

DEME ANDREA

Eötvös Lóránd Tudományegyetem, BTK, Nyelvtudományi Doktori Iskola

*andrea_deme@hotmail.com***Egy nyolcéves gyermek énekelt és beszélt magánhangzóinak akusztikai jellemzői. Esettanulmány**

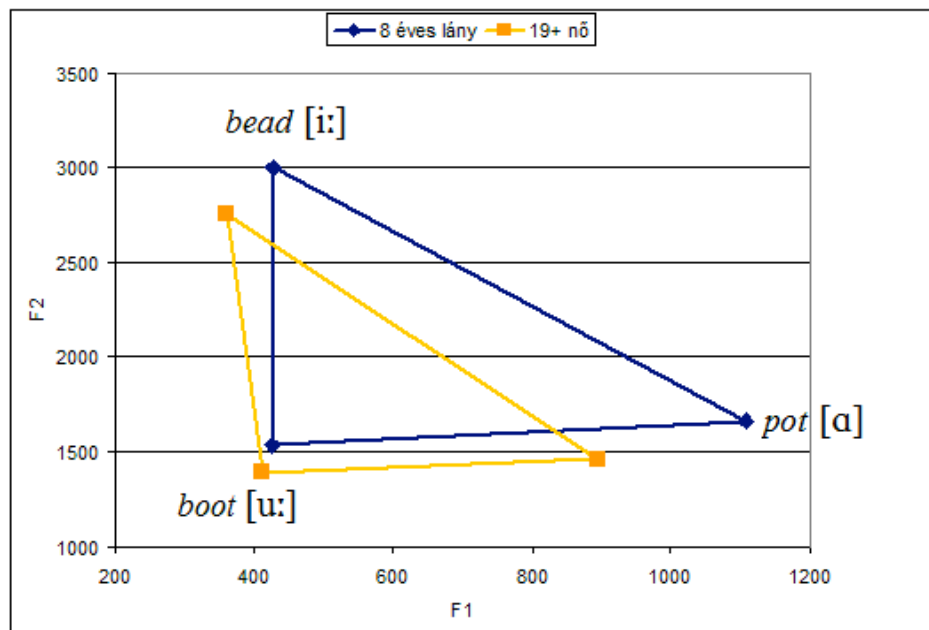
The differences between adults and children in speaking voice are well known for many languages, while the analysis of adults' singing voice still has to answer many questions. However, only a few studies are available so far (with a limited amount of information) on changes of Hungarian vowels as a 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 /V 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, 1966; 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 nyalábok, melyek akusztikailag jellemzik a magánhangzó-minőséget, az első két formáns pedig egyértelműen meg is határozza az adott magánhangzót (részletesebben l. Gósy, 2004). A gyerme-

kek ejtésében (részben a magas formánsfrekvenciák következtében) nagyobb az akusztikai magánhangzótér 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 (l. Nordström, 1975; Lee *et al.*, 1999). Ám nemcsak a toldalékcso 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.

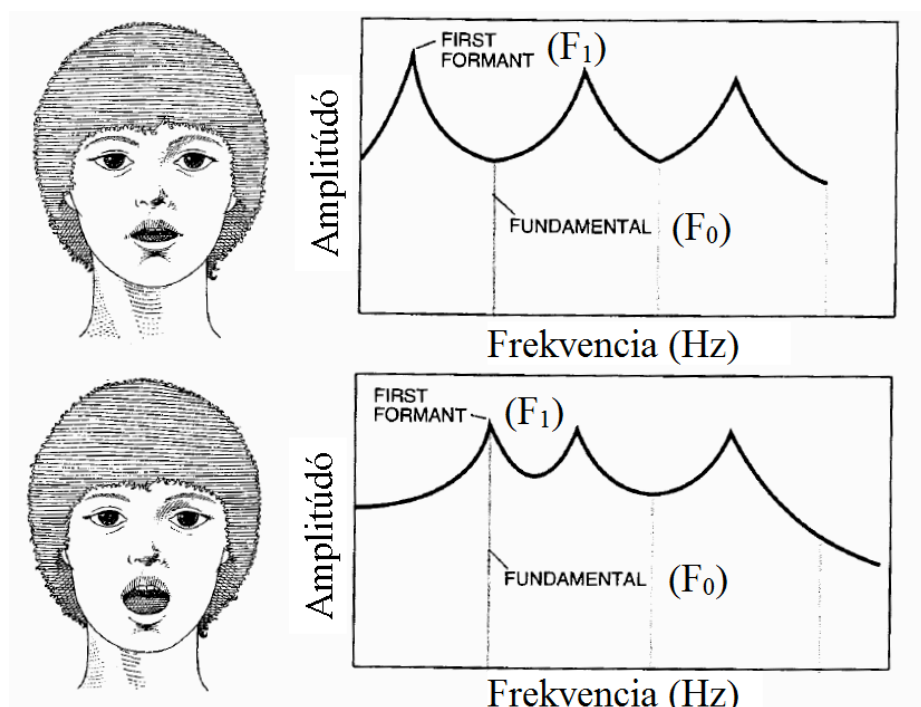


2. ábra: Keresztmetszeti MRI felvétel egy 4 éves lány (balra) és egy 54 éves férfi (jobbra) toldalékcsővéről (a toldalékcső hosszának méréséhez berajzolt vonalakkal) (Vorperian – Kent, 2007)

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 anyanyelvi 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 (ld. 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 frekvencia-értéken realizálni. Ekkor az intenzív és szép hangszínezetű hang eléréséhez az énekes hangolási technikákkal, elsősorban az F_1 -et kialakító R_1 hangolásával ($F_1 : F_0$) 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 énekhangja 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 (ld. 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 énektanönyvek 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 magánhangzóter 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; 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); 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 leány*) szövegeit rögzítettük beszédejtésben. A logatomokban szereplő magánhangzók a magyar köznyelvi [á], [í], [ú] hangok voltak, melyek a magánhangzóter 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 magán-

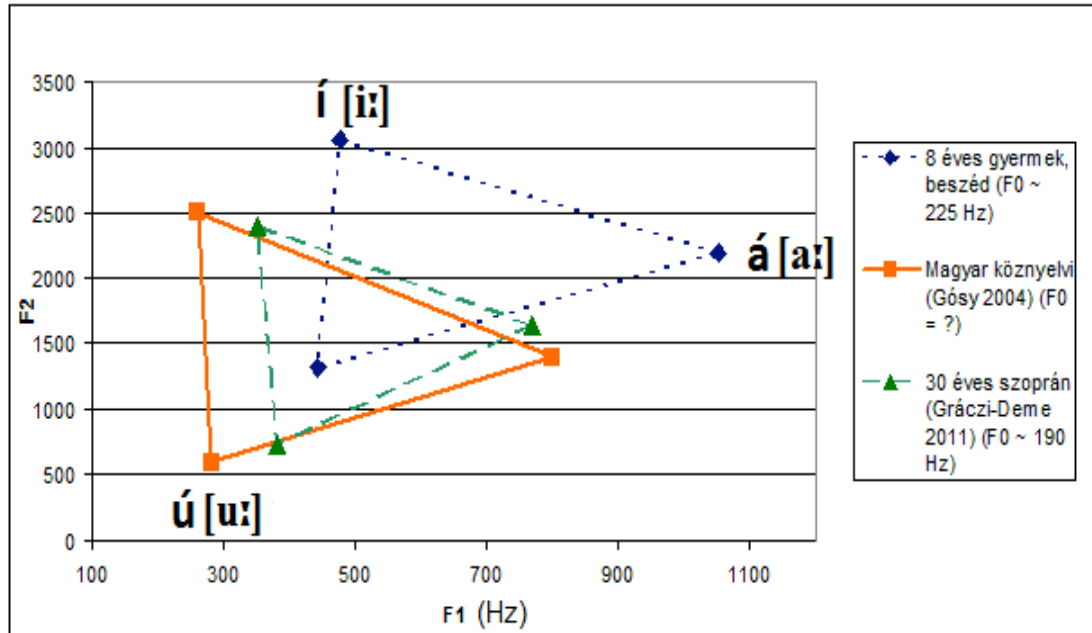
hangzó-időtartam 50%-ánál elhelyezett mérőpontban, LPC analízis segítségével) a Praat 5.1 (Boersma – Weenink, 2009) és a Wavesurfer 1.8.8 (Sjölander – Beskow, 2009) szoftverek segítségével. A statisztikai elemzéshez az SPSS 14.0 programot használtuk.

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 problematikusá 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 beszédproduktív technikák mérés-technikai nehézségeinek kiküszöbölése már több alternatív hangrögzítési és hangelemzési módszer 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.

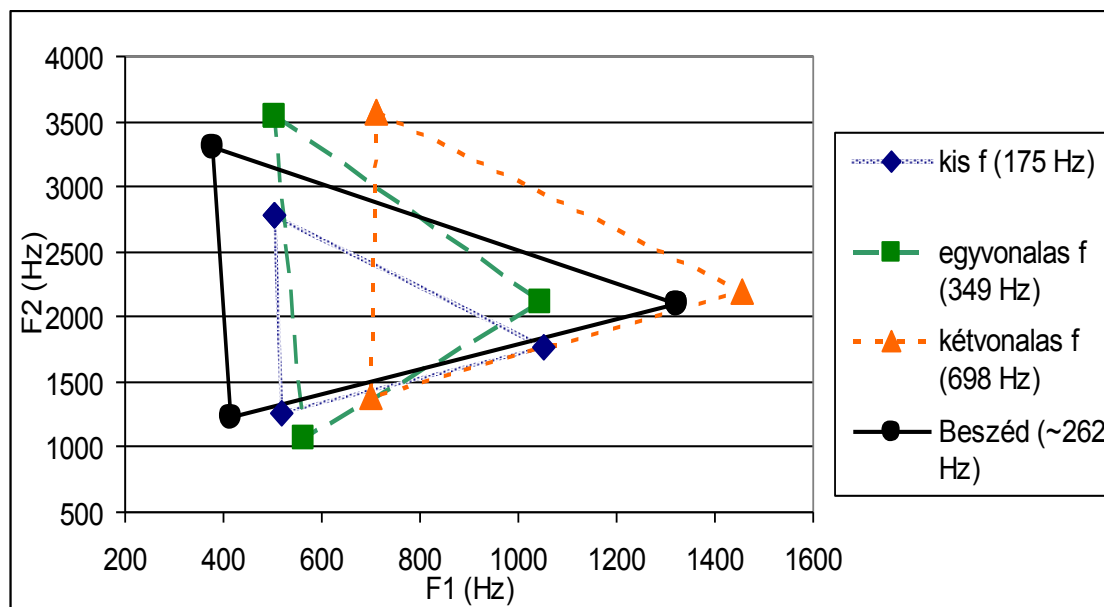


4. ábra: Az akusztikai magánhangzótér a beszédben. A gyermek beszédejtésének eredményei összevetve a felnőtt magyar köznyelvi adatokkal és egy 30 éves profi szoprán énekes ejtésével

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.



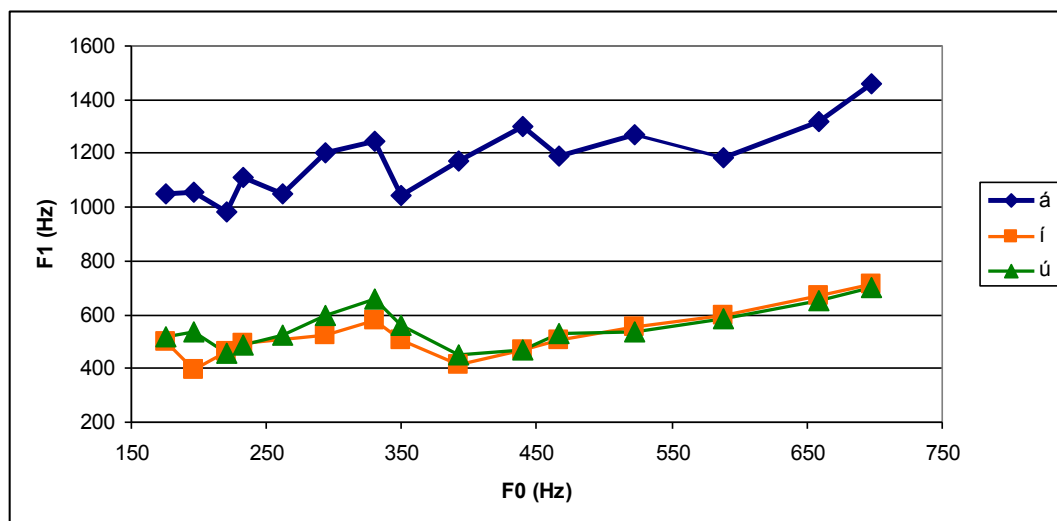
5. ábra: Az akusztikai magánhangzótér alakulása oktávonként az énekelt alaphang-magasságokon ($F_{0\ min} = 175\ \text{Hz}$, $F_{0\ max} = 698\ \text{Hz}$) és a beszédben a 8 éves gyermek ejtésében

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.

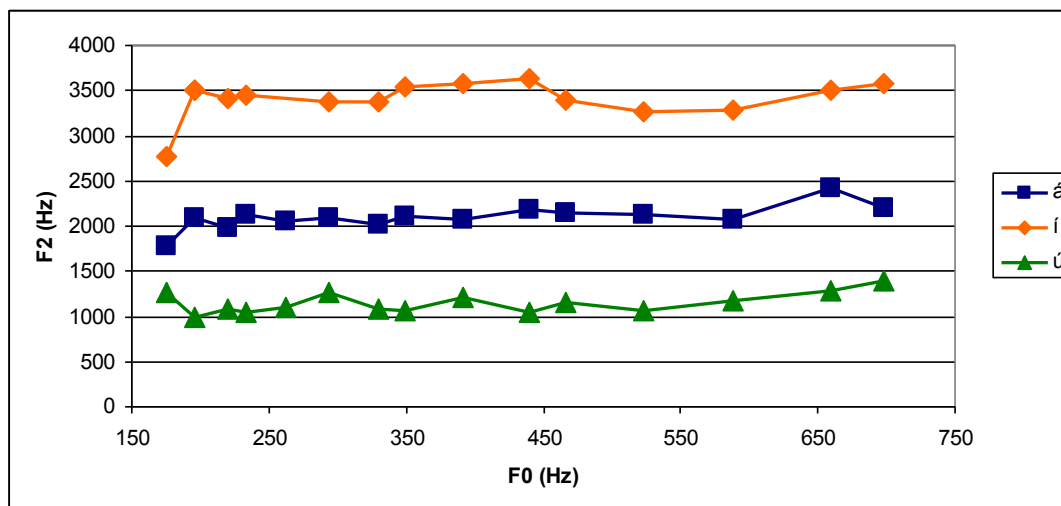
Az énekelt hangmagasságokat a beszéddel összevetve látható, hogy a legalacsonyabb (az $F_{0\ beszéd}$ -nél mélyebb) F_0 esetében az akusztikai magánhangzótér kisebb, mint a beszélt alaphangon ejtett vokálisoknál, ami azt jelenti, hogy (a beszédejtésben tapasztalhoz képest) kevésbé sikerült a beszélőnek 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 $F_{0\ beszéd}$ -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) énekhangterjedelmének 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



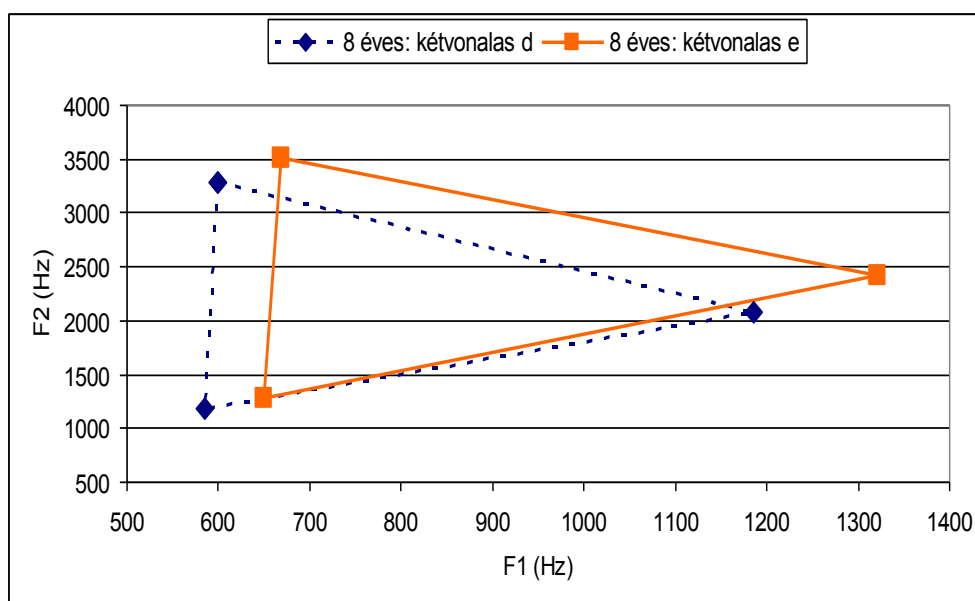
7. ábra: A második formáns értékének változása az alaphang emelésével a skála hangjain a kis f (175 Hz) és a kétvonalas f (698 Hz) zenei hangok között)

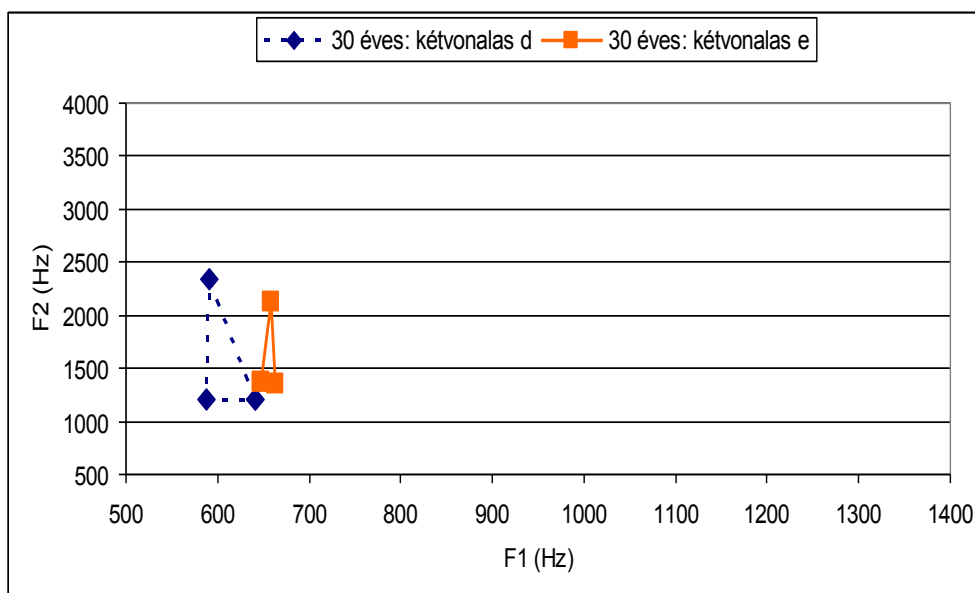
Az [í] és [ú] esetében látható, hogy amint az alaphang eléri a beszédhangok beszédbeli realizációjának F_1 -ét (440 Hz-nél), az F_1 gyakorlatilag nem különíthető el az F_0 -tól. Ám ismét ki kell emelnünk, a gyermek énekhangjánál tapasztalt sajátos spektrális eloszlásnak, azaz az első három felharmonikus intenzitásának felerősödése miatt az F_1 értékek mérése problematikus (ehhez bővebben lásd az *Anyag, módszer, 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 [í] 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 magánhangzóterének 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 nemcsak az elvárásainknak megfelelő, hanem azoktól eltérő eredmények is születtek. Jól láthatóan igazolódott az egyik feltevésünk, miszerint az akusztikai magánhangzóter 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 [é] F_2 -jének emelkedése biztosítja, ami az egyébként is nagy állkapocsnyitással ejtett [á] esetében a beszédben tapasztalhatóanál nyitottabb ejtést, az elöl és középen képzett [í] és [é] esetében pedig a beszédben tapasztalhatóanál 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 levonhatjuk, 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

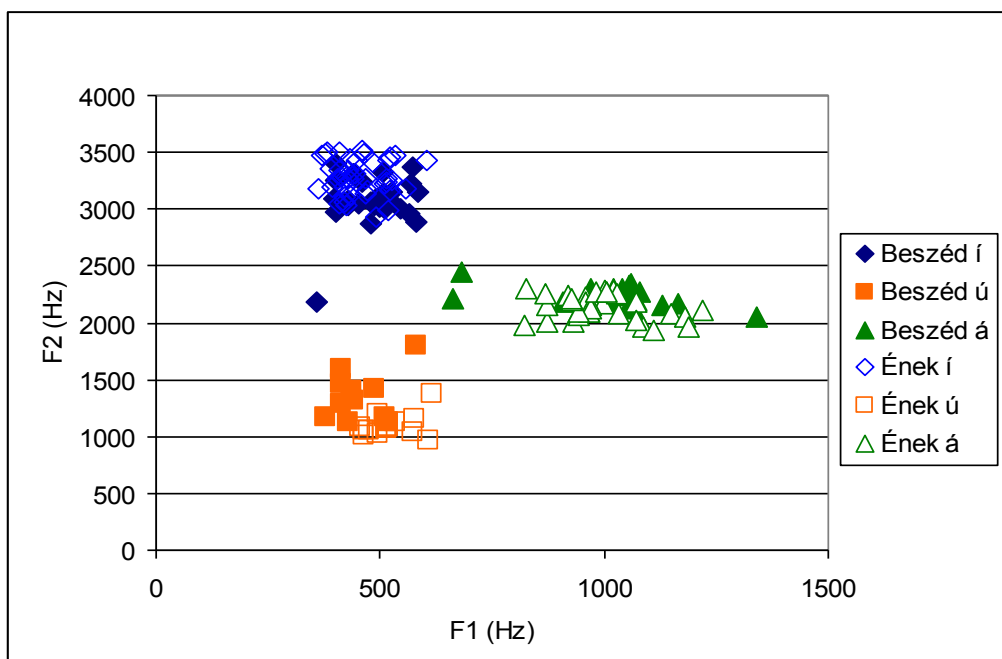
sorozatot adó) bark-skála értékek függvénye. Ennek megfelelően, bár a számok azt mutatják, hogy nagyobb a különbség az egyes hangminőségek közt a produkció szempontjából, ez nem jelenti, hogy a percepció is ugyanilyen mértékben képes differenciálni a magánhangzókat.

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 problémának 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 ejtetsmódonként.



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

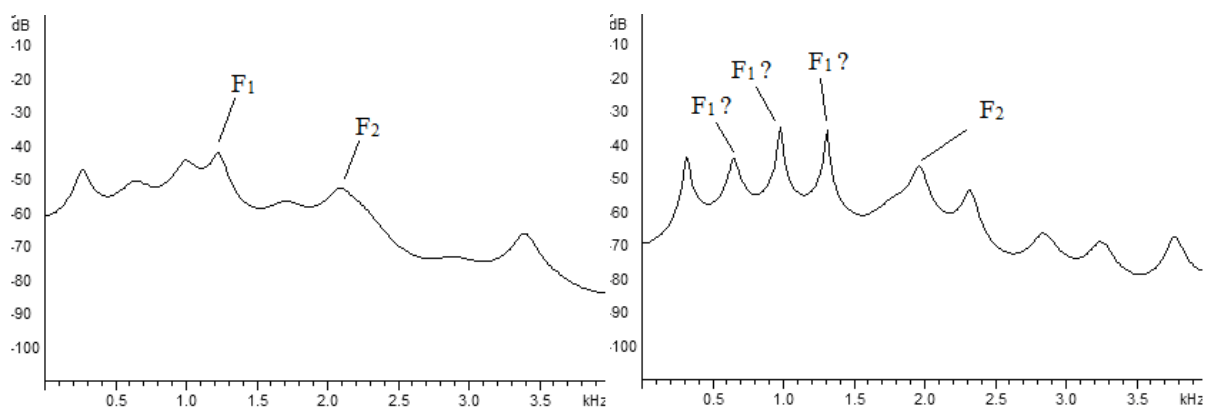
Bár a hangzók elkülönülése egy-egy kiugró előfordulást leszámítva nem tűnik jelentősen különbözőnek a beszélt és énekelt ejtés esetében, a statisztikai elemzés szignifikáns eltérést mutat. (Mivel az adatok a Shapiro–Wilk próba szerint nem normál eloszlásúak, ezért az összevetést a Mann–Whitney U-próbával 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 toldalékcso 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

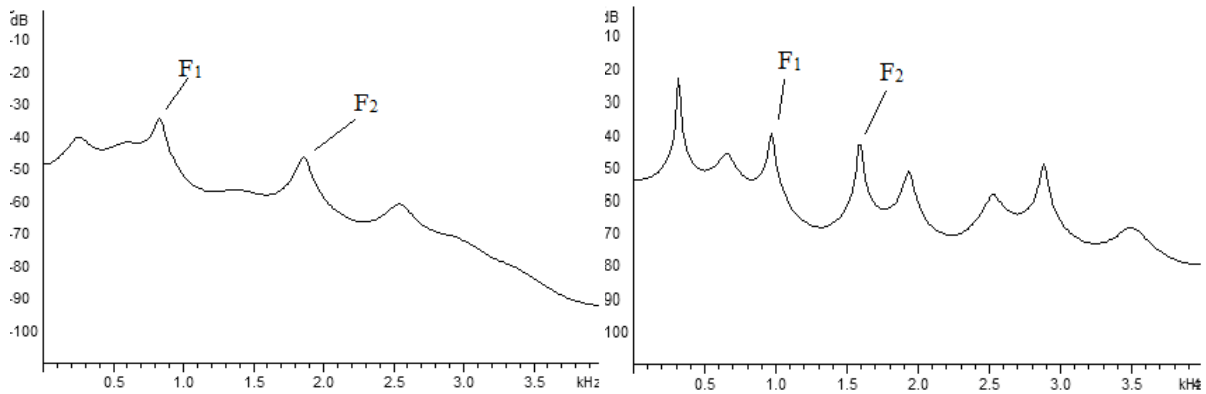
Amint azt a bevezetőben is említettük, a profi énekesek kihasználják, hogy toldalékcsové képes a hangszalagrezgés segítésére, így a hangspektrum felső tartományának, ezáltal pedig a(z ének)hang intenzitásának erősítésére. Annak vizsgálatára, hogy a nyolcéves, korosztályában zeneileg képzett gyermek énekhangképzési 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 lát-

ható. A különbségeket minden bizonnyal az énekprodukciónak technika sajátosságai okozzák. A spektrumokat összevetettük az ugyanezen fonetikai kontextusban realizálódó [á] hanggal a profi szoprán (l. Grácsi – 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 [á] 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 meszeszemenő következtetésekbe, az eredmények lehetőséget adnak a kutatás további irányát meghatározó előfeltevések megfogalmazására. A hangspektrum energiaeoszlásának további kutatása ugyanis megválaszolhatja azt a tanításmetodikailag nagyon is releváns kérdést, hogy milyen hangerő, milyen intenzitás várható el a gyermekek énekprodukcójában. A jelen eredmények alapján azt feltételezzük, hogy a gyermekek énekejtése halk, a felnőttéhez képest kvázi *piano* teljesítményre képes, a nagyobb hangerő túlzott erőltetése 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-alkotással, 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 énektanításban, de olyan kutatásról, mely a ma Magyarországon használatos tankönyveket ilyen szempontok szerint vizsgálná, vagy az énektanárok vélekedéséről adna összefoglalást, 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 mérésére, 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 és 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 produktív módok ugyanis (a beszédben tapasztaltakhoz hasonlóan) a hangterjedelem felfelé vagy lefelé kiterjesztésére tett kísérletek velejárói voltak. Ilyen módon azt állapítottuk meg, hogy a gyermek énekhang-terjedelme 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 kategória 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 zöngképzéssel.

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 percepciókutatást 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 énekhang-terjedelmét 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 „elvnék” 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 tapasztalatszernek, illetve hogy valóban kimutatható-e a tankönyvi anya-

gokban 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 magánhangzóra vonatkozó előfeltevésünk helyesnek bizonyult, hiszen adataink azt mutatják, hogy a gyermek vokálisainak formánsai mind a felnőtt átlagnál, mind pedig a felnőtt női beszélőéinél 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 intenzitásnövekedést 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 kategória 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 percepciós alapú elemzésével tervezzük. A kérdéshez tartozik továbbá a gyermek és felnőtt énekhang regiszterváltásainak összevetése is, illetve annak felderítése, hogy 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 probléma 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.

Irodalom

- Bloothoft, G. and 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. pp. 1259–1264.
- Boersma, P. and Weenink, D.** (2009) *Praat: doing phonetics by computer* (Version 5.1). http://www.fon.hum.uva.nl/praat/download_win.html
- Bőhm T. és Újvári I.** (2008) Az irreguláris fonáció mint egyéni hangjellemző a magyar beszédben. In: Gósy Mária (szerk.) *Beszéd kutatás 2008*. Budapest: MTA Nyelvtudományi Intézete. 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.) *Félúton 6. A 6. félúton konferencia (2010) kiadványa*. <http://linguistics.elte.hu/studies/fuk/fuk10>
- Eguchi, S. and Hirsch, L. J.** (1969) Development of speech sounds in children. *Acta Oto-Laryngologica*. Supplementum 257. pp. 1–51.
- Fant, G.** (1966) A note on vocal tract size factors and non-uniform F-pattern scalings. *STL-QPSR* 7/4. pp. 22–30.
- Garnier, M., Henrich, N., Smith, J. and Wolfe, J.** (2010) Vocal adjustments in the high soprano range. *Journal of Acoustical Society of America* 127/6. pp. 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. *NyudÉrt* 102. Budapest: Akadémiai Kiadó.
- Gósy M.** (2004) *Fonetika, a beszéd tudománya*. Budapest: Osiris.
- Gósy M.** (2005) *Pszicholingvisztika*. Budapest: Osiris.
- Gráczai T. E. és 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., Theresa, A. and Johnson, K.** (1999) Formants of children, women and men: The effects of vocal intensity variation. *Journal of Acoustical Society of America* 106/3. pp. 1532–1542.
- Ishizuka, K., Mugitani, R., Kato, H. and Amano, S.** (2007) Longitudinal developmental changes in spectral peaks of vowels produced by Japanese infants. *Journal of Acoustical Society of America* 121/4. pp. 2272–2282.

- Joliveau, E., Smith, J. and Wolf, J.** (2004) Vocal Tract resonances in singing: The soprano voice. *Journal of Acoustical Society of America* 116/4. pp. 2434–2439.
- Lee, S., Potamianos, A. and Narayanan, S.** (1999) Acoustics of children's speech: Developmental changes of temporal and spectral parameters. *Journal of Acoustical Society of America* 105/3. pp. 1455–1468.
- Lindblom, B.** (1990). Explaining phonetic variation: a sketch of the H and H theory. In: Hardcastle, W. J., Marchal, A. (eds.) *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* 38/1. pp. 75–103.
- McAllister, A., Sederholm, E. and Sundberg, J.** (1993) Acoustic and perceptual analysis of vocal registers in children. *STL-QPSR* 34/4. pp. 29–34.
- Mecke, A. and Sundberg, J.** (2010) Gender differences in children's singing voices: Acoustic analyses and results of a listening test. *Journal of Acoustical Society of America* 127/5. pp. 3223–3231.
- Millhouse, T. and Clermont, F.** (2007) Acoustic description of a soprano's vowels based on perceptual linear prediction. *ICPhS 16th*. pp. 901–904.
- Nordström, P.-E.** (1975) Attempts to simulate female and infant vocal tracts from male area functions. *STL-QPSR* 2–3. pp. 20–33.
- Nordström, P.-E.** (1977) Female and infant vocal tracts simulated from male area functions. *Journal of Phonetics* 4. pp. 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* 2/2–3. pp. 127–140.
- Rinta, T. E. and Welch, G. F.** (2009) Perceptual connections between prepubertal children's voices in their speaking behavior and their singing behavior. *Journal of Voice* 23/6. pp. 677–686.
- Scotto di Carlo, N. and Germain, A.** (1985) A perceptual study of the influence of pitch on the intelligibility of sung vowels. *Phonetica* 42/4. pp. 188–197.
- Sergeant, D. C., Sjölander, P. J. and Welch, G. F.** (2005) Listeners' identification of gender differences in children's singing. *Research Studies in Music Education* 24. pp. 28–39.
- Sjölander, K. and Beskow, J.** (2009) *Wavesurfer* (Version 1.8.8).
<http://www.speech.kth.se/wavesurfer>
- Sundberg, J.** (1968) Formant frequencies of bass singers. *STL-QPSR* 9/1. pp. 1–6.
- Sundberg, J.** (1969) Articulatory differences between spoken and sung vowels in singers. *STL-QPSR* 10/1. pp. 33–46.
- Sundberg, J.** (1977) The Acoustics of the singing voice. *Scientific American* 236. pp. 82–91.
- Sundberg, J.** (1989) *The Science of the Singing Voice*. Illinois: 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* 18/3. pp. 292–298.
- Van der Stelt, J. M., Zajdo, K. and Wempe, T. G.** (2005) Exploring the acoustic vowel space in two-year-old children: Results for Dutch and Hungarian. *Speech Communication* 47. pp. 143–159.
- Várnai P.** (1975) *Operalexikon*. Budapest: Zeneműkiadó.
- Vorperian, H. K. and Kent, R. D.** (2007) Vowel acoustic space development in children: A synthesis of acoustic and anatomic data. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research* 50. pp. 2510–2545.
- Welch, G. and Howard, D. M.** (2002) Gendered voice in the cathedral choir. *Psychology of Music* 30. pp. 102–120.
- White, P.** (1999) Formant frequency analysis of children's spoken and sung vowels using sweeping fundamental frequency production. *Journal of Voice* 13/4. pp. 570–582.
- Wolfe, J., Garnier, M. and Smith, J.** (2009) Vocal tract resonances in speech, singing and playing musical instruments. *Human Frontier Science Program Journal* 3. pp. 6–23.