

Az alapfrekvencia jellemzőinek longitudinális összevetése felőtt beszélők felolvasásában

Markó Alexandra¹, Huszár Anna², Krepsz Valéria^{2,1}, Gráci Tekla Etelka²

¹*ELTE BTK Alkalmazott Nyelvészeti és Fonetikai Tanszék*

²*Nyelvtudományi Kutatóközpont*

³*Humboldt University of Berlin*

Abstract

Speech changes with age, in several aspects. With respect to fundamental frequency (f₀), there is a wealth of cross-sectional analyses of changes. However, longitudinal analyses are rare, due to the methodological difficulties, even though these studies are able to control many of the variables which are not controlled in most of the cross-sectional analyses. In the present paper, the change of the fundamental frequency (f₀) was studied in young adults' speech within a ten-year-long interval. Most studies that describe f₀ across lifespan embrace larger time intervals, however, the observations on short-term changes can be applied with various respects. The present study analysed the f₀ characteristics in 20 young adults' sentence reading with ten year difference between the recordings of the same healthy speakers. At the time of the first recording, the speakers (10 males and 10 females) were at the age of 20-45 years, while they were between 30 and 55 years at the second recording's time. Besides the mean f₀, the overall f₀ range of the recordings and the utterance level f₀ range were measured.

The results showed that the f₀ mean decreased in female speakers after 10 years, but no clear tendency was found in male speakers within the analysed 10 years. The overall f₀ range of the recordings did not change in the analysed time interval, however, at the utterance level, the f₀ range was higher in the second recording. The data showed considerable interspeaker variability. The results (and the database) are relevant for forensic phonetic applications and can serve as baselines for speech pathology research.

Keywords: alapfrekvencia, longitudinális változások, hangköz, hangterjedelem

1. Bevezetés

Jól ismert, hogy az alapfrekvencia (f₀) az életkor előrehaladtával folyamatosan változik. Általánosságban elmondható, hogy kisgyermekkorban a beszélők alapfrekvenciája magasabb, mint fiatal felnőttkorban, és az első néhány évben

Email addresses: marko.alexandra@btk.elte.hu (Markó Alexandra),
huszar.anna@nytud.hu (Huszár Anna), krepsz.valeria@nytud.hu (Krepsz Valéria),
graczi.tekla.etelka@nytud.hu (Gráci Tekla Etelka)

nem mutatható ki különbség a két nem között. A fiúk és lányok alapfrekvenciájának elkülönülése körülbelül pubertáskorra tehető, amikor a fiúk alapfrekvenciája jelentősen, a lányoké pedig kisebb mértékben csökken (Pedersen et al., 2015; Berger et al., 2019), így a pubertáskor után és a fiatal/középkorú felnőttkorra az általánosan tapasztalható tendenciát hozva létre: a férfiak alapfrekvenciája alacsonyabb lesz a nőkéénél (összefoglalóan lásd pl. Traunmüller & Eriksson, 1995). Időskorban szintén jelentős változások feltételezhetők, általánosan a következő tendenciák megjelenése valószínűsíthető: a nők alapfrekvenciája csökken, a férfiaké pedig valamelyest növekszik, azaz a két nem beszélőinek f_0 -értékei közelítenek egymáshoz (Brown et al., 1991; de Pinto & Hollien, 1982). Kérdés azonban, hogy a fiatalokú felnőttek beszédének alapfrekvenciája, amelyhez általában viszonyítják a más életkorokban kapott adatokat, valóban állandónak és változatlanul tekinthető-e, vagy a hang esetleg ebben a rövidebb időintervallumban is változik-e. Ugyanis ha a fiatalokú felnőttek beszédében is található változás az alapfrekvencia jellemzőit tekintve, akkor a nagyobb életkori távlatban tett összevetéseknél ezt is figyelembe kell venni.

A különböző szakirodalmi eredmények sokszor ellentmondásosak abban a tekintetben, hogy a fiatalokú és a középkorú felnőttek beszédében mérhető-e változás az egyénen belül vagy eltérés az (egymáshoz közelebb álló) életkori csoportok között (vö. pl. Nishio & Niimi, 2008 vs. Cox & Selent, 2015).

Az elemzések során azt is figyelembe kell venni, hogy az alapfrekvenciát a beszélő életkora mellett más tényezők is meghatározzák, így például a különböző fiziológiai változások, amelyeket az elsődleges és a másodlagos öregedés vált ki (Busse, 2002). Az elsődleges öregedés az életkor előrehaladása miatt bekövetkező szükségszerű fiziológiai változás, míg a másodlagos öregedés az egyén betegségei, szokásai/életvitele (pl. dohányzás, sport) és a külső tényezők (pl. szmog) hatására lezajló változások. Ez utóbbit további kategóriákra is bontják a betegségek és az egyéb jellemzők mentén. A két öregedési hatás önmagában is változatosan jelenik meg az egyének között (Belsky et al., 2015). Emellett a különböző módszertani (pl. a felvétel körülményei, az adott feladat) és a beszélők

között kimutatható jelentős egyéni különbségek is magyarázatként szolgálnak az eltérésekre.

1.1. Keresztmetszeti vizsgálatok

Hollien & Ship (1972) egy korai vizsgálatában 175 férfi beszélő felolvasását elemezte keresztmetszeti vizsgálati módszertan segítségével, azaz különböző életkorú beszélői csoportok összevetésével (20 és 90 év között). Eredményeik szerint kora felnőttkorban, 20 és 40 év között, magasabb átlagos alapfrekvencia-értéket kaptak, mint az idősebbek beszédében (112 Hz vs. 107 Hz), majd később, 60 és 80 éves kor között egyre magasabbakat, 70–79 éves kor között átlagosan 132 Hz, 80–89 éves kor között 146 Hz-es átlagos alapfrekvencia-érték volt megfigyelhető. Hasonló eredményeket: eleinte egyre alacsonyabb értékeket, majd stagnáló, később egyre magasabb értékeket adatoltak más férfi beszélőknél is. Stathopoulos és munkatársai (2011) 200 beszélőt vizsgáltak egy szinte teljes életen átívelő – 4 és 93 év közötti beszélőkkel elvégzett – keresztmetszeti vizsgálatban. 4 és 20 éves kor között az életkorral előrehaladva egyre alacsonyabb értékeket mértek. 20 és 50 év közötti férfiaknál ugyancsak csökkentek az értékek az életkor előrehaladtával, de ezek az eltérések kisebb mértékűek voltak, mint a 4 és 20 év közöttiek esetében. Az 50 év feletti beszélőik esetében az életkor mentén növekvő értékeket kaptak. A szerzők nem közöltek konkrét adatokat az egyes korosztályok esetében, a bemutatott ábra (Stathopoulos et al., 2011: 1015) alapján a legmagasabb értékek a fiúgyermekek esetében érték a 350 Hz-et, majd felnőttkorra több adatközlő átlagos f0-értéke is 100 Hz alá csökkent. Ehhez képest némely idős beszélő átlagértékei 150 Hz fölötti értéket értek el. Schötz (2006) is változó tendenciát igazolt 268 férfi eredményeinek összevetése alapján, ahol 20-tól 50 éves korig egyre alacsonyabb értékeket mért (átlagosan 120 Hz vs. 112 Hz), 50 éves kor felett pedig egyre magasabbakat (a legidősebb, átlagosan 90 éves beszélőknél 143 Hz-es átlagot mértek). Nishio és Niimi (2008) 374 egészséges beszélő (azonos számú nő és férfi) alapfrekvenciáját vizsgálta tinédzserkor és időskor között. A férfiaknál ők is egyre alacsonyabb átlagos alapfrekvencia-értékeket találtak időskorban (a 19 és 69 éves kor között 119–123

Hz-esnek mért átlagos alapfrekvencia 80 és 89 éves kor között elérte az átlagosan 136 Hz-es értéket), ám ez csupán 70 éves kor fölött mutatkozott meg.

Ezzel szemben Eichhorn és munkatársai (2018), akik Hollienékhez hasonlóan 96 (43 férfi és 53 női), 20 és 92 év közötti angol beszélő alapfrekvenciájának értékét vizsgálták 3 életkori csoportban felolvasásban és egy szótagos szavakban, a fenti csökkenést mutató eredményekkel szemben már a két fiatalabb korcsoport esetében is az idősebb esetében magasabb értékeket találtak a férfiaknál az életkor előrehaladtával (20–30 éves kor között: 102–112 Hz, 40–60 éves kor között: 108–115 Hz, 70–92 éveseknél: 119–126 Hz). Szintén magasabb átlagos alapfrekvencia-értéket igazolt az idősebb vizsgálati csoport esetében Debruyne és Decoster (1999). Ebben a vizsgálatban a fiatalabb korosztály, azaz 40, életkorát tekintve 21;3–29;5 év közötti férfi átlagos alapfrekvencia-értéke 112 Hz volt; az idősebb beszélőké, azaz 60;7–94;3 év közötti életkorú 40 férfié 125 Hz volt. Sebastian és munkatársai (2012) 60 és 80 éves kor között, illetve Torre és Barlow (2009) átlagosan 25 és 75 éves beszélők értékeinek összevetésekor ugyancsak magasabb átlagos alapfrekvencia-értékeket talált az idősebb korosztályokban: a fiatalabb beszélők (20–35 év) átlagértéke 114 Hz, az idősebbeké (60–89 év) 142 Hz volt. A korábbi eredményekkel szemben Cox és Selent (2015) fiatalabb korosztályok között egyre magasabb, idősebb korosztályok között egyre alacsonyabb értékeket kapott 35 férfi beszélő esetében, akiket öt életkori csoportba osztottak (20–29 éves kor között átlagosan 122 Hz-et mértek, 30–39 év között 128 Hz-et, a 40–49 éves korcsoportban 117 Hz-et, 50 és 59 éves kor között 114 Hz-et, 60–69 éveseknél pedig 113 Hz-et, azonban a beszélők létszáma nem volt azonos).

A női beszélőknél 60 éves korig fokozatosan egyre alacsonyabb alapfrekvencia-értékeket mértek az életkor előrehaladtával a következő kutatások: Nishio és Niimi (2008: 19 éves korban 226 Hz vs. 89 éves korban 168 Hz), Debruyne és Decoster (1999: a 22–28 évesek átlagértéke 197 Hz, a 60–90 éves beszélőké 180 Hz volt), Kaur és Narang (2015: 5–80 év között, az átlagértékek 388 Hz és 170 Hz között változtak), Sebastian és munkatársai (2012: 60–80 év között 136–145 Hz közötti átlagos f0 ötvenkénti korcsoportokban), Torre és Barlow (2009: a

fiatalabb beszélők átlaga 204 Hz, az idősebb beszélőké 180 Hz volt), Eichhorn és munkatársai (2018: 20–30 éves korban: 200–212 Hz, 40–60 évesen 165–178 Hz), valamint Stathopoulos és munkatársai (2011) is. Ez utóbbi tanulmány pontos adatokat nem közöl, de a 2. ábrájuk (Stathopoulos et al., 2011: 1015) alapján a legfiatalabb korosztálynál (a 4 éves beszélőknél) mért f_0 értéke 250–260 Hz között volt, a 90 éves kort követően pedig átlagosan 150–170 Hz körül valósult meg, a trendvonalak szerint pedig folyamatos csökkenés mutatható ki az életkor előrehaladtával. Eichhorn és munkatársainak vizsgálatában a 60 évnél idősebbek esetében az életkor növekedésével egyre magasabb f_0 -értéket mértek (70 éves kor felett 166–188 Hz), míg Stathopouloséknál nem volt kimutatható egységes tendencia az idősebb beszélőknél.

Nishio és Niimi (2008) nem csupán az f_0 -átlagértékeket, de az egyénenkénti legalacsonyabb és legmagasabb f_0 -érték különbségét is elemezte. Eszerint a férfiaknál fiatal felnőttkorban 66 Hz, idősebb korban 62 Hz, a legidősebb vizsgált korcsoportnál pedig 73 Hz hangtartományt adatoltak, míg a nőknél ugyanezen sorrend szerint 82, 64 és 77 Hz-es tartományt.

Látható tehát, hogy az átlagos alapfrekvencia értéke már fiatal és középkorú felnőttek esetében is eltérést mutat az életkor mentén, egyes kutatások szerint a 20 és 40 éves kor között igazolódó tendencia eltér a későbbi, idősebb korban tapasztaltaktól.

1.2. Longitudinális vizsgálatok

A jelentős egyéni különbségek, valamint a módszertani nehézségek kiküszöbölése érdekében a keresztmetszeti kutatások mellett az alapfrekvencia változását longitudinális módszertan segítségével is vizsgálták. Az igazolt tendenciák – a keresztmetszeti kutatásokkal szemben – közel egységesnek tekinthetők: a hosszútávú idővizsgálatok csökkenő tendenciát igazoltak a beszélők f_0 -értékeiben a korábbi és a későbbi felvételek összevetése alapján. Ennek feltehetően részben az az oka, hogy a keresztmetszeti kutatások általában nem vagy kevésbé kontrollálnak olyan tényezőket, amelyek bizonyítottan hatással vannak az alapfrekvencia alakulására. A longitudinális mérések esetében az egyénen

belüli változásokat az idősödés mint alapvető hatás befolyásolja. A longitudinális kutatások elvégzése jóval nehezebb, hiszen hosszú távú elköteleződést kíván meg minden résztvevőtől, a kutatókat is beleértve, és az életútban bekövetkező változások nem mindig teszik lehetővé az egyes egyének újbóli bevonását az egymást követő vizsgálati időszakokban. Ennélfogva longitudinális kutatásból kevesebbet ismerünk, és ezek jellemzően kisebb beszélőszámot vonultatnak fel, változó időintervallumokban.

50 év távlatából (1945-ben 28 fővel, 1981-ben közülük 5 fővel, majd 1993-ban 15 fővel készített felvételek alapján) hasonlították össze 15 ausztrál nő hangmin-táját Russel és munkatársai (1995). Az első felvétel alkalmával a beszélők 18–25 évesek, a másodiknál 53 és 56 év közöttiek, a harmadiknál pedig 65–68 évesek voltak. Az életkori szóródásbeli eltérés azzal magyarázható, hogy az eredeti adatbázis 28 fővel készült, később azonban csak közel egyhatodukat, még később pedig az eredeti adatközlők közel felét tudták elérni. Az eredmények szignifikáns csökkenést mutattak az életkor előrehaladtával az első és az utolsó felvételek között, amelyet minden beszélőnél alátámasztottak az adatok. Ezzel szemben a második és a harmadik felvétel között jelentős eltérések mutatkoztak a beszélők között a változás irányában: 3 beszélőnél kismértékű növekedés/stagnálás, 2 beszélőnél kismértékű csökkenés mutatkozott. Egy másik kísérletben Harrington és munkatársai (2007) II. Erzsébet királynő „Christmas broadcasts” korpuszát (az 1950-es évektől a 2000-es évekig elmondott karácsonyi köszöntők felvételeit) elemezték. Ennek fontos előnye, hogy a jó minőségű rögzítés mellett ugyanaz a beszéd stílusa, és tartalmaz minden alkalommal megismétlődő mondatot is, így az alaphérfekvencia elemzése viszonylag állandó körülmények között valósulhatott meg. Harrington és kollégái megállapították, hogy az életkor előrehaladtával csökkent az alaphérfekvencia értéke 253 Hz-ről 189 Hz-re a közel 50 év alatt. Ezt a beszédképző szervek folyamatos öregedésével és a fiziológias változásokkal magyarázták.

Szintén II. Erzsébet királynő karácsonyi beszédeit alapul véve igazolták Mwangi és munkatársai (2009), valamint Reuboldt és munkatársai (2010) az alaphérfekvencia fokozatos csökkenését a beszélő 25 és 75 éves kora között. A legjelentő-

sebb változás körülbelül 25 és 45 éves kor között, valamint 70 éves kor fölött volt megfigyelhető a két kutatás eredményei alapján. Egy másik kutatásban (Harrington et al., 2007) II. Erzsébet királynő hanganyagát másik három beszélő értékeivel vetették össze 24–50 év távlatából. Az egyikük Margaret Lockwood, a BBC rádióbemondója volt, továbbá egy ausztrál férfi beszélő és egy új-zélandi férfi beszélő (az utóbbiakat nem nevezte meg a tanulmány). Sajnos a kutatásból levonható következtetések hatását csökkenti, hogy a beszélőkkel eltérő körülmények között rögzítették az egyes felvételeket. Emellett a beszélők más életkorúak voltak (Erzsébet királynő hanganyagát 26, illetve 76, Margaret Lockwood-ét 40, illetve 64 éves, az ausztrál férfi hanganyagát 40 és 79 éves, az új-zélandi férfi közléseit pedig 36 és 73 éves kora között rögzítették különböző időpontokban), illetve más típusú professzionális beszélőknek tekinthetők (uralkodó, rádiós, illetve televíziós bemondók), más időközönként rögzítették a hanganyagaikat (50, 24, 39 és 37 év elteltével), és más adatbázisból származtak a felvételek. Az eredmények azonban azt mutatták, hogy mindettől függetlenül mind a négy beszélő esetében az alaphangfrekvencia csökkenése volt megfigyelhető.

Ezzel szemben Decoster és Debruyne (2000), 20 holland nemhivatásos férfi beszélő hanganyagának összevetése során jelentős eltéréseket talált az életkor mentén az egyes beszélők alaphangfrekvencia-értékei között. Noha az átlagértékek 14 Hz-cel csökkentek, valójában 5 beszélőnél növekedés, míg 15 főnél csökkenés volt kimutatható.

1.3. A jelen kutatás célkitűzése és hipotézisei

Ahogy mind a keresztmetszeti, mind a longitudinális módszertannal készült vizsgálati eredmények alapján látható, a változás egész életünk során megfigyelhető, az időskor felé mutató, nemenként, sőt sokszor beszélőnként is eltérő tendencia már fiatal felnőttkorban megállapítható. Ennek mértéke, iránya, módja vizsgálatonként eltérő lehet, így ezen eredmények alapján az sem állapítható meg teljes bizonyossággal, hogy vajon mely életkortól kezdődően figyelhető meg változás a fiatal beszélők esetében.

Összefoglalóan elmondható, hogy a különböző kutatások gyakran egymásnak is ellentmondó eredményekre jutottak az alapfrekvencia értékeinek alakulását tekintve fiatal felnőtt beszélők esetében. Míg a longitudinális kutatások többsége viszonylag ritkán vizsgálta a beszélők jellemzőit fiatal korban, illetve rövid intervallumon belül, továbbá a módszertani sokszínűség is nehezíti az összevetést, a vizsgálatok többsége csökkenő tendenciát igazolt fiatal felnőttkorban (elsősorban II. Erzsébet királynő eredményei alapján). Ezzel szemben a keresztmetszeti kutatások esetében egymásnak ellentmondó eredmények születtek: míg az egyes kutatások esetében 20 és 40 éves kor között mutatkozott a legmeredekebb csökkenés (vö. pl. Hollien & Ship, 1972), mások növekedést (vö. pl. Stathopoulos et al., 2011; Eichhorn et al., 2018) adatoltak.

A jelen kutatás célja felmérni fiatal felnőtt (20 és 40 év közötti), nem professzionális beszélők alapfrekvenciájának változását 10 éves távlatból, amely eredmények többek között a beszélőazonosítás szempontjából is meghatározók lehetnek. Decoster és Debruyne (2000), Harrington és munkatársai (2007), valamint Reubold és munkatársainak (2010) korábbi eredményei alapján a vizsgálat megkezdése előtt azt feltételeztük, hogy (i) az átlagértékekben kismértékű eltérések, ám az egyes beszélők között jelentős individuális különbségek mutatkoznak meg az alapfrekvencia értékének változásában.

A nők esetében gyakoribb volt, hogy a korábbi kutatások csökkenő tendenciát találtak (de náluk is változó volt az eredmény a tanulmányok között), így azt feltételeztük, hogy (ii) a nők felolvasásában az alapfrekvencia csoportszinten csökken, de nagy egyéni különbségeket vártunk. A férfiak esetében sokkal több ellentmondó eredményt adtak ebben az életkorban a fenti elemzések, ezért feltételeztük, hogy (iii) nem mutatható ki az átlagos alapfrekvencia egységes csökkenése vagy növekedése. Az alapfrekvencia átlagos értékein túl elemeztük a hangterjedelmet, azaz a beszédmintában produkált legmagasabb és legalacsonyabb frekvenciaérték arányát, illetve a hangközt, az egy-egy mondaton belül mérhető legmagasabb és legalacsonyabb alapfrekvencia arányát (félhangban). (iv) Ezekben az értékekben nem vártunk csoportszinten igazolható eltérést a tízéves intervallumban.

2. Kísérleti személyek, anyag és módszer

2.1. Kísérleti személyek

A vizsgálatban a Longitudinális korpuszból (Grácz et al., 2020) választottunk adatközlőket. A Longitudinális korpuszt a BEA adatbázis (Neuberger et al., 2014) beszélőinek 10-11 évvel később újra rögzített beszédmintái alkotják, azaz rendelkezésre áll két olyan felvétel minden beszélőtől, amelyek között egy évtized telt el. A korpusz jelenleg 25 fő felvételét tartalmazza. Közülük választottunk 10 nőt és 10 férfit, akik fiatal vagy középkorú beszélők voltak az első felvétel idején. A BEA adatbázis felvételének készültekor az életkoruk 20 és 45 év közötti, átlagosan $26,4 \pm 6,2$ év volt. (A tanulmányban az átlag \pm szórás alakot használjuk.) A férfiak, 20 és 34, a nők 21 és 45 év közöttiek voltak az első felvétel idején, és 30–44, illetve 31–55 évesek a második felvétel készültekor (a 45 éves nő eredményei nem tértek el a csoportra jellemző tendenciáktól, ezért nem zártuk ki az elemzésből). A beszélőknek sem hallásproblémájuk, sem beszédhibájuk nem volt a felvételek készültekor.

2.2. Anyag

Mind a BEA adatbázis, mind a Longitudinális korpusz protokolljában szerepel mondatfelolvasási feladat. A BEA-felvételeken 25 mondatot olvastak fel az adatközlők, melyek közül az újabb felvételek során 15 szerepelt ismét. Ezt a 15, eltérő hosszúságú és összetettségű mondatot elemeztük a vizsgálatban az alábbi szempontok szerint. A Longitudinális korpusz esetében egy olyan kérdőívet is kitöltöttek az adatközlők, amelyben a beszédüket esetlegesen befolyásoló tényezőkre kérdeztünk rá. Ezek az alábbiak: beszédproblémák, hangterhelés, fül-orr-gégészeti, mozgásszervi, hormonális, neurológiai, reflux, krónikus légzőszervi megbetegedések, gyógyszeresedés, dohányzás, rendszeres alkoholfogyasztás, átlagos folyadékfogyasztás.

2.3. Módszer

A 15 mondat felolvasását a Praat szoftverben (Boersma & Weenink, 2020) annotáltuk szakaszszinten. A félreolvasást, irreguláris zöngét vagy zajt tartal-

mazó szakaszokat kizártuk az elemzésből (egy olyan mondat volt egy beszélő egyik hangfelvételén, amelyet teljesen ki kellett zárunk az elemzésből zajosság miatt). Az alaphfrekvencia-mérés határértékeit egy előzetes mérés alapján állítottuk be 75 és 600 Hz közé, az ablak hosszát pedig a Praat alapbeállításával (0,04 s) tartottuk meg. Ezen első mérést követően átnéztük a mondatokra kapott alaphfrekvencia-meneteket. Az ellenőrzés alapján a 400 Hz feletti értékek oktávugrással jöttek létre, ezért ezeket megfeleztük. Ezek után az automatikus mérés eredményeit minden egyes mondat esetében ellenőriztük, és szükség szerint javítottuk a beszélőre nem jellemző tartományba eső értékeket. A nők esetében ez a 150 Hz alatti, egy nő (N01) esetében a 100 Hz alatti értékek eltávolítását jelentette, a férfiaknál pedig a 250 Hz feletti (F01, F02, F03, F06, F08, F09), 200 Hz feletti (F04, F05, F010) vagy 160 Hz feletti (F07) értékek eltávolítását. További egy férfi esetében a 100 Hz alatti értékeket is eltávolítottuk (F04).

Az alaphfrekvencia teljes tartományának eloszlását és jellemzőit vizsgáltuk. Az átlagos alaphfrekvencia értékét a teljes felvételen és mondatonként is, a hangterjedelmet (a jelen esetben az adott felvételen mért legmagasabb és legalacsonyabb f_0 -érték eltérése félhangban) és a hangközt (az adott felvételkor az adott mondatban mért legmagasabb és legalacsonyabb érték eltérése félhangban) számítottuk ki és vetettük össze a beszélők két felvételkori beszédmintáiban. A minimum- és maximumértékek összevetésére a félhangban való számítást választottuk (a korábbi kutatásokban alkalmazott frekvenciakülönbségek számítása helyett), mert így az értékek az arányokat mutatják, és így a hangok közötti különbségek pszichoakusztikai képzetét reprezentálják.

A legmagasabb értéket a mondat első negyedében mértük, mivel egy mondat kivételével (F07 beszélő második felvételének m5-ös mondata – itt a mondat második feléből mértük a csúcs értékét) ebben a tartományban jelent meg a dallamcsúcs. Az alaphfrekvencia-minimumot pedig az ez utáni tartományban mértük. Az időbeli elkülönítésre azért volt szükség, mert egy-egy kiugró, de nem frekvenciacsúcsához tartozó érték megjelenhet zöngétlen mássalhangzók környezetében is. Ezek olyan téves adatok, amelyek értéke a mondat dallamcsúcs-értékéhez

közel eshet, de akár meg is haladhatja. A félhangszámításokat a HQmisc csomaggal végeztük (Quené, 2014). A hangterjedelem és a hangköz esetében a legmagasabb értéket viszonyítottuk a legalacsonyabb értékhez, az alaphangfrekvencia átlagának a két felvételi időpont közötti eltérésének vizsgálatában pedig a második felvételi (azaz későbbi) érték félhangbeli értékét számítottuk ki az első felvételi (azaz korábbi) felvétel értékéhez képest. Így ez utóbbi számításban a negatív érték alacsonyabb, a pozitív érték magasabb alaphangfrekvencia-átlagot jelent a második felvételen mért adatokban.

Az így kapott adatokat az R szoftverben (R Core Team, 2020) elemeztük. Mivel a mért értékeket kézzel ellenőriztük, további adattisztítást nem végeztünk. A mondatonkénti átlagos alaphangfrekvencia és a hangköz esetében beszélőnként 15 adat (egy nő egy felvételére 14) állt rendelkezésre felvételi időpontonként, ezekre lineáris kevert modelleket készítettünk az lme4 csomagban (Bates et al., 2015), melyek összevetését és a p -érték számítását az lmerTest csomaggal (Kuznetsova et al., 2017) végeztük Satterthwaite-approximációval. Az R^2 értékét a MuMIn (Bartoń, 2020) és az afex (Singmann et al., 2021) csomagok használatával nyertük ki. A legbővebb modelltől a kisebb felé haladtunk az elemzésekben, azaz a nemet és felvételi időt tettük fix hatásnak a legbővebb modellben, a szűkítés során pedig ezek közül hagytunk el egyet-egyét, illetve mindkettőt. A fix hatásokra random meredekséget illesztettünk. A legszűkebb modell random konstans tartalmazott. Az lmerTest csomag *anova()* módszerével vetettük össze a modelleket, és ha a bővebb és a szűkebb szignifikánsan eltért, a bővebbet tartottuk meg. A mondatokra random konstans, a felvételre beszélőnkénti random meredekséget állítottunk be, és összevetettük az egyszerűbb, a mondatra és a beszélőre is csak random konstans tartalmazó modellel az lmerTest *anova()* próbájával. Amennyiben nem volt szignifikáns eltérés, az alacsonyabb AIC-számú modellt tartottuk meg, vagyis az ezen mérőszám alapján kisebb előrejelzési hibával rendelkező, jobb minőségű modellt (Akaike, 1974). A kiinduló modellben függő változóként a mondatonként mért átlagos alaphangfrekvencia, illetve a hangköz szerepelt, fixhatásként a nem és a felvételi időpont, azok interakcióját is megengedve.

A teljes felvételre kapott átlagos alapfrekvencia-értékek és a hangterjedelem esetében beszélőnként egy-egy érték állt felvételenként rendelkezésre, ezért ezeket ismételt méréses próbával vetettük össze. Mivel egyik változó sem volt normál eloszlású, nem parametrikus próbát választottunk. Az ismételt mintás ANOVA nonparametrikus „megfelelője” a Scheirer–Ray–Hare-próba (rcompanion csomag: Mangiafico, 2021). Ennek azonban feltétele, hogy a mérési eredmények között ne álljon fenn korreláció. Ezt Spearman-féle rangkorrelációval ellenőriztük (*cor.test()* függvénnyel). Az alapfrekvencia-átlagok esetében fennállt korreláció, a hangterjedelem esetében azonban nem. Ezért a hangterjedelmet a Scheirer–Ray–Hare-próbával vetettük össze, ahol a hangterjedelem szerepelt függő változóként, fix faktorként pedig a nem és a felvétel interakciója. Az alapfrekvencia-átlagokat pedig Wilcoxon-próbával (a páros *t*-próba nemparametrikus megfelelője) vetettük össze. Ebben csak egy fix faktor adható meg, ezért nemenként készítettük el az elemzést.

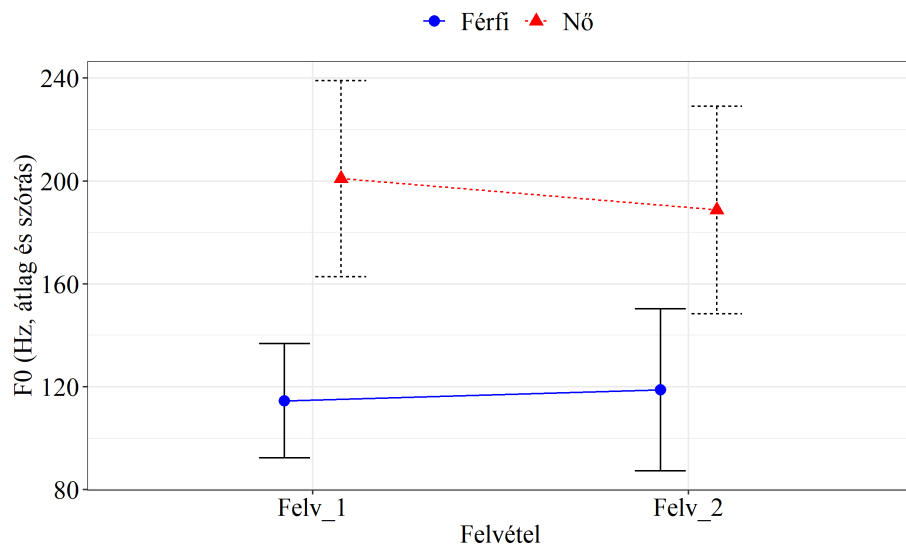
A beszélők eredményeit egyesével is elemeztük, összevetettük, kiknél kaphattunk az adott nemű beszélőktől eltérő tendenciát, mintázatot. A kérdőívben adott válaszaikkal összevetettük, hogy volt-e olyan tényező, ami jellemzően befolyásolta a kapott eredményeket.

3. Eredmények

3.1. Az alapfrekvencia változása

A két felvételi időpontban a két nemi csoportban mért f_0 -értékek átlagát és szórását az 1. ábra mutatja. A férfiak átlagos alapfrekvenciája az első felvételen 115 ± 22 Hz, a második felvételen pedig 119 ± 31 Hz volt. A nők átlagos alapfrekvenciája az első felvételen 201 ± 38 Hz, a második felvételen 189 ± 40 Hz volt. Ez az átlagok között $-1,08$ félhang eltérés a nők, $+0,63$ félhang a férfiak beszédében, azaz a nők teljes felvételre mért átlagos f_0 -jára csökkenés, míg a férfiak f_0 -jára növekedés volt jellemző 10 év elteltével, a csoportszintű eltérés azonban alacsony. A Wilcoxon-próba alapján az átlagértékek a nők esetében

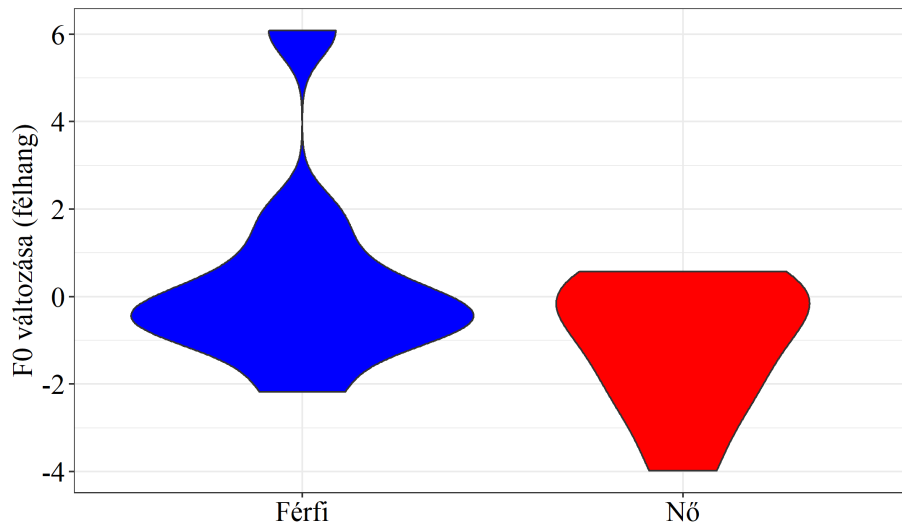
szignifikánsan eltértek a két felvétel között ($V = 3, p = 0,009$), míg a férfiak esetében nem.



1. ábra. Az alapprofrekvencia-értékek (Hz) tartománya nemenként és felvételi időpontoként

A 2. ábrán két violínplot, azaz hegedűábra látható, melyek gyakorlatilag 90° -ban elforgatott sűrűségfüggvények, tehát azt mutatják meg, hogy az y -tengely értékei mennyire gyakoriak (amelyik y -értéknél szélesebb a forma, az az y -érték gyakoribb). Az ábra az f_0 beszélőnként számolt eltérését mutatja, tehát azt, hogy mennyivel változott a férfiak és nők f_0 -ja 10 év elteltével. Beszélőnként mindkét felvételre kiszámoltuk az átlagértéket, és azoknak a félhangban mért eltérése szerepel az ábrákon (a második felvétel f_0 -átlagértéke az első felvétel f_0 -átlagértékéhez viszonyítva). Az ábrán a negatív tartomány jelzi a csökkenő, a pozitív tartomány pedig a növekvő tendenciát 10 év elteltével. Az f_0 -különbségek mediánja mindkét nem esetében a nullához közeli, negatív értéket vesz fel, ez a nők esetében $-0,68$ félhang (az átlag $-1,06 \pm 1,50$ félhang), a férfiak esetében pedig $-0,28$ félhang (az átlag $+0,43 \pm 2,29$ félhang). Egy férfi esetében jelentősen nagyobb eltérést kaptunk a két felvételi időpont között, mint a többiek beszédében: F_0 átlagos alapprofrekvenciája 108 ± 21 Hz-ről 153 ± 43 Hz-

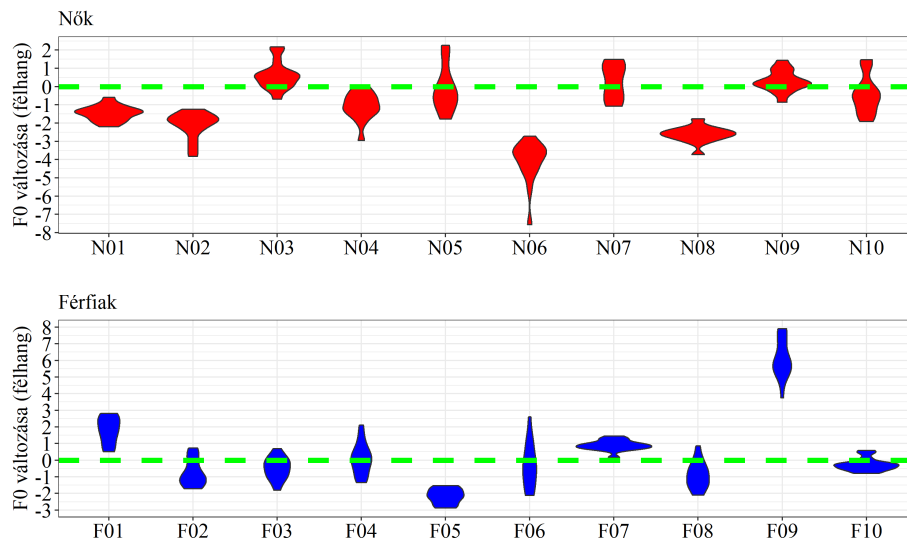
re emelkedett, azaz 6,09 félhanggal magasabb átlagos alapfrekvenciával olvasott a későbbi felvételen.



2. ábra. A beszélők átlagos f₀-értékének eltérése 10 év elteltével a nők és férfiak esetében (félhang)

A 3. ábra azt mutatja meg, hogy hogyan alakult az átlagos f₀ egyénenként. Míg a 2. ábrán az f₀-változást a teljes felvételek átlagos alapfrekvencia-értékéből számítva ábrázoltuk, addig a 3. ábra nemcsak abban tér el ettől, hogy beszélőkre bontva látszanak az adatok, hanem abban is, hogy a mondatonkénti f₀-eltérések láthatóak rajta. Az adatok minden beszélő esetén abból a 15 (illetve egy esetben 14) értékből állnak össze, ami a 15 mondat f₀-átlagának különbsége a 10 év elteltével, tehát, ha a beszélőhöz tartozó összes érték a nulla *y*-értéknél behúzott zöld szaggatott vonal felett helyezkedik el, az azt jelenti, hogy minden mondatához tartozó érték pozitív, vagyis növekedés történt 10 év elteltével az f₀-ban. Ha a szaggatott vonal alatt helyezkedik el, akkor minden mondatához tartozó érték negatív, vagyis csökkenés történt 10 év elteltével. Ha az ábrán az adott beszélőhöz tartozó értékek hegedűformáját metszi a szaggatott vonal, tehát egy része a negatív, másik része a pozitív tartományba esik, akkor az azt

jelent, hogy a mondatok egy részénél növekedés, a másik részénél pedig csökkenés történt 10 év elteltével. Látható, hogy a változások mértéke és iránya egyénenként eltérő. Néhány esetben előfordul, hogy a változás iránya eltér a csoportra jellemző trendtől, ezek a különbségek azonban kisebb mértékűek, csoportszinten tehát eltérő tendencia figyelhető meg a két nem között. Egy-egy kiugró értéket találtunk a két nem esetében, F09-es esetében, akinek 107 ± 21 Hz-ről 153 ± 43 Hz-re emelkedett az alapfrekvencia-átlaga, és N06-ot, akinél az alapfrekvencia-csökkenés mértéke nagyobb mértékű volt a többi nőéhez képest (212 ± 25 Hz-ről 168 ± 39 Hz-re csökkent).



3. ábra. A beszélők f0-átlagának eltérése (félhang) a két felvételi időpont között (fent: nő, lent: férfi)

Nagyok az egyéni különbségek mind a nők, mind a férfiak tekintetében. A férfiaknál négy olyan eset van (F01, F05, F07, F09), ahol mind a 15 mondatnál ugyanabba az irányba változott az f0 10 év elteltével. Ez az irány három esetben (F01, F07, F09) pozitív, tehát nőtt az alapfrekvencia, és egy esetben (F05) negatív, vagyis csökkent az f0. A változás mértéke is különbözik az egyes beszélőknél: három beszélő esetén nem haladja meg a 3 félhangot (F01, F05,

F07), és egy esetben (F09) a változás sokkal jelentősebb: 4 és 8 félhang közötti, ez a változás pozitív irányú. Az ő esetében találtunk kiugró értéket a férfiakra jellemző teljes átlagban (vö. 2. ábra). Ez azt jelenti, hogy az ő esetében ez az emelkedés szisztematikus volt. A többi 6 férfi beszélőnél (F02, F03, F04, F06, F08, F010) vannak olyan mondatok, ahol negatív, és olyanok is, ahol pozitív irányba változott az f_0 a 10 év alatt. Közülük négy beszélőnél (F02, F03, F08, F010) az értékek jelentős része negatív tartományba esik, tehát a mondatok többségében csökkenés figyelhető meg az f_0 -ban 10 év elteltével. Ezek a csökkenések nem haladják meg a 2 félhangot, illetve egy beszélő esetén (F010) az egy félhangot sem. Két beszélő esetén (F04, F06) a mondatok kb. felében csökkent az f_0 , a másik felében pedig nőtt a 10 év alatt, vagyis nem jellemzi egységes tendencia az f_0 -változást.

A nőknél 5 olyan eset van (N01, N02, N04, N06, N08), ahol az összes mondatban csökkent az alapfrekvencia 10 év elteltével. A csökkenés mértéke egyenként eltérő, három beszélőnél az értékek jelentősebb része két félhang alatt van (N01, N02, N04). Ennél valamivel nagyobb a változás a másik két beszélő esetén: az N08-as beszélőnél az értékek jelentős része 2 és 3 félhang közé esik, míg a legnagyobb mértékű változás az N06-os adatközlő esetén volt mérhető, az értékek jelentős része 3 és 5 félhang közé esik. A másik 5 női beszélő esetén voltak mondatok, ahol csökkenés, és voltak mondatok, ahol növekedés volt megfigyelhető az f_0 -ban 10 év elteltével. Két beszélőnél (N05, N010) az értékek jelentős része negatív tartományba esik, egy beszélőnél (N03) pedig pozitív tartományba, az előbbinél nagyobb részt csökkenés, az utóbbinál növekedés jellemző az f_0 -ra. Az N05-ös és az N010-es beszélőnél a csökkenések általában 2 félhangnál kisebbek, az N03 adatközlőnél pedig a növekedés általában 1 félhang alatti. Két beszélő van (N07, N09), akiknél a pozitív és negatív értékek nagyjából egyenlő arányban fordulnak elő, tehát nem mondható el egységes tendencia az f_0 -változásra.

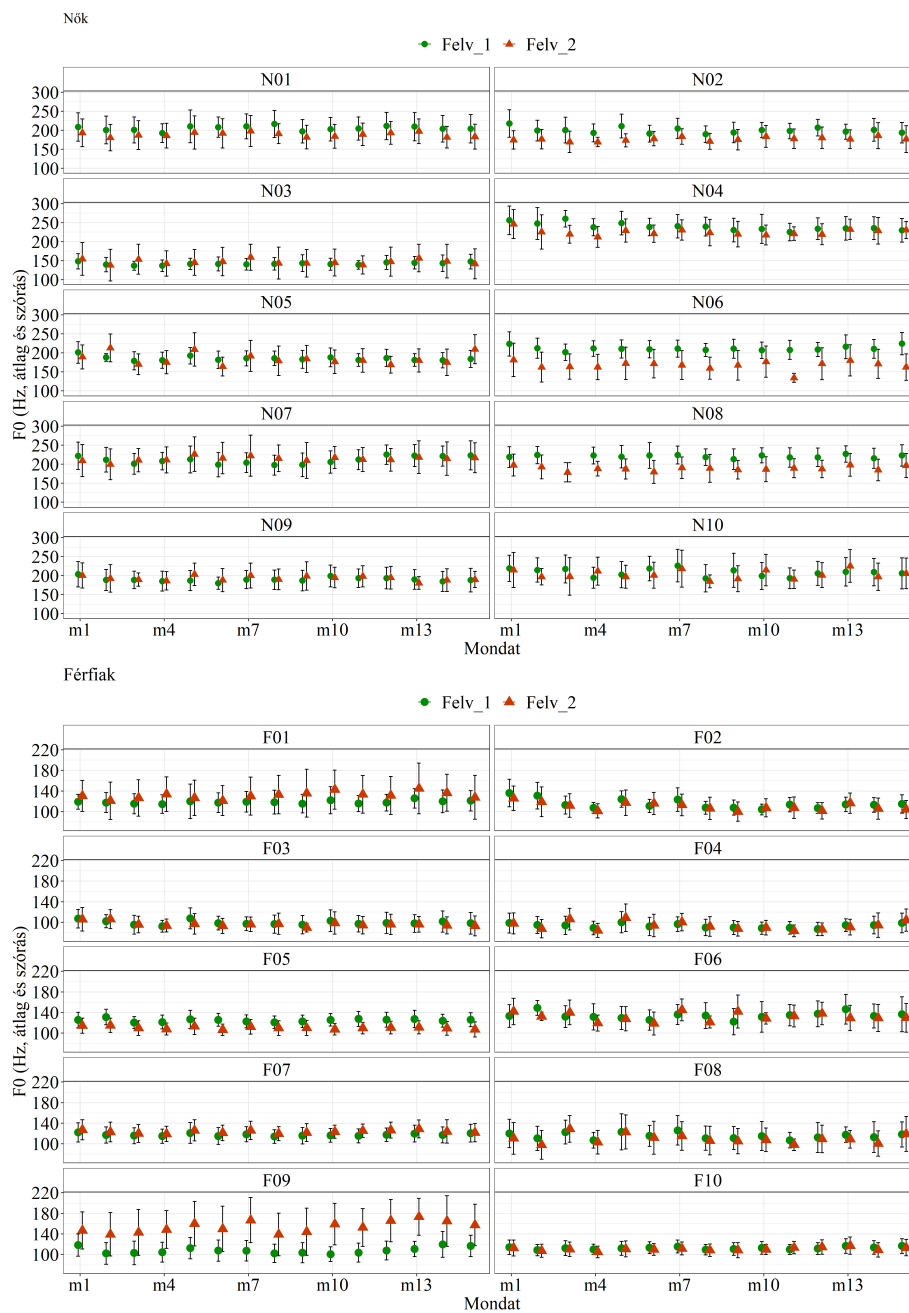
A 4. ábra árnyaltabb képet ad arról, hogy az eltéréseket maga a mondat befolyásolja-e, valamint hogy a két felvételi időpont közötti változás mértéke (Hz-ben mérve) meghaladja-e az egyes felvételeken belüli variabilitást. Vannak

olyan adatközlők (F010, F03, N03, N07, N09), akiknél a beszélőn belüli variabilitás elhanyagolhatóan kicsi mind a felvételek, mind a mondatok szintjén.

Vannak olyan adatközlők is (nők és férfiak vegyesen: N05, N010, F02, F04, F06, F08), akiknél a mondatok között már valamivel nagyobb a variabilitás egy felvételen belül, azonban a két felvétel között nem látszik szisztematikus eltérés. Ezek azok a beszélők, akiknél nem állapítható meg változás 10 év elteltével.

Vannak olyan adatközlők (N06, N08, F09), akiknél a felvételek közti különbség jól elkülönül egymástól, annak ellenére, hogy a felvételen belüli variabilitás nagyobb, és mivel az eltérés szisztematikus, a mondatok többségében mérhető.

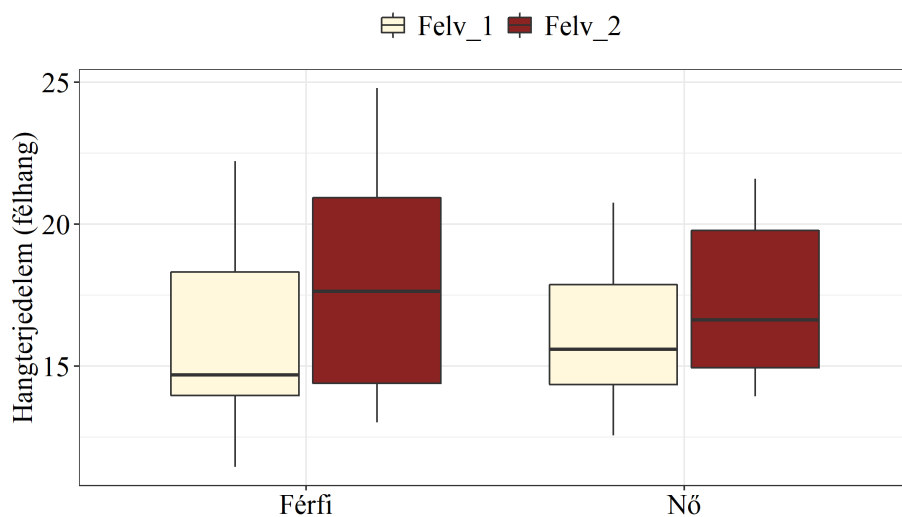
Vannak olyan adatközlők is, akiknél a két felvételen mért f0-értékek látszólag alig térnek el egymástól, azonban ha a mondatok szerinti bontást nézzük, akkor láthatjuk, hogy szisztematikusan minden mondatnál megtalálható az azonos irányú eltérés, tehát az eltelt 10 év az ő alapfrekvenciájukra is hatással volt, csak kis mértékben (N01, N02, N04, F01, F05, F07). A mondatonként mért átlagos alapfrekvencia-értékeket kevert modellel vetettük össze. Ez alapján ezt a változót a nem és a felvételi időpont interakciója határozta meg szignifikáns módon ($F(1, 599) = 4, 502, p = 0, 048$). Ez az eredmény a fenti, teljes felvételekben mért átlagokra kapott eredményekkel együtt értelmezendő, és azt jelenti, hogy a nők esetében találtunk eltérést a két felvételi időpont között. A főhatások az adatok nagy részét magyarázzák ($R_{LMM(m)}^2 = 0, 792$), de a random hatások (a mondatok random konstansa, a felvétel random meredeksége beszélőnként) jelentősen erősítik a modell magyarázó erejét ($R_{LMM(c)}^2 = 0, 980$).



4. ábra. A vizsgálatban szereplő egyes beszélők alaphangfrekvenciája beszélőnként az első és második felvételen, mondatokra bontva

3.2. A hangterjedelem változása

A hangterjedelem, azaz a legmagasabb és a legalacsonyabb alapfrekvencia-érték aránya nem tért el a két nem között, és valamivel magasabb értékeket kaptunk 10 év elteltével (nők, első felvétel: $16,14 \pm 2,70$ félhang; nők, második felvétel: $17,30 \pm 2,85$ félhang; férfiak, első felvétel: $16,12 \pm 3,50$ félhang; férfiak, második felvétel: $17,90 \pm 4,22$ félhang) (5. ábra). A hangterjedelem esetében Scheirer–Ray–Hare-próbát végeztünk. Az ismételt mintás próba eredménye alapján nem találtunk szignifikáns eltérést sem a nemek, sem a felvételek időpontja alapján, sem a kettő interakciójában.

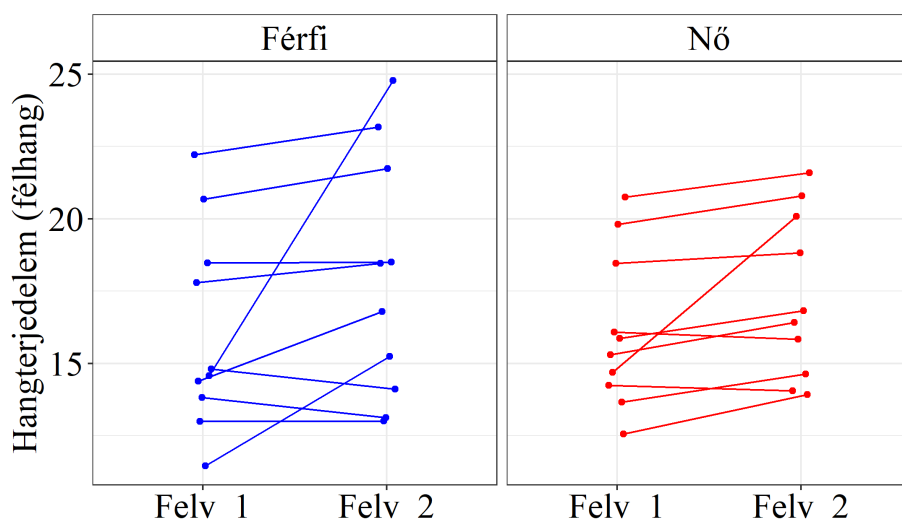


5. ábra. A hangterjedelem (félhang) a két felvételi időpontban nemek szerint

Ezt a tendenciát a 6. ábrán mutatjuk be beszélőnként, hogy a tágabb tartomány háttérét feltárjuk. Nagyon az egyéni különbségek abban a tekintetben, hogy 10 év elteltével mennyit változott a hangterjedelem: vannak beszélők, akiknél elenyésző ez a változás, de vannak pozitív, illetve negatív irányú jelentősebb változások is. A legkisebb különbség 10 év elteltével a férfiaknál $-0,02$ félhang (gyakorlatilag stagnálás), a nőknél $+0,64$ félhang. A legnagyobb változás 10 év elteltével a férfiaknál $+5,86$ félhang, a nőknél $+7,58$ félhang volt, ami szintén

arra utal, hogy a nőknél jelentősebbek a hangterjedelembeli változások, illetve hogy a jelentős változások pozitív irányúak.

A férfiak esetében négy beszélőnél (F02, F04, F07, F010) ez a változás elhanyagolható, nem haladja meg a 0,5 félhangot, tehát gyakorlatilag stagnálásról beszélhetünk, három beszélőnél (F03, F05, F06) a változás 1 félhang körül van, és három beszélő van (F01, F08, F09), akinél a változás jelentős, 5-6 félhangnyi. A kisebb változások (1 félhangnyi) fele pozitív, a másik fele negatív irányú volt, tehát nincs jellemző tendencia, viszont a jelentősebb változások (5-6 félhangnyi) minden esetben pozitív irányúak voltak, tehát ezen adatközlők esetén nőtt a hangterjedelem 10 év elteltével. Míg az alacsonyabb hangterjedelem-értékek esetében viszonylag logikus az emelkedés vagy stagnálás, addig a felsőbb tartományokban inkább csökkenés lenne várható. Ezzel szemben két nő és négy férfi kivételével emelkedés volt jellemző attól függetlenül, hogy az első felvétel idején mekkora volt a hangterjedelmük.



6. ábra. A férfiak és a nők hangterjedelmének változása 10 év elteltével

Négy beszélő esetén (N03, F03, F07, F09) a hangterjedelmi változás meghaladta a 2 félhangot, tehát náluk a változás jelentős volt 10 év elteltével, és ezek

a változások mind a tágabb hangterjedelem felé mutattak elmozdulást. A beszélők többségénél (6 nő és 5 férfi) a változás 0,5 és 2 félhang közé esett, két férfi esetében csökkent a hangterjedelem 10 év elteltével, a többi adatközlőnél növekedett. Öt beszélő esetén (N01, N04, N05, F04, F08) a változás nem haladta meg a 0,5 félhangot, tehát gyakorlatilag stagnálásról beszélhetünk.

A fenti adatok arra hívják fel a figyelmet, hogy a 10 év alatt csoportszinten az átlagos alapfrekvenciában a nők ejtésében találtunk eltérést, mégpedig csökkenést, a hangterjedelmet tekintve azonban nem volt szignifikáns változás. Ugyanakkor a beszélők közötti eltérések jelentősek voltak, mind az egyes felvételi időpontokon belül, mind pedig a két alkalom közötti eltérés alapján. Az 1. táblázat a hangterjedelem, az f_0 minimum- és maximumértéke és az átlaga alapján egyszerre teszi összehasonlíthatóvá a beszélőket, valamint az egyes beszélőkön belül a két felvétel adatait. Kiraajzolódik, hogy bizonyos beszélők esetében nagyobb mértékben tért el az átlagos f_0 a két felvétel között, miközben a hangterjedelem szinte nem változott (pl. F01, F05, N01, N06, N08), mivel az alapfrekvencia minimum- és maximumértékei egy irányban és hasonló mértékben módosultak. Ugyanakkor volt olyan beszélő is, akinél a hangterjedelem változása jelentős volt a szélső értékek valamelyikének módosulása miatt, miközben az átlagos f_0 szinte állandónak mondható (N03). Egyes beszélőknél (szinte) minden értékben nagyobb mértékű változás figyelhető meg (pl. F07, F09), de a legnagyobb számban olyanokat találunk, akiknek az esetében mindegyik paraméter lényegében állandó volt (pl. F02, F04, F06, F08, F010, N04, N05, N07). Mindez arra utal, hogy az alapfrekvenciából adódó különféle mérőszámok egymástól viszonylag függetlenül alakulnak, hiszen míg a (felvételen mérhető minimális és maximális f_0 -értékből számított) hangterjedelem nem érzékeny arra, hogy a rendelkezésre álló hangtartományból a beszélő melyik regisztert milyen gyakorisággal használja, az átlagértékeket, amelyet a legtöbb tanulmány vizsgál, ez a tényező erősen befolyásolja.

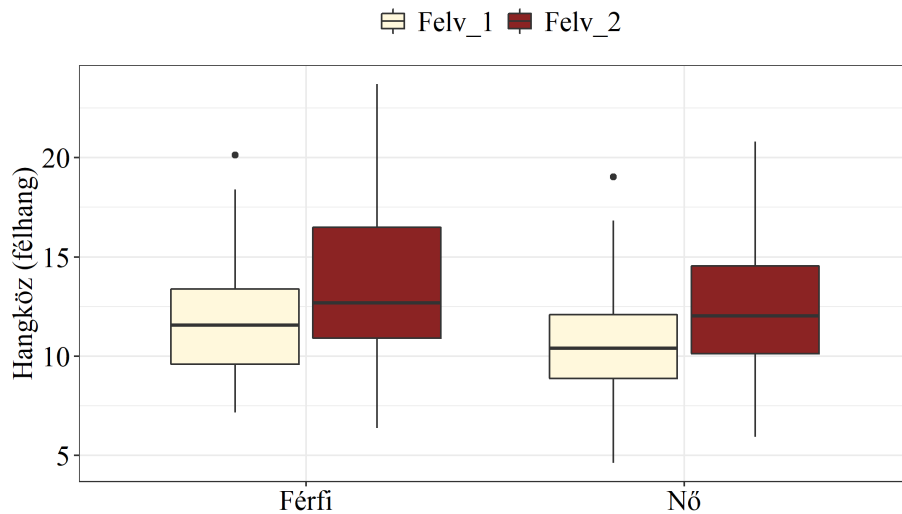
1. táblázat. Az egyes felvételek különféle alapprofrekvencia-mutatói a beszélők függvényében

Beszélő	Első felvétel			Második felvétel		
	hangterjedelem	f0-min-f0-max	átlagos f0	hangterjedelem	f0-min-f0-max	átlagos f0
	(félhang)	(Hz)	(Hz)	(félhang)	(Hz)	(Hz)
F01	22,22	76–275	118	23,17	82–314	132
F02	17,80	77–215	116	18,46	75–219	110
F03	14,38	75–173	99	16,79	75–199	96
F04	13,00	75–160	93	13,00	75–160	94
F05	13,82	79–175	125	13,12	82–175	110
F06	20,68	79–259	134	21,74	76–267	132
F07	11,45	100–194	117	15,25	100–241	123
F08	18,47	75–219	114	18,50	75–219	108
F09	14,57	75–174	108	24,79	75–316	153
F010	14,80	82–193	112	14,11	86–194	111
N01	14,24	151–343	205	14,05	150–338	189
N02	15,29	128–310	200	16,41	125–324	176
N03	14,69	101–235	142	20,08	100–319	146
N04	16,08	150–380	238	15,83	152–379	224
N05	18,46	100–291	184	18,82	100–297	182
N06	19,81	103–323	212	20,80	100–333	168
N07	15,87	150–376	210	16,82	150–396	214
N08	13,66	136–299	221	14,63	129–300	189
N09	12,55	150–310	189	13,93	150–335	193
N010	20,75	104–345	207	21,59	100–350	202

3.3. A hangközértékek változása

Míg a hangterjedelem a teljes felvételen mérhető minimális és maximális alapprofrekvencia-érték közötti tartományt számszerűsíti, addig a hangköz a kisebb beszédegységek f0-tartományát adja meg, a jelen esetben a vizsgált mondatokét (tehát itt az adott mondatban az f0max és az f0min közti félhangokban mért eltérést). A hangköz-eltéréseket a 7. ábra mutatja mind a nemek, mind a felvételi időpontok között. Egységes tendenciának látszik, hogy a második felvételen mért hangközök tágabbak (nők, első felvétel: $10,39 \pm 2,37$ félhang; második felvétel: $12,53 \pm 3,20$ félhang; férfiak, első felvétel: $11,74 \pm 2,67$ félhang; második felvétel: $13,78 \pm 4,11$ félhang). Ebben a tekintetben a két felvételi időpont

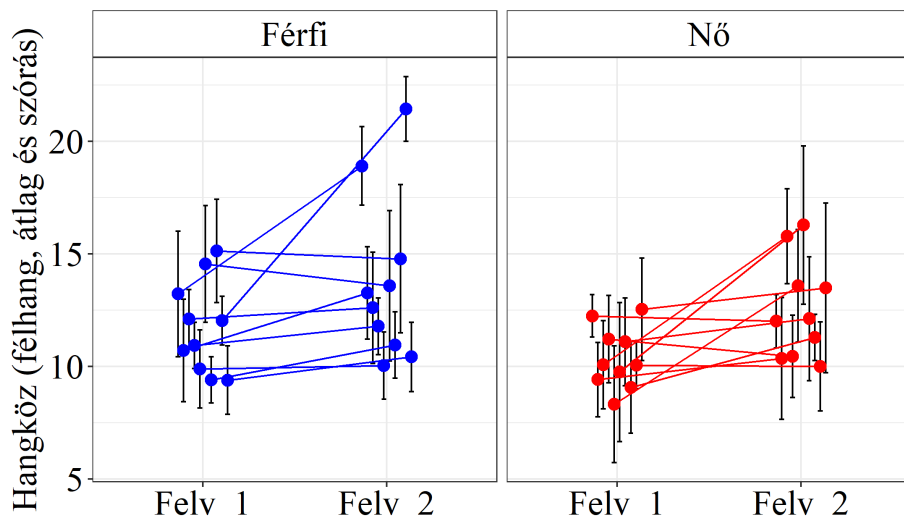
között szignifikáns eltérést kaptunk ($F(1, 599) = 102,372, p < 0,001$). A hangközök nemek közötti eltérését illetően azt látjuk, hogy a nők hangközértékei valamivel alacsonyabbak, de ez az eltérés nem volt szignifikáns. Ugyanakkor a marginális R^2 (0,096) és a kondicionális R^2 (0,440) összevetése azt mutatja, hogy bár fellelhető szignifikáns eltérés a két felvételi időpont között, a random hatások (a mondatonkénti random konstans és a felvételenkénti random meredekség a beszélőkre) jelentősen növelik a modell magyarázóerejét, de önmagában a fix hatások nem elégséges magyarázó erejűek, további, erős hatás befolyásolja az eredményeket.



7. ábra. A hangközértékek alakulása a nemek szerint a két felolvasás során

A beszélőket tekintve az rajzolódik ki, hogy vannak köztük olyanok, akiknél az eltérések a nullához közeliak, tehát nem történt jelentős hangközbeli változás a 10 év alatt, és vannak olyan beszélők is, akiknél az eltérések jelentősebben eltérnek a nullától (8. ábra). Hat férfi és hét nő esetében nőtt a mondatok átlagos hangközértéke, egy férfinál és egy nőnél csökkent. Összességében az átlagos hangközértékek tehát nőttek, de csökkenés is előfordult. Azokban az esetekben, ahol legalább 4 félhangnyi volt a különbség a két felvétel között (2 férfi és 3

nő), minden esetben növekedést mutatott a hangköz 10 év elteltével. Azokban az esetekben viszont, ahol a két felvétel közti eltérés 4 félhang alatti volt, az eltérés iránya már nem egységes: növekvő (3 férfi, 3 nő) és csökkenő (1 férfi és 1 nő) tendencia is található 10 év elteltével. Kevés beszélőnél (négy férfi, két nő) mondható stagnálás a két felvételi időpont között, az ő esetükben a két felvétel közti átlagos hangközkülönbség nem haladja meg a 0,5 félhangot. Összességében elmondható, hogy a beszélők egy részénél növekedés, egy másik részénél pedig stagnálás figyelhető meg a hangközértékekben 10 év elteltével. Ez a növekedés vagy stagnálás azonban nem függ a nemtől, de általában növekedésként jellemezhető a random hatások erőteljes szerepével, mint fentebb ismertettük.



8. ábra. A hangközértékek eltérései 10 év elteltével beszélőnként

3.4. Az egyéni variabilitást magyarázó tényezők

Az eredmények mind az f_0 átlaga, mind a hangterjedelem és a hangköz esetében nagy beszélők közötti variabilitást mutattak. Érdeemes elemezni, hogy ezek háttérben milyen tényezők állhatnak. Az életkor mellett számos tényező befolyásolhatja a zöngképzést, így az alapfrekvencia értéktartományát, a zöngé

periodicitását is, amelyek a jelen vizsgálatban is hatással lehetnek az eredményekre. A férfiak esetében egyértelműen a pubertáskori alapfrekvencia-változás a legjelentősebb, amely nem kizárólag a szervek növekedésének, hanem a hormonháztartás átalakulásának és a gégen belüli belső struktúra változásának is a következményei (összefoglalóan Gugatschka et al., 2010). A férfiak idős korban bekövetkező alapfrekvencia-változása ismét részben a hormonháztartás átalakulásából fakad (összefoglalóan Gugatschka et al., 2010; Kadakia et al., 2013), de emellett mindkét nem esetében meg kell említeni a szövetek, porcok változásait is. A nők esetében ugyancsak bekövetkezik a pubertáskor a zöngéképzésben változás, de az a férfiakéhoz képest kisebb mértékű. Az ő esetükben a serdülőkortól idős korig a menstruációs ciklus során folyamatosan változó hormonszintek ciklikusan határozzák meg a zöngéképzést. A menstruáció előtt a premenstruációs dysphonia, ami az ehhez az időszakhoz köthető hormonhatások miatti nagyobb valószínűséggel előforduló reflux és ödéma következménye, valamint az ezen időszak hirtelen hormonváltozásai a gége neuromotoros kontrollját is befolyásolják (összefoglalóan: Amir & Kishon-Rabin, 2004; Kadakia et al., 2013). Ugyancsak meghatározó a felnőttkorban a nők esetében a terhesség, szülés. Az átlagos alapfrekvencia értéke a terhesség egyik trimeszterében sem mutatott eltérést a kontrollszemélyekétől Saltürk és kollégái (2015) kutatásában, (a maximális fonációs idő a 3. trimeszterben rövidült). Pisanki és kollégái (2017) egy nyomonkövetéses vizsgálatban azt találták, hogy a szülés utáni egy évben alacsonyabb és monotonabb a nők alapfrekvenciája, mint azelőtt, illetve a terhesség alatt, de az egy év elteltével a korábbi értékekhez tér vissza a beszédük. A menopauza az alapfrekvencia mélyülését okozza a bekövetkező hormonális változások következtében (összefoglalóan: Amir & Kishon-Rabin, 2004).

A pajzsmirigy-hormonok esetében az alulműködés okozhat zöngéváltozást, mégpedig a szövetekben felgyűlt szacharidok következtében a premenstruációhoz hasonló hatást vált ki, alapfrekvencia-mélyülés és a tartomány beszűkülése is jellemző (összefoglalóan: Kadakia et al., 2013).

Mindezek miatt szerepelt a vizsgálatban egy kérdőív, hogy a 10 év elteltével milyen olyan események merültek fel a beszélőink esetében, amelyek az

esetleges kiugró értékeiket indokolhatják. Ezek mellett persze további tényezők is szerepet játszhatnak (pl. fáradtság, aktuálisan az átlagtól eltérő hangterhelés - akár vegyszeres érintkezés), amelyeket a jelen vizsgálatban sem tudunk figyelembe venni.

A beszélők által kitöltött kérdőív alapján azt tudjuk, hogy három nő: N01, N08 és N09 esetében folyamatos pajzsmiriggyel kapcsolatos betegség és/vagy hormon tartalmazó terápia áll fenn. Négy nőnek, N02, N06, N08, N09, született gyermeke a két felvételi idő között, de csak N08 gyermeke egy év körüli. Egy nő (N04) pedig idősebb a többi adatközlőnél, 45 éves volt az első felvétel alkalmával, ami esetlegesen a menopauza felmerülését indokolhatja. Két férfi leszokott ugyan, de korábban dohányoztak (F06, F09), egy nő néha (N08), kettő pedig rendszeresen dohányzik több mint 10 éve (N03, N06). A napi beszédidőre is rákérdeztünk. Azt kellett megbecsülni a beszélőknek, hogy átlag hány órát beszélnek egy nap. E tekintetben négy beszélő adott magas értékeket (több mint 10 órát). Mindezeket a 2. táblázatban foglaltuk össze.

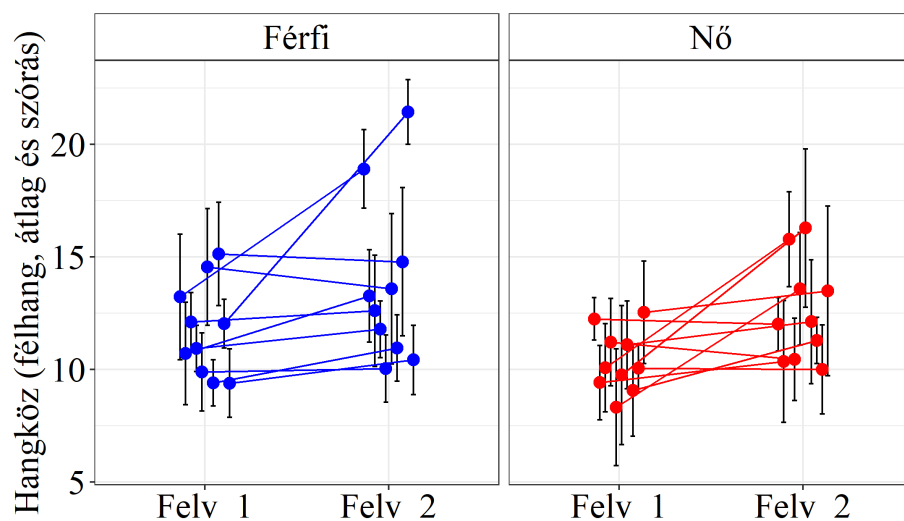
Mivel egy longitudinális vizsgálat során az adatközlők utolérése nehézkes, így nem zártuk ki ezeket a beszélőket sem.

Az életkor és az elemzett változások között nem találtunk olyan összefüggést, amely alapján jelentős eltérés lenne a beszélők között. A 9. ábrán a beszélők életkora szerint látjuk a teljes felvételen mért átlagos alapfrekvencia változását (bal felül), a mondatonként számított átlagalapfrekvencia-változást (jobb felül), a hangterjedelem (bal alul) és a hangközátlag változását (jobb alul). A férfiak esetében jellemzően a korábban is említett F09-es beszélő ejtésében látjuk a legnagyobb változást, amely a többi férfi adataitól jelentősen eltér minden mért változóban. Az első felvételnél mért alapfrekvencia-értékei hasonlóak a többi férfiéhoz, míg a második felvételen mért adatok azoktól jóval magasabbak. A férfiak esetében a 30 éves férfi, F01, adatait érdemes még megfigyelni, az ő esetében ugyan kisebb a többiektől számított eltérés, de az életkort is figyelembe vevő tendenciától eltér. F09 korábban dohányzott, de már leszokott, más a beszédét befolyásoló tényezőről nem számolt be. A dohányzás ugyanakkor az alapfrekvencia csökkenését okozza a kutatások szerint (pl. Sorensen & Horii,

2. táblázat. A beszélők alaphékvencia-értékeit esetlegesen befolyásoló adatok (pajzsm. = pajzsmirigy-betegség)

	nem	kor	dohányzás	terhesség	pajzsm.	hangterhelés (óra/nap)
F01	Férfi	30	nem		nem	6
F02	Férfi	34	nem		nem	12
F03	Férfi	29	nem		nem	6
F04	Férfi	25	nem		nem	1
F05	Férfi	21	nem		nem	2,5
F06	Férfi	27	leszokott		nem	2
F07	Férfi	24	nem		nem	2,5
F08	Férfi	19	nem		nem	5
F09	Férfi	20	leszokott		nem	3
F010	Férfi	34	nem		nem	1,5
N01	Nő	28	nem	nem	igen	7
N02	Nő	27	nem	igen	nem	12
N03	Nő	32	igen	nem	nem	17
N04	Nő	45	nem	nem	nem	7
N05	Nő	23	nem	nem	nem	5
N06	Nő	23	igen	igen	nem	10
N07	Nő	21	nem	nem	igen	8
N08	Nő	26	néha	nem	nem	4
N09	Nő	21	nem	igen	igen	8
N010	Nő	31	nem	igen	nem	4,5

1982; Ayoub et al., 2019). F01 esetében ilyen hatás sem áll fenn. Egyik beszélő esetében sem volt jellemző, hogy bármely mért változó (f0, hangterjedelem, hangköz) alacsonyabb/szűkebb lett volna a többi férfira jellemző eredménynél korábban, a második méréskor mért értékek azonban F09 esetében magasab-
bak/tágabbak lettek azoknál.



9. ábra. A vizsgálatban elemzett hangjellelmző-változások a beszélő életkora függvényében:
átlagos alapfrekvencia (bal felül), mondatonkénti átlagos alapfrekvencia (jobb felül),
hangterjedelem (bal alul) és hangköz (jobb alul)

A nők beszédében az átlagos alapfrekvencia változásában a 25–35 éves kor között egyre kisebb változás látszik kirajzolódni a 9. ábrán. Ez azonban egy-egy beszélő adatait jelenti. Összességében a huszonéves nők esetében jelentősebb alapfrekvencia-csökkenés látszik megjelenni, mint a 30-40 évesek esetében. A 45 éves nő eredményei - bár a menopauza esetleges hatása megjelenhetne - nem térnek el a 30-asoktól ebben a tényezőben. N06 f0-változása nagyobb mértékű a többiekénél. A hangterjedelem esetében az életkor mentén egy olyan trendvonal sejthető, amely alapján az életkor növekedésével a kis mértékű növekedéstől az enyhe mértékű csökkenés irányába jelentene eltolódást. Az illeszthető trendvonal meredeksége azonban alacsony, a beszélők száma pedig kevés. Mindenképp

kiugró értéket mutatott ugyanakkor a 32 éves nő, N03. A nők között a hangköz változásában a legidősebb nő esetében valamelyest alacsonyabb értéket kaptunk a többi női beszélőhöz képest. Az eltérés nem jelentős, mégis enyhe csökkenés, míg a többiek esetében stagnálást vagy növekedést találtunk. A két 23 éves, N05, N06, és a 32 éves N03 esetében nagyobb mértékű emelkedést mértünk. N03, N05 és N06 esetében találtunk tehát a többiekétől eltérő tendenciákat a nők beszédében. N03 dohányzik, illetve napi 17 órára becsülte a hangterhelését (a legmagasabb értékre minden vizsgált személy közül). N06 esetében született egy gyermek az elmúlt 10 évben, illetve ő is dohányzik. N05 nem jelzett olyan tényezőt, amely az eltérést okozhatta. A többi olyan női beszélőnél, akinek gyermeke született, jelentős a hangterhelése, vagy pajzsmirigy-gyulladás van, nem találtunk a csoportra jellemző tendenciánál nagyobb mértékű változást.

4. Következtetések

Fiatal és középkorú nők és férfiak mondatolvasásában elemeztük az alapfrekvencia jellemzőinek eltérését 10 év elteltével. A teljes felvételen és a mondatonként mért átlagos alapfrekvenciát, a hangterjedelmet és a hangközt vetettük össze.

Feltételeztük, hogy a változás mértéke a fiatal és középkorú felnőttek esetében nem lesz magas, inkább az egyéni változatosság lesz jellemzőbb (i). Ez a feltételezés részben nyert alátámasztást, ugyanis a változás mértéke alacsony, de a nők és a férfiak esetében is inkább egy-két adatközlő kivételével jól megragadható csoporttendenciákat találtunk.

A korábbi szakirodalom alapján feltételeztük, hogy (ii) a nők esetében az alapfrekvencia csökken (ahogy mind longitudinális (Mwangi et al., 2009), mind keresztmetszeti (Stathopoulos et al., 2011; Eichhorn et al., 2018) vizsgálatok csökkenő tendenciát találtak, 20 és 60 év között), (iii) a férfiak esetében pedig inkább az egyéni eltérések dominálnak (20 és 50 év között Schötz (2006) enyhe csökkenést, Stathopoulos és munkatársai (2011) enyhe növekedést, míg Cox és Selent (2015) enyhe növekedést, majd csökkenést talált). Ez a két feltételezé-

sünk alátámasztást nyert. A nők esetében a teljes felvételen és a mondatonként mért átlagos alapfrekvenciában is csökkenést mértünk. A férfiak felolvasásában ugyanakkor vagy stagnálás vagy emelkedés volt mérhető, de a változás nem volt szignifikáns az ő esetükben.

A hangterjedelem és a hangköz esetében nem vártunk jelentős eltérést (iv), mivel a fiatal-középkorú felnőttek esetében kevésbé jelentős öregedési vagy egyéb hatást vártunk a beszédben. A hangterjedelem általában emelkedést vagy stagnálást mutatott mindkét nem esetében, de nem találtunk szignifikáns eltérést a két felvételi időpontban mért adatok között, az előzetes hipotézissel egyezően. A hangközértékek változása szignifikánsnak bizonyult, hiszen a legtöbb mondat esetében nagyobb hangközértéket kaptunk a második felvételi időpontban. Az egyes beszélőkre jellemző eltérés többnyire ugyancsak emelkedés volt. Ennek hátterében azt feltételezzük, hogy a második felvétel idején részben az életkori változásból (nagyobb tapasztalat) adódóan, részben a már ismerős helyzet és feladat miatt a beszélők komfortosabban érezték magukat a stúdiókörülmények között, rutinosabbak voltak, és ezért a felolvasáskor jobban törekedtek a kifejezőbb megformálásra, tágabb hangközű dallamíveket valósítva meg. Ez ugyanakkor nem mutatott összefüggést az alapfrekvencia átlagos értékének változásával, hiszen a nőknél átlagosan csökkenés volt tapasztalható ebben az értékben.

Mivel nemenként tíz fő beszédét elemeztük, a beszélők közötti variabilitás nem elhanyagolható annak ellenére sem, hogy jellemzően kimutatható csoporttendeniákat találtunk. A fiatal és középkorú nők esetében a korábbi keresztmetszeti tanulmányokban talált tendencia, azaz az átlagos alapfrekvencia csökkenése az életkor előrehaladtával ebben a longitudinális vizsgálatban is megmutatkozott. A férfiak beszédében a korábbi, keresztmetszeti tanulmányok ebben az életkori szakaszban változatos képet adtak, a jelen longitudinális vizsgálatban csak 1-1 férfi esetében találtunk változást, csoportszinten nem. Fontos kiemelni, hogy míg a hangköz esetében nagy variabilitást is tapasztaltunk egy-egy beszélő mondatai között, az átlagos alapfrekvencia esetében jellemző volt, hogy az

adott beszélőre (ha jellemző volt változás), az a mondatainak nagy részére, vagy mindre azonos irányú eltérésben jelent meg a felvételi időpontok között.

A vizsgált beszélők esetében elemeztük, hogy az életkorral, a dohányzással, terhességgel, hangterheléssel, pajzsmirigybetegséggel hogyan függ össze a vizsgált jellemzőkben az adott nemre jellemző értékektől való eltérés. Azt találtuk, hogy a huszonéves és harmincas életkorok között a nők esetében nagyobb változás volt mérhető az alaphékvencia átlagában, de a többi tényező nem befolyásolta a csoportok eredményeit. Ugyanakkor ezen tényezők pontos hatását célzott vizsgálatokkal lehet elemezni.

A vizsgálat és a longitudinális elemzésre alkalmas magyar nyelvű korpusz adatai általánosságban lehetővé teszik egy olyan referencia-adatbázis kialakítását, amelyet különféle alkalmazásokban, például az igazságügyi hangszakértői munkában alkalmazni lehet. Az itt szereplő életkori intervallum a bűnügyi szempontból releváns beszélői életkori sávot fogja át (vö. Skarnitzl & Vaňková, 2017), továbbá az azonos mondatokról készült felolvasások egyénekenkénti különbségei tanulsággal szolgálnak a hangszakértői munka számára is (vö. pl. Tatár et al., 2021). Mindemellett a jelen vizsgálat tárgyát is képező alaphékvencia az igazságügyi hang-összehasonlítás egyik leggyakrabban alkalmazott paramétere, mivel a szöveg tartalmától függetlenül vizsgálható (nem kívánja meg azonos szegmentumok azonos hangkörnyezetben való előfordulását, ellentétben például a magánhangzóformánsok elemzésével), másrésztől ugyanakkor ez az egyik legváltozékonyabb sajátossága az emberi beszédnek (Skarnitzl & Vaňková, 2017). Mindezek a tényezők teszik szükségessé a hasonló vizsgálatokat, amelyekben az f_0 -t befolyásoló különféle tényezők (például az életkornak a korábbi vizsgálatokhoz képest rövidebb távú) hatása megmutatkozik.

Köszönetnyilvánítás

A kutatást az NKFIH FK128814-es számú pályázat támogatta.

Hivatkozások

- Akaike, H. (1974). A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, *19*, 716–723.
- Amir, O., & Kishon-Rabin, L. (2004). Association Between Birth Control Pills and Voice Quality. *The Laryngoscope*, *114*, 1021–1026.
- Ayoub, M. R., Larrouy-Maestri, P., & Morsomme, D. (2019). The Effect of Smoking on the Fundamental Frequency of the Speaking Voice. *Journal of Voice*, *33*, 802–816. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2018.04.001>.
- Bartoń, K. (2020). MuMIn: Multi-Model Inference. R package version 1.43.17. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=MuMIn>.
- Bates, D., Maechler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2015). Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*, *67*, 1–48.
- Belsky, D. W., Caspi, A., Houts, R., Cohen, H. J., Corcoran, D. L., Danese, A., Harrington, H., Israel, S., Levine, M. E., Schaefer, J. D., Sugden, K., Williams, B., Yashin, A. I., Poulton, R., & Moffitt, T. E. (2015). Quantification of biological aging in young adults. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *112*, 4104–4110.
- Berger, T., Peschel, T., Vogel, M., Pietzner, D., Poulain, T., Jurkutat, A., Meuret, S., Engel, C., Kiess, W., & Fuchs, M. (2019). Speaking Voice in Children and Adolescents: Normative Data and Associations with BMI, Tanner Stage, and Singing Activity. *Journal of Voice*, *33*, 580.e21–580.e30.
- Boersma, P., & Weenink, D. (2020). Praat: Doing phonetics by computer. (Version 6.1.30) [Computer Program]. URL: <http://www.praat.org>.
- Brown, W. S., Morris, R. J., Hollien, H., & Howell, E. (1991). Speaking fundamental frequency characteristics as a function of age and professional singing. *Journal of Voice*, *5*, 310–315.

- Busse, E. W. (2002). General Theories of Aging. In J. R. M. Copeland, M. T. Abou-Saleh, & D. G. Blazer (Eds.), *Principles and Practice of Geriatric Psychiatry, Second Edition* (p. 23–28). Chichester: J. Wiley and Sons.
- Cox, V. O., & Selent, M. (2015). Acoustic and respiratory measures as a function of age in the male voice. *Journal of Phonetics and Audiology, 1*, 105. doi:10.4172/j pay.1000105.
- Debruyne, F., & Decoster, W. (1999). Acoustic differences between sustained vowels perceived as young or old. *Logopedics Phoniatrics Vocology, 24*, 1–5.
- Decoster, W., & Debruyne, F. (2000). Longitudinal voice changes: facts and interpretation. *Journal of Voice, 14*, 184–193.
- Eichhorn, J. T., Kent, R. D., Austin, D., & Vorperian, H. K. (2018). Effects of aging on vocal fundamental frequency and vowel formants in men and women. *Journal of Voice, 32*, 644 1–644 9.
- Grácsi, T. E., Huszár, A., Krepsz, V., Száraz, B., Damásdi, N., & Markó, A. (2020). Longitudinális korpusz magyar felnőtt adatközlőkről. In G. Berend, G. Gosztolya, & V. Vincze (Eds.), *XVI. Magyar Számítógépes Nyelvészeti Konferencia kötete* (p. 103–114). Szeged: JATEPress.
- Gugatschka, M., Kiesler, K., Obermayer-Pietsch, B., Schoekler, B., Schmid, C., Groselj-Strele, A., & Friedrich, G. (2010). Sex Hormones and the Elderly Male Voice. *Journal of Voice, 24*, 369–373. doi:10.1016/j.j voi ce.2008.07.004.
- Harrington, J., Palethorpe, S., & Watson, C. I. (2007). Age-related changes in fundamental frequency and formants: A longitudinal study of four speakers. In *Proceedings of Interspeech* (p. 2753–2756).
- Hollien, H., & Ship, T. (1972). Speaking fundamental frequency and chronological age in males. *Journal of Speech and Hearing Research, 15*, 155–159.
- Kadokia, S., Carlson, D., & Sataloff, R. T. (2013). The effect of hormones on the voice. *Journal of Singing, 69*, 571–574.

- Kaur, J., & Narang, V. (2015). Variation of pitch and formants in different age group. *International Journal of Multidisciplinary Research and Modern Education*, 1, 517–521.
- Kuznetsova, A., Brockhoff, B. P., & Christensen, B. R. H. (2017). lmerTest Package: Tests in Linear Mixed Effects Models. *Journal of Statistical Software*, 82, 1–26. URL: <https://doi.org/10.18637/jss.v082.i13>.
- Mangiafico, S. (2021). RCompanion: Functions to Support Extension Education Program, Evaluation. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=rcompanion>.
- Mwangi, S., Spiegl, W., Hönig, F., Haderlein, T., Maier, A., & Nöth, E. (2009). Effects of Vocal Aging on Fundamental Frequency and Formants. In *Proceedings of the International Conference on Acoustics NAG/DAGA* (p. 1761–1764). Rotterdam, Netherlands.
- Neuberger, T., Gyarmathy, D., Grácz, T. E., Horváth, V., Gósy, M., & Beke, A. (2014). Development of a large spontaneous speech database of agglutinative hungarian language. In *Proceedings of TSD, 2014* (p. 424–431). New-York – Berlin: Heidelberg–Springer.
- Nishio, M., & Niimi, S. (2008). Changes in speaking fundamental frequency characteristics with aging. *Folia Phoniatrica et Logopaedica*, 60, 120–127. doi:10.1159/000118510.
- Pedersen, M., Agersted, A., & Jønsson, A. (2015). Aspects of Adolescence and Voice: Girls versus Boys – A Review. *Journal of Child & Adolescent Behavior*, 3, 211. doi:10.4172/2375-4494.1000211.
- de Pinto, O., & Hollien, H. (1982). Speaking fundamental frequency characteristics of Australian women: Then and now. *Journal of Phonetics*, 10, 367–375.

- Pisanski, K., Bhardwaj, K., & Reby, D. (2017). Women’s voice pitch lowers after pregnancy. *Evolution and Human Behavior*, *39*, 457–463. URL: <https://doi.org/10.1016/j.evolhumbehav.2018.04.002>.
- Quené, H. (2014). hqmisc: Miscellaneous convenience functions and dataset. URL: URL: .
- R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. URL: <https://www.R-project.org/>.
- Reubold, U., Harrington, J., & Kleber, F. (2010). Vocal aging effects on f0 and the first formant: A longitudinal analysis in adult speakers. *Speech Communication*, *52*, 638–651.
- Russell, A., Penny, L., & Pemberton, C. (1995). Speaking fundamental frequency changes over time in women: A longitudinal study. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, *38*, 101–109.
- Saltürk, Z., Kumral, T. L., Bekiten, G., Atar, Y., Atac, E., Aydoğdu, I., Yıldırım, G., Kılıç, A., & Uyar, Y. (2015). Objective and Subjective Aspects of Voice in Pregnancy. *Journal of Voice*, *30*, 70–73. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jvoice.2015.02.013>.
- Schötz, S. (2006). *Perception, analysis and synthesis of speaker age*. Ph.d. thesis. University of Lund Sweden.
- Sebastian, S., Babu, S., Oommen, N. E., & Ballraj, A. (2012). Acoustic measurements of geriatric voice. *The Journal of Laryngology & Otology*, *2*, 81–84.
- Singmann, H., Bolker, B., Westfall, J., Aust, F., & Ben-Shachar, M. S. (2021). afex: Analysis of Factorial Experiments. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=afex>. uRL:.
- Skarnitzl, R., & Vaňková, J. (2017). Fundamental frequency statistics for male speakers of common Czech. *Acta Universitatis Carolinae: Phi-*

lologica, 2017, 7–17. URL: https://karolinum.cz/data/clanek/3901/Phil_3_2017_01_Skarnitzl_Vankova.pdf.

Sorensen, D., & Horii, Y. (1982). Cigarette smoking and voice fundamental frequency. *Journal of Communication Disorders*, 15, 135–144.

Stathopoulos, E. T., Huber, J., & Sussman, J. E. (2011). Changes in acoustic characteristics of the voice across the life span: Measures from individuals 4–93 years of age. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 54, 1011–1021.

Tatár, Z., Varga, Z., & Főző, E. (2021). Beszélőazonosítás a kriminalisztikában. In A. Markó (Ed.), *Tanulmányok a beszédtudomány alkalmazásainak köréből*. Budapest: ELTE Eötvös Kiadó.

Torre, P., & Barlow, J. A. (2009). Age-related changes in acoustic characteristics of adult speech. *Journal of Communication Disorders*, 42, 324–333.

Traunmüller, H., & Eriksson, A. (1995). The frequency range of the voice fundamental in the speech of male and female adults. Manuscript.