

## УТИЦАЈ АУДИТИВНЕ ДЕПРИВАЦИЈЕ НА МОРФОЛОШКУ СТРУКТУРУ МОЖДАНИХ ОБЛАСТИ УКЉУЧЕНИХ У АУДИТИВНУ ФУНКЦИЈУ

*Јелена Живановић*

Аудио БМ, Нови Сад – Смедерево

Циљ овог рада јесте да се, ревијалним прегледом литературе и критичком анализом резултата приказаних у извојеним студијама, систематизују сазнања о ефектима аудитивне депривације код конгенитално глувих особа на морфолошку структуру можданих области укључених у аудитивну функцију. Као резултат свеобухватне претраге прикуљено је и прегледано укупно 18 истраживања од којих је 7 истраживања испунило критеријуме укључивања, односно да је за циљ имало процену морфолошке структуре можданих области укључених у аудитивну функцију, а за циљну групу особе конгениталним оштећењем слуха. Пажљивом анализом резултата нису откривени подаци који говоре у прилог атрофији можданих области укључених у аудитивну функцију, али је већина истраживања репрезентовала хиполазију беле масе у области шемјоралних режњева леве мождане хемисфере. Морфолошка хемисферна асиметрија на нивоу аудитивне кортекса конгенитално глувих особа очувана је у одсуству аудивтивне инхибиције. Мада су уочене структуралне промене доста суштинске, кортикална организација на нивоу аудитивних области, као и њена неурофизиологија, могу имати значајне клиничке импликације. Резултати приказаних студија указују на могућност постојања критичног периода за формирање веза на нивоу његових центара шемјоралног режња леве мождане хемисфере. Тешкоће са којима се суочавају неки пацијенти код којих је касније извршена кохлеарна имплантација могу бити резултат хиполазије на нивоу тих његова. Увођење нових неуроимитивних метода може нам пружити одговоре на многа питања, стога је неопходно вршити даља истраживања у овој области како би се на темељу нових сазнања створила свеобухватнија слика о последицама аудитивне депривације.

*КЉУЧНЕ РЕЧИ:* глувоћа, аудиџивни кортекс, мождана структура, морфометрија.

## УВОД

Студије са конгенитално глувим особама дају јединствену могућност за истраживање потенцијалних промена у неуралној организацији и структури насталих као прослеђивања сензорне депривације. Истраживања спроведена над животињама су показала да конгенитална глувоћа доводи до дегенеративних промена централног слушног пута (Saada, Niparko & Ryugo, 1996). Дегенерација централног аудитивног система, настала као последица тешког оштећена слуха, регистрована је и код људи. Мооре и сарадници су на узорку од седам глувих одраслих особа открили дегенеративне промене централног аудитивног система у виду редукције ћелија кохлеарног једра (Moore, Niparko, Miller, Parazzo & Linthicum, 1997). Међутим, остаје нејасно да ли аудитивна депривација од рођења доводи до дегенерације на нивоу аудитивног кортекса, било код животиња или код људи.

Нешто скорија студија са конгенитално глувим мачкама открила је микроструктуралне промене дендрита примарног аудитивног кортекса (Wurth, Heid, Kral & Klinke, 1999), као и промене електрофизиолошке функције (Klinke, Kral, Heid, Tillein & Hartmann, 1999; Kral, Hartmann, Tillein, Heid & Klinke, 2000). Студије спроведене са конгенитално глувим особама имплантираним кохлеарним имплантом указују на очуван потенцијал аудитивне кортикалне функције, али такође и сугеришу да се тај потенцијал смањује са старашћу и дужином трајања глувоће (Ponton, Moore & Eggermont, 1999). Бројне неуроимидинг студије показују аудитивну кортикалну активност код глувих особа приликом употребе знаковног језика и обраде других комплексних визуелних стимулуса (Finney, Fine & Dobkins, 2001; Petitto, Zatorre, Gauna, Nikelski, Dostie & Evans, 2000). Али упркос великом интересу за неурални пластицитет као и за развој кохлеарне имплантације, није било истраживања која су се бавила могућим структуралним променама аудитивног кортекса које се можда налазе у основи регистрованих функционалних промена.

Познато је да професионални музичари, који се од раног детињства баве музиком имају значајно већу запремину сиве мождане масе у области примарног аудитивног кортекса у односу на особе које се не баве музиком (Schneider, Scherg, Dosch, Specht, Gutschalk & Rupp, 2002). Ако такве структуралне варијације условљава природа аудитивног искуства код музичара, оправдано је претпоставити да комплетан недостатак ау-

дитивног инпута током раног развоја може довести до значајних анатомских разлика у оквиру примарног и асоцијативног кортекса код глувих особа у односу на особе уредног стања слуха.

Такође, позната је чињеница да људски аудитивни кортекс карактерише међухемисферна асиметрија како у погледу укупне морфологије, тако и у погледу ћелијске организације. Таква међухемисферна асиметрија, у корист леве мождане хемисфере, регистрована је када је у питању запремина како примарног аудитивног кортекса, тако и асоцијативног аудитивног кортекса (Penhune, Zatorre, MacDonald & Evans, 1996). Претпоставља се да је таква асиметрија тесно повезана са аудитивно језичким процесирањем, али остаје нејасно да ли је та веза генетски детерминисана или се развија као под утицајем аудитивног језичког искуства. Одговор на ово питање може се са сигурношћу добити управо утврђивањем да ли таква асиметрија постоји код конгенитално глувих особа које не поседују аудитивно језичко искуство.

Коначно, бављење овом темом може нам пружити значајне податке о неуралном пластицитету и реорганизацији на нивоу аудитивног кортекса. Разумевање структуралних промена код конгенитално глувих особа може нам много открити о току и ограничењима такве реорганизације.

## МЕТОДОЛОГИЈА

### *Циљ рада*

Циљ овог рада јесте да се, ревијалним прегледом литературе и критичком анализом резултата приказаних у издвојеним студијама, систематизују сазнања о ефектима аудитивне депривације код конгенитално глувих особа на морфолошку структуру можданих области укључених у аудитивну функцију.

## МЕТОД

Претраживање је вршено преко претраживача Google Scholar – Advanced Scholar Search. Као основна кључна реч коришћен је термин „деафнесс“ који је претрагом комбинован са следећим кључним речима: аудитору кортекс, браин структуре, морпхометру. Даље претраживање је вршено и према познатим ауторима, а употребљаване су и референце из радова који су пронађени и издвојени за потребе овог истраживања на основу претходне претраге. Увид у доступну литературу

извршен је даљим прегледом различитих електронских база података доступних преко Конзорцијума библиотека Србије за обједињену набавку (KoBSON). Као резултат свеобухватног претраживања прикупљено је и прегледано укупно 18 истраживања од којих је 7 истраживања испунило критеријуме укључивања, односно да је за циљ имало процену морфолошке структуре можданих области укључених у аудитивну функцију, а за циљну групу особе конгениталним оштећењем слуха. Претраживањем су обухваћена истраживања која су објављена у протеклих десет година.

## РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

### *Преглед истраживања*

*Penhune и сарадници (2003)* су спровели истраживање у коме су користећи магнетну резонанцу (МРИ) испитивали структуралну организацију два аудитивна кортикална региона, Хешлове вијуге (ХВ) и планума темпорале (ПТ), код глувих и чујућих испитаника. Аутори су покушали да дају одговор на три кључна питања. Прво питање се односило на утицај аудитивне депривације на структуру аудитивног кортекса. Друго питање се бавило утицајем аудитивне депривације на хемисферну асиметрију. И коначно, ауторе је интересовала могућност реорганизације на нивоу аудитивног кортекса. Узорак истраживања је чинило 12 десноруких глувих испитаника (седам мушког и шест женског пола) просечног узраста 29 година, и 10 испитаника уредног стања слуха (пет мушког и пет женског пола) просечног узраста 32 године. Сви испитаници са оштећењем слуха су били конгенитално глуви на оба уха, без остатака слуха и без неуролошких дефицита. Глуви испитаници су користили Амерички знаковни језик као матерњи језик и имали су најмање завршену средњу школу. За утврђивање запремине беле и сиве мождане масе на нивоу испитиваних зона аудитивног кортекса коришћена је техника МРИ скенирања. Резултати мерења на нивоу Хешлове вијуге (ХВ) показали су очуваност беле и сиве кортикалне масе код глувих особа, поредећи њихове резултате са испитаницима уредног стања слуха. Предвиђена међухемисферна асиметрија  $L > D$  у запремини ХВ утврђена је код обе групе испитаника, без разлика у индексу асиметрије нити за белу, нити за сиву масу, нити за укупну запремину. Код обе групе су бела и сива маса имале већу запремину на нивоу леве мождане хемисфере, при чему је мождана асиметрија била израженија за белу него са сиву масу. Мерења запремине *planuma temporale* (PT),

такође, су показала комплетну очуваност кортикалне запремине у групи испитаника са оштећењем слуха у поређењу са чујућим испитаницима. Међухемисферна асиметрија у корист леве хемисфере утврђена је код обе групе испитаника, али у мери која је статистички значајна само у групи испитаника са уредним стањем слуха. Узимајући у обзир чињеницу да се ради о глувим особама лишеним слушних импута од рођења, налази ове студије су били потпуно изненађујући с обзиром да су показали потпуну очуваност кортикалне запремине испитиваних делова аудитивног котркса. Мерења запремине беле и сиве масе, као и локализације и обима испитиваних региона аудитивног кортекса, показала су комплетно преклапање између две групе испитаника. Поред постојања разлике на нивоу аудитивног кортекса, није утврђена разлика ни на нивоу фронталних нити паријеталних региона повезаних са језичком функцијом, осим веће густине сиве масе на нивоу моторног кортекса глувих испитаника. Очувану морфолошку асиметрију аудитивног кортекса у одсуству аудитивне стимулације аутори објашњавају снажним генетским утицајем без нужне потребе за аудитивним језичким искуством. Коначно, они закључују да одсуство очекиване кортикалне атрофије на нивоу аудитивног кортекса, као и очуваност бруто анатомске структуре у групи испитаника са оштећењем слуха, указују на очуван нервни супстрат који ипак може бити значајно измењен у погледу функционалности.

Истраживање запремене аудитивног кортекса конгенитално глувих особа био је циљ и студије које су спровели *Emmorey и сарадници (2003)*. Студија је дизајнирана са циљем утврђивања утицаја слушног искуства на величину и структуру аудитивних можданих области, као и на постојање хемисферне асиметрије. Аутори су покушали да утврде да ли конгенитално оштећење слуха доводи до редукције запремине или морфолошких промена оних можданих области које су одговорне за аудитивно процесирање. Последице аудитивне депривације посебно су проучаване на нивоу сиве и беле масе примарног аудитивног кортекса – Хешлове вијуге (ХВ), аудитивног асоцијативног котркса (ПТ), односно на нивоу горње темпоралне вијуге као целине. Узорак истраживања је чинило 25 конгенитално глувих испитаника (14 женског и 11 мушког пола) просечног узраста 23.8 година и 25 испитаника са уредним стањем слуха, исте полне структуре, и просечног узраста 28.5 година. Сви испитаници су били здрави, без историје неуролошких или психијатријских болести. У групи особа са оштећењем слуха 21 испитаник је имао дубоко оштећење слуха (> 90 дБ на бољем уху), троје испитаника је имало тешко оштећење слуха (>75 дБ на бољем уху) док је један испитаник имао

умерено тешко оштећење слуха (>55 дБ на бољем уху). Сви испитаници са оштећењем слуха су били конгенитално глуви, од глувих родитеља, и користили су Амерички знаковни језик као први и примарни језик. Као основна метода истраживања коришћена је магнетна резонанца (МРИ), док је приликом статистичке обраде резултата коришћен т-тест независних узорака и једнофакторска АНОВА. Резултати истраживања су показали да се испитаници са оштећењем слуха и испитаници са уредним стањем слуха не разликују у погледу укупне запремине, нити запремине сиве масе на нивоу примарног аудитивног кортекса. Такви налази сугеришу да аудитивна депривација не доводи до губитка ћелија на нивоу примарног аудитивног кортекса. Глуви испитаници су, међутим, имали значајно другачији однос сиве и беле масе на нивоу примарног аудитивног кортекса, у смислу значајне редукције беле масе како на нивоу левог тако и на нивоу десног примарног аудитивног кортекса, у односу на испитанике са уредним стањем слуха. Такав однос сиве и беле масе детектован је на нивоу читаве горње темпоралне вијуге, али не и на нивоу темпоралног режња као целине. Дакле, добијени резултати указују на чињеницу да аудитивна депривација, присутна од рођења, доводи до редукције мијелинизације и влакана који иду према или од аудитивног кортекса. Таква редукција беле масе није праћена редукцијом сиве масе аудитивног кортекса. И коначно, већа мождана запремина на нивоу примарног и асоцијативног аудитивног кортекса леве хемисфере, измерена код обе групе испитаника, говори у прилог томе да хемисферна асиметрија на нивоу аудитивних области није узрокована искуством у аудитивном процесирању.

*Кара и сарадници (2006)* су спровели истраживање са циљем морфометријског поређења на нивоу цорпус целосума глувих особа и особа са уредним стањем слуха, употребом методе магнетне резонанце (MRI). *Corpus calosum* представља једну од комисура великог мозга састављену од снопова нервних влакана који повезују одговарајућа кортикална подручја леве и десне мождане хемисфере. Аудитивни кортекси леве и десне хемисфере су међусобно повезани влакнима која пролазе кроз цорпус целосум. Код потпуно глувих особа аудитивни импулси се не спроводе у аудитивни кортекс, због чега аудитивни путеви постају нефункционални. С обзиром да бројне студије указују на постојање међумодалне реорганизације на нивоу аудитивног, визуелног и соматосензорног кортекса, циљ спроведеног истраживања је био да направи поређење морфометријских карактеристика *corpus calosuma* код чујућих испитаника и испитаника код којих је аудитивна депривација наступила пре навршене друге године живота. Осамнаест глувих испитаника и



исто толико испитаника са уредним стањем, старости од 28 до 56 година слуха, уједначених према полу и доминантној употреби руке, чинили су узорак овог истраживања. Аутори нису утврдили статистички значајну разлику између глувих и испитаника са уредним стањем слуха. Одуство значајних морфометријских разлика на нивоу цорпус целосума код испитаника са оштећењем слуха може бити протумачено као доказ функционалног кортикалног пластицитета.

Познато је да губитак једног од главних сензорних улаза, рано у животу, изазива физиолошке промене на ћелијском нивоу, као и промене у неуронским везама, међутим, последице које такав један губитак оставља на нивоу укупне анатомске структуре мозга, много су мање познате. Циљ студије коју је спровео *Shibata (2007)* био је поређење структуралне запремине мозга глувих и чујућих испитаника, употребом нове неуроимицинг морфометријске технике – *Voxel-based morphometry (VBM)*. Истраживање је спроведено како би се открило да ли говорна и аудитивна депривација, рано током живота, доводе до неког облика атрофије или хипоплазије слушних и говорних центара. Аутора је, такође, интересовало да ли на анатомску хемисферну латерализацију утиче рано слушно или говорно искуство. Полазна хипотеза истраживања је била да ће глуви испитаници имати хипоплазију као и мањи степен латерализације темпоралних региона повезанх са слухом и говором. Узорак истраживања је чинило 53 прелингвално глувих студената (34 мушког и 19 женског пола), просечне старости 21 годину, и 51 испитаника са уредним стањем слуха (31 мушког и 20 женског пола) просечне старости 25 година. Основни критеријум за глуве испитанике било је дубоко оштећење слуха дијагностиковано у првих шест месеци живота, коришћење Америчког знаковног језика, као и одсуство удружених неуролошких болести. Применом магнетрне резонанце (МРИ) добијене тродимензионалне слике испитаника са оштећењем слуха и испитаника уредног стања слуха, анализирани су употребом *Voxel-based morphometry (VBM)*. Иницијална сегментација је најпре просторно нормализована, након чега су параметри деформације примењени на оригиналне слике, које су затим поново сегментирани. Статистичким параметријским мапирањем су потом утврђиване разлике између група испитаника. Резултати студије су открили статистички значајан фокални дефицит беле масе на нивоу задњег дела горње темпоралне вијуге леве мождане хемисфере у узорку испитаника са оштећењем слуха. Извесни дефицити беле масе, непосредно испод нивоа статистичке значајности, уочени су и на нивоу медијалног дела леве хемисфере малог мозга. Чињеница да је абнормалност уочена само на нивоу леве хемисфере, а не и десне,

у складу је са хипотезом према којој су дефицити беле масе повезани са говорном а не са општом аудитивном функцијом. Када је у питању сива маса, нису утврђене разлике између две групе испитаника. Хемисферна асиметрија на нивоу темпоралних кортикалних региона, присутна код испитаника са конгениталном глувоћом, још једном доказује да слушно и говорно искуство нису пресудни за њен развој. Аутор на крају закључује да да рана глувоћа изазива промене у анатомској структури мозга. Дефицити беле масе на нивоу задњих делова горње темпоралне вијуге леве хемисфере репрезентују хипоплазију слушно – говорних путева. За разлику од тога, хемисферна асиметрија остаје нетакнута.

**Leporé и сарадници (2010)** године су применом нове морфометријске технике *Tensor-based morphometry (TBM)* покушали да утврде структуралне мождане промене које аудитивна депривација изазива код глувих особа. Узорак истраживања је чинило 14 прелингвално и конгенитално глувих особа, који користе знаковни језик, и 16 особа уредног стања слуха, уједначених према полу и узрасту. Аутори су, у узорку глувих испитаника, открили повећање запремине беле масе неколико области фронталног режња, укључујући инфериорне, медијалне и супериорне области фронталног режња, као и области око прецентралне и субцентралне вијуге. Запремина беле масе у пределу интрапаријеталног режња, такође је била већа код глувих него код испитаника уредног стања слуха. Коначно, у оквиру темпоралних режњева запремина беле масе која окружује примарно аудитивно подручје, била је значајно повећана у обе хемисфере у узорку глувих испитаника. Међутим, такође је регистровано и релативно смањење запремине беле масе у области примарног аудитивног кортекса и горње темпоралне вијуге, мада не значајно, у узорку глувих испитаника. Брокина зона је била већа код глувих, као и визуелни кортекс и церебеллум. Поредићи резултате глувих испитаника и испитаника са уредним стењем слуха, аутори су још регистровали повећање постериорног дела цорпус целосума који повезује аудитивне и визуелне области хемисфера, у узорку испитаника са оштећењем слуха.

У литератури постоји много података који говоре у прилог постојању међумодалних неуропластичних променама које се јављају као последица аудитивне депривације код особа са тешким сензоринеуралним оштећењем слуха. Међутим, у претходним студијама постоји врло мало података о структуралним анатомским променама, и ни један податак који говори у прилог значајним разликама на нивоу сиве мождане масе, код глувих особа. Полазећи од претпоставке да би се такве суптилне структуралне разлике могле детектовати специфичнијим и сензитивнијим техникама, **Li и сарадници (2012)** су спровели истраживање



у коме су користили анализу кортикалне дебљине и *Voxel-based* морфометрију (ВБМ). У истраживању је учествовало 16 деце и адолесцената са дубоким сензоринеуаралним оштећењем слуха и исто толико испитаника са уредним стањем слуха. АНЦОВА анализа открила је статистички значајно смањење просечне кортикалне дебљине целог мозга глувих испитаника. Дебљина мождане коре глувих испитаника посебно је била снижена у области левог прецентралног гируса, десног постцентралног гируса, левог горњег окципиталног гируса и дела између окципитотемпоралног и парахипокампадног гируса. ВБМ је открила статистички значајну фокалну редукцију запремине беле мождане масе у пределу левог средњег фронталног гируса и десног доњег окципиталног гируса код глувих испитаника, без статистички значајне разлукe и у запремини сиве масе. Такви налази указују на чињеницу да се структуралне промене мозга код глувих особа дешавају не само на нивоу беле масе, већ и на нивоу сиве мождане масе.

У сличној студији, иста група аутора *Ли и сарадници (2013)* открила је деснострану хемисферну асиметрију ( $L < D$ ) сиве мождане масе у пределу церебелума, као и левострану хемисферну асиметрију у погледу дебљине кортекса ( $L > D$ ) на нивоу постериорног цингуларног гируса и гирус рецтуса, у узорку испитаника са оштећењем слуха. Већа деснострана асиметрија у погледу дебљине мождане коре утврђена је у области прецунеуса, средње и горње фронталне вијуге као и средње окципиталне вијуге. Оно што је занимљиво јесте да сада ови аутори нису открили разлике у погледу структуре на нивоу аудитивног кортекса између две групе испитаника.

### ЗАКЉУЧНА РАЗМАТРАЊА

Суочен са неуролошким оштећењем или хроничним недостатком инпута из неког чула људски мозак поседује невероватну способност модификације како у погледу морфологије тако и у погледу функције, што се и показује у случају прелингвалне или конгениталне глувоће. Тренутно интересовање за што ранијом кохлеарном имплантацијом у циљу ефикаснијег усвајања говорног језика, наметнуло је и потребу за што бољим разумевањем ефеката ране глувоће на мождани развој. То се посебно односи на промене на нивоу кортикалне функције, од којих успех кохлеарне имплантације у највећој мери и зависи.

За разлику од великог броја студија које су се бавиле испитивањем мождане функције глувих особа употребом техника позитронске емисионе томографије, функционалне магнетне резонанце или магнето-

енцефалографије, релативно мали број студија се бавио могућим анатомским и структуралним абнормалностима. У овом раду приказано је седам студија дизајнираних управо са циљем утврђивање ефеката које аудитивна депривација оставља на структуру оних делова мозга који су укључени у аудитивну функцију.

Пажљивом анализом резултата истраживања нису откривени подаци који говоре у прилог атрофији слушних или говорних центара. Док налази неких истраживања указују на потпуну очуваност запремине беле и сиве мождане масе на нивоу аудитивног кортекса (Penhune et al. 2003; Li et al. 2013), као и беле масе на нивоу corpus calosuma (Kara et al. 2006), код конгенитално глувих особа, налази других истраживања дају другачије резултате. Те студије откривају хипоплазију беле мождане масе на нивоу примарног аудитивног кортекса и горње темпоралне вијуге (Emmorey et al. 2003; Shibata, 2007; Leporé et al. 2010), као и хиперплазију беле масе у области фронталног и интрапаријеталног режња, Брокине зоне, визуелног кортекса, церебелума и постериорног дела корпус целосума (Leporé et al. 2010). Налази који откривају фокалну хипоплазију беле масе присутну на нивоу горње темпоралне вијуге леве хемисфере потврђују претпоставке према којима рано слушно и говорно искуство утичу на развој специфичних путевих повезаних са говорном функцијом. Укљученост префронталног кортекса у визуомоторне и перцептивне функције као и у радну меморију, као и укљученост интрапаријеталног сулкуса у процесе перцептуалне моторне координације и визуелне пажње, објашњавају хиперплазију на нивоу ових области. С друге стране, повећање постериорног дела корпус целосума, за који се зна да повезује аудитивне и визуелне области леве и десне хемисфере, резултат је повећане мијелинизације која вероватно одражава повећану потребу за трансфером визуелних информација. Супротно томе, постоје резултати који показују хипоплазију беле масе на нивоу средње фронталне вијуге леве хемисфере и доње окципиталне вијуге десне хемисфере (Li et al. 2012). И док аутори показују релативно неслагање у погледу запремине беле масе, очуваност сиве масе аудитивног кортекса код конгенитално глувих особа се не доводи у питање (Penhune et al. 2003; Emmorey et al. 2003; Shibata, 2007; Leporé et al. 2010; Li et al. 2012; Li et al. 2013). Пенхуне и сарадници (2003), чак, откривају повећану густину сиве мождане масе на нивоу моторних области леве хемисфере што вероватно, узимајући у обзир да су сви испитаници били десноруки, представља резултат константних финих моторних покрета десне руке приликом употребе знаковног језика. Чињеница да церебеллум, посебно његова десна хемисфера, игра значајну улогу у процесима фонолошког

процесирања након аудитивне депривације (Aparicio et al. 2007) објашњава његову хиперплазију (Leporé et al. 2010), односно асиметрију у погледу запремине сиве масе (Li et al. 2013).

Морфолошка асиметрија на нивоу аудитивног кортекса очувана је у одсуству аудитивног инпута (Penhune et al. 2003; Emmorey et al. 2003; Shibata, 2007; Leporé et al. 2010; Li et al. 2012; Li et al. 2013) сугеришући снажну генетску компоненту у њеном развоју и одржавању. Такви налази су у складу са асиметријом аудитивног асоцијативног кортекса регистрованом у мозгу фетуса (Witelson & Pallie, 1973), као и са цитоархитектонским студијама које указују на то да аудитивни кортекс сазрева током првих шест месеци живота уз мали утицај аудитивног инпута (Moore, 2002). На основу тога се закључује да аудитивно језичко искуство није неопходно за развој или одржавање аудитивне кортикалне асиметрије, мада то не негира чињеницу да допринос слуха и осталих видова језичког искуства утиче на развој потенцијалне функционалне асиметрије.

Мада су ове структуралне промене доста суптилне, кортикална организација на нивоу аудитивних области, као и њена неурофизиологија, могу имати значајне клиничке импликације. Приликом планирања кохлеарне импланације треба, свакако, узети у обзир могућност измењености кортикалне организације, посебно у областима које су одговорне за језичку функцију. И поред интензивне рехабилитације, након уградње кохлеарног импланта, неке особе и даље имају проблем са адекватним разумевањем говора. Резултати приказаних студија, управо, сугеришу могућност постојања критичног периода за формирање веза на нивоу говорних центара темпоралног режња леве мождане хемисфере. Тешкоће са којима се суочавају неки пацијенти код којих је касније извршена кохлеарна имплантација могу бити резултат хипоплазије на нивоу тих путева. Увођење нових неуроимицинг метода може нам пружити одговоре на многа питања, стога је неопходно вршити даља истраживања у овој области како би се на темељу нових сазнања створила свеобухватнија слика о последицама аудитивне депривације.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Aparicio, M., Gounot, D., Demont, E., & Metz-Lutz, M. (2007). Phonological processing in relation to reading: An fMRI study in deaf readers. *Neuroimage*, 35(3), 1303-1316
2. Emmorey, K., Allen, J., Bruss, J., Schenker, N., & Damasio, H. (2003). A morphometric analysis of auditory brain regions in congenitally deaf adults. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 100(17), 10049-10054.
3. Finney, E., Fine, I., & Dobkins, K. (2001). Visual stimuli activate auditory cortex in the deaf. *Nat. Neurosci.* 4, 1171–1173.
4. Kang, E., Lee, D., Kang, H., Lee, J., Oh, S., Lee, M., & Kim, C. (2004). Neural changes associated with speech learning in deaf children following cochlear implantation. *Neuroimage*, 22(3), 1173-1181.
5. Klinke, R., Kral, A., Heid, S., Tillein, J., & Hartmann, R. (1999). Recruitment of the auditory cortex in congenitally deaf cats by long-term cochlear electrostimulation. *Science* 285, 1729–1733.
6. Kral, A., Hartmann, R., Tillein, J., Heid, S., & Klinke, R. (2000). Congenital auditory deprivation reduces synaptic activity within the auditory cortex in a layer-specific manner. *Cereb. Cortex* 10, 714–726.
7. Lee, J., Lee, D., Oh, S., Kim, C., Kim, J., Hwang, C., Koo, J., Kang, E., Chung, J., & Lee, M. (2003). PET evidence of neuroplasticity in adult auditory cortex of postlingual deafness. *J Nucl Med*, 44(9), 1435-1439.
8. Lepore, N., Vachon, P., Chou, Y., Lepore, F., Voss, P., Brun, C., Lee, A., Toga, A., & Thompson, P. (2010). 3D mapping of differences in native signing congenitally and prelingually deaf subjects. *Hum Brain Mapp*, 31(7), 970-978.
9. Li, J., Li, W., Xian, J., Li, Y., Liu, Z., Liu, S., Wang, X., Wang, Z., & He, H. (2012). Cortical thickness analysis and optimized voxel-based morphometry in children and adolescents with prelingually profound sensorineural hearing loss. *Brain Res*, 1430(9), 35-42.
10. Li, W., Li, J., Xian, J., Lv, B., Li, M., Wang, C., Li, Y., Liu, Z., Liu, S., Wang, Z., He, H., & Sabel, B. (2013). Alterations of grey matter asymmetries in adolescents with prelingual deafness: A combined VBM and cortical thickness analysis. *Restorative Neurology and Neuroscience*.
11. Moore, J., Niparko, J., Miller, M., Perazzo, L., Linthicum, F. (1997). Effect of adult-onset deafness on the human central auditory system. *Ann. Otol. Rhinol. Laryngol.* 106, 385–390.
12. Moore, J. (2002). Maturation of human auditory cortex: implications for speech perception. *Ann. Otol. Rhinol. Laryngol.* 111 (5 Pt 2), 7–10.

13. Penhune, V.B., Zatorre, R. J., MacDonald, J.D., & Evans, A.C. (1996). Interhemispheric anatomical differences in human primary auditory cortex: probabilistic mapping and volume measurement from magnetic resonancescans. *Cereb. Cortex* 6, 661–672.
14. Penhune, V., Cismaru, R., Dorsaint-Pierre, R., Petitto, L., & Zatorre, R. (2003). The morphometry of auditory cortex in the congenitally deaf measured using MRI. *Neuroimage*, 20(2), 1215-1225.
15. Petitto, L.A., Zatorre, R.J., Gauna, K., Nikelski, E.J., Dostie, D., & Evans, A.C. (2000). Speech-like cerebral activity in profoundly deaf people processing signed languages: implications for the neural basis of human language. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 97, 13961–13966.
16. Ponton, C., Moore, J., & Eggermont, J. (1999). Prolonged deafness limits auditory system developmental plasticity: evidence from an evoked potentials study in children with cochlear implants. *Scand. Audiol. Suppl.* 51, 13–22.
17. Shibata, D. (2007). Differences in brain structure in deaf personson MR imaging studied with voxel-based morphometry. *Am J Neuroradiol*, 28(2), 243-249.
18. Saada, A.A., Niparko, J.K., & Ryugo, D.K. (1996). Morphological changes in the cochlear nucleus of congenitally deaf white cats. *Brain Res.* 736:315–328.
19. Schneider, P., Scherg, M., Dosch, H., Specht, H., Gutschalk, A., & Rupp, A. (2002). Morphology of Heschl's gyrus reflects enhanced activation in the auditory cortex of musicians. *Nat. Neurosci.* 5, 688–694.
20. Wurth, N., Heid, S., Kral, A., & Klinke, R. (1999). Morphology of neurons in the primary auditory cortex (AI) i normal and congenitally deaf cats - a study of Dil labelled cells. *Göttingen Neurobiol. Rep.* 318.
21. Witelson, S., & Pallie, W. (1973). Left hemisphere specialization for language in the newborn: neuroanatomical evidence of asymmetry. *Brain* 96, 641–646.

**THE EFFECTS OF AUDITORY DEPRIVATION  
TO MORPHOLOGICAL STRUCTURE OF BRAIN AREAS  
INVOLVED IN AUDITORY FUNCTION**

JELENA ŽIVANOVIĆ

Audio BM, Novi Sad – Smederevo

**SUMMARY**

The aim of this paper is to systematize knowledge about the effects of auditory deprivation in congenitally deaf people to morphological structure of brain areas involved in auditory function, by review of available literature and critical analysis of the results shown in selected studies. As a result of the comprehensive search, a total of 18 studies were collected and examined, and 7 of them met the inclusion criteria, that is assessing the morphological structure of brain areas involved in auditory function and congenitally deaf people in the focus of research. A careful analysis of the results were not detected data in favor of atrophy of the brain areas involved in auditory function, but most studies registered hypoplasia of the white matter in the temporal lobes of the left hemisphere. Morphological hemispheric asymmetry at the level of the auditory cortex of congenitally deaf people is preserved in the absence of auditory input. Although these structural changes quite subtle cortical organization, the auditory area, and its neurophysiology, may have significant clinical implications. Results of the presented study indicate the possibility of the existence of a critical period for the establishment of links at the speech centers of the temporal lobe of the left hemisphere. The difficulties faced by some patients who later performed cochlear implantation may be the result of hypoplasia of the level of the road. The introduction of new neuroimaging methods can provide us with answers to many questions, so it is necessary to perform further research in this area in order to create new insights comprehensive picture of the effects of auditory deprivation.

**KEYWORDS:** deafness, auditory cortex, brain structure, morphometry.