
Nagygyűlési előadások

ELŐBB AZ ÖSSZETETT, KÉSŐBB AZ EGYSZERŰ:
CSECSEMŐK MAGASABB SZINTŰ
HANGFELDOLGOZÁSI KÉPESSÉGEI
A BESZÉDÉRTÉS ELŐTTI IDŐSZAKBAN*

WINKLER ISTVÁN^{1,2}

¹ MTA Természettudományi Kutatóközpont, Kognitív Idegtudományi és Pszichológiai Intézet

² Szegedi Tudományegyetem, Pszichológiai Intézet
E-mail: Winkler.Istvan@ttk.mta.hu

Beérkezett: 2015. július 10. – *Elfogadva:* 2015. szeptember 14.

Bár a legalapvetőbb hangjellemzők észlelt felbontása fiatal csecsemőknél messze elmarad a felnőttek hasonló képességeitől, a fejlettebb hangfeldolgozási funkciókat tekintve minőségileg nem különböznek tőlük. A csecsemők kompetens észlelők a hangok világában, hallási tárgyrepresentációkat alkotnak, és képesek kiemelni a beérkező hangok bonyolult belső összefüggéseit. A tekintve a hangfeldolgozási képességek mintázatát fiatal csecsemőknél, a cikk mellett érvel, hogy e képességek jelentős része a hangokkal történő kommunikáció, azon belül is a dialógusok felépítésének és fenntartásának szolgálatában áll. Az emberi fejlődésben a szociális kommunikációnak kiemelt jelentősége van, mivel lehetővé teszi, hogy az élet kezdetén rövid idő alatt igen nagy mennyiségű kész tudást vehessünk át. Ez indokolja, hogy a fiatal csecsemők hallórendszere az első pillanattól kezdve készen áll az emberi tanulás e leghatékonyabb formájának támogatására.

Kulcsszavak: *hallási észlelés, csecsemők, kommunikáció, párbeszéd, természetes pedagógia*

Bár az észlelési képességek velünk született vagy tanult voltak kérdésfelvetését, az elmúlt fél évszázad kutatásainak tükrében, a pszichológuskutatók többsége ma már idejét múltnak tartja (GORDON, 2004), az egészséges újszülött és fiatal csecsemők szenzoros információfeldolgozásának vizsgálata fontos felismerésekkel

* A cikk az NKFI (OTKA) támogatásával készült (projektszám: K101060).

szolgálhat mind a fejlődés-lélektani elméletek, mind a klinikai gyakorlat számára. E kutatások által képet kaphatunk arról, hogy milyen (kognitív) funkciók kapnak nagy hangsúlyt a születést követő első időszakban. Ez fajonként eltérő lehet, mivel a különböző élőlényeknek más-más környezeti kihívásoknak kell megfelelniük. Például a csordában élő növényevő emlősállatok jelentős része a születést követő néhány percen lábra áll és csatlakozik az anyjához, a csordához. Ez a feladat, többek között, sokkal pontosabban működő látási képességeket (például alaklátás, mozgásészlelés stb.) igényel, mint amilyen egy humán csecsemő számára szükséges, akit születésekor még hónapok választanak el az önálló helyváltoztató mozgás megkezdésétől. Jelen cikkünkben a csecsemők beszédértés előtti hallási észlelési képességeit kívánjuk összefoglalni. Ez az időszak kb. 6 hónapos korig tart, amikor megjelennek az első anyanyelvre specifikus fonémamegkülönböztetések (TSAO, LIU és KUHL, 2004). Az összefoglaló alapján amellet fogunk érvelni, hogy e képességek hangsúlyosan a hangokkal történő kommunikáció megalapozását szolgálják.

FIATAL CSECSEMŐK HANGFELDOLGOZÁSÁNAK VIZSGÁLATI MÓDSZEREI

Mielőtt rátérnénk az empirikus vizsgálatok eredményeinek ismertetésére, röviden összefoglaljuk a fiatal csecsemők észlelésének kutatásában felhasznált vizsgálati módszereket.

Viselkedéses vizsgálati módszerek

A fiatal csecsemők hangészlelését vizsgáló viselkedéses eljárások számára a vizsgált hangeseményhez köthető, megbízhatóan detektálható viselkedésváltozás előidézése okozza a legnagyobb nehézséget. Az első, viszonylag széles körben elterjedt módszer a kondicionált fejfördítési reakcióra épített. Amennyiben a csecsemő a hangeseményt, például egy állandó zajban megjelenő szinuszos hangot követően, a hangforrás felé fordítja a fejét, a fejfördítést valamilyen vizuális ingerrel, például egy játék bemutatásával erősítik meg. A hanginger tehát diszkriminatív jelzőmozgásként jelenik meg az operáns kondicionálási eljárásban (vizuális megerősítésű audiometria, angol rövidítéssel VRA; MOORE és WILSON, 1978). A kondicionált fejfördítési reakció kialakulása jelzi, hogy az adott ingert a csecsemő meg tudta különböztetni azoktól, amelyeket nem erősítettek meg. Az eljárás előnye, hogy többszörös összehasonlítást enged meg egyetlen hangson belül. Hátránya viszont, hogy a rövid látenciájú fejfördítési válasz nem váltható ki megbízhatóan öthónapos kor előtt. Hasonló előnyöket és hátrányokat kínálnak a preferenciaválasztáson alapuló vizsgálati módszerek (például FRIEDLANDER, 1968), amelyek alkalmazhatóságát az határozza meg, hogy a csecsemő mutatja-e a választást jelző motoros választ. A fejfördítési reakció helyett ma már a tekintet irányának mérésére is mód van. Ez lehetővé teszi a mérések finomítását és automatizálását.

A Lynne Werner által kidolgozott megfigyelő alapú eljárás (OLSHO, KOCH, HALPIN és CARTER, 1987; WERNER, 1995) fiatalabb csecsemőknél is alkalmazható. A vizsgálatban a vizsgálatvezető mellett egy megfigyelő is részt vesz, aki nem ismeri a vizsgálat célját és ingereit. A megfigyelő csak az egyes próbák indításáról szerez tudomást, például arról, hogy a vizsgálatvezető által számára adott jelzés után a csecsemőnek valamilyen hangingert adnak. Az ezt követő időszakban megfigyeli a csecsemő viselkedését, és, amennyiben abban változást tapasztal, akkor azt, mint a próbára adott választ értelmezi, és kezdeményezi a megerősítő visszajelzés bemutatását. A megerősítést a vizsgálatvezető adja, abban az esetben, ha az adott választ a vizsgálati terv megerősítendőként jelölte meg (például a VRA-módszer bemutatásánál említett példában azokat a próbákat, amelyekben a zajhoz egy szinuszos hangot adtak hozzá). Akár újszülötteknél is alkalmazható az üres (nem táplálkozási) szopómozgás operáns kondicionálása (a nagy amplitúdójú szopómozgás eljárás; angol rövidítéssel HAS; WILLIAMS és GOLENSKI, 1978; JUSZYK, 1985; újszülöttekre adaptálta FLOCCIA, CHRISTOPHE és BERTONCINI, 1997). Az eljárás során a csecsemő szájába egy speciális cumit tesznek, amely méri a szopómozgások erősségét. A meghatározott szintnél erősebb szopómozgáshoz kontingensen kötve mutatják be az összehasonlító (standard) hangingert. Az inger hatására a szopómozgások sűrűsége átmenetileg emelkedik, majd újra csökkenni kezd. Ekkor, egy másik hangra váltva a két hang diszkriminációja a szopómozgás-sűrűség újabb emelkedéseként jelentkezik.

Hasonló lehetőségeket nyújt a habituációs paradigma (összefoglalót lásd TURK-BROWNE, SCHOLL és CHUN, 2008). Ennek lényege, hogy egy adott ingereseményt sokszor megismételve, az arra adott válasz kioltódik, vagy nagysága jelentősen csökken (habituáció). Ezután, a habituált ingert egy másikra cserélve, a válasz újra megjelenik (diszhabituáció). A diszhabituáció két előfeltétele a habituált inger emlékezeti reprezentációjának elérhetősége és a két inger megkülönböztethetősége. Ennek megfelelően, a habituációs paradigmát az emlékezet és a szenzoros diszkrimináció vizsgálatára alkalmazzák csecsemőknél. Ez az eljárás, hasonlóan a Werner-féle megfigyelő alapú eljáráshoz, bármilyen, az ingerre megbízhatóan megjelenő viselkedésváltozással járó reakció segítségével megvalósítható, akár a szívritmus mérésével is. Az elsőként említett módszerekkel ellentétben, a habituációs és a HAS-eljárások egy hangsoron belül csak egyetlen, a kondicionált, illetve a habituált ingerhez viszonyított, kontraszt vizsgálatát teszik lehetővé.

A viselkedéses vizsgálati eljárások közös problémája, hogy fiatal csecsemőknél az inger és a válasz közötti idői kapcsolat változékony. Emiatt sokszor nehéz megítélni, hogy a megfigyelt viselkedésváltozást valóban a vizsgált inger váltotta-e ki. Másrészt, az életkorral együtt változó viselkedési repertoár és motoros képességek nehezítik a vizsgálati eredmények közvetlen összehasonlítását különböző életkori csoportok között. Végül, a kondicionálási, illetve válaszhabituációs eljárások hosszadalmasak, és még optimális feltételek mellett is nagy a lemorzsolódás a vizsgált babák között (lásd például WERNER, 1997).

Az agyi aktivitás mérésén alapuló vizsgálati módszerek

Az elmúlt két évtized előrelépései az agyi aktivitás mérésében jelentős fejlődést eredményeztek a fiatal csecsemők észlelési képességeinek kutatásában, mert függetlenítették a vizsgálatok lehetőségét a csecsemők szűkös mozgási repertoárjától, és, valamelyest, legalábbis a hallási észlelést tekintve, a figyelem irányításának problémájától. A már régóta ismert, de jelentős fejlődésen átesett, elektroenkefalográfiás mérések mellett, az utóbbi évtizedben megjelentek az első beszámolók a csecsemőkön végzett magnetoenkefalográfiás, diffúziós tenzor képalkotáson, funkcionális mágneses rezonancián és funkcionális közel infravörös spektroszkópián alapuló vizsgálatokról (EEG: NIEDERMEYER és DA SILVA, 2004; MEG: HÄMÄLÄINEN, HARI, ILMONIEMI, KNUUTILA és LOUNASMAA, 1993; DTI: ALEXANDER, LEE, LAZAR és FIELD, 2007; fMRI: HUETTEL, SONG és MCCARTHY, 2008; fNIRS: FERRARI és QUARESIMA, 2012). Míg az utóbbiak elsősorban a vizsgált funkciók agyi lokalizációjának és funkcionális agyi hálózatainak (VAN DEN HEUVEL és SPORNS, 2013) felderítésére alkalmasak, az eseményfüggő agyi potenciálok (EAP, angol rövidítéssel ERP; LUCK, 2005) módszerével végzett EEG/MEG-vizsgálatok lehetőséget teremtenek az agyi folyamatok idői lefolyásának megismerésére.

Az összefoglalóban idézett vizsgálatok jelentős része az EAP-technikát alkalmazta. Ennek során a csecsemőknek olyan hangsorokat mutatnak be, amelyben a vizsgálni kívánt esemény, például egy hangjellemző változása, sokszor (tipikusan 100–200-szor) jelenik meg. Mivel az agytevékenység által keltett elektromágneses jelekben minden, az ingerlés alatt éppen folyó agyi aktivitás hatása megjelenik, a vizsgálni kívánt eseményhez kötött aktivitást matematikai módszerekkel emelhetjük ki az egyedi események hatásait tartalmazó elektromágneses jelekből (részletelesen lásd LUCK, 2005). Az így kapott jelszakaszt, ami az esemény agyi feldolgozását jellemzi, (például átlagolt) eseményfüggő agyi potenciálnak nevezzük, rövidítve, EAP-nek. Az EAP-módszer egy változata az agytörzsi kiváltott válaszok mérése. A módszer előnye, hogy pontos, nagy populációktól származó standardhoz hasonlíthatók az eredmények. Éppen ezért, jelentős az orvosi felhasználása (objektív audiometria). Hátránya, hogy a hangfeldolgozást csak a hang elhangzását követő néhány milliszekundumban, a hallórendszer agykéreg alatti állomásain jellemzi, valamint nem vizsgálható vele a hangok megkülönböztetése.

Az EAP módszerével csecsemőkön végzett vizsgálatok között különösen gyakori az úgynevezett eltérési negativitás (EN, angol rövidítéssel MMN; például NÄÄTÄNEN, KUJALA és WINKLER, 2011) ingerparadigma alkalmazása. Felnőtteknél az EN, a skalpon fronto-centrálisan elhelyezett elektródákon, negatív kitéréssel jelentkező EAP-jelszakasz (EAP „komponens”), amelyet a hangsor valamilyen akusztikus szabályosságának megsértése vált ki. Például azonos erősségű hangok („standard”) sorába időnként egy-egy halkabb vagy hangosabb hangot beiktatva, az eltérő („deviáns”) hang kiváltja az EN-komponenst. A megsértett szabályosság lehet egyszerű, mint a fenti példában említett hangerősség-állandóság, de akár olyan bonyolult is, mint az alábbi szabály: a rövid hangokat mély, a hosszabbakat magas hang követi (összefoglalót lásd WINKLER, 2007). Fontos megemlíteni, hogy az EN kiváltásának nem előfeltétele, hogy a vizsgálati személy aktívan keresse a

szabálysértő hangokat (SADIA, RITTER és SUSSMAN, 2013; SUSSMAN, 2007), vagy hogy egyáltalán a hangokra fókuszálja figyelmét: például egy filmet néz a teljes vizsgálat alatt. Az sem szükséges, hogy a deviáns hang eltérjen az őt megelőző hangtól: például alternáló hangsorokba ritkán beiktatott hangismétlések EN-t váltanak ki (HORVÁTH, CZIGLER, SUSSMAN és WINKLER, 2001; PANNESE, HERRMANN és SUSSMAN, 2015).

Csecsemőknél, a hangsor szabályosságait megsértő deviáns hangok, a felnőtteken mért EN-hez funkciójukban részben azonos, bár skalp eloszlásukat és morfológiájukat tekintve eltérő EAP-válaszokat váltanak ki (eltérési válasz, EV; angol rövidítéssel MMR; összefoglalók lásd KUSHNERENKO, VAN DEN BERGH és WINKLER, 2013; TRAINOR, 2012). Az EN-paradigmát csecsemőknél a viselkedéses habituációs paradigma agyi aktivitás mérésére épülő megfelelőjének tekinthetjük. Amennyiben a deviáns eseményre adott EAP-válasz eltér a standard eseményre adott választól, arra következtethetünk, hogy a csecsemő hallórendszere megkülönböztette a kétféle eseményt.¹ A módszer előnye a viselkedéses módszerekhez viszonyítva, hogy nem szükséges hozzá semmilyen mozgásos válasz jelenléte. Sőt, legalábbis újszülötteken, az EEG-mérés tipikusan alvó állapotban² történik, ami lehetővé teszi viszonylag hosszú (maximum körülbelül 1 órás) kísérletek elvégzését. Az agyi aktivitás mérésén alapuló módszerek közös hátránya a viselkedéses vizsgálatokkal szemben, hogy az agyi válaszokban megmutatkozó megkülönböztetés nem bizonyítja, hogy a csecsemő képes lenne különböző viselkedéses válaszhoz kötni a különböző hangeseményeket (lásd például MOON, ZERNZACH és KUHL, 2015). Így nem tudhatjuk, hogy az agyi aktivitás által jelzett megkülönböztetések megjelennek-e a csecsemő észlelésében is.

Az alábbiakban először röviden áttekintjük a fiatal csecsemők hangdetekciós és néhány egyszerű hangtulajdonságban mutatott, megkülönböztetési képességét vizsgáló kutatások eredményeit. Ezután tárgyaljuk az összetett, minták és szabályosságok kiemelésére szolgáló funkciók működését.

EGYSZERŰ HANGVONÁSOK FELDOLGOZÁSA FIATAL CSECSEMŐKNÉL

Az egyszerű hangtulajdonságokkal fiatal csecsemőkön végzett pszichofizikai vizsgálatok egy összefoglalója megtalálható WERNER (2007) munkájában. A tiszta szinuszos hangok viselkedéses és agytörzsi kiváltott potenciál módszerrel mért abszolút (detekciós) küszöbe viszonylag gyorsan javul 1 és 6 hónap között: az egy hóna-

¹ Természetesen ügyelni kell arra, hogy a kétféle esemény csak a vizsgált vonásban különbözzön egymástól – a kontrolljárásokról részletesebben lásd KUJALA, TERVANIEMI és SCHRÖGER (2007).

² Az alvás fázisai az életkorral változnak. Az élet első három hónapjában, viselkedéses megfigyelésekkel, az ébrenlétén kívül két alvófázist (csendes és aktív alvás), elektrofiziológiai módszerekkel pedig öt ilyen fázist különböztethetünk meg (JENNI és CARSKADON, 2000). Azonban, ellentétben a felnőtteknél tapasztaltakkal, újszülötteknél nem találtak megbízhatóan reprodukálható különbségeket a különböző fázisokban mért EAP-k között (megbeszélés lásd KUSHNERENKO, VAN DEN BERGH és WINKLER, 2013).

posan, a felnőtt szinthez képest kb. 35-50 dB-lel magasabb értékekről a felnőtt szintnél kb. csak 15/20 dB-lel magasabb értékre csökken le. A felnőttkorra jellemző küszöbérték 10 éves kor körül alakul ki (OLSHO, KOCH, CARTER, HALPIN és SPETNER, 1988; THARPE és ASHMEAD, 2001; TREHUB, SCHNEIDER és ENDMAN, 1980; WERNER, FOLSOM és MANCL, 1994; WERNER és GILLENWATER, 1990). A frekvenciafeldolgozás különböző jellemzői közül az ún. maszkolt küszöb (egy zajsáv vagy tiszta szinuszos hang széles sávú zajban történő detektálásához szükséges hangerő többlet) 3 hónapos korban a felnőttekhez képest 15-20, 6 hónapos korban 10-12 dB többletet mutat; a felnőttekre jellemző küszöbérték kb. 5-6 éves korban jelenik meg (SCHNEIDER, TREHUB, MORRONGIELLO és THORPE, 1989; SPETNER és OLSHO, 1990).

Csecsemőknél, az alacsony (<4 kHz) frekvencia sávban tiszta szinuszos hangoknál mért különbségi frekvenciaküszöb (a legkisebb még megkülönböztethető frekvenciakülönbség) jelentősen magasabb a felnőttekre jellemző értéknél. Újszülötteknél, az EN-paradigmával tesztelve, 80 dB hangnyomás szint mellett 20% eltérés váltott ki megbízható különbségi választ 250 és 4000 Hz közötti frekvenciáknál, 5% eltérés viszont nem (NOVITSKI, HUOTILAINEN, TERVANIEMI, NÄÄTÄNEN és FELLMAN, 2007). Háromtól hat hónapos korban a megfigyelő alapú viselkedéses eljárással vizsgálva, 95-98 dB-es hangnyomás szint mellett, a különbségi küszöb 2,5-3%-ra, 60-75 dB-es hangnyomás mellett 3-3,5%-ra csökken (OLSHO, KOCH és HALPIN, 1987). A gyermekeken végzett vizsgálatok kimutatták, hogy a felnőttre jellemző körülbelül 1%-os különbségi küszöböt csak kb. 10-11 éves korban éri el (FISCHER és HARTNEGG, 2004; MAXON és HOCHBERG, 1982). Egy EN-paradigmával végzett vizsgálat (HE, HOTSON és TRAINOR, 2009a) a hangmagasság-eltérés és a bemutatási sebesség hatását elemezve arra a következtetésre jutott, hogy a felnőttekéhez minőségileg hasonló agyi hangmagasság-különbség feldolgozás valamikor a 2. és a 4. hónap között alakul ki.

Viszonylag kevesebb adat áll rendelkezésre a hangintenzitás-diszkrimináció jellemzésére. Hat-kilenc hónapos csecsemők kb. 6-9 dB különbségi küszöböt mutatnak, míg felnőtteknél ez 1-2 dB (SINNOTT, és ASLIN, 1985). Széles sávú zajjal tesztelve a különbségi küszöb valamivel alacsonyabb, mint tiszta szinuszos hangokkal vagy keskeny sávú zajjal (BULL, EILERS és OLLER, 1984). A felnőttekre jellemző különbségi küszöb kb. 5-6 éves korban állandósul (JENSEN és NEFF, 1993).

Újszülöttek a horizontális síkban kb. 30°-os szögeltérés mellett képesek két tiszta szinuszos hangokat kibocsátó hangforrást megkülönböztetni (MORRONGIELLO, FENWICK, HILLIER és GRAHAM, 1994). 45°-os szögdeviancia mellett megbízható EV-potenciál regisztrálható náluk, miközben hallórendszerük érzékeny mindkét fő binaurális jelzőmozzanatra, a két fül közötti hangintenzitás- és időkülönbség viszonylag nagy változásaira (± 8 dB, illetve $\pm 385 \mu\text{s}$; NÉMETH, HÁDEN, TÖRÖK és WINKLER, 2015). A nagy horizontális szögeltéréssel ($\pm 90^\circ$ a középvonali standardhoz képest) kiváltott EV 2 és 5 hónapos kor között a hangmagasság eltéréssel kiváltott EV-hez hasonló fejlődést mutat (SLUGOCKI és TRAINOR, 2014). A különbségi küszöb kb. 14° 7 hónapos korban és nagyjából 5 éves korra éri el a felnőttre jellemző körülbelül 1°-os értéket (1 kHz alatti frekvenciák mellett a középső síkban; CLIFTON, 1992; LITOVSKY és ASHMEAD, 1997; MILLS, 1972).

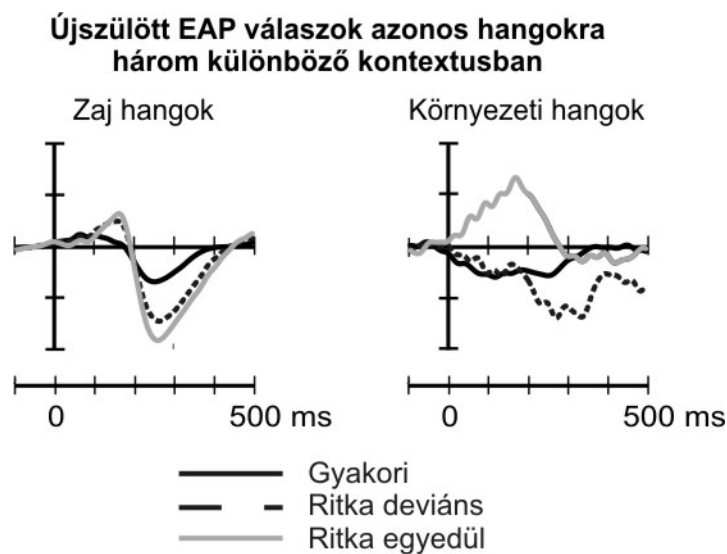
Viselkedéses módszerekkel mérve, az idői jellemzők észlelése szintén meglehetősen éretlennek mutatkozik csecsemőkorban. 3-12 hónapos babák csak 30–50 ms-os vagy annál hosszabb hangok közötti szüneteket észlelnek, szemben a felnőttkori 10-20 ms-os küszöbvel, ami kb. 4-5 éves korra érik be (SMITH, TRAINOR és SHORE, 2006; TREHUB, SCHNEIDER és HENDERSON, 1995; WERNER, MAREAN, HALPIN, SPETNER és GILLENWATER, 1992). Ugyancsak éretlennek találták a hanghosszúság-megkülönböztetést mind csecsemőknél, mind óvodás korú gyermekeknél (ELFENBEIN, SMALL és DAVIS, 1993; MORRONGIELLO és TREHUB, 1987). Más kép alakul ki azonban az elektrofiziológiai vizsgálatokból. KUSHNERENKO és munkatársai (2001) a felnőttekhez hasonló hanghosszúsághoz köthető EAP-jellemzőket találtak újszülötteknél. TRAINOR és munkatársai (2001) pedig érett, a felnőttekéhez hasonló szünetdetekciót találtak az EV segítségével 6 hónapos korú csecsemőknél (TRAINOR, SAMUEL, DESJARDINS és SONNADARA, 2001). Lehetséges tehát, hogy a hangok idői jellemzői már fiatal csecsemőknél is finom felbontású feldolgozáson mennek át, azonban ez az információ nem hozzáférhető a viselkedést irányító folyamatok számára. Némely később bemutatott funkciónak (például egyes beszédjellemzők megkülönböztetése) előfeltétele az idői hangvonások jó felbontású feldolgozása.

Összességében tehát a klasszikus pszichofizikai vizsgálatok eredményeiből az egyszerű hangvonások tekintetében arra következtethetünk, hogy a fiatal csecsemők mind a felnőtteknél, mind pedig az óvodáskorú gyermekeknél lényegesen durvább felbontású reprezentációval rendelkeznek. Bár csecsemőkorban tovább folyik a hallórendszer perifériális elemeinek érése, ez azonban nem ad kielégítő magyarázatot a mutatott teljesítményre (WERNER, 2007). Lehetséges, hogy a csecsemőkön végzett pszichofizikai eljárások nem alkalmasak a szenzoros reprezentációk felbontásának kellően finom meghatározására. Azonban az idői hangvonásoktól eltekintve, az agyi aktivitás mérésén alapuló vizsgálatok eredményei összhangban vannak a viselkedéses vizsgálatokból levonható következtetésekkel. Az okok tehát, valószínűleg, a csecsemők központi idegrendszerének éretlenségében rejlenek. Ismert, hogy a velőshüvely, amely az idegsejtek axonjait körbevéve gyorsabb és megbízhatóbb ingerülettovábbítást tesz lehetővé, születéskor csak foltokban van jelen a központi idegrendszerben, és az ezt követő időszakban jelentős fejlődésen megy át (például DUBOIS, HERTZ-PANNIER, DEHAENE-LAMBERTZ, COINTEPAS és LE BIHAN, 2006). Lehetséges tehát, hogy az információk változó sebességgel érkeznek be a különböző feldolgozó központokba, ami magyarázná, hogy a fentebb tárgyalt hallási funkciók többsége megbízhatóbban működik a frekvenciaspektrumon széles sávot lefedő ingerekkel, mint például tiszta szinuszos zajokkal (WERNER, 2007). Ezt a megfigyelést alátámasztják KUSHNERENKO és munkatársai (2007) EAP-módszerrel végzett mérési eredményei is. A szerzők újszülött csecsemőknél azt találták, hogy a vonalas spektrumú összetett szinuszos hangokra³ adott EAP-válaszok sokkal nagyobb egyének közötti variabilitást mutatnak, mint a széles

³ Az összetett szinuszos hangok az alapharmonikus tiszta szinuszos hangból és a felharmonikusokból állnak. A felharmonikusok szintén tiszta szinuszos hangok, amelyek frekvenciája az alapharmonikus frekvenciájának egész számú többszöröse. Ilyen hangot hallunk például egy gitárhúr megpendítésekor.

sávú, folytonos spektrumú fehér zajjal vagy környezeti hangokkal kiváltott válaszok. VAN DEN HEUVEL és munkatársai (2015) hasonló megfigyeléseket tettek 2 és 4 hónapos csecsemők EAP-válaszait illetően. Ezek alapján a fiatal csecsemők által a pszichofizikai vizsgálatokban mutatott alacsony teljesítmény egy lehetséges magyarázata, hogy a csecsemő agy, az információk áramlásának egyenetlenségei miatt, kevésbé képes integrálni, illetve megosztani az egyes funkciók között a különböző módon feldolgozott információkat.

Az egyszerű észlelési funkciók éretlensége alapján azt gondolhatnánk, hogy a fiatal csecsemők szenzoros információfeldolgozási képességei meglehetősen primitívek: ahogyan a hagyományos elképzelések tartják, a csecsemők egy kaotikus ingervilágba érkeznak, mivel nem képesek szelektálni, a lényegét kiemelni a nagy mennyiségű beérkező információból. HÁDEN és munkatársainak (2013) kísérlete azt a kérdést tette fel, hogy vajon az újszülöttek egyenként, vagy, a felnőttekhez hasonlóan (összefoglaló lásd WINKLER és SCHRÖGER, 2015), a kontextus figyelembevételével dolgozzák-e fel a hangokat. Kétféle hangot, fehér-zaj szakaszokat és 150 különböző környezeti hangot (kutyaugatás, csengőhang stb.) mutattak be újszülött csecsemőknek, külön-külön háromféle kontextusban: „ritka hangként, egyedül”, „ritka deviáns” (15%-os) hangként gyakori (85%-os), tiszta szinuszos (1000 Hz) hangok között és „gyakori” hangként ritka, tiszta szinuszos hangokkal együtt (az előbbi feltétel hangsoron belüli valószínűségeit felcserélve). A „ritka egyedül” hangsorok a „ritka deviáns” hangsorokból oly módon származtak, hogy a szinuszos hangokat azonos hosszúságú csendszakaszokra cseréltük le. Az 1. ábrán



1. ábra. Zaj- és környezeti hangokra adott csoportátlag (zaj: N=33; környezeti hang: N=23) centrális (Cz) EAP-válaszok újszülötteknél (HÁDEN és mtsai, 2013 nyomán)

látható, hogy amíg a zajhangokra adott EAP-válaszok a három feltételben egymástól csak a komponensek nagyságában térnek el („ritka egyedül” \geq „ritka deviáns” $>$ „gyakori”), addig a környezeti hangok által kiváltott EAP-válaszok morfológiailag különböznek egymástól a három feltételben. Ezek az eredmények úgy értelmezhetők, hogy a zajszakaszok feldolgozását csak a hang bemutatásának gyakorisága befolyásolta: minél ritkábban érkezett a hang, annál erősebb volt rá a válasz, mert a hang által aktivált idegsejthálózatoknak több idejük volt visszatérni a nyugalmi állapotba. A környezeti hangok feldolgozásában azonban már újszülött csecsemőknél is fontos szerepet tölt be a hangok kontextusa.

Ez alapján érdemes megvizsgálni, hogy milyen magasabb szintű hallási funkciók működnek fiatal csecsemőknél. A következő szakaszban az összetett hangjellemzők feldolgozását tekintjük át, előbb a spektrális jellemzőkét, majd az idői/sorrendi hangmintázatok és szabályok detektálását.

ÖSSZETETT HANGJELLEMZŐK FELDOLGOZÁSA FIATAL CSECSEMŐKNÉL

Spektrális hangjellemzők

Az első kérdés az, hogy újszülöttek más spektrális tulajdonságoktól (például a hangszín) függetlenül dolgozzák-e fel a hangmagasságot. Ezt a kérdést vizsgálták HÁDEN és munkatársai (2009), akik olyan hangsorokat mutattak be újszülött csecsemőknek, amelyekben a hangmagasság a hangok többségében (87,5%) megegyezett (139 Hz; zenei jelöléssel C#3), míg a fennmaradó hangoknál (12,5%) ennél magasabb volt (175 Hz; F3). Mindkét hang vadászkürtből származott, amelynek rezonátordoboz-méretét mesterségesen hét lépésben véletlenszerűen variáltuk az eredeti hanghoz képest $\pm 22\%$ -os tartományon belül. A rezonátorméret (öblösség) az egyik alapvető hangszínvonás, ami a hangforrás méretére utal (VAN DINTHER és PATTERSON, 2006). A ritka, magasabb hangok EV-t váltottak ki. Ez arra utal, hogy a hangmagasság-információt az újszülöttek hallórendszere is a hangszíntől elkülönülten reprezentálja. Hasonló következtetésre jutott 7 hónapos csecsemők vizuális megerősítésű audiometriás módszerrel végzett vizsgálatából CLARKSON és CLIFTON (1985).

A hangmagasság-észlelés egy másik fontos jellemzője felnőttél, hogy nemcsak a szinuszos hangokhoz, de szinte minden elégségesen hosszú hanghoz hangmagasság-jellemzőt rendelünk (virtuális hangmagasság; SCHARF és HOUTSMA, 1986), amelyet egyeztetni tudunk egy tiszta szinuszos hang által keltett hang magasságával. A virtuális hangmagasság-észlelés egyik legtöbbet kutatott formája a hiányzó alapharmonikusú összetett szinuszos hangok feldolgozása. Az összetett szinuszos hangok magasságát az alapharmonikus hangmagasságával megegyezőnek érzékeljük. Amennyiben egy összetett szinuszos hangból elhagyjuk az alapharmonikust, akkor hallórendszerünk kiszámolja a legnagyobb lehetséges alapharmonikust (a felharmonikusok frekvenciáinak legnagyobb közös osztóját), és az így kikövetkeztetett alapharmonikus hangmagasságát érzékeljük a hiányzó alapharmonikusú ösz-

szetett szinuszos hang hangmagasságaként. Korábbi vizsgálatok kimutatták, hogy az állatok egy jelentős része (SHOFNER, 2005) és hét hónapos csecsemők is (CLARKSON és CLIFTON, 1985) „helyesen” észlelik a hiányzó alapharmonikusú összetett szinuszos hangok magasságát. Az EN-paradigma segítségével elvégzett EAP-kísérletükben HE és TRAINOR (2009) azt találták, hogy 4 és 7 hónapos csecsemők hallórendszere, a felnőttekhez hasonlóan (WINKLER, TERVANIEMI és NÄÄTÄNEN, 1997), az azonos hiányzó alapharmonikusra épülő hangokat azonos hangmagasságúnak tekinti, míg 3 hónapos csecsemőknél nem találtak erre utaló jelet.

De vajon a hangokat mint egységeket dolgozzák-e fel a fiatal csecsemők, vagy a feldolgozás egységei az elkülönült hangvonások? Felnőtteknél ez a kérdés sokáig az észleléskutatás középpontjában állt. Egyes szerzők (például TREISMAN és GELADE, 1980) azt feltételezték, hogy az ingervonások kombinálása figyelmet igényel, míg mások a vonás-integráció folyamatát automatikusnak tartották (például DUNCAN és HUMPHREYS, 1989).⁴ Mivel alvó újszülöttekről nem feltételezhetjük, hogy figyelmüket a hangokra fókuszálják, felmerül a kérdés, hogy megtörténik-e a hangvonások integrációja. GOMES és munkatársai (1997) ingerparadigmáját felhasználva RUUSUVIRTA és munkatársai (2003) erre a kérdésre keresték a választ. Az újszülötteknek bemutatott hangsorokban kétféle gyakori (45-45%) és kétféle ritka tiszta szinuszos hangot (5-5%) keverték össze véletlenszerű sorrendben. A két gyakori hang frekvenciában (750 és 1000 Hz) és hangintenzitásában (50 és 70 dB) is különböztek egymástól. A ritka hangok frekvenciája az egyik, intenzitásuk pedig a másik gyakori hanggal egyezett meg. Az AEP-módszerrel végzett vizsgálatban a szerzők EV-választ kaptak a ritka hangokra. Mivel a ritka hangokban csak a két hangvonás kombinációja volt ritka (külön-külön mindkét hangvonás szerepelt az egyik gyakori hangban), az EV kiváltása bizonyítja, hogy, felnőttekhez hasonlóan (TAKEGATA, BRATTICO, TERVANIEMI, VARYAGINA, NÄÄTÄNEN és WINKLER, 2005; WINKLER, CZIGLER, SUSSMAN, HORVÁTH és BALÁZS, 2005), az újszülött hallórendszer is elvégzi a vonásintegrációt a figyelem fókuszán kívül is. RUUSUVIRTA és munkatársai (2004) később három vonásra kiterjesztett változatban megismételték a kísérletet. Az eredmény ekkor is hasonló volt.

VIRTALA és munkatársainak (2013) vizsgálata kiterjesztette ismereteinket arról, hogy újszülöttek hogyan dolgozzák fel az egyidejű hangok frekvenciái közötti kapcsolatokat. A szerzők megvizsgálták, hogy újszülött csecsemők megkülönböztetik-e a dúr-akkordokat (hármashangzatok) a befördített dúr- és moll-akkordoktól, illetve olyan hanghármasoktól, amelyek nem felelnek meg egyik nyugati zenei sémának sem (disszonáns akkordok). A zenei akkordokat a hangok közötti frekvencialépések (hangközök) struktúrája alapján kategorizáljuk. Mivel az abszolút hangmagasságnak nincsen szerepe a zenei kategorizálásban, a szerzők az akkordokat kategóriánként 3-3 hangmagasság szinten variálták. Az alap dúr-hangok szerepeltek leggyakrabban a hangsorban (74%), míg a másik három kategória összesen a hangesemények 26%-át tette ki. A ritka moll- és disszonáns akkordok

⁴ Bár ezeket az elképzeléseket általános észlelési elméletekként tartották számon, az őket megalapozó bizonyítékok elsősorban látási kísérletekből származtak.

EV-t váltottak ki a gyakori dúr-akkordok kontextusában; a befordított dúr-akkordok viszont nem. Ez úgy értelmezhető, hogy az újszülöttek hallórendszere megkülönböztette a moll- és a disszonáns akkordok hangközstruktúráját a dúr-akkordokétól, miközben detektálta, hogy a befordított dúr-akkordok szerkezete, az oktáv váltást is figyelembe véve, nem különbözik a dúr-akkordokétól. A dúr és moll zenei kategóriákat valószínűleg még az anyaméhben tanulhatták meg a fenn, tehát nyugati zenei környezetben fogant, újszülöttek.⁵ Az egyszerre hallott frekvenciák közötti hangközök elemzése, illetve az ez alapján történő kategorizálás képessége, viszont valószínűleg általános az újszülötteknél.

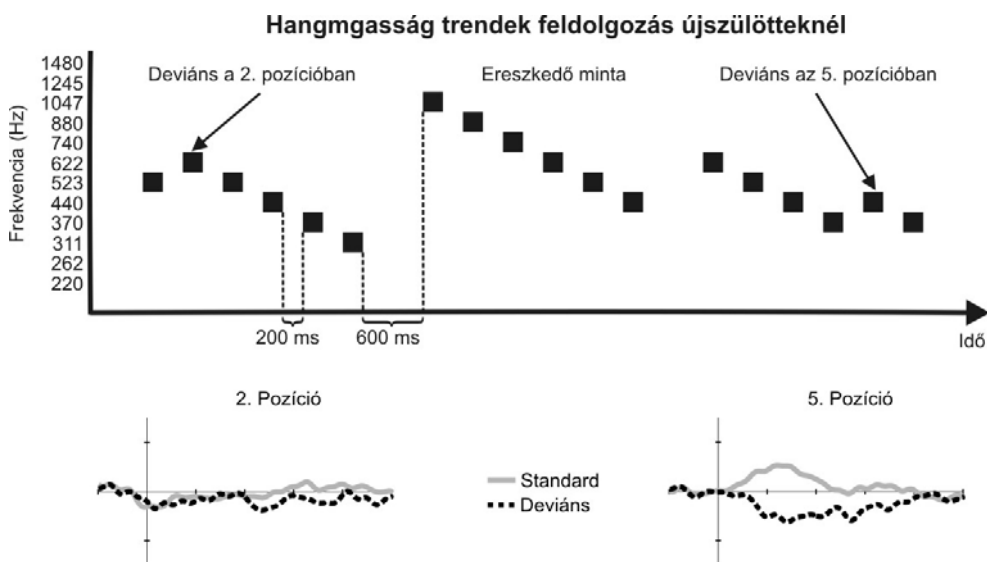
Ugyancsak általánosnak tűnik a konszonáns hangközök (a frekvenciák egyszerű arányban állnak, például 2:1 vagy 3:2) és a disszonáns hangközök (például 45:32) megkülönböztetése csecsemőknél (összefoglaló lásd TRAINOR és UNRAU, 2012; a főbb konszonáns hangközök közel univerzalitásáról, lásd DOWLING és HARWOOD, 1986). Újszülött kortól kezdve a csecsemők preferálják a konszonáns hangközöket tartalmazó hangpárokat és melódiákat (MASATAKA, 2006; TRAINOR, TSANG és CHEUNG, 2002; ZENTNER és KAGAN, 1998). Egy újszülöttekkel végzett fMRI-vizsgálat különbséget mutatott ki a jobb agyféltekei aktivitásában konszonáns és disszonáns hangközökből álló dallamok hallgatása közben (PERANI és mtsai, 2009). Végül DEMANY és ARMAND (1984) habituációs módszer segítségével megállapította, hogy 3 hónapos csecsemők nem mutatnak újdonságreakciót, ha egy habituált dallam néhány hangjának magasságát egy oktávval megemelik. Más mértékű emelés esetén viszont megjelenik az újdonságreakció. Ez az eredmény kompatibilis a konszonáns és disszonáns hangközök korai csecsemőkori megkülönböztetését mutató előbb felsorolt eredményekkel (az oktáv, a legkonszonánssabb, 2:1 arányt mutató hangköz). Másrészt, arra enged következtetni, hogy az oktávekvivalencia, ami a zenei skálák kidolgozásának előfeltétele, már fiatal csecsemőknél megjelenik.

DEMAND és ARMAND (1984) vizsgálata impliciten feltételezte, hogy a csecsemők képesek megjegyezni rövid dallamokat. Azonos módon ismételt hangminták esetén CHANG és TREHUB (1977) 5 hónapos csecsemők habituációs vizsgálatával bizonyította ezt a feltételezést. Mivel a dallamok egymást követő hanglépésekből állnak, feltehetjük a kérdést, hogy fiatal csecsemők, a felnőttekhez hasonlóan, a hanglépéseket önállóan, az abszolút hangmagasságtól függetlenül is képesek-e reprezentálni. Azaz felismerik-e a dallamokat transzponált (abszolút hangmagasságban felfelé vagy lefelé eltolt) változatokban is. Első lépésként CARRAL és munkatársai (2006) kimutatták, hogy az újszülöttek hallórendszere érzékeny a hanglépés irányára, függetlenül az abszolút hangmagasságtól. Kísérletükben SAARINEN és munkatársai (1992) felnőttekkel végzett vizsgálatát követve hangpárokat mutatnak be újszülötteknek. A hangpárok többségében (87,5%) a második hang kb. 21%-kal magasabb frekvenciájú volt az elsőnél („emelkedő párok”). A 6 lehetséges emelkedő pár egyforma valószínűséggel szerepelt a hangsorban. A sorozat többi eleme „ereszkedő” párokból állt, amelyek az emelkedő párok sorrendjének meg-

⁵ Az intrauterin (méhen belüli) tanulás alapján az adja meg, hogy a hallórendszer nagyjából a terhesség harmadik trimeszterében már működőképes (LECANUET és SCHAAL, 1996).

fordításával keletkeztek. A különböző típusú és abszolút hangmagasságú hangpárok véletlen sorrendben követték egymást. Az ereszkedő hangpárok kiváltották az EV-t, ami azt mutatja, hogy az újszülöttek hallórendszere megkülönbözteti az emelkedő és az ereszkedő hanglépést. Ezen eredményekre alapozva STEFANICS és munkatársai (2009) hasonló módszert alkalmazva kimutatták, hogy az újszülöttek hallórendszere nemcsak a hanglépés irányát, de annak nagyságát is regisztrálja, függetlenül az abszolút hangmagasságtól.

Újabb vizsgálatok szerint az újszülöttek hallórendszere nemcsak az egyes hanglépéseket, de az azokból kialakuló trendeket is detektálja. HÁDEN és munkatársai (2015b) hangminták sorozatát mutatták be alvó újszülötteknek. A minták felében hat hang követte egymást monoton ereszkedő hangmagasságsorban (2. ábra, felső panel, „Ereszkedő minta”), egyformán 20-20%-os hanglépésekkel. A minták másik felében a hat elemből álló minta 2. (2. ábra, felső panel, „Deviáns a 2. pozícióban”) vagy 5. hangja (2. ábra, felső panel, „Deviáns az 5. pozícióban”) az előző hanghoz képest egy lépéssel magasabb volt. A minták kezdő hangmagassága hét lehetséges érték között változott, egyenletes valószínűséggel. Az eredmények (2. ábra alsó panel) azt mutatták, hogy az emelkedő hanglépés az 5. pozícióban kiváltotta az EV-t, a 2.-ban viszont nem. Ebből arra következtethetünk, hogy az újszülöttek



2. ábra. Hangmagasságtrendek feldolgozása újszülött csecsemőknél

A felső panelen az ingerparadigma sematikus ábrázolása található. A fekete négyzetek jelölik az egyedi hangokat. A három hangmintázatot egymás mellett ábrázoltuk. Az alsó panelen külön-külön a 2., illetve az 5. pozícióban adott deviáns (emelkedő hanglépés) és a neki megfelelő pozícióban adott standard hang (ereszkedő hanglépés) által kiváltott frontális (Fz) csoport-átlag (N=33) EAP választ rajzoltuk egymásra.

(HÁDEN és mtsai, 2015b nyomán)

hallórendszere minden hangmintázatból külön-külön kiemelte az ereszkedés szabályosságát (ún. lokális szabály), és a deviáns hanglépés akkor váltott ki EV-t, amikor az adott mintázat szabályosság-reprezentációja már elkészült; azaz az 5. pozícióra a szabályosság-reprezentáció felépítéséhez már elég információ állt rendelkezésre, ami nem volt lehetséges a 2. pozícióban.

Több napon át folytatott habituációs vizsgálatokban PLANTINGA és TRAINOR (2005) kimutatták, hogy 6 hónapos csecsemők a dallamokat mint hangközök sorozatát jegyzik meg, és valószínűleg nem is emlékeznek a bemutatott minták abszolút hangmagasságára; azaz erre az időszakra már biztosan megvalósul az észlelésben a transzpozíciós invariancia. Hasonló következtetést lehet levonni TEW, FUJIOKA, HE és TRAINOR (2009) EAP-módszerrel végzett vizsgálatából: a négy hangból álló standard mintát 20 különböző abszolút hangmagasságban mutatták be 6-7 hónapos csecsemőknek. A sorozatban bemutatott minták 20%-ában az utolsó hangot egy félhanggal feljebb emelve a deviáns minta EV-t váltott ki. Ez az eredmény azt mutatja, hogy a transzponált mintaváltozatokat a csecsemő hallórendszere egyazon mintázat különböző megjelenéseiként dolgozta fel, amely szabályosságként reprezentálódott, és így az ettől eltérő minták kiváltották az EV-t.

A természetes hangok jelentős részének spektrális szerkezete változatlan marad akkor is, ha az időskálát megváltoztatjuk (felgyorsítjuk vagy lelassítjuk a hangot: „skálázási invariancia”; SINGH és THEUNISSEN, 2003). Felnőtt megfigyelők az ilyen tulajdonságokkal bíró hangokat „természetesnek” (a természetben előforduló hangnak) találják (GEFFEN, GERVAIN, WERKER és MAGNASCO, 2011). Valószínűsíthető, hogy a felnőttek hallórendszere kihasználja ezt a tulajdonságot a hangok reprezentálásában (SMITH és LEWICKI, 2006). Éppen ezért, lehetséges, hogy már fiatal csecsemők is megkülönböztetik az ilyen tulajdonságokkal rendelkező, illetve ezzel nem rendelkező hangokat. GERVAIN, WERKER és GEFFEN (2014) 5 hónapos csecsemők habituációs vizsgálata során azt találta, hogy a skála-invariáns hangokra habituált csecsemők a tesztfázisban hosszabban figyeltek az ilyen tulajdonságokkal nem rendelkező hangokra. A hatás nem az ismerősségen alapult, mivel preferenciavizsgálatban a természetes és mesterséges skála-invariáns hangok között nem találtak eltérést. Ezek az eredmények azt jelzik, hogy 5 hónapos csecsemők detektálják a skála-invariancia hangtulajdonságot, és az ilyen hangokat azonos csoportba („kategóriába”) sorolják. A fiatal csecsemők hallórendszere tehát a hangmagasság-transzpozíciós invariancia mellett a skálázási invariancia feldolgozására is képes. Mindkét invariancia nagy jelentőséggel bír a természetes környezetben történő hangészlelésben.

A hangok viszonylag kevés információt adnak a forrásukról, legalábbis a látási, tapintási vagy ízlelési ingerekkel összehasonlítva. A hangforrásra jellemző információkat a hangszín közvetíti. Ezen információk egyike a korábban már említett rezonátordoboz-méret (VAN DINTHER és PATTERSON, 2006), amely utal a hangforrás nagyságára (például a nagyobb állatok hangja általában véve öblösebb, mint a kisebbeké). Mivel ez a túlélés szempontjából fontos információ, érdemesnek látszott megvizsgálni, hogy az újszülöttek hallórendszere megkülönbözteti-e a hangokat a rezonátordoboz mérete alapján. EN-paradigmát alkalmazva VESTERGAARD és munkatársai (2009) azt találták, hogy a megkülönböztetés már újszülött

csecsemőknél is jelen van. Több viselkedéses módszerrel végzett kutatás is bizonyítja, hogy 7-8 hónapos csecsemők meg tudnak különböztetni (CLARKSON, CLIFTON és PERRIS, 1988; TSANG és TRAINOR, 2002), sőt kategorizálni is képesek hangokat a spektrum burkológörbéje alapján (TREHUB, ENDMAN és THORPE, 1990). Sajnos, 6 hónaposnál fiatalabb csecsemőknél, csak közvetett bizonyítékok állnak rendelkezésre a spektrum burkológörbéje alapján végzett hangszín-megkülönböztetési képességről. Két hónapos csecsemők különbséget tesznek férfi és női beszélők hangja között (MILLER, 1983). Kettőtől hat hónapos korú csecsemők képesek megkülönböztetni különböző magánhangzó-kategóriákat (KUHL, 1979; MAREAN, WERNER és KUHL, 1992). E megkülönböztetéseket felnőttek a hangok spektrális burkológörbéje alapján végzik. Azonban a felsorolt megfigyelésekből nem derül ki, hogy a csecsemők a többdimenziós hangszínvonás mely információit használták fel.

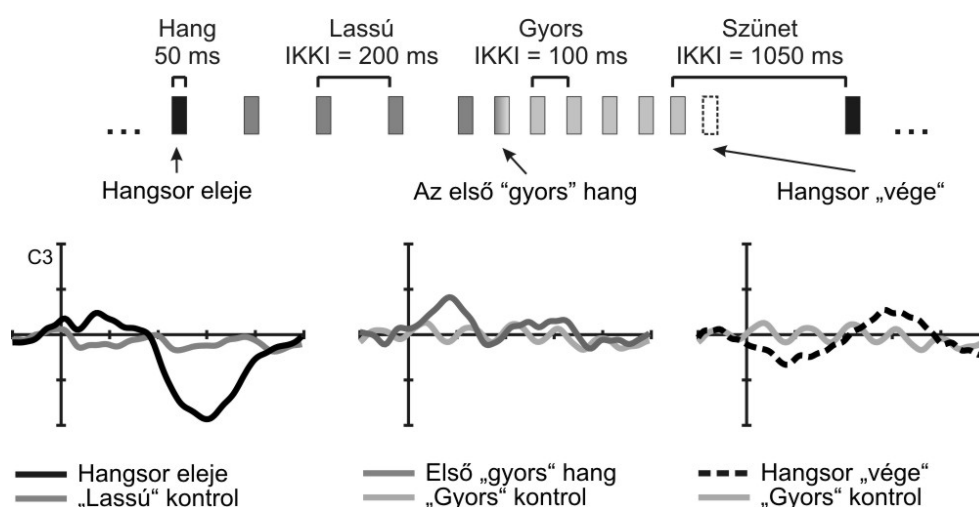
A hangszínvonás egyik fontos felhasználása a hangforrás azonosítása. DECASPER és FIFER (1980) azt találta, hogy újszülött csecsemők preferálják a saját anyjuk hangját más női hangokkal szemben. Időre született újszülött csecsemők eltérő EAP-válaszokat adnak az anyjuk, illetve más nők hangjára (THERIEN, WORWA, MATTIA és DE REGNIER, 2004). DEHAENE-LAMBERTZ és munkatársai (2010) fMRI-vizsgálatukban 2 hónapos csecsemőknél, többek között a beszédértés egyik központjában, a hátsó temporális kérgi területen, valamint az érzelmi feldolgozásban fontos szerepet betöltő amygdalában és az orbito-frontális kéregben erősebb agyi aktivitást találtak az anya hangjára, mint egy idegen női hangra. PURHONEN, KILPELÄINEN-LEES, VALKONEN-KORHONEN, KARHU és LEHTONEN (2005) EAP-módszerrel végzett kísérletükben megállapították, hogy 4 hónapos csecsemők gyorsabban dolgozzák fel a saját anyjuk hangját más női hangoknál. Az anya hangjának azonosításában minden bizonnyal fontos a hangszín, de a jellegzetes dinamikai mintázat szerepét sem lehet elhanyagolni. A dinamikai információ kevesebb torzítással jut át a magzatvízen, mint a spektrális mintázat. TRAINOR, LEE és BOSNYAK (2011) 4 hónapos csecsemőknek játszatott le otthon egy héten keresztül naponta legalább 20 percen át gitáron vagy marimbán megszólaltatott gyermekdalokat. Ezután a laboratóriumban mindkét csoport (a gitárhoz, illetve a marimbához szoktatott) csecsemőit kétféle EN-paradigmával tesztelték. Mindkét hangsorban a gyakori hang 415 Hz-nek megfelelő hangmagasságú, a ritka hang pedig ennél 3%-kal magasabb volt. Az egyik hangsorban a hangok gitáron, a másikban marimbán szólaltak meg. Az eredmények azt mutatták, hogy mindkét csoportban nagyobb amplitúdójú EV-t váltott ki a korábban sokat hallgatott hangszer, mint a relatíve ismeretlenebb hangszer hangjaiból alkotott hangsor. Felnőtteknél több vizsgálat is bizonyítja, hogy azonos mértékű deviancia mellett az ismerős hangok nagyobb EN-t váltanak ki, mint az ismeretlenek (például JACOBSEN, SCHRÖGER, WINKLER és HORVÁTH, 2005). TRAINOR és munkatársai (2011) eredményei tehát azt jelzik, hogy napi 20 perces passzív hallgatás mellett 4 hónapos csecsemők megtanulták egy-egy hangforrás jellegzetes hangszínét, és ez befolyásolta az adott forrásból származó hangok későbbi feldolgozását.

Idői mintázatok

Felnőttek a hangokat általában időben lezajló mintázatok részeként észlelik. A hangok közötti idő a hangsorok egyik, az egyedi hangokon túlmutató tulajdonsága. Ha a csecsemők hangmintázatot hallanak, nem pedig csak elkülönült hangok sorát, akkor a hangok közötti időt is reprezentálniuk kell. Kettő-négy hónapos csecsemők megkülönböztetik az egyenletes és a nem egyenletes ütemben bemutatott hangsorokat, és érzékenyek a hangkezdetek közötti idők (ingerkezdetek közötti idő; IKKI) sorrendjére (DEMANY, MCKENZIE és VURPILLOT, 1977; FOWLER, SMITH és TASSINARY, 1986). HE és munkatársai (2009) korábban már idézett vizsgálata kimutatta, hogy ebben az életkorban az IKKI nagysága befolyásolja a hangok EAP-módszerrel jellemzett feldolgozását. A szerzők 800 és 400 ms-os IKKI-t alkalmazva EN-módszerrel vizsgálták ritka hangmagasság-eltérések detektálását. Az eredmények azt mutatták, hogy 4 hónaposoknál az EV csúcslátenciája, a felnőttekhez hasonlóan, az IKKI-vel együtt csökken, miközben az EV amplitúdója változatlan maradt. Ez arra utal, hogy a hallórendszer alkalmazkodik a bemutatási sebességhez. Evvel szemben, 2 hónaposoknál az IKKI csökkenésével együtt csak a gyakori hang által kiváltott EAP-válasz amplitúdója csökkent, ami inkább egy „passzív” refraktorikus hatásként értelmezhető: a standard inger által aktivált ideghálózatok a rövidebb szünet miatt nem tértek vissza nyugalmi állapotukba. Habitúációs módszert alkalmazva BARUCH és DRAKE (1997) azt találták, hogy 2 és 4 hónapos csecsemők közepes tempók mellett a felnőttek által a motorikus szinkronizáció szempontjából optimálisnak észlelt 600 ms-os IKKI-hoz közeli tartományban képesek megkülönböztetni hangsorokat a tempó alapján, míg ettől lényegesen lassabb vagy gyorsabb tempók esetén nem. Az EN-módszerrel végzett vizsgálatok kimutatták, hogy mind az újszülöttek, mind pedig a 2 hónapos csecsemők detektálják az IKKI megrövidülését (újszülöttek: 200→100 ms, HADEN, HONING, TÖRÖK és WINKLER, 2015a, 3. ábra, alsó panel, középső rész; 2 hónaposok: 500→300 ms, OTTE, WINKLER, BRAEKEN, STEKELENBURG, VAN DER STELT és VAN DEN BERGH, 2013). A felsorolt eredmények bizonyítják, hogy a fiatal csecsemők reprezentálják az IKKI-t.

Öt hónapos csecsemők detektálják az IKKI megnyúlását akkor is, ha a hangok spektrális tulajdonságai a két bemutatott hangmintában nem szolgáltatnak jelzőmozzanatokat a megkülönböztetéshez. CHANG és TREHUB (1977) vizsgálatában a csecsemőket 6 hangból álló rövid hangsorokhoz habituálták. A hangsorokban az IKKI 200 ms volt, kivéve a 2. és a 3. hang között, ahová 600 ms-os IKKI-t iktattak be. Mind a habituációs, mind pedig a teszthangsorokban a hangmagasság véletlenszerűen változott mind egy-egy hangoron belül, mind pedig a hangsorok között. A teszt folyamán aztán egy hasonló hangsort játszottak le úgy, hogy a hosszú IKKI-t a 4. és az 5. hang közé illesztették be. Szívritmusszámmal diszhabituációt találtak. Ez azt mutatta, hogy a csecsemők a habituációs fázisban kiemelték a hangsorok közös IKKI-struktúráját. Hasonló paradigmával hasonló eredményeket kapott 4, 6, 8 és 10 hónapos csecsemőknél LEWKOWICZ (2003). THORPE, TREHUB, MORRONGIELLO és BULL (1988) pedig vizuális megerősítésű audiometriás módszerrel mutatták ki, hogy 6-8 hónapos csecsemők az IKKI csekély mértékű

Rövid hangsorok eseményeinek feldolgozása újszülötteknél



3. ábra. Rövid hangsorok kiemelkedő eseményeinek feldolgozása újszülött csecsemőknél

A felső panelen az ingerparadigma sematikus ábrázolása található. Az egyes hangokat téglalapok jelölik. A három eseményt, a „hangsor elejét”, az IKKI-váltást („első gyors hang”) és a „hangsor végét” (az elvárt, de elmaradó hangot) nyilak mutatják. Az alsó panelen a három eseményre kapott bal centrális (C3) csoportátlag (N=30) EAP-válaszok láthatók, külön-külön egymásra rajzolva a hasonló kontroll-esemény által kiváltott EAP-válasszal

(HÁDEN és mtsai, 2015a nyomán)

megnyúlását is észlelik (400→475 ms azonos hangokból álló csoporton belül, 400→500 ms különböző hangokból álló csoportok között). Ez utóbbi eredmény rámutat arra, hogy a csecsemők is hangcsoportokat képeznek, mind a hangok homogenitása, mind pedig az IKKI relatív hosszúsága alapján. Amikor a két jelzőmozzanat egybeesik, felnőttekhez hasonlóan (FITZGIBBONS, POLLATSEK és THOMAS, 1974), az IKKI változására mutatott szenitivitás lecsökken (THORPE és TREHUB, 1989). A relatív IKKI-különbséget, mint csoportokat elválasztó jelzőmozzanatot, impliciten felhasználták az előző fejezetben ismertetett, az újszülöttek és fiatal csecsemők hangköz-reprezentációit hangpárokkal vagy rövid hangmin-tákkal vizsgáló kutatások is (CARRAL és mtsai, 2006; STEFANICS és mtsai, 2009; TEW, FUJIOKA, HE és TRAINOR, 2009). Ezek és az itt ismertetett kutatások együttesen azt mutatják, hogy a fiatal csecsemők minőségileg a felnőttekhez hasonlóan használják a csoportosító jelzőmozzanatot.

Rövid hangsorok esetén, az IKKI-n kívül kitüntetett szerepe van a hangsorok elejének és végének. HÁDEN és munkatársai (2015a) egyetlen ingerparadigmán belül vizsgálták e két esemény és az IKKI-változás agyi feldolgozását újszülötteknél (3. ábra, felső panel). A rövid, változó hosszúságú (8-24 hangból álló) sorozatokat kb. 1 s-os szünetek választották el egymástól. A kezdeti „lassú” (IKKI=200 ms)

bemutató sebességről „gyors”-ra (IKKI=100 ms) váltás mindig a sorozat közepén történt meg. Mivel a sorozat váratlanul ért véget,⁶ a sorozat-végre adott EAP-választ abban az időpontban vizsgáltuk, amikor a sorozatot szabályosan folytató hang várható lett volna (de elmaradt). Az eredmények azt mutatják, hogy az újszülöttek hallórendszere detektálta a hangsorok elejét és végét. Az előbbi jól magyarázható a hangingerek által aktivált ideghálózatoknak a hosszabb szünetet követő erősebb reaktivitásával. A hangsor végének detektálása az úgynevezett kihagyási válaszként (KV; angol terminológiával „omission potential”) jelentkezett. A KV-t, felnőtteknél elvárt, de elmaradt hangok váltják ki, 200 ms-nál rövidebb IKKI mellett (lásd például YABE, TERVANIEMI, SINKKONEN, HUOTILAINEN, ILMONIEMI és NÄÄTÄNEN, 1998). A KV egyes elemei a hallórendszer előrejelző (prediktív) működését tükrözik (BENDIXEN, SCHRÖGER és WINKLER, 2009). Ez azt jelenti, hogy a hallórendszer a hangsor detektált szabályszerűségei alapján előrejelzi, hogy milyen hang vagy hangok várhatóak a közeljövőben (WINKLER, DENHAM és NELKEN, 2009). Amennyiben az előrejelzés nem válik be, a megsértett szabályszerűség reprezentációjának megbízhatósága csökken. Elméletünk szerint (WINKLER, 2007; WINKLER és SCHRÖGER, 2015) ez a folyamat jelenik meg az EN-ben (és részben az EV-ben). Az EN ilyen értelmezése jól illeszkedik a ma széles körben elterjedt prediktív kódolási elméletekhez (FRISTON, 2005; WINKLER és CZIGLER, 2012). A KV megjelenésén túlmenően az előző szakaszban már említett hangmagasság trend megsértése által kiváltott EV-válasz (HÁDEN és mtsai, 2015b) támasztja alá, hogy az újszülöttek hallórendszere, a felnőttekéhez hasonlóan, prediktív módon működik. Az idői előrejelzés, JONES (1976) ritmusos figyelem elmélete szerint elősegíti a hangok feldolgozását, mert kijelöli azokat az időpontokat, amikor a legvalószínűbb a releváns információk beérkezése (például BERGESON és TREHUB, 2006; JONES, MOYNIHAN, MACKENZIE és PUENTE, 2002). Ezt a hipotézist újabban az EEG fáziisszinkronizációs vizsgálatai is alátámasztják (például STEFANICS, HANGYA, HERNÁDI, WINKLER, LAKATOS és ULBERT, 2010).

De vajon az időzítésen túl képes-e a fiatal csecsemők hallórendszere megtalálni egy hangsor ismétlődő mintázatait. A legegyszerűbb mintázat az alternáció, amikor két hang váltakozik folytonosan a hangsorban. HE, HOTSON és TRAINOR (2009b) két zongorahang (C5 – 523 Hz és F#5 – 740 Hz) alternációjából álló hangsorokat mutatott be 2 és 4 hónapos csecsemőknek. Időnként, az egyik hangot megismételve, a 4 hónaposoknál tiszta EV-választ regisztráltak, míg a 2 hónaposoknál csak egyes skalpterületek felett találtak a szokásos EV-nél későbbi látenciával jelentkező eltérést az alternáció és a hangismétlés által kiváltott EAP-válaszok között. Tehát mindkét korcsoportban a hallórendszer detektálta az alternációt, és az azt megsértő hangokat másként dolgozta fel, mint a szabályosan alternáló hangokat. A két korcsoport között mutatkozó különbség jelzi, hogy ebben az időszakban jelentős fejlődés zajlik le a hangfeldolgozásban (lásd még HE, HOTSON és TRAINOR, 2009a; VAN DEN HEUVEL, OTTE, BRAEKEN, WINKLER, KUSHNERENKO, és VAN DEN BERGH, 2015).

⁶ Nem valószínű, hogy az alvó újszülöttek hallórendszere rájött volna, hogy a váltás időpontjából kiszámítható, hogy a sorozat mikor ér véget.

STEFANICS és munkatársai (2007) újszülötteknél vizsgálták az ismétlődő hangminták detektálását. Ingerparadigmájukban 5 hang ismétlődött (minták közötti szünet nélkül) AAAABAAAAB... sorrendben, ahol „A” és „B” két tiszta szinuszos hangot jelöl, amelyek csak a frekvenciájukban (500 és 612 Hz) tértek el egymástól. Kontrollként ugyanezeket a hangokat mutatták be véletlenszerű sorrendben. A kontrollhelyzetben a várakozásnak megfelelően a ritkább (20%-os) „B” hang EV-t váltott ki. Az ismétlődő mintázatban szereplő „B” hang azonban nem váltott ki EV-t. Felnőtteknél, gyors ingerbemutató sebesség mellett, ez az ingerparadigma hasonló EN-válaszmintát eredményez (SUSSMAN, RITTER és VAUGHAN, 1998). Lassú bemutatás esetén viszont, amikor az 5 hangból álló mintázat ismétlése túllépi a hallási szenzoros emlékezet időtartamát (kb. 10 s, lásd COWAN, 1984), a „B” hangok kiváltják az EN-t. Amennyiben azonban felhívjuk a k.sz. figyelmét az ismétlődő mintázatra, a „B” hangokra adott EV válasz eltűnik (SUSSMAN, WINKLER, HUOTILAINEN, RITTER és NÄÄTÄNEN, 2002). Mindezek alapján STEFANICS és munkatársai (2007) eredményei azt mutatják, hogy az újszülöttek hallórendszere felfedezte az ismétlődő mintát, és mivel így a „B” hang a minta részévé vált, nem sértett meg szabályosságot (globális szabály); ezért nem váltott ki EV-t. BASIRAT, DEHAENE és DEHAENE-LAMBERTZ (2014) megerősítette STEFANICS és munkatársai (2007), valamint HÁDEN és munkatársai (2015b) következtetését a lokális és globális szabályok detektálásáról fiatal csecsemőknél. Kísérletükben 4 hangból álló rövid, XXXX és XXXY alakú hangsorok segítségével (ahol X és Y két eltérő audiovizuálisan bemutatott magánhangzó) vizsgálták a lokális és a globális mintasértés feldolgozását 3 hónapos csecsemőknél. A hangsorokat 1,4 s választotta el egymástól, és hangsorról hangsorra változtak a bemutatott magánhangzók és a képernyőn látható beszélő. Ez lehetőséget teremtett arra, hogy a csecsemők hallórendszere a HÁDEN és munkatársai (2015b) által bemutatott ereszkedő dallamú hangsorokhoz hasonlóan kiemelje a rövid hangsorok lokális szabályát. Így a 4. pozíciójában szereplő, az előző három hangtól eltérő hang EV-t váltott ki. Ugyancsak kiváltották az EV-t a ritkán bemutatott XXXX hangsorok, amelyek viszont a gyakori XXXY alakú hangsorok ismétlődésének globális szabályát sértették meg. A lokális és a globális szabálysértéssel kiváltott EV-válaszok részben eltérő skalpeloszlást mutattak: fronto-centrálisan szimmetrikus lokális, illetve baloldali dominanciájú globális EV. Ezenkívül a globális szabálysértés kiváltott egy késői EAP-komponenst is. A szerzők ezen eredmények alapján a lokális és globális szabályok többszintű feldolgozását valószínűsítik fiatal csecsemőknél.

Az eddig ismert vizsgálatok eredményei azt mutatják, hogy a fiatal csecsemők meglehetősen pontosan leképezik a hangsorok szekvenciális és idői viszonyait, az egymást követő IKKI-kat, azaz a hangsor ritmikus mintázatát. Ezt támasztják alá azoknak a viselkedési kutatásoknak eredményei is, amelyek kimutatták, hogy újszülöttek képesek megkülönböztetni két különböző ritmusszerkezetű nyelvből (lásd például ABERCROMBIE, 1967) származó beszédmintákat (MEHLER, JUSCZYK, LAMBERTZ, HALSTED, BERTONCINI és AMIEL-TISON, 1988; NAZZI, BERTONCINI és MEHLER, 1998) akkor is, ha egy reszintetizációs eljárással megfosztják a hangsorokat a fonotaktikai és intonációs jegyeitől (RAMUS, 2002). Egynyelvű környezetben fejlődő csecsemők 4-5 hónapos (NAZZI, JUSCZYK és JOHNSON, 2000; NAZZI és

RAMUS, 2003), kétnyelvű környezetben fejlődő csecsemők pedig kb. 3,5 hónapos korban képesek két azonos ritmusszerkezetű nyelvből származó beszédminták megkülönböztetésére (MOLNAR, GERVAIN és CARREIRAS, 2013). Az intrauterin ritmusmintázat tanulást példázza az az eredmény, hogy újszülöttek preferálják az anyanyelvükön elhangzó beszédet más nyelvekkel szemben (MOON, COOPER és FIFER, 1993).

Zenei és információfeldolgozási szempontból a ritmusmintázatnál magasabb szintű hangsorjellemező a metrikus struktúra (lásd például LERDAHL és JACKENDOFF, 1983), amelyet a változó ritmikus mintázatokból kell kiemelni. Ez adja a zenék többségében a felnőttek és gyermekek által is általánosan észlelt lüktetést, ez teszi lehetővé, hogy a zene ütemével szinkronban mozogjunk. HANNON és JOHNSON (2005) és HANNON és TREHUB (2005) eredményei valószínűsítik, hogy 7 hónapos csecsemők képesek a struktúra kiemelésére egy metrikus hangsorból. HANNON és JOHNSON (2005) habituációs módszerrel azt találták, hogy a csecsemők kiemelik a habituáció során bemutatott zenei minták közös metrikus szerkezetét. Erre abból következtettek, hogy a tesztfázisban bemutatott más metrikus szerkezetű dallamokra diszhabituáció következett be. Saját kísérletünket (WINKLER, DENHAM és NELKEN, 2009) arra az elméleti megfontolásra alapoztuk, hogy a metrikus hangsorokban a különböző pozíciókban megjelenő hangok különböző súllyal jelennek meg az észlelésben (LERDAHL és JACKENDOFF, 1983). Ezért különbözik a feldolgozásuk. Felnőtteknél ez úgy jelentkezik, hogy pozíciónként eltér, hogy egy esetleges szabálysértés milyen benyomást kelt bennünk. A kevésbé jelentős pozíciókban bekövetkező szabálysértések nyomán szinkópált ritmust észlelünk, míg az első, legfontosabb pozícióban (felütés) bekövetkező szabálysértések azt eredményezik, hogy „kiesünk a ritmusból” (a ritmus „megbicsaklik”). Egy 8 hangból álló ritmikus mintázatot hoztunk létre, amelyben szabálysértésként egy-egy hang kihagyását alkalmaztuk. Az ingerparadigmát felnőtteken tesztelve megállapítottuk, hogy a felütés („erős” pozíció) megsértése nagyobb amplitúdójú EN-t vált ki, mint a „gyenge” pozíciók sértése (LADINIG, HONING, HÁDEN és WINKLER, 2009). Az újszülötteken hasonló ingerparadigmával végzett vizsgálatban csak a kihagyott felütés hangok váltott ki EV-t, a gyenge pozíciókban kihagyott hangok nem. Ez az eredmény arra utal, hogy már az újszülöttek hallórendszere is képes a metrikus struktúrának, legalábbis a mozgásszinkronizálás szempontjából legfontosabb elemét, a felütést kiemelni egy változó ritmusmintákból alkotott metrikus hangsorból. Ugyanakkor a 7 hónapos csecsemőknél talált ritmusfeldolgozási képességek ennél fejlettebbek: a csecsemők változó dallamokból alkottak meg egy közös ritmuskategóriát. PHILLIPS-SILVER és TRAINOR (2005), valamint HANNON és TREHUB (2005) eredményei arra figyelmeztetnek, hogy a ritmusészlelés jelentős mértékben tanult. A tanulásban nagy szerepe van a korai mozgásos ingerelésnek (például ringatás) és a kulturális tapasztalatnak.

Bár a metrikus struktúra kiemelése a változó ritmusmintázatokból arra utal, hogy a fiatal csecsemők képesek akusztikus szabályosságok kiemelésére a változó hangbemenetből, a nyelv- és zeneészlelés kialakulásához szükség van absztrakt, szekvenciális/statisztikai szabályok felfedezésére is. RUUSUVIRTA, HUOTILAINEN, FELLMAN és NÄÄTÄNEN (2009) újszülötteknél vizsgálták EN-paradigma segítségé-

vel egy statisztikai szabályosság detektálását. A hangingerek négy tiszta szinuszos hang összefűzéséből álltak. A tiszta szinuszos hangok frekvenciája kétféle lehetett: 1000 Hz (mély) és 1500 Hz (magas). A gyakori ingerek (90%) 2-2 mély, illetve magas tiszta szinuszos hangból álltak; mind a hat lehetséges sorrendi kombináció azonos valószínűséggel fordult elő. A homogén ritka ingerek (10%), amelyek vagy csak magas, vagy csak mély tiszta szinuszos hangokból álltak, EV-t váltottak ki az újszülöttekben. (A ritka 3:1-es ingerek viszont nem váltottak ki szignifikáns EV-t.) Ez az eredmény azt mutatja, hogy az újszülöttek hallórendszere kiemelte a két frekvenciát egyenlő arányban tartalmazó hangok közös vonását, függetlenül a frekvenciák hangon belüli sorrendjétől.

A beszélt nyelvben viszont sok esetben éppen az elemek (például szótagok) sorrendjére alapulnak a szabályok. TEINONEN, FELLMAN, NÄÄTÄNEN, ALKU és HUOTILAINEN (2009) az átmeneti valószínűségek (ti. hogy egy esemény milyen mértékben jelzi előre valamilyen későbbi esemény bekövetkeztét) tanulását vizsgálták újszülötteknél. A szerzők két fonémából álló szótagokat mutattak be egyenletes ütemben. A szótagokat hármassával „szavakba” csoportosították (10 különböző szó); azaz a szó első szótagja mindig egy bizonyos második és harmadik szótagot vont maga után. A szavak véletlen sorrendben követték egymást. Ez azt eredményezte, hogy a szó első és második, valamint a második és a harmadik szótagja között az átmeneti valószínűség 1 volt (determinisztikus átmenet); a szó harmadik szótagját viszont a 9 lehetséges szótag bármelyike követhette, egyenként kb. 0,11 átmeneti valószínűséggel (a szavak ismétlését kizárták). A szavak határát kizárólag az átmeneti valószínűségekben mutatkozó különbség jelölte ki, sem fonetikai, sem szünetbeli, sem pedig intonációs jelzőmozzanatok nem álltak az újszülöttek rendelkezésére. A vizsgálat első 15 percét (szabálybemutató időszak) követő időszakban mért EAP-k különbséget mutattak a szótagok pozíciója szerint, ami jelezte, hogy az újszülöttek hallórendszere detektálta a szóhatárokat, és megkülönböztette a szavakon belüli pozíciókat. Ez az eredmény azt mutatja, hogy a statisztikai tanulás már újszülött korban is alakítja a hangok feldolgozását. (A csecsemőkorai statisztikai tanulás összefoglalását lásd LANY és SAFFRAN, 2013.)

GERVAIN, MACAGNO, COGOI, PENA és MEHLER (2008) mesterséges nyelvtani szabályok detektálását vizsgálták NIRS-méréssel újszülötteken. Húsz mássalhangzó-magánhangzó alakú egytagú szóból 140-140 három szót tartalmazó „mondatot” képeztek kétféle módon: az „ismétlődő” nyelvtan szerint képzett mondatokban a 2. és a 3. szó megegyezett (ABB), míg a „nem ismétlődő” szabály szerint képzett mondatokban mindhárom szó különbözött (ABC). Az ABB és ABC alakú mondatok által kiváltott átlagolt oxigenizált és deoxigenizált hemoglobinn-aktivitást összehasonlítva, erősebb temporális és bal oldali frontális aktivitást találtak az ismétlődő nyelvtan szerint képzett mondatoknál, mint a nem ismétlődő nyelvtan szerint képzett mondatok esetén. Ez az eredmény azt mutatja, hogy az újszülött hallórendszer automatikusan detektálja az ismétlődést, és az ilyen elemeket tartalmazó hangsorokat megkülönbözteti azoktól, amelyekben nem található ismétlődés. Ezt a következtetést megerősítette GERVAIN, BERENT és WERKER (2012), akik első kísérletükben hasonló eredményt kaptak, amikor a mondatok elejére tett ismétlődés (AAB) által kiváltott agyi aktivitást hasonlították össze a nem ismétlődő

szabály alapján készített mondatok hatásával. Második kísérletükben a szerzők a két ismétlődési szabály megkülönböztetését vizsgálták oly módon, hogy összehasonlították az alternáló (AAB-ABB-AAB-ABB...) blokkokat homogén szabály alapján képzett mondatokból álló blokkokkal (vagy AAB vagy ABB). Az eredmények azt mutatták, hogy az újszülöttek hallórendszere megkülönbözteti a kétféle ismétlődési szabályt, amely elsősorban a frontális és temporális területeken eredményezett eltérő aktivitást az alternáló és a homogén szabályt követő blokkok között. A szerzők nem találtak szignifikáns aktivitáskülönbséget a két különböző ismétlődési szabály szerint képzett mondatokból álló homogén blokkok között. Ez azt jelzi, hogy a két szabály feldolgozása hasonló idegi struktúrák hasonló mértékű aktivitását igényli.

GERVAIN és munkatársai (2008) nem találtak bizonyítékot arra, hogy újszülöttek megkülönböztetik a nem szomszédos elemekre épített ismétlődés szabályt (ABA) a nem ismétlődő szabálytól (ABC) (GERVAIN és mtsai, 2008, 2. kísérlet). FRIEDERICI, MUELLER és OBERECKER (2011) négy hónapos csecsemőknél vizsgálták a nem szomszédos elemeket összekötő nyelvtani szabályok feldolgozását. Német gyermekeknek rövid olasz mondatokat mutattak be, amelyekben két segédige és az őket követő ige végződése között állt fenn szabályszerű kapcsolat. Rövid (kb. 3,3 perces) bemutató blokkok váltakoztak a tesztblokkokkal. Utóbbiakban szabályos és szintaktikailag helytelen mondatok is előfordultak. Az igevégzésekhez szinkronizált EAP-k eltérést mutattak a szabályos és szabálytalan mondatok között, amely tendenciaszerűen nőtt az egymást követő „bemutató-blokk/teszt-blokk” ciklusokban, jelezve, hogy a csecsemők egyre tökéletesebben sajátították el a nem szomszédos elemekre vonatkozó szabályt. Nyolc hónapos csecsemőknél ugyancsak elektrofiziológiai módszerekkel KABDEBON, PENA, BUIATTI és DEHAENE-LAMBERTZ (2015) a nem szomszédos elemek közötti szabályok kiemelését és generalizálását mutatták ki egyenletes ütemben bemutatott értelmetlen szótagok sorában.

Összefoglalva az összetett hangjellemzők feldolgozásáról készült vizsgálatok eredményeit megállapíthatjuk, hogy a fiatal csecsemők a felnőttekhez minőségileg hasonló képességeket mutatnak mind az összetett spektrális hangjellemzők, mind pedig az idői hangmintázatok feldolgozásában. Fontos, hogy megtalálhatók náluk a legfontosabb észlelési invarianciák, valamint, hogy képesek összetett sorrendi és statisztikai szabályok kiemelésére akusztikailag változó hangsorokból, és viszonylag rövid idő is elegendő számukra arra, hogy új szabályokat fedezzenek fel, amelyek aztán hosszú távon befolyásolják a szabály által érintett hangok feldolgozását.

A következő szakaszban két, az előbbieken tárgyalt hangfeldolgozási képességekre épülő, hallási funkció működését tekintjük át fiatal csecsemőknél: a hallási jelenetelemzést és a beszédhangok feldolgozását.

KÉT FONTOS HALLÁSI FUNKCIÓ MŰKÖDÉSE
FIATAL CSECSEMŐKNÉL*Hallási jelenetelemzés*

Mindennapi környezetünkben, többnyire, egyszerre számos hangforrásból származó hang érkezik a fülünkbe. Ahhoz, hogy a hallási észlelés segítséget nyújthasson a külvilág tárgyainak és eseményeinek azonosításához, a beérkező hangokat a forrásaikhoz kell kötni. A hangforrások azonosítása egyike a fizika úgynevezett inverz problémáinak (amikor a következményekből kiindulva szeretnénk megtalálni az okokat). Az ilyen problémák esetében, néhány speciális eset kivételével, végtelen számú lehetséges megoldás adódik. Ennek oka az, hogy a fülünkbe érkező, a levegőben összekeveredő hanghullámok általános esetben nem tartalmaznak elegendő információt az egyértelmű megoldáshoz (STOFFGREN és BRADY, 2001); azaz, matematikai értelemben a probléma alulhatározott. A hallórendszer ezért kiegészítő feltételezésekkel él (peremfeltételeket vesz figyelembe), amelyek segítségével egyértelmű megoldás található. A kiegészítő feltételezések, BREGMAN (1990) széles körben elfogadott elmélete, a hallási jelenetelemzés szerint, a Gestalt-észlelési elvek (KÖHLER, 1947) heurisztikus neurális feldolgozó algoritmusokban megfogalmazott változatai. Például a közös sors Gestalt-elve a hangok csoportosítása/szétválasztása számára úgy fordítható le, hogy a beérkező hangok közül azok, amelyek együtt változnak (például egyszerre növekszik vagy csökken az intenzitásuk), valószínűleg összetartoznak (összefoglaló lásd DENHAM és WINKLER, 2015). E heurisztikus algoritmusok egy jelentős része valószínűleg az evolúció során épült be a hallórendszerbe, mivel sok helyzetben beválnak a valós hangforrások meghatározásában. A modern elképzelések szerint a hallórendszer evolúciós alakulásában éppen a hallási jelenetelemzés tökélesedése jelentette az egyik szelekciós szempontot. A zeneészlelés fontos elemei például jól magyarázhatók a hallási jelenetelemzés szempontjai alapján kialakult képességekkel (TRAINOR, 2015). Ezek az algoritmusok, amelyeket Bregman primitív hangszegregációnak nevez, már születéskor működőképesek lehetnek.⁷ Bregman egy másik fontos szempontból is osztályozta a hallási jelenetelemzést megalapozó heurisztikus algoritmusokat: megkülönböztette az azonnali, a beérkező hang spektrális szerkezete alapján történő szétválasztást és az idő-szekvenciális szegregációt végző algoritmusokat. Az előbbiek a spektrum mintázata alapján választják ki a valószínűleg összetartozó, illetve egymástól független hangelemeket. Az utóbbi algoritmusok viszont a beérkező hangokat a hangingerlés közelmúltbeli előzményeihez próbálják illeszteni, megállapítva, hogy valamelyik már ismert hangsort folytatják-e, vagy egy újonnan belépő hangforrásból származnak. Az összetett spektrális hangjellemzők feldolgozási képességei jelentős részben az előbbi, míg az idői hangmintázatok feldolgozási képességei inkább az utóbbi algoritmusok működését szolgálják.

⁷ Ez a gondolat jól egyezik a Gestalt-iskola nativista, azaz az észlelés velünk született voltát hangsúlyozó elképzelésével.

TRAINOR (2015) érvelése szerint már a hangfeldolgozás kezdetén a belső fülben végbemenő spektrális elemzés is a hangforrások szétválasztásának szolgálatában áll, hiszen ez adja az alapot a spektrális szerkezet felderítésére. Az a tény pedig, hogy egy frekvencia egész számú többszöröseiből álló spektrális mintázatot egyetlen összetett szinuszos hangként halljuk, az egyik primitív csoportosítási algoritmusnak köszönhető (CIOCCA, 2008). Így nyer értelmet, hogy a kihagyott alapharmonikus esetén a hallórendszer mintegy pótolja a hiányzó alapharmonikus, és a csoportosítás után az összetett hang magasságát a kikövetkeztetett alapharmonikus szerint észleljük. Mint korábban már bemutattuk, ezek az észlelési jelenségek már fiatal csecsemőknél is a felnőttekhez hasonló módon működnek (HE és TRAINOR, 2009). Ugyanez a helyzet a spektrális szerkezet általánosabb elemzésével is, amit a dūr-, moll- és a diszsonáns akkordok megkülönböztetése jelez (VIRTALA és mtsai, 2013). A hallórendszer tehát részint az evolúció által beépített, részint tanult sémákat használ, amelyek teljesülése esetén a sémának megfelelő spektrális hangelemeket egy közös eseménybe integrálja (ALAIN és WINKLER, 2012). Ez egyben azzal is jár, hogy ezeket az elemeket észlelésünk egy közös hangforrásnak tulajdonítja.

A csoportosítás másik oldala a szétválasztás. A sémába nem illő hangokról a hallórendszer feltételezi, hogy azok egy másik hangeseményhez tartoznak. Ennek a jelenségnek a legtöbbet kutatott példája az elhangolt felharmonikus észlelése (HARTMAN, MCADAMS és SMITH, 1990; MOORE, GLASBERG és PETERS, 1986). Ha egy összetett szinuszos hang egyik felharmonikusának frekvenciáját megváltoztatjuk, akkor az a harmonikus már nem illik bele az alapharmonikus frekvenciájának egész számú többszöröseiből képzett sorba, a sémába. Ilyen esetben, egyszerre halljuk az összetett szinuszos hangot (kis mértékben megváltozott hangszínnel) és az elhangolt felharmonikus egy különálló tiszta szinuszos hangként. Egy felharmonikus késleltetése és kisebb mértékben más helyről történő bemutatása⁸ is két párhuzamos hang észleléséhez vezet; azaz a közös kezdetet és hangforrásirányt is jelzőmozzanatként hasznosítja a hallórendszer a spektrális elemek csoportosításában. A vizuális megerősítésű audiometria módszerét alkalmazva FOLLAND, BUTLER, SMITH és TRAINOR (2012) megállapították, hogy 6 hónapos csecsemők megkülönböztetik a tökéletesen hangolt összetett szinuszos hangokat az olyan, minden más tekintetben azonos hangoktól, amelyekben a 3. felharmonikus legalább 4%-kal elhangolták. (Felnőttek az 1%-os elhangolást is viszonylag nagy valószínűséggel észlelik.) Bár ebből a vizsgálatból nem derül ki, hogy az elhangolt felharmonikus esetében a csecsemők, a felnőttekhez hasonlóan, két párhuzamos hangot hal-

⁸ Intuitíve a hangforrás irányát erős jelzőmozzanatként gondoljuk, hiszen az irány közvetlenül a hangforrásra utal. Azonban a hangforrások irányáról csak közvetett információk állnak a hallórendszer rendelkezésére, mint például a fülek közötti idő- és intenzitáseltérés. Minthogy a hanghullámok már a levegőben összekeverednek, ezek a jelzőmozzanatok nem megbízhatóak: az azonos frekvenciákon érkező jelek összegét tudjuk csak első lépésben kiemelni a beérkező hangból, ami, ha több forrásból adódik össze, akkor a belőle számítható észlelt irány a két összetevő irányának súlyozott átlaga körül alakulna ki. Ez az illúzió teszi lehetővé a sztereoó, „Dolby Surround” stb. rendszerek működését, melyek kevés valódi hangforrással (a hangszórókkal) képesek finom felbontású téri hangélményt nyújtani. Az észlelt hallási lokalizáció ezért a hangok szétválasztásával párhuzamosan alakul ki. A kezdeti lokalizáció pedig csak gyenge jelzőmozzanatként szolgál a hangforrások szétválasztásában.

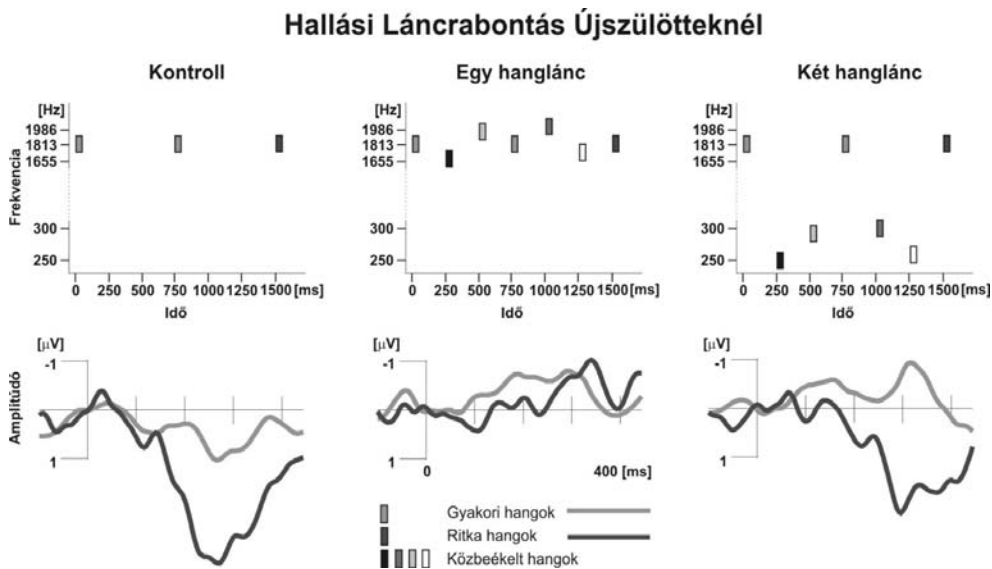
lanak-e, ez az eredmény jelzi, hogy fiatal csecsemők érzékenyek a spektrális sémák megsértésére. A 4%-os elhangolás összemérhető az ilyen korú csecsemők tiszta hangokkal mért körülbelül 3%-os különbségi küszöbével (OLSHO, KOCH és HALPIN, 1987).

Felnőtteket vizsgálva ALAIN, ARNOTT és PICTON (2001) felfedeztek egy olyan EAP-komponenst, amely az elhangolt felharmonikus esetében együtt jár két párhuzamos hang észlelésével: a tárgyhoz kötött negativitás (TKN; angol rövidítéssel, ORN). A TKN a figyelmi fókusz irányától függetlenül kiváltódik. Ezért ez az EAP-komponens újszülött csecsemőknél is vizsgálhatóvá teszi az elhangolt felharmonikus feldolgozását. BENDIXEN, HÁDEN, NÉMETH, FARKAS, TÖRÖK és WINKLER (2015) a 3. felharmonikus 8%-os elhangolása és egy külön feltételben a 2. felharmonikus 8%-os elhangolása és egyidejű 100 ms-os késleltetése esetén is a TKN-hez hasonló, bár annál később jelentkező EAP-komponenst regisztráltak újszülött csecsemőkön. Ezek az eredmények azt mutatják, hogy újszülöttek is érzékenyek a felharmonikusok elhangolására. Bár ez a vizsgálat sem alkalmas arra, hogy kimutassa, vajon a csecsemők az elhangolás detektálásakor két párhuzamos hangot hallanak-e, levonhatjuk a következtetést, hogy fiatal csecsemőknél adottak a hangok spektrális szerkezet alapján történő azonnali szétválasztásának előfeltételei.

Az előző szakaszban bemutattuk, hogy fiatal csecsemők fejlett idői/szekvenciális csoportosítási képességekkel rendelkeznek. Az ismétlődő mintázatok detektálása és az ezek alapján készített előrejelzések a hangsor folytatására, értelmezésünk szerint (WINKLER, 2007; WINKLER, DENHAM és NELKEN, 2009; WINKLER, DENHAM, MILL, BÖHM és BENDIXEN, 2012; WINKLER és SCHRÖGER, 2015), közvetlen előfeltételei a hallási jelenelemzés idői/szekvenciális szegregációt végző algoritmusai működésének. BREGMAN (1990) a régi+új feldolgozási stratégiát tekintette e működés alapjának. Ennek a stratégiának az a lényege, hogy a hallórendszer először megvizsgálja, hogy a beérkező hang egy már korábban azonosított és a hallórendszerben reprezentált hangsor folytatásának tekinthető-e. Ehhez az szükséges, hogy folyamatosan kiemeljük a hangsorokban található akusztikus szabályosságokat, és ezek alapján előrejelzéseket tegyünk a beérkező hangokra. Ha egy hang beteljesít valamely ilyen előrejelzést, akkor valószínű, hogy az adott hangsort folytatja. Azok a hangok, amelyek egyetlen előrejelzésnek sem felelnek meg,⁹ valószínűleg egy új mintázat kezdetét jelzik. Fiatal csecsemőknél mind az idői (például WINKLER, HÁDEN, LADINIG, SZILLER és HONING, 2009), mind pedig a szekvenciális szabályosságok detektálására (például STEFANICS és mtsai, 2007) és reprezentálására (például PLANTINGA és TRAINOR, 2005) mutattunk példát az előző szakaszban. Továbbá néhány vizsgálat valószínűsítette, hogy a csecsemők hallórendszere prediktív módon dolgozza fel az információkat (HÁDEN és mtsai, 2015a és b). Ezért várható, hogy fiatal csecsemők is képesek a hallási láncra bontásra, azaz a több párhuzamosan folyó hangorból származó hangok szétválasztására.

⁹ Az előrejelzések, általában nem egy konkrét hangot jelölnek meg, hanem a hangok egyes tulajdonságainak várható statisztikai eloszlására vonatkoznak (WINKLER és SCHRÖGER, 2015). Egy hangforrást például jellemez a hangszíne, ami viszonylag keveset változik (keskeny valószínűségi eloszlás), a hangmagasság-intervallum, amiben hangokat bocsájt ki (szélesebb valószínűségi eloszlás), a hangkibocsájtás üteme stb.

A hallási láncre bontás vizsgálat többnyire olyan hangsorokkal történik, amelyek két vagy több, egymástól valamilyen alapvető hangtulajdonságban különböző hangcsoportból származó hangokból állnak. A hangparaméterek függvényében az ilyen hangsorokat észlelhetjük egyetlen koherens hangsorként (integrált észlelés) vagy több egymással párhuzamosan folyó hangsorként (szegregált észlelés). Általában, minél kisebb a hangcsoportok közötti eltérés és minél ritkábban érkeznek a hangok, annál valószínűbb az integrált észlelés. Megfordítva, minél nagyobb az eltérés és időben minél sűrűbben érkeznek a hangok, annál valószínűbb a szegregált észlelés. A láncre bomlás EAP-vizsgálatát újszülötteknél egy egyszerű EN-paradigmára építettük (4. ábra, felső panel, bal oldal; WINKLER és mtsai, 2003). A tiszta szinuszos hangok többsége (90%; standard) alacsonyabb intenzitású, kisebb részük (10%; deviáns) magasabb intenzitású volt („Kontroll”-feltétel). Minden más hangtulajdonságuk megegyezett. A deviáns hangok EV-t váltottak az újszülöttekben (4. ábra, alsó panel, bal oldal). Ezután minden két eredetileg egymást követő hang közé két-két további hangot iktattunk be. Az új hangok intenzitása a kontrollhangsor standard és deviáns hangjait is magában foglaló sávban variált. Az „egy hanglánc” feltételben a beiktatott hangok frekvenciája a kontrollhangok közös frekvenciáját körülvevő szűk sávban mozgott (4. ábra, felső panel, középső osz-



4. ábra. Hallási láncre bontás újszülötteknél

A felső panelen látható a három feltétel hangsorainak sematikus ábrázolása (a leírást lásd a szövegben). A hangokat téglalapok jelölik, amelyek szürke árnyalata a hangintenzitást reprezentálja. Az alsó panelen, feltételenként külön-külön, a deviáns és a standard hang által kiváltott jobboldali frontális (F4) csoportátlag (N = 14) EAP-válaszok láthatók egymásra rajzolva.

(WINKLER, DENHAM és NELKEN, 2009 nyomán)

lop). Ebben az esetben felnőttek egyetlen („integrált”) hangsort hallanak, amely magában foglalja a kontroll- és a közbeiktatott hangokat. Az integrált hangsorra már nem érvényes a kontrollhangsor szabályossága: a hangok intenzitása egy szélesebb sávban véletlenszerűen változik, és így a kontrollhangsor „deviáns” hangjai nem sértenek meg semmilyen szabályosságot. Valóban, az „egy hanglánc” feltételben az újszülött EAP-válaszokban nem jelent meg az EV-komponens (4. ábra, alsó panel, középső oszlop). A „két hanglánc” feltétel csak abban különbözött az „egy hanglánc” feltételtől, hogy a beiktatott hangok frekvenciáját egy, az eredeti hangok frekvenciájától távolabb eső sávba toltuk el (4. ábra, felső panel, jobb oldal). A két hangcsoport közötti frekvenciaeltérés az általunk használt bemutatási sebesség mellett felnőtteknél előidézi a szegregált észlelést: a kontrollhangokat és a közbeiktatott hangokat két független, egymással párhuzamosan folyó, hangsor-ként hallják. Mivel a kontrollhangsor így újra önállóan megjelenik az észlelésben (és a feldolgozásban), az abban található deviáns hangok, felnőtteknél EN-t váltanak ki. Amennyiben az újszülötteknél is működik a láncra bontás, akkor ezt a deviáns hangokra adott EV-megjelenésének kell jeleznie. Valóban, a „két hanglánc” feltételben a deviáns hangok újszülötteknél is EV-t váltottak ki (4. ábra, alsó panel, jobb oldal). Eredményeink tehát arra utalnak, hogy az idői/szekvenciális hangszétválasztás egyik legfontosabb algoritmus a újszülött csecsemőknél is működik.

A hallási láncra bontás viselkedéses vizsgálatát a hangok szétválasztása során bekövetkező hangmintázat-változásra alapozták. MCADAMS és BERTONCINI (1997) 4 hangból álló rövid hangsorokat készítettek, amelyekben, az egyik feltételben a 2-2, a másokban 3, illetve 1 hang hangszíne és hangforrásának elhelyezkedése különbözött egymástól. A 2-2 feltételben a különböző hangok alternáltak, a 3-1 feltételben az utolsó hang paraméterei tértek el a másik háromtól. A hangsorok vagy monoton emelkedő, vagy a hangok sorrendjét megfordítva, monoton ereszkedő dallamot alkottak. A szerzők korábbi eredmények alapján feltételezték, hogy a hangcsoportok közötti nagy különbség a két csoport hangjainak szegregálását eredményezi. Felnőttek a 3-1 feltételben könnyen meg tudták különböztetni az emelkedő és az ereszkedő dallamot. Eközben a 2-2 feltételben, az alternáció megakadályozta a hangmagasság trendek tiszta észlelését, és így az összehasonlítási teljesítmény erősen leromlott.¹⁰ A szerzők újszülötteknél a nagy amplitúdójú szopómozgás eljárással tesztelték az emelkedő és ereszkedő dallamok diszkriminációját. A felnőttekhez hasonló teljesítménymintázat alapján arra következtettek, hogy a láncra bomlás újszülötteknél is bekövetkezett. Ugyancsak a hangmagasság trendek összehasonlítására épített DEMANY (1982) ingerparadigmája, aki az integrált vagy szegregált észlelést a hangmagasság-különbségek változtatásával szabályozta, a csecsemők mintamegkülönböztetését pedig habituációs eljárással vizsgálta. A szerző felnőtteknél és 7-15 hetes csecsemőknél hasonló megkülönböztetési mintázatot talált. Ebből arra következtetett, hogy nagy frekvenciaeltérés mellett a csecsemők is szétválasztották a hangokat. DEMANY (1982) ingerparadigmáját alkalmazva, de a csecsemők mintamegkülönböztetését nagy amplitúdójú szopómozgás módszerrel vizsgálva, FASSBENDER (1993) 2-5 hónapos csecsemőknél talált hallási

¹⁰ Általánosságban is igaz, hogy könnyebb összevetni két ingervonást egy észlelési tárgyon belül, mint két tárgy között (BREGMAN, 1990; DUNCAN és HUMPHREYS, 1989).

láncre bomlásra utaló eredményeket. Végül SMITH és TRAINOR (2011) a BREGMAN és RUDNICKY (1975) által felnőttekre kidolgozott ingerparadigma vizuális megerősítésű audiometriás változatával vizsgálta 6,5-8 hónapos csecsemőknél a hallási láncre bomlást. A szerzők a felnőttekéhez hasonló megkülönböztetési teljesítménymintázatot találtak a csecsemőknél, ami alátámasztja, hogy ebben az életkorban megtörténik a hallási láncre bontás.

Összefoglalva, a viselkedéses és elektrofiziológiai vizsgálatok eredményei arra utalnak, hogy a BREGMAN (1990) által primitívnek nevezett hallási jelenetelemzési algoritmusok két fő típusa megtalálható fiatal csecsemőkben. Azonban, miközben felnőttekben ezeknek az „objektív” vizsgálatoknak az eredményeit a szubjektív vizsgálatok összekötik az észleléssel, csecsemőknél nem állapítható meg, hogy az észlelésben is megjelenik-e a hangforrások szétválasztása.

Beszédhangok feldolgozása

A korai beszédfejlődés irodalma rendkívül gazdag, és sok kiváló elméleti összefoglaló készült róla az elmúlt évtizedben (például GERVAIN és MEHLER, 2010; KUHL, 2000; TOMASELLO, 2003; magyar nyelven, BABARCZY, LUKÁCS és PLÉH, 2014), beleértve az beszédhangok feldolgozásának idegrendszeri hátterét is (DEHAENE-LAMBERTZ, HERTZ-PANNIER és DUBOIS, 2006; FRIEDERICI, 2005). Itt most csak a beszédhangok feldolgozásának néhány fontos elemét tekintjük át röviden.

Már újszülöttek is különbséget tesznek a beszéd és más, akusztikailag sok szempontból ekvivalens, hangsorok között. PEÑA és munkatársai (2003) újszülötteknél *f*NIRS-méréssel erősebb aktivitást találtak a bal temporális területeken emberi beszédre, mint amikor a beszédet időben visszafelé lejátszva mutatták be. Ugyanezt az összehasonlítást alkalmazva, DEHAENE-LAMBERTZ, DEHAENE és HERTZ-PANNIER (2002) *f*MRI-méréssel a bal oldali beszédfeldolgozó területeken kívül a jobb prefrontális kéregben talált aktivitáskülönbséget 3 hónapos csecsemőknél; utóbbi különbséget csak éber állapotban. VOULOUMANOS és WERKER (2004) pedig kimutatták, hogy 2,5 hónapos kortól kezdve a csecsemők preferálják a beszédet a hasonló komplexitású nem-beszéd hangokkal szemben. A fiatal csecsemők tehát meg tudják különböztetni az emberi beszédet más komplex hangoktól; a beszédhangok feldolgozása már a legkorábbi időszakban is a felnőtteknél igazoltan a beszédfeldolgozásban részt vevő agyi területeken történik.

A szószegmentáció elengedhetetlen a beszédértés elsajátításához. CHRISTOPHE, DUPOUX, BERTONCINI és MEHLER (1994) azt vizsgálták, hogy újszülöttek észlelik-e a szóhatárokat. Ennek érdekében, olyan szótagpárokat vágtak ki folyó beszédből, amelyek között az egyik esetben szóhatár volt („szavak közti” szótagpárok), a másik esetben ugyanazok a szótagok egy szón belül követték egymást („egy szón belüli” szótagpárok). A szótagok közötti időt és 2. kísérletükben a fonetikai környezetet is kiegyenlítették a két szótagpár között. A nagy amplitúdójú szopómozgás eljárás segítségével a szerzők azt találták, hogy a csecsemők detektálták a váltást a szavak közti és az egy szón belüli párok között. A francia nyelvre specifikus szóvégi hangsúly lehetséges hatásának kiküszöbölésére megismételték a vizsgálatot spanyol

beszédből kivágott szótagpárokkal (CHRISTOPHE, MEHLER és SEBASTIÁN-GALLÉS, 2001). Az eredmény ekkor is hasonló volt. Bár ezek a vizsgálatok nem adnak támpontot arra nézve, hogy a csecsemők milyen akusztikus információk alapján különböztették meg a két fajta szótagpárt, az eredmények jelzik, hogy a szóhatárok megkülönböztetését megalapozó hangfeldolgozó algoritmusok egy része már születéskor működőképes (összefoglaló lásd CHRISTOPHE, MILLOTTE, BERNAL és LIDZ, 2008).

Segítheti a szószegmentációt a beszédrítmus kiemelése (például RAMUS, 2002), valamint a statisztikai tanulás (például TEINONEN és mtsai, 2009). Ezeket korábban már tárgyaltunk (lásd „Idői hangmintázatok”). A beszélt nyelvek jelentős részében, amilyen a magyar is, a hangsúly észlelése is fontos információkat nyújt a szószegmentáció számára. SANSAVINI, BERTONCINI és GIOVANELLI (1997) a nagy amplitúdójú szopómozgás eljárás segítségével megállapították, hogy az olasz újszülöttek megkülönböztetik a szavakon belüli hangsúlyt mind két, mind pedig három szótagú szavaknál. Az olasz nyelvben a hangsúlyt elsősorban a magánhangzó megnyújtásával jelzik. Más nyelvekben a hangsúly jelzésében nagyobb szerep jut a hangmagasságnak. SAMBETH, RUOHIO, ALKU, FELLMAN és HUOTILAINEN (2008) magnetoencefalográfiai vizsgálatukban (többek között) összehasonlították újszülöttek EAP-válaszait két feltétel között néhány, folyóbeszédben kijelölt szónál: természetes folyóbeszéd és ugyanez a folyóbeszéd, de a beszéd dallamkontúrját (az F_0 formánst) kiszűrve. Az eredmények azt mutatták, hogy a dallamától megfosztott beszédben kijelölt szavakra kapott P1m mágneses EAP-komponens amplitúdója drámaian lecsökkent a természetes beszédhez képest. Bár e vizsgálatok már újszülötteknél kimutatták a szóhangsúly egyes akusztikus jelzőmozzanatainak feldolgozását, WEBER, HAHNE, FRIEDRICH és FRIEDERICI (2004) eredményei arra utalnak, hogy a szóhangsúly más elemeire csak valamivel később válnak érzékenyvé a csecsemők. EAP-vizsgálatukban a szerzők egyetlen, dajkanyelvi beszéddel kiejtett kéttagú szónak az első, illetve a második szótagra tett hangsúlyú változatát használták az EN-paradigma gyakori és ritka hangjaként. Négy hónapos csecsemőknél nem kaptak szignifikáns EV-választ egyik szóváltozatra sem. Öt hónapos korban csak az elsőszótag-hangsúlyos, a német nyelvben szabályos változat váltott ki EV-t. Felnőtteknél mind a két változat EN-t váltott ki a másik változat kontextusában. Ezek az eredmények rámutatnak, hogy a szóhangsúly feldolgozása fejlődésen megy keresztül az első 6 hónap során.

A fiatal csecsemők a prozódiaának a szóhangsúlyon túli elemire is érzékenyek. Már újszülöttek is preferálják a dajkanyelvi beszédet a felnőttekhez szóló („normál”) beszédhez képest (COOPER és ASLIN, 1990), és ez a preferencia fennmarad legalább 9 hónapos korig (PEGG, WERKER és MCLEOD, 1992; WERKER & MCLEOD, 1989). A dajkanyelvnek fontos szerepe lehet a csecsemők figyelmének irányításában. SENJU és CSIBRA (2008) cikkének 2. kísérletében azt vizsgálták, hogy a megszólítás módja (dajkanyelvi, illetve normál beszéd) hogyan befolyásolja 6 hónapos csecsemők tekintet követő viselkedését. A kísérletben a csecsemőknek egy videót vetítettek, amelyen egy asztal mögött kezdetben egy lehajtott fejű nő volt látható. Eközben elhangzott a megszólítás, a két feltételben dajkanyelvi, illetve normál beszéddel. A videón látott nő ekkor ránézett az előtte lévő asztal két szélén elhe-

lyezett játékok egyikére. A vizsgálatban szemmozgás követővel mérték, hogy a csecsemő ezután merre fordítja a tekintetét. Az eredmények azt mutatták, hogy a dajkanyelvi megszólítás után a csecsemő szignifikánsan gyakrabban nézett arra a játékra, amire a videón látott modell, mint a normál beszéddel elhangzó megszólítás után. Ez az eredmény azt mutatja, hogy a dajkanyelvi beszédet a csecsemők, mint nekik szólót értelmezték, és ez erősítette bennük a referenciális kommunikációt elősegítő tekintetkövető viselkedésre való tendenciát.

Valószínűleg a beszéd szóhangsúlyon túli prozódiai elemei (például a mondatdallam) is befolyással voltak SAMBETH és munkatársainak (2008) fent ismertetett eredményeire. HOMAE, WATANABE, NAKANO, ASAKAWA és TAGA (2006) alvó 3 hónapos csecsemőknek játszottak le normál anyanyelvi folyó beszédet és annak egy olyan változatát, amelyből kiszűrték a dallamkontúrát. fNIRS-méréssel megállapították, hogy a normál beszéd szignifikánsan erősebb jobb oldali temporoparietális aktivitást váltott ki, mint a monoton (lapos dallamkontúrú) beszéd. Ez az eredmény jelzi, hogy a fiatal csecsemők feldolgozzák a beszéd dallamát, az egyik legfontosabb prozódiai jelzőmozzanatot. A beszédprozódia segítséget nyújt a nyelvtani szerkezetek felismeréséhez, feldolgozásához (MORGAN, 1996; PETERS, 1983; egy konkrét példát, lásd ISEL, ALTER és FRIEDERICI, 2005). Ennek a beszédészlelés beindításában betöltött szerepét alátámasztja, hogy részint prozódiai, részint más fonológiai jelzőmozzanatok (rövid magánhangzóhossz, alacsony intenzitás és egyszerű szótagszerkezet) alapján SHI, WERKER és MORGAN (1999) habituációs paradigmában a nagy amplitúdójú szopómozgás eljárás segítségével kimutatta, hogy már újszülöttek is meg tudják különböztetni a jelentésteli és a funkció szavak osztályát. Természetesen a nyelvtani szabályok megtanulásában nagy szerepet töltenek be a fiatal csecsemők korábban már tárgyalt (lásd „Idői hangmintázatok”) szabálykiemelő képességei is.

Összegésképpen megállapíthatjuk, hogy a beszédhangok akusztikus vonásainak feldolgozása fiatal csecsemőknél magalapozza a beszédészlelés két legfontosabb előfeltételének teljesülését: a szószegmentálást és a nyelvtani szabályok kiemelését. A prozódiai vonásokra mutatott korai érzékenység pedig a beszéd érzelmi és kommunikatív funkciói számára nyújt alapokat.

CSECSEMŐ HANGFELDOLGOZÓ KÉPESSÉGEK A KOMMUNIKÁCIÓ SZOLGÁLATÁBAN

A fiatal csecsemők hallási képességeiről az eddigiek alapján kialakult kép elsőre talán nem tűnik magától értetődőnek. Azt a benyomást keltik, hogy az intuitíven egyszerűnek tartott képességeket tekintve, mint amilyen az alapvető hangtulajdonságok (hangmagasság, hangerő, a hangforrás iránya, hanghosszúság) megkülönböztetése, a fiatal csecsemők hallórendszere a felnőttek, de még az óvodás korú gyermekek hallórendszerénél is jelentősen rosszabbul működik: ezeket a hangtulajdonságokat viszonylag durva felbontásban elemzi és tárolja. Ugyanakkor, az összetettebb hangelemzési eljárásokat áttekintve, éppen ellenkező képet találunk: többségük minőségileg a felnőttekhez hasonlóan működik. A bevezetőben azzal

érveltünk a fiatal csecsemők észlelési képességeinek vizsgálata mellett, hogy azok mintázata segít megsejteni, hogy milyen kognitív funkciókra készül fel a csecsemő agya a születést közvetlenül követő időszakban. Tekintsük hát át az eddigiekben tárgyalt hallási észlelési képességeket ebből a szempontból.

Az előző szakaszban amellet hoztunk fel kísérletes bizonyítékokat, hogy a fiatal csecsemők valószínűleg megbirkóznak a hallási jelenetelemzés bonyolult problémájával. Amennyiben ez a következtetésünk helyes, akkor általában véve kijelenthetjük, hogy a csecsemők hallási világa nem kaotikus. A felnőtt észleléshez hasonlóan a hangokat észlelési tárgyak és azokhoz köthető események formájában reprezentálják. Az észlelési tárgy összeköti a hozzá tartozó tulajdonságokat és elemeket, elválasztva őket a más tárgyakhoz tartozóktól (például WINKLER és mtsai, 2003). Lehetővé teszi, hogy általánosítsunk az adott tárgy más előfordulásaira, és hogy kategóriákba foglaljuk az egymáshoz hasonló tárgyakat (például GERVAIN, WERKER és GEFFEN, 2014; PLANTINGA és TRAINOR, 2005). Általában véve lehetőséget teremt arra, hogy az ily módon szervezett információkkal kognitív műveleteket végezzünk (GERVAIN és mtsai, 2008; FRIEDERICI, MUELLER és OBERECKER, 2011; SHI, WERKER és MORGAN, 1999). GRIFFITH és WARREN (2004) szerint, ezen kívül a hallási tárgy arra is szolgál, hogy a hallási információkat összekössük a fizikai tárgy más modalitásokban képzett reprezentációival; azaz megalkossuk a tárgy teljes, multimodális észlelési reprezentációját (BASIRAT, DEHAENE és DEHAENE-LAMBERTZ, 2014). WINKLER, DENHAM és NELKEN (2009) ehhez a prediktív információfeldolgozás szempontját figyelembe véve hozzátették, hogy a hallási tárgy-representáció előrejelzi a tárgyhoz tartozó jövőbeli hangokat (HÁDEN és mtsai, 2015a és b). Ez az elv összhangban áll GREGORY (1980) észlelési elméletével is. Természetesen az észlelési tárgy fogalma nem tartalmazza a tárgy felismerésének követelményét. Amint azt a hallási tárgy fenti kritériumai után megadott hivatkozások jelzik, a fiatal csecsemők hallási feldolgozásának tulajdonságai mindegyik kritériumnak megfelelnek.

A hallási jelenet elemzésének képessége és a hallási tárgy-representációk megalkotása minden más hallási képesség alapja. A kérdés tehát az, hogy miért előnyös a csecsemőknek, hogy igen korán rendelkezzenek ezekkel a képességgel. Mivel az ember csecsemők születésük után még hónapokig nem képesek céltudatos, önálló helyváltoztató mozgásra, így ezek a funkciók nyilván nem a táplálkozási szükségletek kielégítését vagy a veszélyek elkerülését szolgálják. Ugyanakkor, ellentétben a látással, a finom motoros kontroll hiánya nem befolyásolja alapvetően a hallórendszer működését, mivel a hangérzékelés jelentős részben (bár nem teljesen, lásd például a hallási lokalizációt) passzívan működik. Talán előbbre jutunk a megértésben, ha átgondoljuk, hogy a felnőttek mindennapi életében milyen fontos szerepeket töltenek be a hangok. Az egyik fontos funkció a veszélyforrások korai felfedezése. Mivel a hangokat a forrás irányától függetlenül halljuk, a hallás előnyös a látótéren kívül eső események monitorozására. Valóban, a hallási információfeldolgozás különösen gazdag hibajelemben, amelyek az előre jelzettől eltérő események detektálását tükrözik (PICTON, 2010; WINKLER és CZIGLER, 2012). Azonban, ahogyan az előbb már említettük, az ember csecsemők, legalábbis kezdetben, nem képesek a veszélyhelyzetek önálló elhárítására.

A hangok másik legfontosabb felhasználási területe embereknél a kommunikáció. A kommunikáció egyszerűbb formái sok fajnál jelen vannak. Ide tartozik a veszélyhelyzetek, illetve fiatal, önmagukat ellátni képtelen egyedek esetében a szükségletek jelzése. Ez azonban nem indokolja a csecsemők fejlett hallási képességeit. Ezekhez inkább a hangadási, mint a hallási képességek megfelelő szintje szükséges, hiszen ezekben a helyzetekben a csecsemő elsősorban mint információkibocsátó, nem pedig mint az információ címzettje szerepel. Ugyanakkor az ember az élővilágban egyedülálló hatékonyságú és összetettségű kommunikációra képes. Ez nem csupán a beszéd képességét jelenti, hanem a kommunikáció pragmatikai szintjén is megjelenik. Képesek vagyunk egyetlen egyedet megszólítani, azzal közös referenciális keretet felépíteni és figyelmünket egyazon tárgyra irányítva szabályozott formában információt cserélni. Ez teszi lehetővé többek között, hogy az utódaink viszonylag rövid idő alatt hatalmas mennyiségű információt fogadjanak be, hogy átadhassuk nekik, az állatvilághoz képest jóval összetettebb kultúránk legfontosabb elemeit. Gergely György és Csibra Gergely elmélete a „természetes pedagógiáról” (CSIBRA és GERGELY, 2006, 2009, 2011) a felnőtt→gyermek információátadás egy, a szerzők szerint emberspecifikus módját fogalmazza meg. Eszerint a felnőtt („tanító”) úgynevezett osztrénv kommunikációs jelzések (mint például a szemkontaktus felvétele vagy a dajkanyelv használata) segítségével képes a gyermekben („tanuló”) elindítani egyfajta befogadó programot, amelynek során a gyermek a felnőtt kommunikációját (például egy tárgy használatának bemutatását) maga számára relevánsnak értelmezi, azt megjegyzi, és ha módja van rá, pontosan leutánozza. Ahhoz, hogy ez a fajta információátadás megfelelően működjön, nem elégséges az egyirányú kommunikáció. A tanítónak szüksége van visszajelzésekre arról, hogy a kommunikációs csatorna nyitva áll (a tanuló befogadásra kész), az információkat a tanuló befogadta és megfelelően értelmezte. A tanulónak tehát jeleznie kell a figyelmét, megértését, esetleges egyetértését, illetve, amennyiben szükséges, kérdéseket kell feltennie vagy jelezni, ha valami olyan körülmény merül fel, ami miatt a helyzetváltoztatásra van szükség. A kommunikáció formája tehát a dialógus.

Hipotézisünk szerint, a fiatal csecsemőknél talált hallási képességek a dialógusban való részvétel lehetőségét teremtik meg. Amennyiben elfogadjuk CSIBRA és GERGELY (2011) érvelését a természetes pedagógia evolúciós adaptációként történő megjelenéséről, akkor szükségszerű, hogy az ezt megalapozó képességek, köztük a dialógusban való részvételre való képesség is, evolúciós nyomás alatt alakult ki. Mivel a hangok kommunikációs felhasználása az evolúció során már korábban kialakult, törvényszerűnek tekinthető, hogy a hallórendszernek részt kell vennie a dialógusképesség megvalósításában. Mivel pedig a természetes pedagógia felhasználása igen korán, csecsemőkorban indul (sőt éppen a csecsemő- és kisgyermekkorban a legnagyobb a szükség rá), belátható, hogy az ezt megalapozó képességeknek igen korán rendelkezésre kell állniuk. Ezt támasztják alá azok a megfigyelések, amelyek az első kukucsjátékok („turn-taking game”) megjelenését 4 hónapos korra teszik (LEWKOWICZ, 1989). Ha tehát be tudjuk mutatni, hogy a fiatal csecsemők hallási képességei megfelelnek a dialógusban történő részvételhez szükséges funkcióknak, akkor magyarázatot kapunk arra, hogy miért éppen ezek

a képességek állnak rendelkezésre röviddel a születés után. Az alábbiakban áttekintjük a dialógusok megvalósításához szükséges funkciókat és az előző szakaszokban tárgyaltak alapján, megvizsgáljuk, hogy a fiatal csecsemők rendelkeznek-e olyan hallási képességekkel, amelyek e funkciókat lehetővé teszik (1. táblázat).

A mindennapi életben általában egyszerre több aktív hangforrás van jelen. Ahhoz, hogy valakivel párbeszédet folytassunk, ki kell tudnunk választani a partnerünk hangját. Korábban láttuk, hogy a hallási jelenetelemzés mindkét fő primitív algoritmus megvalósítható fiatal csecsemőknél. A hangforrások azonosítása elősegíti a beérkező jelek feldolgozását, mivel lehetővé teszi, hogy korábbról ismert tulajdonságaik alapján kezdettől fogva jól közelítő modellel rendelkezünk arról, hogy mi várható tőlük (elővételezés). Fiatal csecsemők meg tudnak különböztetni hangforrásokat a hangszínük és jellegzetes dinamikai tulajdonságaik alapján, és képesek megtanulni új hangforrások tulajdonságait. Ez például lehetővé teszi számuk-

1. táblázat. Fiatal csecsemők dialógust megalapozó hallási képességei

Dialógushoz szükséges funkció	Fiatal csecsemők képessége	Néhány releváns empirikus vizsgálat
Párhuzamosan aktív hangforrások szétválasztása	Feldolgozzák a hallási jelenetelemzés egyidejű és sorrendi jelzőmozgatait.	BENDIXEN és mtsai, 2015 és FOLLAND és mtsai, 2012; illetve MCADAMS és BERTONCINI, 1997 és WINKLER és mtsai, 2003
Hangforrások azonosítása	Megkülönböztetnek hangforrásokat hangszínük és dinamikájuk szerint; megtanulják hangforrások jellemzőit.	VESTERGAARD és mtsai, 2009; illetve DECASPER és FIFER, 1980 és TRAINOR, LEE és BOSNYAK, 2011
A hangsor (üzenet) típusának meghatározása	Megkülönböztetik az emberi beszédet és a különböző nyelveket.	PEÑA és mtsai, 2003 és VOULOUMANOS és WERKER, 2004; illetve MOLNAR, GERVAIN és CARREIRAS, 2013 és NAZZI, JUSCZYK és JOHNSON, 2000
Én vagyok-e az üzenet címzettje?	Detektálják az osztenzív kommunikációs jegyeket és hatásukra felveszik a referenciális kommunikációt.	COOPER és ASLIN, 1990; illetve SENJU és CSIBRA, 2008
Igényel-e választ az üzenet?	Feldolgozzák a fő prozódiai jelzőmozgásokat.	CHRISTOPHE, MEHLER és SEBASTIÁN-GALLÉS, 2001; HOMAE és mtsai, 2006; SANSAVINI, BERTONCINI és GIOVANELLI, 1997; WEBER és mtsai, 2004
Mikor kell válaszolni?	Detektálják a hangsorok elejét, végét, ritmusát; előrejelzéseket tesznek.	HÁDEN és mtsai, 2015a és RAMUS, 2002; illetve HÁDEN és mtsai, 2015a és b

ra édesanyjuk hangjának azonosítását. A beszédészlelés elsajátítása szempontjából különösen fontos, hogy a beszédet meg tudjuk különböztetni más hangsoroktól. Erre már igen fiatal csecsemők is képesek. A következő lépés egy dialógus felépítésénél annak megállapítása, hogy nekünk szól-e az üzenet. CSIBRA és GERGELY (2006) ezt a szerepet az osztenzív kommunikációs jeleknek tulajdonítják. Ezek egyike a dajkanyelv használata. Fiatal csecsemők meg tudják különböztetni a dajkanyelvet a felnőtt nyelvtől, és a felnőtt dajkanyelvi megszólalása elősegíti, hogy belépjenek a megosztott figyelmi helyzetbe. Amennyiben az üzenet nekünk szól, el kell tudni róla dönteni, hogy igényel-e választ. Ezt az információt, a beszéd szintaktikai és szemantikai elemein kívül a prozódia is leképezi. Fiatal csecsemők sok prozódiai elemet képesek kiemelni a beszédből, beleértve a mondatok dallamát. Végül, amennyiben az üzenet választ igényel, a dialógus fenntartásához képesnek kell lennünk azt megfelelően időzíteni. Fiatal csecsemők ki tudják emelni a hangsorok ritmikus szabályosságait, beleértve a beszédben található ritmikai elemeket, és hallórendszerük idői előrejelzéseket végez, ami lehetővé teszi számukra, hogy megfelelő ütemben válaszoljanak. Valóban, preverbális korú csecsemők részt vesznek hangokkal folytatott dialógusokban, és hangadási ritmusukat adaptálják a partnerhez, azaz jó ütemben válaszolnak, vágnak közbe (JAFFE, BEEBE, FELDSTEIN, CROWN és JASNOW, 2001).

A dialógus, vagyis a kétirányú kommunikációs csatorna fenntartásának képessége, bár szükséges, de nem elégséges feltétele a sikeres kommunikációnak. A szociális kommunikációhoz ezen kívül még nagyon sok szenzoros, kognitív és motoros képességre van szükség (lásd például TOMASELLO, 2008). Az egyik ezek közül egy közösen ismert kód: embereknel a beszédértés és -produkciónak képessége. A beszédértés elsajátítása távolról sem egyszerű probléma, hiszen a kódot, a beszéd elemeit, szintaxisát és a szavak értelmét a környezet által adott változó formájú mintákból kell a csecsemőnek kiszűrnie. A fiatal csecsemők által mutatott fejlett hallási képességek egy jelentős része ennek (is) a szolgálatában áll. Ha röviden össze kellene foglalni az előző szakaszokban bemutatott fejlett hallási képességeket, azt mondhatnánk, hogy azok közös célja, hogy szabályosságokat, mintázatokat emeljen ki egy változó bemeneti jelből. Valóban, még az azonos forrásból, azonos információt hordozó hangok is más és más akusztikai részleteket tartalmaznak, és alkalmanként más-más egyéb forrásból származó hangokkal keverednek össze útjuk során. A közös résznek, a szabályosnak a kiemelése tehát a hallórendszer (és persze minden más észlelő rendszer) egyik legfontosabb funkciója. De nem csak a zajjal kell megküzdenie a hallórendszernek. Az egyedi hangok általában nagyobb minták részeként keletkeznek, és csak akkor tudjuk őket helyesen értelmezni, ha felfedezzük ezeket az összefüggéseket, ki tudjuk emelni a rájuk vonatkozó szabályokat. Ráadásul a hallásban, a látással ellentétben, az információk egyetlen része sem kereshető vissza. Nem tudunk újra ránézni egy esetleg fontos részletre. Azaz a hallórendszernek valós időben kell kiderítenie mindazt, amit meg szeretnénk tudni a beérkező hangokból. A beszélt nyelv különösen bonyolult többrétegű szabályrendszerrel rendelkezik. Amint az előző szakaszokban bemutattuk, a fiatal csecsemők hallórendszere rendelkezik mind az „egyszerűbb”, akusztikus jellegű szabályok (például lokális és globális ismétlődő hangminták detektálása; BASIRAT,

DEHAENE és DEHAENE-LAMBERTZ, 2014), mind pedig a bonyolult, szintaktikai jellegű szabályok kiemelésének képességével (például nem szomszédos hangok közötti dependenciák; KABDEBON, PENA, BUIATTI és DEHAENE-LAMBERTZ, 2015).

Összefoglalva, ebben a szakaszban amellet érveltünk, hogy a fiatal csecsemők hangfeldolgozási képességeinek korábban ismertetett mintázata valószínűleg a kommunikáció, ezen belül is a felnőttekkel folytatott dialógus lehetőségét hivatottak megteremteni. Érvelésünk szerint az embernek az állatvilág többi szereplőjéhez képest sokkal nagyobb mennyiségű információt kell elsajátítania a sikeres alkalmazkodás érdekében. Ennek egyik legfontosabb eszköze a szociális kommunikáció, azaz a másoktól való tanulás, ezen belül pedig a felnőttektől a természetes pedagógia által megadott keretekben történő tanulás. Ehhez egyrészt szükség van a kétirányú kommunikáció lehetőségének megteremtésére, amelyhez a csecsemőnek is hozzá kell járulnia. A csecsemő hallórendszerrel szemben támasztott másik fontos követelmény az, hogy képes legyen összetett szabályok felderítésére egy zajos környezetben annak érdekében, hogy megfejtse az üzenetek (beszéd) kódolását. A fiatal csecsemők hallórendszere eleget tesz ezeknek a követelményeknek. Ha így gondolkodunk a csecsemő hallási képességekről, akkor könnyen belátható, hogy például az ismétlődő hangminták detektálására sokkal nagyobb szükség van, mint mondjuk a finom hangmagasság-megkülönböztetésre.

... ÉS TOVÁBB

A hallórendszer, működésének első pillanatától, már a méhen belül is, tanul. Éppen ezért, néhány magától értetődő esettől eltekintve, nehéz lenne meghatározni, hogy mely képességek rögzültek genetikusan a hallórendszer struktúrájában, és melyek azok, amelyeket a tanulás kódol számunkra. A legvalószínűbb, hogy a hangfeldolgozási képességek többsége e két faktor közötti interakcióban valósul meg. Nem kétséges, hogy a felnőttek hallási észlelési képességei szinte minden tekintetben felülmúlják a fiatal csecsemőkéit. A különbséget két, viszonylag jól elkülöníthető részre oszthatjuk: a hangok finomabb ábrázolása és a specifikusabb, az adott hangkörnyezethez jobban illeszkedő szabályok alkalmazása. Az előbbi, a szoros értelemben vett perceptuális tanulás, úgy tűnik, hogy viszonylag lassabb, kötöttebb fejlődési pályán halad, és felnőttkorban már csak viszonylag kismértékben változtatható. Valószínű, hogy ebben a legnagyobb szerepe az idegrendszer érésének van, és csak kisebb mértékben befolyásolható adaptívabb stratégiák alkalmazásával. A hallási észlelés fejlődésének döntő része, úgy tűnik, visszavezethető az adott feladathoz jobban illeszkedő jelzőmozzanatok és a részletesebb, többszintű szabályok alkalmazására. Már fiatal csecsemők is alkalmaznak hierarchikus szabályokat (BASIRAT, DEHAENE és DEHAENE-LAMBERTZ, 2014; WINKLER, HÁDEN, LADINIG, SZILLER és HONING, 2009). Ez tehát valószínűleg nem egy minőségileg új képesség, ami az életkorral járó fejlődés során jelenne meg. Mind a jobban illeszkedő jelzőmozzanatok kiemelése, mind pedig a jobban artikulált szabályhierarchiák kialakulása (lásd FRISTON, 2005) magyarázható statisztikai tanulóssal.

A statisztikai tanulás pedig már fiatal csecsemőknél is az észlelő rendszer egyik alapvető képessége (LANY és SAFFRAN, 2013).

Összegzésképpen, DEHANE-LAMBERTZ (2011) szavaival élve megállapíthatjuk, hogy a csecsemőknél „egy strukturált [agyi] szerveződés van jelen az első napoktól kezdve”; „ezt a kezdeti architektúrát az evolúció választotta ki arra, hogy a leghatékonyabban segítse a csecsemőket a környezet megfelelő jelzőmózzanatainak megtalálásában azért, hogy nagy és gazdag szociális csoportokat építsenek, amilyeneket az embereknél látunk” (‘a structured [brain] organization is present from the first days on’; ‘this initial architecture has been selected through human evolution as the most efficient to help infants to pick the correct cues in the environment in order to build the rich and large social groups seen in humans’ (196).

IRODALOM

- ABERCROMBIE, D. (1967). *Elements of general phonetics*. Chicago: Aldine.
- ALAIN, C., ARNOTT, S. R., & PICTON, T. W. (2001). Bottom-up and top-down influences on auditory scene analysis: evidence from event-related brain potentials. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27, 1072–1089.
- ALAIN, C., & WINKLER, I. (2012). Recording event-related brain potentials: application to study auditory perception. In D. POEPEL, T. OVERATH, A. N. POPPER, & R. R. FAY (Eds.), *The Human Auditory Cortex. Springer Handbook of Auditory Research, Vol. 43* (69–96). New York: Springer.
- ALEXANDER, A. L., LEE, J. E., LAZAR, M., & FIELD, A. S. (2007). Diffusion tensor imaging of the brain. *Neurotherapeutics*, 4(3), 316–329.
- BABARCZY A., LUKÁCS Á. és PLÉH Cs. (2014). A nyelvelsajátítás elméleti modelljei. In LUKÁCS Á. és PLÉH Cs. (szerk.), *Pszicholingvisztika 1–2. Magyar pszicholingvisztikai kézikönyv* (463–499). Budapest: Akadémiai Kiadó.
- BARUCH, C., & DRAKE, C. (1997). Tempo discrimination in infants. *Infant Behavior and Development*, 20, 573–577.
- BASIRAT, A., DEHAENE, S., & DEHAENE-LAMBERTZ, G. (2014). A hierarchy of cortical responses to sequence violations in three-month-old infants. *Cognition*, 132(2), 137–150.
- BENDIXEN, A., HÁDEN, G. P., NÉMETH, R., FARKAS, D., TÖRÖK, M., & WINKLER, I. (2015). Newborn infants detect cues of concurrent sound segregation. *Developmental Neuroscience*, 37(2), 172–181.
- BENDIXEN, A., SCHRÖGER, E., & WINKLER, I. (2009). I heard that coming: event-related potential evidence for stimulus-driven prediction in the auditory system. *The Journal of Neuroscience*, 29(26), 8447–8451.
- BERGESON, T. R., & TREHUB, S. E. (2006). Infants’ perception of rhythmic patterns. *Music Perception*, 23(4), 345–360.
- BREGMAN, A. S. (1990). *Auditory Scene Analysis: The Perceptual Organization of Sound*. Cambridge, MA: MIT Press.
- BREGMAN, A. S., & RUDNICKY, A. I. (1975). Auditory segregation: Stream or streams. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 1, 263–267.

- BULL, D., EILERS, R. E., & OLLER, D. K. (1984). Infants' discrimination of intensity variation in multisyllabic stimuli. *Journal of the Acoustical Society of America*, 76, 13–17.
- CARRAL, V., HUOTILAINEN, M., RUUSUVIRTA, T., FELLMAN, V., NÄÄTÄNEN, R., & ESCERA, C. (2005). A kind of auditory 'primitive intelligence' already present at birth. *European Journal of Neuroscience*, 21, 3201–3204.
- CHANG, H-W., & TREHUB, S. E. (1977). Infants' perception of temporal grouping in auditory patterns. *Child Development*, 48, 1666–1670.
- CHRISTOPHE, A., DUPOUX, E., BERTONCINI, J., & MEHLER, J. (1994). Do infants perceive word boundaries? An empirical study of the bootstrapping of lexical acquisition. *Journal of the Acoustical Society of America*, 95(3), 1570–1580.
- CHRISTOPHE, A., MEHLER, J., & SEBASTIÁN-GALLÉS, N. (2001). Perception of prosodic boundary correlates by newborn infants. *Infancy*, 2, 385–394.
- CHRISTOPHE, A., MILLOTTE, S., BERNAL, S., & LIDZ, J. (2008). Bootstrapping lexical and syntactic acquisition. *Language and Speech*, 51(1–2), 61–75.
- CIOCCA, V. (2008). The auditory organization of complex sounds. *Frontiers in Bioscience*, 13, 148–169.
- CLARKSON, M. G., & CLIFTON, R. K. (1985). Infant pitch perception: evidence for responding to the pitch of the missing fundamental. *Journal of the Acoustical Society of America*, 77, 1521–1528.
- CLARKSON, M. G., CLIFTON, R. K., & PERRIS, E. E. (1988). Infant timbre perception: Discrimination of spectral envelopes. *Perception & Psychophysics*, 43, 15–20.
- CLIFTON, R. K. (1992). The development of spatial hearing in human infants. In L. A. WERNER, & E. W. RUBEL (Eds.), *Developmental Psychoacoustics* (135–157). Washington, D.C.: American Psychological Association.
- COOPER, R. P., & ASLIN, R. N. (1990). Preference for infant directed speech in the first month after birth. *Child Development*, 61, 1584–1595.
- COWAN, N. (1984). On short and long auditory stores. *Psychological Bulletin*, 96, 341–370.
- CSIBRA, G., & GERGELY, GY. (2006). Social learning and social cognition: The case for pedagogy. In Y. MUNAKATA, & M. H. JOHNSON (Eds.), *Processes of Change in Brain and Cognitive Development. Attention and Performance*, XXI. (249–274). Oxford: Oxford University Press.
- CSIBRA, G., & GERGELY, GY. (2009). Natural pedagogy. *Trends in Cognitive Sciences*, 13(4), 148–153.
- CSIBRA, G., & GERGELY, GY. (2011). Natural pedagogy as evolutionary adaptation. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 366, 1149–1157.
- DECASPER, A. J., & FIFER, W. P. (1980). Of human bonding: Newborns prefer their mothers' voices. *Science*, 208, 1174–1176.
- DEHAENE-LAMBERTZ, G. (2011). The architecture of the baby brain. In A. BATTRO, & S. DEHAENE (Eds.), *Human Neuroplasticity and Education* (185–259). Vatican city: Singer.
- DEHAENE-LAMBERTZ, G., DEHAENE, S., & HERTZ-PANNIER, L. (2002). Functional neuroimaging of speech perception in infants. *Science*, 298, 2013–2015.
- DEHAENE-LAMBERTZ, G., HERTZ-PANNIER, L., & DUBOIS, J. (2006). Nature and nurture in language acquisition: anatomical and functional brain-imaging studies in infants. *Trends in Neurosciences*, 29(7), 367–373.

- DEHAENE-LAMBERTZ, G., MONTAVONT, A., JOBERT, A., ALLIROL, L., DUBOIS, J., HERTZ-PANNIER, L., & DEHAENE, S. (2010). Language or music, mother or Mozart? Structural and environmental influences on infants' language networks. *Brain and Language*, 114(2), 53–65.
- DEMANY, L. (1982). Auditory stream segregation in infancy. *Infant Behavior & Development*, 5, 261–276.
- DEMANY, L., & ARMAND, F. (1984). The perceptual reality of tone chroma in early infancy. *Journal of the Acoustical Society of America*, 76, 57–66.
- DEMANY, L., MCKENZIE, B., & VURPILLOT, E. (1977). Rhythm perception in early infancy. *Nature*, 266, 718–719.
- DENHAM, S. L., & WINKLER, I. (2015). Auditory perceptual organization. In J. WAGEMANS (Ed.), *Oxford Handbook of Perceptual Organization* (601–619). Oxford, U.K.: Oxford University Press.
- DOWLING, W. J., & HARWOOD, D. L. (1986). *Music Cognition*. Orlando, FL: Academic Press.
- DUBOIS, J., HERTZ-PANNIER, L., DEHAENE-LAMBERTZ, G., COINTEPAS, Y., & LE BIHAN, D. (2006). Assessment of the early organization and maturation of infants' cerebral white matter fiber bundles: a feasibility study using quantitative diffusion tensor imaging and tractography. *NeuroImage*, 30, 1121–1132.
- DUNCAN, J., & HUMPHREYS, G. (1989). Visual search and stimulus similarity. *Psychological Review*, 96, 433–458.
- ELFENBEIN, J. L., SMALL, A. M., & DAVIS, M. (1993). Developmental patterns of duration discrimination. *Journal of Speech and Hearing Research*, 36, 842–849.
- FASSBENDER, C. (1993). *Auditory Grouping and Segregation Processes in Infancy*. Norderstedt: Kaste Verlag.
- FERRARI, M. & QUARESIMA, V. (2012). A brief review on the history of human functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) development and fields of application. *Neuroimage*, 63(2), 921–935.
- FISCHER, B., & HARTNEGG, H. K. (2004). On the development of low-level auditory discrimination and deficits in dyslexia. *Dyslexia*, 10, 105–118.
- FITZGIBBONS, P. J., POLLATSEK, A., & THOMAS, I. B. (1974). Detection of temporal gaps within and between perceptual tonal groups. *Perception & Psychophysics*, 16, 522–552.
- FLOCCIA, C., CHRISTOPHE, A., & BERTONCINI, J. (1997). High-amplitude sucking and newborns: the quest for underlying mechanisms. *Journal of Experimental Child Psychology*, 64(2), 175–198.
- FOLLAND, N. A., BUTLER, B. E., SMITH, N. A., & TRAINOR, L. J. (2012). Processing simultaneous auditory objects: Infants' ability to detect mistunings in harmonic complexes. *Journal of the Acoustical Society of America*, 131, 993–997.
- FOWLER, C. A., SMITH, M. R., & TASSINARY, L. G. (1986). Perception of syllable timing by prebabbling infants. *Journal of the Acoustical Society of America*, 79(3), 814–825.
- FRIEDERICI, A. D. (2005). Neurophysiological markers of early language acquisition: from syllables to sentences. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(10), 481–488.
- FRIEDERICI, A. D., MUELLER, J. L., & OBERECKER, R. (2011). Precursors to natural grammar learning: preliminary evidence from 4-month-old infants. *PLoS One*, 6(3), e17920.

- FRIEDLANDER, B. Z. (1968). The effect of speaker identity, voice inflection, vocabulary, and message redundancy on infants' selection of vocal reinforcement. *Journal of Experimental Child Psychology*, *6*, 443–445.
- FRISTON, K. (2005). A theory of cortical responses. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *360*, 815–836.
- GEFFEN, M. N., GERVAIN, J., WERKER, J. F., & MAGNASCO, M. O. (2011). Auditory perception of self-similarity in water sounds. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, *5*, 15.
- GERVAIN, J., BERENT, I., & WERKER, J. F. (2012). Binding at birth: the newborn brain detects identity relations and sequential position in speech. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *24*(3), 564–574.
- GERVAIN, J., & MEHLER, J. (2010). Speech perception and language acquisition in the first year of life. *Annual Review of Psychology*, *61*, 191–218.
- GERVAIN, J., MACAGNO, F., COGOI, S., PENA, M., & MEHLER, J. (2008). The neonate brain detects speech structure. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA.*, *105*, 14222–14227.
- GERVAIN, J., WERKER, J. F., & GEFFEN, M. N. (2014). Category-specific processing of scale-invariant sounds in infancy. *PLOS ONE*, *9*(5), e96278.
- GOMES, H., BERNSTEIN, R., RITTER, W., VAUGHAN, H. G. JR., & MILLER, J. (1997). Storage of feature conjunctions in transient auditory memory. *Psychophysiology*, *34*, 712–716.
- GORDON, I. E. (2004). *Theories of Visual Perception*. New York: Psychology Press.
- GREGORY, R. L. (1980). Perceptions as hypotheses. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *290*, 181–197.
- GRIFFITHS, T. D., & WARREN, J. D. (2004). Opinion: What is an auditory object? *Nature Reviews Neuroscience*, *5*, 887–892.
- HÁDEN, G. P., STEFANICS, G., VESTERGAARD, M. D., DENHAM, S. L., SZILLER, I., & WINKLER, I. (2009). Timbre-independent extraction of pitch in newborn infants. *Psychophysiology*, *46*, 69–74.
- HÁDEN, G. P., NÉMETH, R., TÖRÖK, M., DRÁVUCZ, S., & WINKLER, I. (2013). Context effects on processing widely deviant sounds in newborn infants. *Frontiers in Psychology*, *4*, 674.
- HÁDEN, G. P., HONING, H., TÖRÖK, M., & WINKLER, I. (2015a). Detecting the temporal structure of sound sequences in newborn infants. *International Journal of Psychophysiology*, *96*(1), 23–28.
- HÁDEN, G. P., NÉMETH, R., TÖRÖK, M., & WINKLER, I. (2015b). Predictive processing of pitch trends in newborn infants. *Brain Research*, *1626*, 14–20.
- HÄMÄLÄINEN, M., HARI, R., ILMONIEMI, R. J., KNUUTILA, J., & LOUNASMAA, O. V. (1993). Magnetoencephalography-theory, instrumentation, and applications to noninvasive studies of the working human brain. *Reviews of Modern Physics*, *65*(2), 413–497.
- HANNON, E. E., & JOHNSON, S. P. (2005). Infants use meter to categorize rhythms and melodies: Implications for musical structure learning. *Cognitive Psychology*, *50*, 354–377.
- HANNON, E. E., & TREHUB, S. E. (2005). Metrical categories in infancy and adulthood. *Psychological Science*, *16*, 48–55.
- HARTMANN, W. M., MCADAMS, S., & SMITH, B. K. (1990). Hearing a mistuned harmonic in an otherwise periodic complex tone. *Journal of the Acoustical Society of America*, *88*(4), 1712–1724.

- HE, C., HOTSON, L., & TRAINOR, L. J. (2009a). Maturation of cortical mismatch responses to occasional pitch change in early infancy: Effects of presentation rate and magnitude of change. *Neuropsychologia*, *47*, 218–229.
- HE, C., HOTSON, L., & TRAINOR, L. J. (2009b). Development of infant mismatch responses to auditory pattern changes between 2 and 4 months old. *European Journal of Neuroscience*, *29*, 861–867.
- HE, C., & TRAINOR, L. J. (2009). Finding the pitch of the missing fundamental in infants. *The Journal of Neuroscience*, *29*, 7718–7722.
- HOMAE, F., WATANABE, H., NAKANO, T., ASAKAWA, K., & TAGA, G., (2006). The right hemisphere of sleeping infant perceives sentential prosody. *Neuroscience Research*, *54*, 276–280.
- HORVÁTH, J., CZIGLER, I., SUSSMAN, E., & WINKLER, I. (2001). Simultaneously active pre-attentive representations of local and global rules for sound sequences. *Cognitive Brain Research*, *12*, 131–144.
- HUETTEL, S. A., SONG, A. W., & MCCARTHY, G. (2008). *Functional Magnetic Resonance Imaging*. 2nd edition. Sunderland, MA.: Sinauer Associates Inc.
- ISEL, F., ALTER, K., & FRIEDERICI, A. D. (2005). Influence of prosodic information on the processing of split particles: ERP evidence from spoken German. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *17*(1), 154–167.
- JACOBSEN, T., SCHRÖGER, E., WINKLER, I., & HORVÁTH, J. (2005). Familiarity affects the processing of task-irrelevant ignored sounds. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *17*(11), 1704–1713.
- JAFFE, J., BEEBE, B., FELDMAN, S., CROWN, C. L., & JASNOW, M. D. (2001). Rhythms of dialogue in infancy. In W. D. OVERTON (Ed.), *Monographs of the Society for Research in Child Development*, Vol. 66, No. 2. Boston, MA: Wiley-Blackwell.
- JENNI, O. G., & CARSKADON, M. A. (2000). Normal human sleep at different ages: Infants to adolescents. In *Sleep research society. SRS Basics of Sleep Guide* (11–19). Westchester, IL: Sleep Research Society.
- JENSEN, J. K., & NEFF, D. L. (1993). Development of basic auditory discrimination in pre-school children. *Psychological Science*, *4*, 104–107.
- JONES, M. R. (1976). Time, our lost dimension: toward a new theory of perception, attention, and memory. *Psychological Review*, *83*, 323–355.
- JONES, M. R., MOYNIHAN, H., MACKENZIE, N., & PUENTE, J. (2002). Temporal aspects of stimulus-driven attending in dynamic arrays. *Psychological Science*, *13*, 313–319.
- JUSCZYK, P. W. (1985). The high-amplitude procedure as a methodological tool in speech perception research. In G. GOTTLIEB, & N. A. Krasnegor (Eds.), *Infant Methodology* (195–222). Norwood, NJ: Ablex.
- KABDEBON, C., PENA, M., BUIATTI, M., & DEHAENE-LAMBERTZ, G. (2015). Electrophysiological evidence of statistical learning of long-distance dependencies in 8-month-old preterm and full-term infants. *Brain and Language*, *148*, 25–36.
- KÖHLER, W. (1947). *Gestalt Psychology: An Introduction to New Concepts in Modern Psychology*. New York: Liveright Publishing Corporation.
- KUHL, P. K. (1979). Speech perception in early infancy: Perceptual constancy for spectrally dissimilar vowel categories. *Journal of the Acoustical Society of America*, *66*, 1668–1679.
- KUHL, P. K. (2000). A new view of language acquisition. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, *97*, 11850–11857.

- KUJALA, T., TERVANIEMI, M., & SCHRÖGER, E. (2007). The mismatch negativity in cognitive and clinical neuroscience: theoretical and methodological considerations. *Biological Psychology*, 74(1), 1–19.
- KUSHNERENKO, E., ČEAPONIENĖ, R., FELLMAN, V., HUOTILAINEN, M., & WINKLER, I. (2001). Event-related potential correlates of sound duration: Similar pattern from birth to adulthood. *NeuroReport*, 12, 3777–3781.
- KUSHNERENKO, E. V., VAN DEN BERGH, B. R., & WINKLER, I. (2013). Separating acoustic deviance from novelty during the first year of life: a review of event-related potential evidence. *Frontiers in psychology*, 4, 595.
- KUSHNERENKO, E., WINKLER, I., HORVÁTH, J., NÄÄTÄNEN, R., PAVLOV, I., FELLMAN, V., & HUOTILAINEN, M. (2007). Processing acoustic change and novelty in newborn infants. *European Journal of Neuroscience*, 26, 265–274.
- LADINIG, O., HONING, H., HÁDEN, G., & WINKLER, I. (2009). Probing attentive and pre-attentive emergent meter in adult listeners without extensive music training. *Music Perception*, 26(4), 377–386.
- LANY, J., & SAFFRAN, J. R. (2013). Statistical learning mechanisms in infancy. In J. L. R. RUBENSTEIN, & P. RAKIC (Eds.), *Comprehensive Developmental Neuroscience: Neural Circuit Development and Function in the Brain*, Vol. 3 (231–248). Amsterdam: Elsevier.
- LECANUET, J.-P., & SCHAAL, B. (1996). Fetal sensory competencies. *European Journal of Obstetrics & Gynecology and Reproductive Biology*, 68, 1–23.
- LERDAHL, F., & JACKENDOFF, R. (1983). *A Generative Theory of Tonal Music*. Cambridge, MA: MIT Press.
- LEWKOWICZ, D. (1989). The role of temporal factors in infant behavior and development. In I. LEVIN, & D. ZAKAY (Eds.), *Time and Human Cognition* (9–62). North-Holland: Elsevier Science Publishers.
- LEWKOWICZ, D. J. (2003). Learning and discrimination of audiovisual events in human infants: The hierarchical relation between intersensory temporal synchrony and rhythmic pattern cues. *Developmental Psychology*, 39, 795–804.
- LITOVSKY, R. Y., & ASHMEAD, D. H. (1997). Development of binaural and spatial hearing in infants and children. In R. H. GILKEY, & T. R. ANDERSON (Eds.), *Binaural and Spatial Hearing in Real and Virtual Environments* (571–592). Mahwah, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.
- LUCK, S. J. (2005). *An Introduction to the Event-Related Potential Technique*. Cambridge, MA: MIT Press.
- MAREAN, G. C., WERNER, L. A., & KUHL, P. K. (1992). Vowel categorization by very young infants. *Developmental Psychology*, 28, 396–405.
- MASATAKA, N. (2006). Preference for consonance over dissonance by hearing newborns of deaf parents and of hearing parents. *Developmental Science*, 9, 46–50.
- MAXON, A. B., & HOCHBERG, I. (1982). Development of psychoacoustic behavior: sensitivity and discrimination. *Ear and Hearing*, 3, 301–308.
- MCADAMS, S., & BERTONCINI, J. (1997). Organization and discrimination of repeating sound sequences by newborn infants. *Journal of the Acoustical Society of America*, 102, 2945–2953.
- MEHLER, J., JUSCZYK, P., LAMBERTZ, G., HALSTED, N., BERTONCINI, J., & AMIEL-TISON, C. (1988). A precursor of language acquisition in young infants. *Cognition*, 29, 143–178.

- MILLER, C. L. (1983). Developmental changes in male/female voice classification by infants. *Infant Behavior and Development*, 6, 313–330.
- MILLS, A. W. (1972). Auditory Localization. In J. V. TOBIAS (Ed.), *Foundations of Modern Auditory Theory, Vol. II.* (301–348). NY: Academic Press.
- MOLNAR, M., GERVAIN, J., & CARREIRAS, M. (2013). Within-rhythm class native language discrimination abilities of Basque-Spanish monolingual and bilingual infants at 3.5 months of age. *Infancy*, 19(3), 326–337.
- MOON, C., COOPER, R. P., & FIFER, W. P. (1993). Two-day-olds prefer their native language. *Infant Behavior & Development*, 16, 495–500.
- MOON, C., ZERNZACH, R. C., & KUHL, P. K. (2015). Mothers say “baby” and their newborns do not choose to listen: a behavioral preference study to compare with ERP results. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9, 153.
- MOORE, B. C. J., GLASBERG, B. R., & PETERS, R. W. (1986). Thresholds for hearing mistuned partials as separate tones in harmonic complexes. *Journal of the Acoustical Society of America*, 80(2), 479–483.
- MOORE, J. M., & WILSON, W. (1978). Visual reinforcement audiometry (VRA) with infants. In S. E. GERBER, & G. T. MENCHER (Eds.), *Early Diagnosis of Hearing Loss (177–213)*. New York: Grune and Stratton.
- MORGAN, J. L. (1996). Prosody and the roots of parsing. *Language and Cognitive Processes*, 11, 69–106.
- MORRONGIELLO, B. A., FENWICK, K. D., HILLIER, L., & GRAHAM, C. (1994). Sound localization in newborn human infants. *Developmental Psychobiology*, 27(8), 519–538.
- MORRONGIELLO, B. A., & TREHUB, S. E. (1987). Age-related changes in auditory temporal perception. *Journal of Experimental Child Psychology*, 44, 413–426.
- NÄÄTÄNEN, R., KUJALA, T., WINKLER, I. (2011). Auditory processing that leads to conscious perception: A unique window to central auditory processing opened by the mismatch negativity and related responses. *Psychophysiology*, 48, 4–22.
- NAZZI, T., BERTONCINI, J., & MEHLER, J. (1998). Language discrimination by newborns: towards an understanding of the role of rhythm. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24(3), 756–766.
- NAZZI, T., JUSCZYK, P. W., & JOHNSON, E. K. (2000). Language discrimination by English-learning 5-month-olds: Effects of rhythm and familiarity. *Journal of Memory and Language*, 43, 1–19.
- NAZZI, T., & RAMUS, F. (2003). Perception and acquisition of linguistic rhythm by infants. *Speech Communication*, 41, 233–243.
- NÉMETH, R., HÁDEN, G. P., TÖRÖK, M., & WINKLER, I. (2015). Processing of horizontal sound localization cues in newborn infants. *Ear and Hearing*, 36(5), 550–556.
- NIEDERMEYER, E. & DA SILVA, F. L. (2004). *Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields*. Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins.
- NOVITSKI, N., HUOTILAINEN, M., TERVANIEMI, M., NÄÄTÄNEN, R., & FELLMAN, V. (2007). Neonatal frequency discrimination in 250–4000-Hz range: Electrophysiological evidence. *Clinical Neurophysiology*, 118, 412–419.
- OLSHO, L. W., KOCH, E. G., CARTER, E. A., HALPIN, C. F., & SPETNER, N. B. (1988). Pure-tone sensitivity of human infants. *Journal of the Acoustical Society of America*, 84, 1316–1324.

- OLSHO, L. W., KOCH, E. G., & HALPIN, C. F. (1987). Level and age effects in infant frequency discrimination. *Journal of the Acoustical Society of America*, *82*, 454–464.
- OLSHO, L. W., KOCH, E. G., HALPIN, C. F., & CARTER, E. A. (1987). An observer-based psychoacoustic procedure for use with young infants. *Developmental Psychology*, *23*, 627–640.
- OTTE, R. A., WINKLER, I., BRAEKEN, M. A. K. A., STEKELENBURG, J. J., VAN DER STELT, O., & VAN DEN BERGH, B. R. H. (2013). Detecting violations of temporal regularities in waking and sleeping two-month-old infants. *Biological Psychology*, *92*(2), 315–322.
- PANNESE, A., HERRMANN, C. S., & SUSSMAN, E. (2015). Analyzing the auditory scene: neurophysiologic evidence of a dissociation between detection of regularity and detection of change. *Brain Topography*, *28*(3), 411–422.
- PEGG, J. E., WERKER, J. F., & MCLEOD, P. J. (1992). Preference for infant-directed over adult-directed speech: Evidence from 7-week-old infants. *Infant Behavior and Development*, *15*, 325–345.
- PEÑA, M., MAKI, A., KOVACIĆ, D., DEHAENE-LAMBERTZ, G., KOIZUMI, H., BOUQUET, F., & MEHLER, J. (2003). Sounds and silence: an optical topography study of language recognition at birth. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, *100*(20), 11702–11705.
- PERANI, D., SACCUMAN, M. C., SCIFO, P., SPADA, D., ANDREOLLI, G., ROVELLI, R., BALDOLI, C., & KOELSCH, S. (2009). Functional specializations for music processing in the human newborn brain. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, *107*(10), 4758–4773.
- PETERS, A. M. (1983). *The Units of Language Acquisition*. Cambridge: Cambridge University Press.
- PHILLIPS-SILVER, J., & TRAINOR, L. J. (2005). Feeling the beat: Movement influences infant rhythm perception. *Science*, *308*(5727), 1430.
- PICTON, T. W. (2010). *Human Auditory Evoked Potentials*. San Diego: Plural Publishing.
- PLANTINGA, J., & TRAINOR, L. J. (2005). Memory for melody: Infants use a relative pitch code. *Cognition*, *98*, 1–11.
- PURHONEN, M., KILPELÄINEN-LEES, R., VALKONEN-KORHONEN, M., KARHU, J., & LEHTONEN, J. (2005). Four-month-old infants process own mother's voice faster than unfamiliar voices—electrical signs of sensitization in infant brain. *Cognitive Brain Research*, *24*, 627–633.
- RAMUS, F. (2002). Language discrimination by newborns: Teasing apart phonotactic, rhythmic, and intonational cues. *Annual Review of Language Acquisition*, *2*, 85–115.
- RUUSUVIRTA, T., HUOTILAINEN, M., FELLMAN, V., & NÄÄTÄNEN, R. (2003). The newborn human brain binds sound features together. *Neuroreport*, *14*(16), 2117–2119.
- RUUSUVIRTA, T., HUOTILAINEN, M., FELLMAN, V., & NÄÄTÄNEN, R. (2004). Newborn human brain identifies repeated auditory feature conjunctions of low sequential probability. *European Journal of Neuroscience*, *20*(10), 2819–2821.
- RUUSUVIRTA, T., HUOTILAINEN, M., FELLMAN, V., & NÄÄTÄNEN, R. (2009). Numerical discrimination in newborn infants as revealed by event-related potentials to tone sequences. *European Journal of Neuroscience*, *30*(8), 1620–1624.
- SAARINEN, J., PAAVILAINEN, P., SCHRÖGER, E., TERVANIEMI, M., & NÄÄTÄNEN, R. (1992). Representation of abstract attributes of auditory stimuli in the human brain. *Neuroreport*, *3*, 1149–1151.

- SADIA, G., RITTER, W., & SUSSMAN, E. (2013). Category effects: Is top-down control alone sufficient to elicit the mismatch negativity (MMN) component? *Biological Psychology*, 92(2), 191–198.
- SAMBETH, A., RUOHIO, K., ALKU, P., FELLMAN, V., & HUOTILAINEN, M. (2008). Sleeping newborns extract prosody from continuous speech. *Clinical Neurophysiology*, 119(2), 332–341.
- SANSAVINI, A., BERTONCINI, J., & GIOVANELLI, G. (1997). Newborns discriminate the rhythm of multisyllabic stressed words. *Developmental Psychology*, 33(1), 3–11.
- SCHARF, B., & HOUTSMA, A. J. M. (1986). Audition II: Loudness, pitch, localization, aural distortion, pathology. In K. R. BOFF, L. KAUFMAN, & J. P. THOMAS (Eds.), *Handbook of Perception and Human Performance: Vol. I, Sensory Processes and Perception* (15.2–60). New York: Wiley.
- SCHNEIDER, B. A., TREHUB, S. E., MORRONGIELLO, B. A., & THORPE, L. A. (1989). Developmental changes in masked thresholds. *Journal of the Acoustical Society of America*, 86, 1733–1742.
- SENJU, A., & CSIBRA, G. (2008). Gaze following in human infants depends on communicative signals. *Current Biology*, 18, 668–671.
- SHI, R., WERKER, J. F., & MORGAN, J. L. (1999). Newborn infants' sensitivity to perceptual cues to lexical and grammatical words. *Cognition*, 72(2), B11–21.
- SHOFNER, W. P. (2005). Comparative aspects of pitch perception. In C. J. PLACK, A. J. OXENHAM, R. R. FAY, & A. N. POPPER (Eds.), *Pitch Perception: Springer Handbook of Auditory Research, Vol. 24* (56–98). New York: Springer.
- SINGH, N., & THEUNISSEN, F. (2003). Modulation spectra of natural sounds and ethological theories of auditory processing. *Journal of the Acoustical Society of America*, 114, 3394–3411.
- SINNOTT, J. M., & ASLIN, R. N. (1985). Frequency and intensity discrimination in human infants and adults. *Journal of the Acoustical Society of America*, 78, 1986–1992.
- SLUGOCKI, C., & TRAINOR, L. J. (2014). Cortical indices of sound localization mature monotonically in early infancy. *European Journal of Neuroscience*, 40, 3608–3619.
- SMITH, E. C., & LEWICKI, M. S. (2006). Efficient auditory coding. *Nature*, 439, 978–982.
- SMITH, N. A., & TRAINOR, L. J. (2011). Auditory stream segregation improves infants' selective attention to target tones amid distractors. *Infancy*, 16, 655–668.
- SMITH, N. A., TRAINOR, L. J., & SHORE, D. I. (2006). The development of temporal resolution: Between-channel gap detection in infants and adults. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 49(5), 1104–1113.
- SPETNER, N. B., & OLSHO, L. W. (1990). Auditory frequency resolution in human infancy. *Child Development*, 61, 632–652.
- STEFANICS, G., HÁDEN, G., HUOTILAINEN, M., BALÁZS, L., SZILLER, I., BEKE, A., FELLMAN, V., & WINKLER, I. (2007). Auditory temporal grouping in newborn infants. *Psychophysiology*, 44, 697–702.
- STEFANICS, G., HÁDEN, G. P., SZILLER, I., BALÁZS, L., BEKE, A., & WINKLER, I. (2009). Newborn infants process pitch intervals. *Clinical Neurophysiology*, 120, 304–308.
- STEFANICS, G., HANGYA, B., HERNÁDI, I., WINKLER, I., LAKATOS, P., & ULBERT, I. (2010). Phase entrainment of human delta oscillations can mediate the effects of expectation on reaction speed. *The Journal of Neuroscience*, 30(41), 13578–13585.

- STOFFGREN, T. A., & BRADY, B. G. (2001). On specification and the senses. *Behavioral and Brain Sciences*, 24, 195–222.
- SUSSMAN, E. (2007). A new view on the MMN and attention debate: Auditory context effects. *Journal of Psychophysiology*, 21(3–4), 164–175.
- SUSSMAN, E., RITTER, W., & VAUGHAN, H. G. JR. (1998). Predictability of stimulus deviance and the mismatch negativity. *NeuroReport*, 9, 4167–4170.
- SUSSMAN, E., WINKLER, I., HUOTILAINEN, M., RITTER, W., & NÄÄTÄNEN, R. (2002). Top-down effects on stimulus-driven auditory organization. *Cognitive Brain Research*, 13, 393–405.
- TAKEGATA, R., BRATTICO, E., TERVANIEMI, M., VARYAGINA, O., NÄÄTÄNEN, R., & WINKLER, I. (2005). Pre-attentive representation of feature conjunctions for simultaneous, spatially distributed auditory objects. *Cognitive Brain Research*, 25(1), 169–179.
- TEINONEN, T., FELLMAN, V., NÄÄTÄNEN, R., ALKU, P., & HUOTILAINEN, M. (2009). Statistical language learning in neonates revealed by event-related brain potentials. *BMC Neuroscience*, 10, 21.
- TEW, S., FUJIOKA, T., HE, C., & TRAINOR, L. (2009). Neural representation of transposed melody in infants at 6 months of age. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1169, 287–290.
- TSAO, F-M., LIU, H-M., & KUHL, P. K. (2004). Speech perception in infancy predicts language development in the second year of life: A longitudinal study. *Child Development*, 75, 1067–1084.
- THARPE, A. M., & ASHMEAD, D. H. (2001). A longitudinal investigation of infant auditory sensitivity. *American Journal of Audiology*, 10, 104–112.
- THERIEN, J. M., WORWA, C. T., MATTIA, F. R., & DE REGNIER, R-A. (2004). Altered pathways for auditory discrimination and recognition memory in preterm infants. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 46, 816–824.
- THORPE, L. A., & TREHUB, S. E. (1989). Duration illusion and auditory grouping in infancy. *Developmental Psychology*, 25, 122–127.
- THORPE, L. A., TREHUB, S. E., MORRONGIELLO, B. A., & BULL, D. (1988). Perceptual grouping by infants and preschool children. *Developmental Psychology*, 24, 484–491.
- TOMASELLO, M. (2003). *Constructing a Language: A Usage-Based Theory of Language Acquisition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- TOMASELLO, M. (2008). *Origins of Human Communication*. Cambridge, MA/London: The MIT Press.
- TRAINOR, L. J. (2012). Musical experience, plasticity, and maturation: issues in measuring developmental change using EEG and MEG. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1252, 25–36.
- TRAINOR, L. J. (2015). The origins of music in auditory scene analysis and the roles of evolution and culture in musical creation. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 370(1664), 20140089.
- TRAINOR, L. J., LEE, K., & BOSNYAK, D. J. (2011). Cortical plasticity in 4-month-old infants: Specific effects of experience with musical timbres. *Brain Topography*, 24, 192–203.
- TRAINOR, L. J., SAMUEL, S. S., DESJARDINS, R. N., & SONNADARA, R. R. (2001). Measuring temporal resolution in infants using mismatch negativity. *Neuroreport*, 12, 2443–2448.

- TRAINOR, L. J., TSANG, C. D., & CHEUNG, V. H. W. (2002). Preference for consonance in 2- and 4-month-old infants. *Music Perception, 20*, 187–194.
- TRAINOR, L. J., & UNRAU, A. J. (2012). Development of pitch and music perception. In L. WERNER, R. R. FAY, & A. N. POPPER (Eds.), *Springer Handbook of Auditory Research: Human Auditory Development* (223–254). New York: Springer.
- TREHUB, S. E., ENDMAN, M. W., & THORPE, L. A. (1990). Infants' perception of timbre: Classification of complex tones by spectral structure. *Journal of Experimental Child Psychology, 49*, 300–313.
- TREHUB, S. E., SCHNEIDER, B. A., & ENDMAN, M. (1980). Developmental changes in infants' sensitivity to octave-band noises. *Journal of Experimental Child Psychology, 29*, 282–293.
- TREHUB, S. E., SCHNEIDER, B. A., & HENDERSON, J. (1995). Gap detection in infants, children, and adults. *Journal of the Acoustical Society of America, 98*, 2532–2541.
- TREISMAN, A. M., & GELADE, G. A. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology, 12*, 97–136.
- TSANG, C. D., & TRAINOR, L. J. (2002). Spectral slope discrimination in infancy: Sensitivity to socially important timbres. *Infant Behavior and Development, 25*, 183–194.
- TURK-BROWNE, N. B., SCHOLL, B. J., & CHUN, M. M. (2008). Babies and brains: Habituation in infant cognition and functional neuroimaging. *Frontiers in Human Neuroscience, 2*, 16.
- VAN DEN HEUVEL, M. I., OTTE, R. A., BRAEKEN, M. A. K. A., WINKLER, I., KUSHNERENKO, E., & VAN DEN BERGH, B. R. H. (2015). Differences between human auditory event-related potentials (AERP) measured at 2 and 4 months after birth. *International Journal of Psychophysiology, 97*(1), 75–83.
- VAN DEN HEUVEL, M. P., & SPORNS, O. (2013). Network hubs in the human brain. *Trends in Cognitive Sciences, 17*(12), 683–696.
- VAN DINTHER, R., & PATTERSON, R. D. (2006). The perception of size in musical instruments. *Journal of the Acoustical Society of America, 120*, 2158–2176.
- VESTERGAARD, M. D., HÁDEN, G. P., SHYROV, Y., PATTERSON, R. D., PULVERMÜLLER, F., DENHAM, S. L., SZILLER, I., & WINKLER, I. (2009). Auditory size-deviant detection in adults and newborn infants. *Biological Psychology, 82*, 169–175.
- VIRTALA, P., HUOTILAINEN, M., PARTANEN, E., FELLMAN, V., & TERVANIEMI, M. (2013). Newborn infants' auditory system is sensitive to Western music chord categories. *Frontiers in Psychology, 4*, 492.
- VOULOUMANOS, A., & WERKER, J. F. (2004). Tuned to the signal: the privileged status of speech for young infants. *Developmental Science, 7*(3), 270–276.
- WEBER, C., HAHNE, A., FRIEDRICH, M., & FRIEDERICI, A. D. (2004). Discrimination of word stress in early infant perception: electrophysiological evidence. *Cognitive Brain Research, 18*, 149–161.
- WERKER, J. F., & MCLEOD, P. J. (1989). Infant preference for both male and female infant-directed talk: A developmental study of attentional and affective responsiveness. *Canadian Journal of Psychology, 43*, 230–246.
- WERNER, L. A. (1995). Observer-based approaches to human infant psychoacoustics. In G. M. KLUMP, R. J. DOOLING, R. R. FAY, & W. C. STEBBINS (Eds.), *Methods in Comparative Psychoacoustics* (135–146). Boston: Birkhäuser.
- WERNER, L. A. (1997). Forward masking among infant and adult listeners. *Journal of the Acoustical Society of America, 105*(4), 2445–2453.

- WERNER, L. A. (2007). Human auditory development. In R. HOY, P. DALLOS, & D. OERTEL (Eds.), *The Senses: A Comprehensive Reference, Volume 3 – Audition* (871–894). St. Louis: Elsevier.
- WERNER, L. A., FOLSOM, R. C., & MANCL, L. R. (1994). The relation between auditory brainstem response latencies and behavioral thresholds in normal hearing infants and adults. *Hearing Research*, *77*, 88–98.
- WERNER, L. A., & GILLENWATER, J. M. (1990). Pure-tone sensitivity of 2- to 5-week-old infants. *Infant Behavior and Development*, *13*, 355–375.
- WERNER, L. A., MAREAN, G. C., HALPIN, C. F., SPETNER, N. B., & GILLENWATER, J. M. (1992). Infant auditory temporal acuity: Gap detection. *Child Development*, *63*, 260–272.
- WILLIAMS, L., & GOLENSKI, J. (1978). Infant speech sound discrimination: The effects of contingent versus noncontingent stimulus presentation. *Child Development*, *49*, 213–217.
- WINKLER, I. (2007). Interpreting the mismatch negativity. *Journal of Psychophysiology*, *21*(3–4), 147–163.
- WINKLER, I., & CZIGLER, I. (2012). Evidence from auditory and visual event-related potential (ERP) studies of deviance detection (MMN and vMMN) linking predictive coding theories and perceptual object representations. *International Journal of Psychophysiology*, *83*(2), 132–143.
- WINKLER, I., CZIGLER, I., SUSSMAN, E., HORVÁTH, J., & BALÁZS, L. (2005). Preattentive binding of auditory and visual stimulus features. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *17*(2), 320–339.
- WINKLER, I., DENHAM, S., MILL, R., BÖHM, T. M., & BENDIXEN, A. (2012). Multistability in auditory stream segregation: A predictive coding view. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *367*, 1001–1012.
- WINKLER, I., DENHAM, S. L., & NELKEN, I. (2009). Modeling the auditory scene: predictive regularity representations and perceptual objects. *Trends in Cognitive Sciences*, *13*(12), 532–540.
- WINKLER, I., HÁDEN, G. P., LADINIG, O., SZILLER, I., & HONING, H. (2009). Newborn infants detect the beat in music. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, *106*(7), 2468–2471.
- WINKLER, I., KUSHNERENKO, E., HORVÁTH, J., ČEAPONIENĖ, R., FELLMAN, V., HUOTILAINEN, M., NÄÄTÄNEN, R., & SUSSMAN, E. (2003). Newborn infants can organize the auditory world. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, *100*(20), 11812–11815.
- WINKLER, I., & SCHRÖGER, E. (2015). Auditory perceptual objects as generative models: Setting the stage for communication by sound. *Brain and Language*, *148*, 1–22.
- WINKLER, I., TERVANIEMI, M., & NÄÄTÄNEN, R. (1997). Two separate codes for missing fundamental pitch in the auditory cortex. *Journal of the Acoustical Society of America*, *102*, 1072–1082.
- YABE, H., TERVANIEMI, M., SINKKONEN, J., HUOTILAINEN, M., ILMONIEMI, R. J., & NÄÄTÄNEN, R. (1998). The temporal window of integration of auditory information in the human brain. *Psychophysiology*, *35*, 615–619.
- ZENTNER, M. R., & KAGAN, J. (1998). Infants' perception of consonance and dissonance in music. *Infant Behavior & Development*, *21*, 483–492.

COMPLEX FIRST, SIMPLE LATER:
HIGHER-ORDER AUDITORY CAPABILITIES IN PREVERBAL INFANTS

WINKLER, ISTVÁN

The perceptual resolution of basic auditory features is much lower in young infants than in adults. However, regarding higher-order auditory capabilities, infants perform qualitatively similarly to adults. Infants are competent perceivers of sound. They form auditory object representations and are able to extract complex regularities from sound sequences. Basing on the review of the pattern of auditory capabilities shown by young infants we argue that these capabilities subserve communication by sound. Specifically, the auditory capabilities of young infants appear to underlie the buildup and maintenance of dialogues. Social communication is highly important for human development, because it allows us to absorb a large amount of knowledge early in life. The auditory system is able to support learning through social communication right from birth.

Key words: *auditory perception, infants, communication, dialogue, natural pedagogy*