalmazott hipotéziseinket részben sikerült igazolnunk. Az első, a gyermekek beszélt magánhangzóira vonatkozó előfeltevésünk helyesnek bizonyult, hiszen adataink azt mutatják, hogy a gyermek vokálisainak formánsai mind a felnőtt átlagnál, mind pedig a felnőtt női beszélőénél magasabbak, illetve akusztikai magánhangzótere is nagyobb az említett csoportokénál.

Második hipotézisünk nem igazolódott. A gyermek vokálisainak magas F_1 és F_2 értékei miatt ugyanis nagyobb maradt az akusztikai magánhangzóter magas alaphangon is, mint a felnőtt profi énekes esetében. A felnőttéknél korábban megfigyelt magánhangzó-centralizációt (Bloothoft – Plomp, 1984; Joliveau et

al., 2004; Millhouse – Clermont, 2007; Deme, 2011, Grácsi – Deme 2011) szinte egyáltalán nem tapasztaltuk. E helyett az akusztikai vokális tér fennmaradását célzó, a centralizációval éppen ellentétes akusztikai tendenciák léptek fel (melyekből a centralizációval ellentétes artikulációs tendenciákra következtethetünk).

Harmadik hipotézisünket eddigi eredményeink igazolni látszanak, hiszen a gyermeki énekhang és felnőtt énekhang spektrális eloszlása különbségeket mutatott. A gyermekeknél egyfelől kisebb intenzitásnövekedést tapasztaltunk a felső frekvenciatartományban, másfelől nagyobb intenzitásnövekedés láttunk az alsó (az első három felharmonikust tartalmazó) régióban. A felső tartomány alacsonyabb intenzitásából arra következtethetünk, hogy a gyermek hangja a felnőttéhez képest halkabb, kevésbé intenzív, a jelenség oka pedig feltehetőleg a beszédképző szervek és az énekhangképzés alacsonyabb fejlettségi fokában keresendő, azaz nem jelenik meg a hangképzés során elsajátítható, a klasszikus éneklésre jellemző artikulációs mozgássorozat: a gége lesüllyesztése és a toldalékcső szűkítése. Az alacsonyabb tartomány (az alsó három felharmonikust érintő) intenzitásérésének kiváltóját az eddigi kutatás során egyelőre nem sikerült tisztáznunk.

A negyedik hipotézisünk igazolódott, hiszen a jelen tanulmány adatközlő gyermekének énekhang-terjedelme valóban nem feleltethető meg maradéktalanul a felnőtt női alt hangkategória hangterjedelmének, hiszen annál magasabbnak bizonyult. A problémakör további, általános érvényűnek tekinthető következtetések levonásához szükséges vizsgálatát több adatközlő bevonásával, illetve a gyermek énekhangban megjelenő hangregiszterek akusztikai és percepció alapú elemzésével tervezzük. A kérdéshez tartozik továbbá a gyermek és felnőtt énekhang regiszterváltásainak összevetése is, illetve annak felderítése, a gyermekeket tanító énektanárok tudatában vannak-e az esetleges különbségeknek. Ennek vizsgálatára a már említett kérdőíves felmérés alkalmával kerül sor.

Jelenlegi adataink alapján nem tudtuk egyértelműen bizonyítani az üregi első rezonanciának (R_1) az alaphangra hangolódását ($F_0 > F_1$ helyzetben). Az F_0 intenzitásának megmaradása valamilyenfajta hangolás meglétét bizonyítani látszik, ám kérdéses, hogy az F_1 mely alsó intenzív összetevőre (F_0, h_1, h_2, h_3) hangolódik. Ez a problematika az intenzív énekhang kérdéséhez is kapcsolódik, hangolás híján ugyanis feltehető a hang intenzitásvesztése.

További percepció vizsgálatok tárgyát képezi az éneklés és beszéd közti hangszínezetbeli különbség, illetve a differenciáltabb magánhangzóejtés kérdése is. Ezen túlmenően pedig időszerű a gyermeki beszédhang longitudinális akusztikai vizsgálata.

Kutatásunk a gyermekhang beszédakusztikai és énekakusztikai szakirodalmának hiánypótlását kezdeményezi, eddigi eredményeink alapján pedig újabb kutatási irányokat is vázoltunk. Az itt közölt adatok

hozzájárulhatnak az énektanítás módszertanának fejlesztéséhez, illetve az egészséges gyermeki beszéd- és énekhangról alkotott tudásunk bővítéséhez.

5. Irodalom

- Bloothoft, G – Plomp, R** (1984) Spectral analysis of sung vowels I. Variation due to differences between vowels, singers, and modes of singing. *Journal of Acoustical Society of America*. 75. 1259–1264.
- Boersma, P. – Weenink, D.** (2009) *Praat: doing phonetics by computer* (Version 5.1). http://www.fon.hum.uva.nl/praat/download_win.html
- Bóhm T. – Újvári I.** (2008) Az irreguláris fonáció mint egyéni hangjellemző a magyar beszédben. *Beszédkutatás 2008*. 108-120.
- Daime, M, B.** (2009) *Dynamics of the singing voice*. Wien: Springer.
- Deme A.** (2011) Az énekelt magánhangzók fonetikai elemzése. In: Parapatics A. (szerk.) 2011. *Félúton 6. A 6. félúton konferencia (2010) kiadványa*. <http://linguistics.elte.hu/studies/fuk/fuk10/>
- Eguchi, S. – Hirsch, L. J.** (1969) Development of speech sounds in children. *Acto Oto-Laryngologica*, Supplementum 257, 1–51.
- Fant, G.** (1975) A note on vocal tract size factors and non-uniform F-pattern scalings. *STL-QPSR*, Vol. 7, No. 4. 22–30.
- Garnier, M. – Henrich, N. – Smith, J. – Wolfe, J.** (2010) Vocal adjustments in the high soprano range. *Journal of Acoustical Society of America*, Vol. 127, No. 6. 3771-3780.
- Gósy M.** (1981) A beszédhang kialakulása a gyermeknyelvben. I. *Magyar Fonetikai Füzetek* 7, 67-90.
- Gósy M.** (1984) *Hangtani és szótani vizsgálatok hároméves gyermek nyelvében*. NytudÉrt. 102 Budapest: Akadémiai.
- Gósy M.** (2004) *Fonetika, a beszéd tudománya*. Budapest: Osiris.
- Gósy M.** (2005) *Pszicholingvisztika*. Budapest: Osiris.
- Grácz T. E. – Deme A.** (2011) A szubglottális rezonanciák megjelenése az éneklésben. *Előadás*. Elhangzott: XIII. Pszicholingvisztikai Nyári Egyetem, Balatonalmádi, 2011. máj. 22–26.
- Howard, F. E.** (1898) *The Child-Voice in Singing*. New York: Novello, Ewer & Co.
- Huber, J. E. – Stathopoulos, E. – Curione, G. M. – Sh, Theresa A. – Johnson, K.** (1999) Formants of children, women, and men: The effects of vocal intensity variation. *Journal of Acoustical Society of America*, Vol. 106, No. 3. 1532–1542.
- Ishizuka, K. – Mugitani, R. – Kato, H. – Amano, S.** (2007) Longitudinal developmental changes in spectral peaks of vowels produced by Japanese infants. *Journal of Acoustical Society of America*, Vol. 121, No. 4. 2272–2282.
- Joliveau, E. – Smith, J. – Wolf, J.** (2004) Vocal Tract resonances in singing: The soprano voice. *Journal of Acoustical Society of America*, Vol. 116, No. 4. 2434–9.
- Lee, S. – Potamianos, A. – Narayanan, S.** (1999) Acoustics of children's speech: Developmental changes of temporal and spectral parameters. *Journal of Acoustical Society of America*, Vol. 105, No. 3. 1455–1468.
- Lindblom, B.** (1990). Explaining phonetic variation: a sketch of the H and H theory. In Hardcastle, Willam J. – Marchal, Alain (szerk.): *Speech production and speech modeling*. Kluwer: Dordrecht. 403–439.
- McAllister, A.** (1997) Acoustic perceptual and physiological studies of ten-year-old children's voices. *TMH-QPSR* Vol. 38. No 1. 75–103.
- McAllister, A. – Sederholm, E. – Sundberg, J.** (1993) Acoustic and perceptual analysis of vocal registers in children. *STL-QPSR* Vol. 34. No. 4. 29–34.
- Mecke, A. – Sundberg, J.** (2010) Gender differences in children's singing voices: Acoustic analyses and results of a listening test. *Journal of Acoustical Society of America*, Vol. 127, No. 5. 3223–3231.
- Millhouse, T. – Clermont, F.** (2007) Acoustic description of a soprano's vowels based on perceptual linear prediction. *ICPhS 16th*. 901-904.

- Nordström, P.-E.** (1975) Attempts to simulate female and infant vocal tracts from male area functions. *STL-QPSR* 2-3. 20–33.
- Nordström, P.-E.** (1977) Female and infant vocal tracts simulated from male area functions. *Journal of Phonetics* 4. 81-92
- Rinta, T. E.** (2009) Children's 'speaking and singing voices' are one voice: evidence from perceptual analyses of independent voice parameters. *Journal of Music, Technology & Education*. Vol 2. No. 2-3. 127–140.
- Rinta, T. E. – Welch, G. F.** (2009) Perceptual connections between prepubertal children's voices in their speaking behavior and their singing behavior. *Journal of Voice*, Vol. 23, No. 6. 677–686.
- Scotto di Carlo, N. – Germain, A.** (1985) A perceptual study of the influence of pitch on the intelligibility of sung vowels. *Phonetica*, Vol. 42, No. 4, 188–197.
- Sergeant, D. C. – Sjölander, P. J. – Welch, G. F.** (2005) Listeners' identification of gender differences in children's singing. *Research Studies in Music Education* No. 24, 28–39.
- Sjölander, K. – Beskow, J.** (2009) *Wavesurfer* (Version 1.8.8), <http://www.speech.kth.se/wavesurfer/>
- Sundberg, J.** (1968) Formant frequencies of bass singers. *STL-QPSR*, Vol. 9, No. 1, 1-6.
- Sundberg, J.** (1969) Articulatory differences between spoken and sung vowels in singers. *STL-QPSR*, Vol. 10, No. 1, 33-46.
- Sundberg, J.** (1977) The Acoustics of the singing voice. *Scientific American*. 236. 82–91.
- Sundberg, J.** (1989) *The Science of the Singing Voice*. Northern Illinois University Press.
- Tarnóczy, T.** (1982). *Zenei akusztika*. Budapest: Zeneműkiadó.
- Titze, I. R.** (2004) A Theoretical Study of F0-F1 Interaction with application to resonant speaking and singing voice. *Journal of Voice*, Vol. 18, No. 3. 292–298
- Van der Stelt, J. M. – Zajdo, K. – Wempe, T. G.** (2005) Exploring the acoustic vowel space in two-year-old children: Results for Dutch and Hungarian. *Speech Communication* 47. 143–159.
- Várnai P.** (1975) *Operalexikon*. Budapest: Zeneműkiadó.
- Vorperian, H. K. – Kent, R. D.** (2007) Vowel acoustic space development in children: A synthesis of acoustic and anatomic data. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, Vol. 50. 2510–1545.
- Welch, G. – Howard, D. M.** (2002) Gendered voice in the cathedral choir. *Psychology of Music* No. 30. 102-120.
- White, P.** (1999) Formant frequency analysis of children's spoken and sung vowels using sweeping fundamental frequency production. *Journal of Voice* Vol. 13, No. 4. 570-582.
- Wolfe, J. – Garnier, M. – Smith, J.** (2009) Vocal tract resonances in speech, singing and playing musical instruments. *Human Frontier Science Program Journal* 3. 6–23.