

Robertas BUDRYS

# Tonų hierarchijos muzikos psichologijos tyrinėjimuose

## *Studies of Tonal Hierarchies in Music Psychology*

### Anotacija

Tonų hierarchija – įvairiose muzikinėse kultūrose plačiai paplitęs dermių struktūrinis principas. Šis principas pasireiškia tuo, kad kai kurie tonai dermėje turi išskirtinę reikšmę (pavyzdžiui, tonika). Straipsnyje tonų hierarchijos aptariamos iš kognityvinės muzikos psichologijos pozicijų, pirmiausia remiantis klasikiniiais Carol L. Krumhansl ir jos kolegų darbais. Apžvelgiami pagal bandomojo tono ir kitas metodologijas parengti psichologiniai eksperimentai, skirti kiekybiniam tonų hierarchijų įvertinimui. Nagrinėjami veiksniai, formuojantys kognityvinę tonų hierarchijų schemą, kuri dalyvauja suvokiant dermę. Taip pat supažindinama su paprasčiausiais algoritmais, galinčiais ne tik imituoti tonų hierarchijų suvokimą, bet ir automatizuotai nustatyti muzikos kūrinio tonaciją.

**Reikšminiai žodžiai:** tonų hierarchija, bandomojo tono metodas, dermė, tonacija, dermės kontūras, kognityviniai atskaitos taškai, psichologinis eksperimentas.

### Abstract

The hierarchy of tones is one of the most pervasive structural principles of musical scales found in various cultures. This principal manifests through some scale degrees being more prominent than others (e. g. the tonic). In this paper, tonal hierarchies are discussed from the viewpoint of cognitive music psychology; the discussion is based primarily on the work of Carol L. Krumhansl and her associates. The psychological experiments based on probe tone and other techniques and intended for quantitative assessment of tonal hierarchies are reviewed. Factors which shape the cognitive scheme of tonal hierarchies are examined; this schema assists in the perception of musical scales. The simplest algorithms which simulate the perception of tonal hierarchies and automatically estimate the key of the piece of music as well are introduced.

**Keywords:** tonal hierarchy, probe tone technique, musical scale, key, key profile, cognitive reference points, psychological experiment.

### Ižanga

Iki XX a. aštunto dešimtmečio antros pusės Vakarų muzikologijoje buvo gyvybinga psichoakustinė tradicija, siejama su senovės graikų filosofinėmis idėjomis. Ši tradicija muzikos struktūras – darnas, intervalus, akordus, tonacijas ir kt. – stengėsi paaiškinti remdamasi sudėtinio tono struktūra (natūraliuoju garsaeiliu) ir su tuo susijusiu garsų dažnių santykio paprastumu (Krumhansl, Cuddy, 2010, p. 52–53). Tačiau vis gausėjo įrodymų, verčiančių abejoti natūraliojo garsaeilio ir elementarių dažnių santykių lemiamą įtaką muzikos sistemų formavimuisi. Tik sudėtiniai tonai, turintys harmoninius obertonus, galbūt daro įtaką harmoninių intervalų (kuriuose abu garsai skamba vienlaikiškai) susidarymui (konsonansiškiausiai skambantys intervalai išties sudaryti iš elementarių dažnių santykių), o grynųjų tonų intervalai tolygiai keičia savo kokybę nuo disonanso iki konsonanso didėjant dažnių santykiui, taigi nėra suvaržyti psichoakustinių dėsningumų (Plomp, Levelt, 1965, p. 556). Taip pat dažnių santykių įtaka nebuvo pastebėta melodinių intervalų (kuriuose abu garsai skamba paeiliui) susidarymui (Balzano, 1977; pagal Krumhansl, Shepard, 1979, p. 582). Reikia nepamiršti, kad čia aptariami „idealūs“ dažnių santykiai yra įmanomi tik natūraliojoje darnoje, o Vakarų muzikoje jau nuo XIX a. pradžios vyrauja tolygiai

temperuota darna<sup>1</sup> (Ambrazevičius, 2007), taigi ir šios muzikos klausytojai praktiškai nėra girdėję natūralių intervalų, akordų ir pan. Juo labiau už vakarietiškosios muzikos kultūros ribų aptinkama ir visai kitokių intervalų, darnų bei neharmoninių tonų (žr. Ambrazevičius, 2008a) – šie faktai teikia kontraargumentų psichoakustinei muzikos sistemų prigimčiai (nors ir visiškai nepaneigia jos<sup>2</sup>).

Šie ir daugybė kitų įrodymų kartu su XX a. šeštame dešimtmetyje iškilusia kognityvine psichologija gerokai pagyvino alternatyvią muzikologinių (ir etnomuzikologinių) tyrimų sritį – kognityvinę muzikos psichologiją (muzikos suvokimo psichologiją; Cross, 2001). Atsirado susidomėjimas psichologiniais mechanizmais, grindžiančiais muzikos garsų suvokimą. Dauguma tyrimų buvo orientuoti į garso aukščio suvokimo modelių, galinčių paaiškinti įvairius klausytojų (atlikėjų) gebėjimus klausantis skirtingos muzikinės medžiagos (ją atliekant) skirtingose situacijose, kūrimą ir empirinį testavimą<sup>3</sup> (Cross, 1997, p. 329). Šiame kontekste ir prasidėjo pirmieji tonų hierarchijų tyrinėjimai, kuriuos iniciavo Rodgeris N. Shepardas ir Carol L. Krumhansl (Shepard, 1982), o pastaroji kartu su kolegomis juos išplėtojo ir apibendrino žinomoje studijoje (Krumhansl, 1990a).

Straipsnyje apžvelgsime kai kuriuos tonų hierarchijų tyrimus – psichologinius eksperimentus ir teorinius modelius. Nors „šviežios“ literatūros tonų hierarchijų tema yra

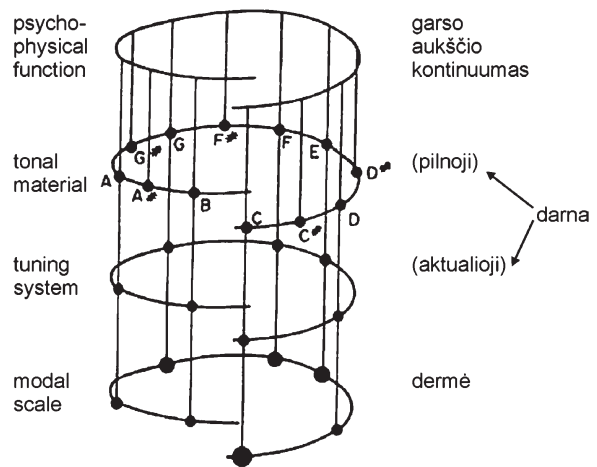
gana daug, diduma straipsnyje minimų tyrimų atlikta XX a. devintame dešimtmetyje – kaip tik tuo metu atrasti įvairūs būdai tirti šį reiškinį ir pasiūlyti pagrindiniai suvokimo mechanizmai. Tyrimai suskirstyti į tris kategorijas. Į pirmąją pateko psichologiniai eksperimentai, demonstruojantys tonų hierarchijų reiškinio egzistavimą, į antrąją – tyrimai, paaiškinantys tonų hierarchijų formavimąsi žmogaus suvokime, į trečiąją – algoritmai, imituojuantys tonų hierarchijų veikimą klausantis muzikos.

### Tonų hierarchijų samprata

Vienas labiausiai paplitusių dermių struktūrinių principų, aptinkamų įvairiose muzikinėse kultūrose įvairiais istoriniais laikotarpiais, yra tonų hierarchija (Krumhansl, Cuddy, 2010, p. 51). Šis principas pasireiškia tuo, kad kai kurie tonai kitų atžvilgiu yra dažniau kartojami, ilgiau tęsiami, pabrėžiami ritmiškai ir dinamiškai bei pasirodo struktūriškai svarbiuose muzikos kūrinio taškuose (kadencijose, frazių pabaigose ir pan.). Tačiau skirtingų muzikos stilių ir kultūrų tonų hierarchijose pastebima ir skirtumų, susijusių su garsaileio intervalika ir hierarchiniais tonų lygmenimis. Pavyzdžiui, gerai visiems pažįstamoje tonaliojoje vakarietiškoje muzikoje vyrauja mažoro ir minoro dermės, kurių konstrukciniai intervalai yra tonas ir pustonis, o dermėje garsai diferencijuojami į toniką, kitus pastoviuosius ir nepastoviuosius laipsnius bei chromatinčius (dermei nepriklausančius) garsus. Lietuvių tradicinėje muzikoje (ypač vienbalsiame dainavime) aptinkami kiek kitokie nei vakarietiškieji intervalai, zoninio intonavimo, ekvintonikos, atlikimo taisyklių ir kitais principais grįstos dermės (Ambrazevičius, 2008a; Ambrazevičius, Wiśniewska, 2008), toninės atramos įvairuoja tarp skirtingų dermės laipsnių (Četkauskaitė, 1998), o tonų hierarchijoje chromatinių garsų lygmuo paprastai neegzistuoja (Ambrazevičius, 2006; 2008a; 2008b; 2009).

Muzikos psichologai tonų hierarchiją apibūdina kaip dermės tonų (garso aukščio klasių) organizaciją, kurioje skirtingi tonai yra nevienodai stabilūs. Psichologiniu požiūriu kiekvienas tonas skirtingai reprezentuoja dermę (pavyzdžiui, toniką klausytojai suvokia kaip tipiškiausią dermės garsą, IV laipsnį – kaip mažiau tipišką), o šis reprezentatyvumo laipsnis ir atitinka psichologinį tono stabilumą (Cross, 1997, p. 335).

Tonų hierarchija yra ne vienintelis dermių konstravimo ir suvokimo principas, tad į šį fenomeną reikia žvelgti kitų suvokimo reiškiniių kontekste. W. Jay'us Dowlingas (1982; taip pat žr. Dowling, Harwood, 1986, p. 113–114) pasiūlė paprastą, bet tinkantį įvairioms muzikinėms kultūroms dermės suvokimo modelį, sudarytą iš keturių garso aukščio analizės lygmenų (1 pvz.). Kiekviename paskesniame analizės lygmenyje (1 pvz., iš viršaus į apačią) iš garsų aibės atrenkamas tam tikras jų poaibis arba jiems suteikiama



1 pvz. Muzikinės dermės suvokimo modelis (originali iliustracija iš Dowling, Harwood, 1986, p. 114). Lygmenų pavadinimai pagal Dowling (1982) ir Ambrazevičių (2008a, p. 44)

tam tikra funkcija. Pirmajame lygmenyje tolydžiai kintantiems garso dažniams priskiriami tolydžiai kintantys garso aukščiai. Antrajame lygmenyje garso aukščio kontinuumas diskretizuojamas į kategorijas, vartojamas konkrečioje muzikinėje kultūroje, t. y. šis lygmuo apibrėžia mažiausio intervalo, esančio tarp gretimų muzikinės kultūros garsų, dydį (Vakarų kultūroje toks intervalas yra pustonis). Trečiajame lygmenyje iš aukščio kategorijų (pilnosios darnos) atrenkamas garsų poaibis (aktualioji darna), vartojamas tam tikroje melodijų visumoje (tonaliojoje muzikoje tai atitinka diatoninį garsaileį). Ketvirtajame lygmenyje darnos (garsaileio) garsams suteikiama skirtinga reikšmė ir tam tikri funkciniai ryšiai, t. y. nustatoma dermės tonų hierarchija, atsiskleidžianti konkrečios melodijos ar muzikinės medžiagos garsų vartosenoje<sup>4</sup>. Dowlingo dermės modelį, taigi ir tonų hierarchijas, paaiškina tokie bendrieji ir specifiniai muzikiniai suvokimo reiškiniai kaip psichofizinis (Weberio-Fechnerio) dėsnis (dažnio logaritmvavimas), kategorizavimas (aukščio diskretizavimas), oktavos tapatumas, Millerio skaičius  $7 \pm 2$  (Miller, 1956), optimalus intervalinis žingsnis ir kognityviniai atskaitos taškai. Šie reiškiniai yra plačiai aprašyti muzikos psichologijos literatūroje<sup>5</sup>, tad straipsnyje jų neaptarsime.

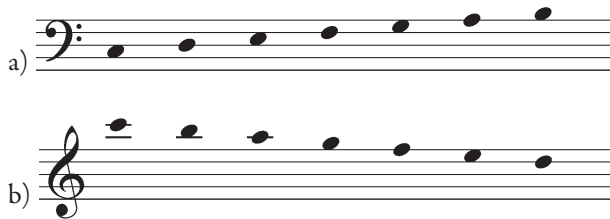
### Tonų hierarchijų eksperimentiniai įrodymai

#### Klasikinis bandomojo tono metodas

Pirmą kartą metodą, skirtą tonų hierarchijoms įvertinti, aprašė Krumhansl ir Shepardas (1979). Jis pavadintas bandomojo tono (angl. *probe tone*) metodu. Pastebėta, kad, nuskambėjus neišbaigta gamai, atsiranda stiprus tono, turinčio ją užbaigti, lūkestis. Pavyzdžiui, C-dur gamai, kuriai trūksta paskutinio garso, geriausiai tinkanti pabaiga yra šios

gamos tonika – garsas *C*. Taip pat pastebėta, kad geriausiai gamą užbaigiantis tonas yra suvokiamas kaip tinkamiausias, nesvarbu, ar jis skamba toje pačioje oktavoje kaip gama, ar kitoje. Kiti garsai gamą užbaigia prasčiau, o šis „geresnis“ ar „prastesnis“ gamos užbaigtumo pojūtis atitinka muzikinę baigiamąjį toną ir neišbaigtos gamos „pasufleruotos“ tonikos ryšį (Krumhansl, 1990a, p. 21). Remiantis šiais pastebėjimais, sukurta metodika dviem labai panašioms eksperimentams.

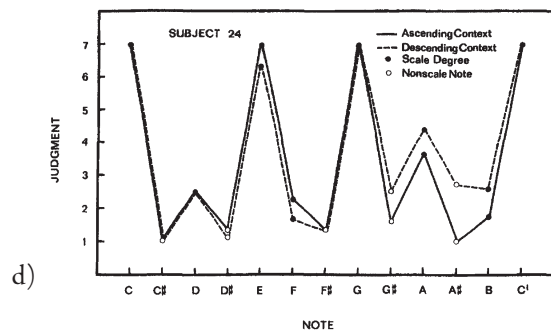
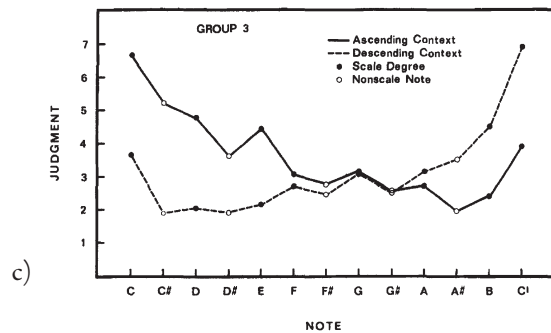
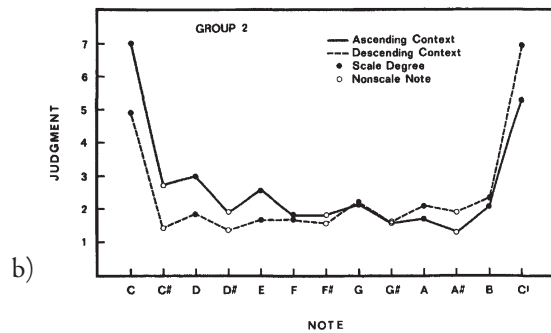
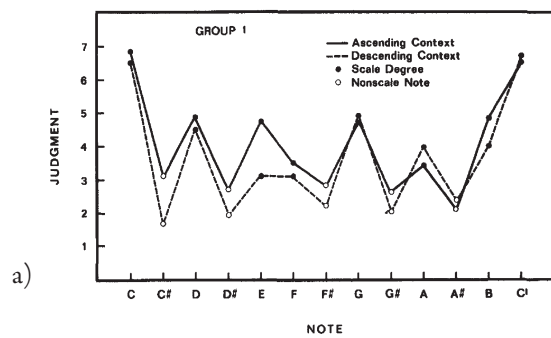
24 pirmojo eksperimento dalyviai turėjo įvertinti, kaip gerai kiekvienas iš 13 chromatinio garsaeilio tonų – nuo  $c^1$  iki  $c^2$  – užbaigia kylančią arba besileidžiančią *C*-dur gamą (2 pvz.). Klausytojai, kaskart nuskambėjus gamai, vertino ją užbaigiantį bandomąjį toną septynbalėje skalėje, kurioje 1 reiškė, kad tonas gamą užbaigia labai blogai, o 7 – kad labai gerai. Visi garsai buvo išgaunami elektrinių vargonų tembru, artimu gryniesiems tonams. Abu gamos variantai su kiekvienu iš 13 bandomųjų tonų (iš viso 26 pavyzdžiai), išdėstyti atsitiktine tvarka, sudarė eksperimento pavyzdžių rinkinį. Kiekvienas eksperimento dalyvis turėjo įvertinti kelių skirtingų rinkinių bandomuosius tonus. Dalyviai apklausos anketose taip pat turėjo nurodyti muzikinę savo patirtį ir ar jie turi absoliučią klausą (Krumhansl, Shepard, 1979, p. 584).



2 pvz. Kylanti (a) ir besileidžianti (b) neišbaigta *C*-dur gama iš pirmojo „bandomojo tono“ eksperimento (pagal Krumhansl, Shepard, 1979, p. 583)

Kiekvieno dalyvio suvidurkinti rezultatai atspindi pavienio subjekto suvoktą tonų hierarchiją, sužadintą tam tikro muzikinio konteksto. Pavyzdžiui, 24 subjektas, turintis absoliučią klausą ir už kitus dalyvius gerokai didesnę muzikinę patirtį, bandomuosius tonus  $c^1$ ,  $e^1$ ,  $g^1$  ir  $c^2$  įvertino 6–7 balais, o *C*-dur gamai nepriklausantiems chromatiniais tonams davė tik 1–2 balus (žr. 3d pvz.). Pagal panašumą 22 dalyvių rezultatai buvo suskirstyti į tris grupes, 2 dalyvių (vienas jų – 24 subjektas) rezultatų nepavyko priskirti nė vienai grupei. Skirstymas į grupes buvo objektyviai patikrintas (ir įrodytas) statistiniais metodais, o tolimesnė rezultatų analizė parodė, kad šis skirstymas daugiausia sutampa su dalyvių muzikine patirtimi (žr. 3a–d pvz.; Krumhansl, Shepard, 1979, p. 584–585).

Grupių rezultatų skirtumai išryškino tris muzikos suvokimui būdingus principus. Pirmasis – artumo principas – ryškiausias III grupėje: kuo bandomieji tonai arčiau neišbaigtos gamos paskutinio garso, tuo jie geriau vertinami.



3 pvz. Pirmojo „bandomojo tono“ eksperimento rezultatai: tiriamosios grupės subjektų suvidurkinti kiekvieno bandomojo tono įverčiai. Ištinė linija jungia bandomojo tono įverčius kylančios gamos kontekstui, punktyrinė linija – besileidžiančios gamos kontekstui. Pilnaviduriai taškai žymi į *C*-dur gamą įeinančius diatoninius garsus, tuščiaviduriai – neįeinančius chromatinis garsus.

- a) I grupės, turinčios didžiausią muzikinę patirtį, rezultatai;
- b) II grupės, turinčios vidutinę muzikinę patirtį, rezultatai;
- c) III grupės, turinčios mažiausią muzikinę patirtį, rezultatai;
- d) 24 subjekto, turinčio absoliučią klausą ir itin didelę muzikinę patirtį, rezultatai (originalios iliustracijos iš Krumhansl, Shepard, 1979, p. 586–587)

Antrasis – oktavos tapatumo principas – aptinkamas visose grupėse (III grupėje šis principas konkuruoja su artumo principu): garsai  $c^1$  ir  $c^2$ , atitinkantys dermės toniką, nesvarbu, koks jų atstumas iki neišbaigtos gamos paskutinio garso, vertinami kaip geriausiai tinkantys skambėjusiam kontekstui. Trečiasis – hierarchizavimo (kognityvinių atskaitos taškų) principas – geriausiai matomas I grupėje: ryškiausiai suvokiamas I dermės laipsnis ( $c^1$  ir  $c^2$ ), tada – kiti dermės laipsniai ir galiausiai – dermei nepriklausantys (chromatiniai) garsai (Krumhansl, 1990a, p. 24). Šis principas dar akivaizdesnis vertinant 24 subjekto rezultatus: tarp kitų dermės laipsnių diferencijuojamas ne tik I, bet ir III bei V laipsniai, kurie su I laipsniu sudaro tonikos akordą (Krumhansl, Shepard, 1979, p. 587).

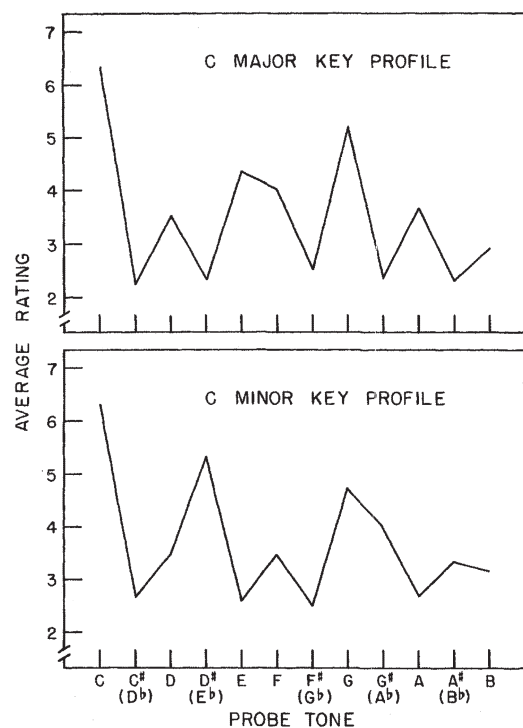
Antrasis eksperimentas nuo pirmojo skyrėsi tuo, kad visi garsai buvo grynieji tonai, sugeneruoti kompiuteriu. Taip pat šiame eksperimente kaip bandomieji tonai buvo įtraukti ir ketvirtatoniniai (Krumhansl, Shepard, 1979, p. 588–589). Rezultatų analizė parodė, kad tembro pakeitimas neturėjo įtakos vertinimams – išryškėjo tos pačios tendencijos. Taip pat ketvirtatoniniai nebuvo įvertinti prasčiau nei chromatiniai tonai – nepastebėtas dar žemesnis tonų hierarchijos lygmuo.

Krumhansl ir Edwardas J. Kessleris (Krumhansl, Kessler, 1982) atliko dar vieną eksperimentą, kuriame remtasi patobulinta bandomojo tono metodika. Šio eksperimento rezultatai – standartizuoti dermių kontūrai (angl. *standardized key profiles*), t. y. tonų hierarchijos mažoro ir minoro dermėse išreikštos 12 skaičių vektoriais – tapo etaloniniais duomenimis vėlesniems Krumhansl grupės ir kitų mokslininkų tyrinėjimams.

Pirmasis patobulinimas buvo kontekstų, galinčių sužadinti konkrečios tonacijos pojūtį, įvairovė: tai išbaigtos gamos, tonikos akordai ir trijų akordų kadencijos (S–D–T, VI–D–T, II–D–T). Šie kontekstai skambėjo įvairiose mažorinėse ir minorinėse tonacijose. Antruoju patobulinimu siekta sumažinti garsų artumo principą, kuris ankstesnėje studijoje padarė didelę įtaką muzikaliai nepatyrusių klausytojų rezultatams. Visiems eksperimento kontekstams ir bandomiesiems tonams buvo naudojami Shepardo tonai<sup>6</sup>, kurie, skambėdami vienodai garsiai visose oktavose, stokoja konkretaus aukštumo kokybės. Trečiasis patobulinimas buvo reikalavimas, kad visi dalyviai turėtų kuo didesnę muzikos atlikimo praktiką, bet nebūtų intensyviai mokęsi muzikos teorijos. Tuo siekta išvengti nemuzikinių vertinimo strategijų ir taip pat sumažinti teorinių žinių įtaką rezultatams. Paskutinis patobulinimas buvo užduoties klausytojams reformulavimas. Ankstesnėje studijoje dalyviai turėjo vertinti, kaip gerai bandomasis tonas *užbaigia* kontekstą, o šiame eksperimente jie vertino, kaip gerai bandomasis tonas *tinka* prie konteksto (Krumhansl, 1990a, p. 25–27).

Eksperimente dalyvavo 10 dalyvių. Išskyrus minėtus pakeitimus, visa kita vyko panašiai kaip ir ankstesniuose eksperimentuose. Lyginant gautus duomenis pastebėta,

kad, skambant tiems patiems pavyzdžiams, ir kiekvieno klausytojo asmeniniai įverčiai, ir skirtingų klausytojų įverčiai buvo panašūs. Tie patys įverčių dėsningumai – atskirai mažoriniams ir minoriniams kontekstams – aptikti, nesvarbu, koks buvo toninis centras ar konteksto turinys. Vis dėlto gamos konteksto rezultatai skyrėsi šiek tiek daugiau nuo kitų rezultatų (nors ir menkai), todėl jie nebuvo naudojami apibendrinant tolesnius rezultatus. Iš likusių – tonikos akordo ir kadencijų – kontekstų įverčių, transponuotų nuo bendros tonikos C ir suvidurkintų kiekvienam bandomajam tonui, buvo suformuoti standartizuotieji mažoro ir minoro dermių kontūrai (4 pvz.). Kontūruose atsiskleidžia dermių tonų hierarchinė struktūra: didžiausią įvertį gavo I laipsnis (tonika), šiek tiek mažesnius – III ir V (pastovieji laipsniai), dar mažesnius – II, IV, VI ir VII (nepastovieji laipsniai) ir mažiausius – dermei nepriklausantys (chromatiniai) garsai. Minoro dermėje III laipsnis įvertintas aukščiau nei V (priešingai nei mažoro dermėje), tikėtina, dėl to, kad šis laipsnis sutampa su lygiagretaus mažoro tonika (Krumhansl, 1990a, p. 27–30; Krumhansl, Cuddy, 2010, p. 56).



4 pvz. Standartizuoti mažoro (viršuje) ir minoro (apačioje) dermių kontūrai. Bandomųjų tonų įverčiai transponuoti nuo bendros tonikos C ir suvidurkinti (originali iliustracija iš Krumhansl, Kessler, 1982, p. 343)

Šio eksperimento rezultatai atskleidė kelias įžvalgas. Pirmą, mažoro dermės kontūras ir ankstesnių eksperimentų rezultatai (bent jau muzikaliai patyrusių klausytojų) daugmaž sutapo, o tai rodo, kad įvairūs eksperimentų metodikos pakeitimai nedaro didelės įtakos tonų hierarchijų reiškinio esmei. Antra, vis dėlto metodikos patobulinimai

(ypač gausnis duomenų kiekis ir didesnė muzikinė dalyvių patirtis) leido gauti detalesnius ir labiau diferencijuotus bandomųjų tonų įverčius, tad ir ši metodika, ir rezultatai gali būti pavyzdys bei atskaitos taškas kitiems panašaus pobūdžio tyrinėjimams. Trečia, dermių kontūrai (kiekybiniai vertinimai) puikiai atitinka Vakarų muzikos teoriją apie dermes ir tonacijas (kokybinius vertinimus) – tai dar vienas tonų hierarchijų reiškinį patvirtinantis įrodymas.

#### *Tonų hierarchijos ir atmintis*

Remiantis bandomojo tono metodika ir jos variacijomis, tyrinėtas dermių, harmonijos ir moduliacijų suvokimas (žr. Krumhansl, 1990a; Cuddy, Badertscher, 1987; Cuddy, 1991). Taip pat atlikta ir tokių tyrimų, kuriuose, siekiant iširti kitus muzikos suvokimo reiškinys, aptinkama įrodymų ir apie tonų hierarchijų egzistavimą. Šiuose tyrinėjimuose taikomos kitokios nei bandomojo tono metodikos, tačiau atskleisti faktai rodo, kad tonų hierarchijų reiškinys nėra vien tik bandomojo tono metodo padarinys.

Dviejose studijose Lolos L. Cuddy grupė (Cuddy, Cohen, Miller, 1979; Cuddy, Cohen, Mewhort, 1981) tyrė, kaip įvairūs veiksniai daro įtaką trumpų melodijų atpažinimui. Dviejų eksperimentų (Cuddy, Cohen, Mewhort, 1981, p. 873–876, 878–880) klausytojai turėjo įvertinti, kaip gerai įvairios melodijos atitinka tonaciškumo ir struktūros išbaigtumo kriterijų (šešiabalėje skalėje, kurioje 1 reiškė visišką neatitikimą, o 6 – puikų atitikimą). Prototipinė melodija (5 pvz.), atitinkanti ryškiausią tonaciškumą ir geriausią struktūros išbaigtumą, buvo sukonstruota remiantis šiais principais: diatoniškumu, T–D–T implikuojama harmonija, vedamojo tono ir tonikos (VII–I) kadencija, tonikos buvimu melodijos pradžioje ir pabaigoje, kuo paprastesniu melodijos kontūru (arkos formos). Kitos melodijos buvo sukonstruotos daugiau ar mažiau pažeidžiant vieną ar kelis šių principų. Eksperimentų rezultatai patvirtino išankstinius spėjimus: prototipinė melodija buvo įvertinta aukščiausiai, visos kitos – žemesniais balais, kurie daugmaž sutapo su minėtų principų pažeidimų kiekiu ir laipsniu (Cuddy, Cohen, Mewhort, 1981, p. 881).



5 pvz. Prototipinė melodija, naudota Cuddy grupės eksperimentuose (pagal Cuddy, Cohen, Mewhort, 1981, p. 874)

Kituose dviejuose eksperimentuose<sup>7</sup> (Cuddy, Cohen, Miller, 1979, p. 150–154; Cuddy, Cohen, Mewhort, 1981, p. 876–878), kaip ir ankstesniuose, naudotos pagal tonaciškumo ir struktūros išbaigtumo principus pažeistos melodijos. Jos galėjo būti transponuotos arba į dominantės, arba į tritonio santykio tonaciją. Nuskambėjus originaliai melodijai, klausytojai išgirdavo du vienodai transponuotus

jos variantus ir turėdavo nurodyti, kuris jų – pirmasis ar antrasis – neteisingai atkartoja originalą. Klaida buvo įvedama vieną melodijos toną paaukštinus arba pažeminus pustonių. Be to, ši klaida buvo arba diatoninė (t. y. panaudojamas kitas tonacijos garsas), arba chromatinė (panaudojamas tonacijai nepriklausantis garsas). Abiejų eksperimentų rezultatai parodė tas pačias tendencijas. Klausytojai mažiausiai klydo atpažindami melodijas, kuriose nepažeisti arba tik šiek tiek pažeisti tonaciškumo ir geros struktūros principai. Sunkiausiai sekėsi atpažinti klaidas melodijose, turinčiose daug chromatinių garsų. Klausytojai chromatines klaidas atpažino geriau, bet šis efektas pastebėtas tik gana diatoniškose melodijose. Šiek tiek mažiau dalyviai klydo, kai melodijos buvo transponuotos į dominantės tonaciją (muzikiniu požiūriu artimesnė tonacija), tačiau vėlgi šis efektas matomas tik gana diatoniškose melodijose, kai kuriais kitais atvejais lengviau buvo atpažįstamos į tritonio santykio tonaciją transponuotos melodijos.

Aprašytų Cuddy grupės eksperimentų rezultatus galima iš dalies paaiškinti tonų hierarchijų reiškiniumi. Žemai tonų hierarchijoje vertinami (nestabilūs) tonai yra sunkiau įsimenami (Krumhansl, 1979, p. 366–367). Jei dominuoja nepastovieji laipsniai ar juo labiau chromatiniai garsai, tokia melodija prasčiau įsimenama, o klaidos joje sunkiau atpažįstamos. Tonų hierarchijoje aukštai vertinami tonai yra suvokiami kaip panašesni vienas į kitą (Krumhansl, 1979, p. 358–359). Dėl to į melodijas įveltos chromatinės klaidos lengviau atpažįstamos, o į dominantės tonaciją transponuota melodija suvokiama kaip panašesnė į originalą lyginant su tritonio santykio transpozicija (originali tonacija su dominantės tonacija turi 6 bendrus diatoninius garsus, o su tritonio santykio tonacija – tik 1).

#### *Tonų hierarchijos ir frazių struktūra*

Caroline Palmer ir Krumhansl dviejuose studijose (Palmer, Krumhansl, 1987a; 1987b) atliko seriją eksperimentų, kuriais siekė išsiaiškinti ritmo ir garso aukščio struktūrų reikšmę suvokiant frazes. Pritaikytos dvi panašios eksperimentų metodikos. Pagal pirmąją metodiką eksperimento pavyzdžiai buvo sukurti iš trumpas dviejų frazių melodijos. Generuojant pavyzdžius buvo trumpinamas melodijos ilgis taip, kad kiekvienas pavyzdys baigtųsi skirtingoje antrosios frazės vietoje. Kiekvienas pavyzdys turėjo tris formas: melodija su išsaugotais garso aukščiais, bet pašalinta ritmo struktūra (lygių verčių melodija), melodija su išsaugotu ritmu, bet pašalinta garso aukščio struktūra (vienodo aukščio melodija) ir originali melodija (sudaryta iš abiejų struktūrų). Klausytojai turėjo įvertinti (septynbalėje skalėje, kurioje 1 reiškia prastą, o 7 – puikų įvertį), ar gerai ir ar išbaigta paskutinis garsas užbaigia pavyzdį. Antroji metodika skyrėsi tuo, kad melodija buvo ne trumpinama, o perstumiamos viena kitos atžvilgiu ritmo ir garso aukščio struktūros (6 pvz.). Vertinimo užduotis buvo tokia pati kaip ir pirmojoje metodikoje.



6 pvz. Originali J. S. Bacho fugos Nr. 20 a-moll (iš „Gerai temperuoto klavyro“ I tomo) tema (a) ir jos variantas su perstumta garso aukščio struktūra (b). T žymi ritmo struktūros pradžią, P – garso aukščio struktūros pradžią (pagal Palmer, Krumhansl, 1987a, p. 122)

Kiekvieno melodijos garso suvidurkinti įverčiai rodo, ar gerai tas garsas atskirose struktūrose arba originalioje melodijoje tinka frazės pabaigai. Tarp kitų analizių buvo lyginami originalios melodijos ir garso aukščio struktūros įverčiai su standartizuotais dermių kontūrais (Krumhansl, Kessler, 1982). Paaiškėjo, kad dauguma atvejų lyginamieji dydžiai gana gerai (ir statistiškai reikšmingai) koreliuoja, t. y. kuo tonų hierarchijoje tonas stabilesnis, tuo geriau jis tinka frazei užbaigti.

#### *Tonų hierarchijos ir reakcijos laikas*

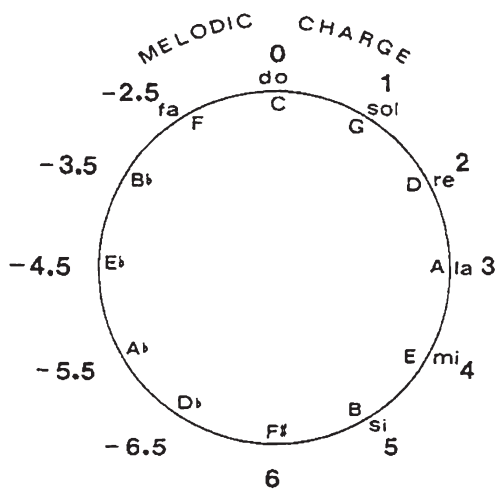
Petras Janata ir Danielis Reisbergas (Janata, Reisberg, 1988) pritaikė reakcijos laiko įvertinimo metodiką tonų hierarchijų tyrimui. Panašiai kaip ir Krumhansl eksperimentuose, po kiekvieno konteksto – kylančios mažorinės gamos arba mažorinio akordo (harmoninio sąskambio) – klausytojai išgirdavo vieną iš dvylikos bandomųjų tonų. Tačiau eksperimento dalyviai turėjo atlikti ne vertinimo, o pasirinkimo užduotį – nurodyti, priklauso ar nepriklauso nuskambėjęs tonas konteksto sužadintai tonacijai, po kiekvieno pavyzdžio kuo greičiau paspausdami vieną iš dviejų mygtukų. Metodas grindžiamas prielaida, kad stabilesni konteksto tonacijos tonai yra greičiau ir tiksliau atpažįstami. Rezultatai iš dalies patvirtino šią prielaidą – reakcijos laikas buvo trumpiausias atpažįstant pastoviuosius dermės laipsnius (ypač I ir V), bet ryškios diferenciacijos tarp chromatiniams garsams ir kitiems dermės laipsniams atpažinti sugaišto laiko nepastebėta. Rezultatai priklausė ir nuo konteksto rūšies – reakcijos laikas gamos tipo kontekstui buvo veikiamas naujumo efekto.

Bretas Aardenas (Aarden, 2003; pagal Huron, 2006, p. 50–51, 147–153) savo tyrimams pritaikė labai panašų metodą. Pirmojo eksperimento klausytojai, nuolat skambant melodijai, turėjo nurodyti melodijos kontūro kryptį (pakilo, nusileido ar liko vietoje), po kiekvieno garso kuo greičiau paspausdami vieną iš trijų mygtukų. Antrojo eksperimento klausytojai turėjo nurodyti tik paskutinio kiekvienos frazės garso kryptį. Be klausytojų atsakymų buvo registruojamas ir reakcijos laikas nuo išgirsto garso pradžios

iki mygtuko paspaudimo. Metodas grindžiamas prielaida, kad jei melodijos kontūras juda tikėtina linkme ar į tikėtiną toną, tai palengvina melodijos suvokimą ir pagreitina reakcijos laiką. Ir atvirkščiai, jei melodija pasuka netikėtą linkme ar į netikėtą toną, tai lemia ilgesnį reakcijos laiką. Atlikus duomenų analizę ir atsižvelgus į kitų veiksnių įtaką paaiškėjo, kad reakcijos laikas yra atvirkščiai proporcingas garsų stabilumui tonų hierarchijoje, t. y. klausytojai labiau tikisi melodijoje išgirsti stabiliuosius dermės garsus. Be to, antrojo eksperimento rezultatai labai gerai sutapo su standartizuotais dermių kontūrais (Krumhansl, Kessler, 1982; Huron, 2006, p. 153).

#### *Tonų hierarchijos ir muzikos atlikimas*

Švedijos karališkojo technikos instituto (šved. *Kungliga Tekniska Högskolan*) mokslininkų grupė jau kelis dešimtmečius tiria muzikos atlikimą. Jie sukūrė atlikimo taisyklių (angl. *performance rules*) sistemą (Friberg, Bresin, Sundberg, 2006), kuri modeliuoja principus, naudojamus muzikantų atlikimo metu. Taisyklės apima frazavimą, tempo ir dinamikos nuokrypius, akcentus, artikuliaciją ir kitus atlikimo aspektus. Iš pradžių hipotetinės taisyklės pritaikomos skirtingiems muzikos pavyzdžiams. Klausytojai vertina taisyklių poveikį (atlikimo „gyvumą“), ir, atsižvelgus į vertinimus, taisyklės yra modifikuojamos. Šis procesas kartojamas kelis kartus. Papildomai, kuriant ir tikrinant taisykles, naudojami tikro atlikimo duomenys (pavyzdžiui, akustiniai matavimai ar atlikėjo judesių analizė). Viena taisyklių – melodinio krūvio (angl. *melodic charge*) taisyklė – pabrėžia tuos melodijos garsus (t. y. jie atliekami ilgiau ir garsiau), kurie kvintų rato atžvilgiu yra nutolę nuo vyraujančios harmonijos pagrindinio tono: šių garsų trukmė ir stiprumas didinami pagal atitinkamas melodinio krūvio skaitines vertes (žr. 7 pvz.). Pasirodo, šie skaičiai ir standartizuotas mažoro kontūras (Krumhansl, Kessler, 1982) gerai tarpusavyje koreliuoja (Sundberg, 1997, p. 24–25), t. y. melodinio krūvio vertės, grįstos kvintų rato teoriniu modeliu ir empiriniais stebėjimais, atitinka psichologinius duomenis.



7 pvz. Melodijos garsų ryškumas (melodinis krūvis) atsižvelgiant į tai, kiek garsai yra nutolę nuo vyraujančios harmonijos pagrindinio tono; šiuo atveju pagrindinis tonas yra C (originali iliustracija iš Sundberg, 1997, p. 22)

### Tonų hierarchijas formuojantys veiksniai

#### Kognityviniai atskaitos taškai

Ankstesniame skyriuje aprašyti eksperimentai patvirtino tonų hierarchijų egzistavimo įrodymus, pasireiškiančius per įvairias žmogaus veiklas: tonų hierarchijos turi įtakos muzikos suvokimo greičiui, įsiminimui ir atlikimo niuansams, nuo jų iš dalies priklauso muzikos struktūra (pavyzdžiui, frazių baigiamieji garsai). Tačiau šie įrodymai negali paaiškinti mentalinės reiškinio pusės – kas lemia tokios kognityvinės schemos<sup>8</sup> susiformavimą?

Krumhansl ir Cuddy (2010, p. 53) išskiria du pagrindinius psichologinius principus, lemiančius tonų hierarchijų reiškinį. Pirmasis – kognityviniai atskaitos taškai (angl. *cognitive reference points*; Rosch, 1975) – susijęs su žmogaus atminties struktūra ir būtinybe kategorizuoti išorės dirgiklius. Kognityvinė ekonomija reguliuoja kategorizavimą, tausodama ribotus atminties išteklius ir tuo pat metu pateikdama organizmui kuo daugiau informacijos apie jį supančią aplinką (Rosch, 1978/2002, p. 252–253). Dėl to kategorijų sistemoje kai kurie pavyzdžiai yra laikomi tipiškais arba „geresniais“ nei kiti, t. y. tos pačios kategorijos nariai (arba kategorijos, priklausančios tam pačiam rinkiniui) yra lyginami su prototipu<sup>9</sup> (Rosch, 1978/2002, p. 259; Eysenck, Keane, 2000, p. 317–318). Kiti kategorijos nariai (kitos kategorijos) yra koduojami, įsimenami ir verbalizuojami prototipo, vadinamojo kognityvinio atskaitos taško, atžvilgiu (Rosch, 1975). Tarp atskaitos taškų ir neprototipinių kategorijų egzistuoja asimetrinis ryšys – psichologinis atstumas yra mažesnis (sąvokos atrodo panašesnės), jeigu neprototipinė kategorija prilyginama prototipinei<sup>10</sup> (Tversky, 1977; Tversky, Gati, 1978). Įvairūs tyrimai parodė, kad

kognityvinius atskaitos taškus atitinkančios kategorijos yra greičiausiai apdorojamos ir stabiliausiai įsimenamos (Krumhansl, Cuddy, 2010, p. 53).

Kognityvinių atskaitos taškų principas matomas ir muzikos praktikoje, ir teorijoje. Chromatinį garsaielių sudaro 12 garsų (aukščio klasių), bet tonacijai nepriklausantys garsai yra koduojami kaip 7 diatoninių garsų paauskštinti ir pažeminti variantai (pavyzdžiui, *Des* ir *Dis* kaip *D* variantai). Tarp diatoninių garsų, be jau minėtos pastoviųjų ir nepastoviųjų laipsnių diferenciacijos, yra ir tam tikra subordinacija – atskiri nepastovieji laipsniai sprendžiami į atitinkamus pastoviuosius, bet ne atvirkščiai. Panašūs hierarchiniai ir asimetriniai ryšiai egzistuoja ir tarp akordų bei tonacijų. Muzika nuo kitų patirties sričių skiriasi tuo, kad čia kognityviniai atskaitos taškai (pavyzdžiui, tonika) priklauso nuo konteksto (tonacijos) ir nėra susiję su absoliučiu garso aukščiu (išimtį sudaro kai kurie absoliučios klausos atvejai; Miyazaki, 1989). Todėl atskaitos taškai muzikoje turi ypatingą reikšmę: dėl jų muzika yra suvokiama, įsimenama, suprantama ir atgaminama (Krumhansl, Cuddy, 2010, p. 53).

Jamshedas Bharucha ir Krumhansl (1983; taip pat žr. Krumhansl, 1990a, p. 140–152), apibendrindami ankstesnių tonų hierarchijų tyrimų rezultatus, išskyrė tris psichologinio atstumo tarp dviejų tonų principus, atitinkančius kognityvinių atskaitos taškų logiką. Psichologinis atstumas yra suprantamas kaip tonų tarpusavio panašumas, o pastarasis priklauso nuo tonų padėties (stabilumo) hierarchijoje. Pirmasis principas – kontekstinis tapatumas (angl. *contextual identity*) – teigia, kad psichologinis atstumas iki tono mažesnis, kai jis yra stabilesnis tonų hierarchijoje. Kitaip tariant, stabilesni tonai lengviau įsimenami ir rečiau painiojami su kitais tonais atminties užduotyse. Antrasis principas – kontekstinis atstumas (angl. *contextual distance*) – teigia, kad vidutinis suvokiamas atstumas tarp dviejų skirtingų tonų mažėja, kai jų stabilumas tonų hierarchijoje didėja. Pavyzdžiui, C-dur kontekste *E* ir *G* bus vertinami kaip psichologiškai esantys arčiau vienas kito nei *Fis* ir *A*, nors atstumas pustoniais abiejose porose yra tas pats. Trečiasis principas – kontekstinė asimetrija (angl. *contextual asymmetry*) – teigia, kad psichologinis atstumas tarp dviejų tonų kinta atsižvelgiant į jų tvarką. Kai ne tokį stabilų hierarchijoje toną seka stabilesnis, jie suvokiami kaip esantys arčiau vienas kito, palyginti su priešinga situacija.

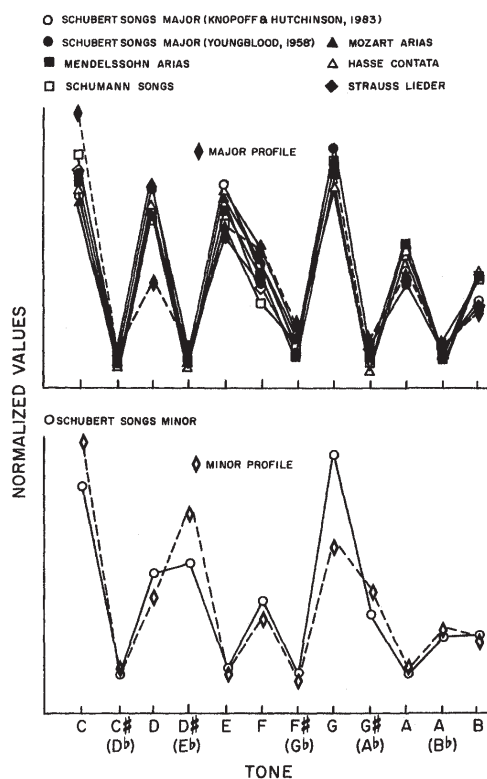
#### Jautrumas statistiniams dėsningumams

Antrasis tonų hierarchijų reiškinį lemiantis principas, anot Krumhansl ir Cuddy (2010, p. 53), yra jautrumas statistiniams dėsningumams. Ilgalaikės atminties sistemos skirstomos į eksplisitinę ir implicitinę atmintį (angl. *explicit memory*, *implicit memory*; Eysenck, Keane, 2000, p. 205–211; Snyder, 2000, p. 72–79). Eksplicitiniai atsiminimai įgyjami sąmoningai mokantis ir atgaminami tik

vidinėmis pastangomis. Implicitiniai atsiminimai formuojami nesąmoningai, per besikartojančią praktiką, taip pat ir naudojami nesąmoningai, atliekant įvairius automatinius veiksmus – atpažįstant aplinkos objektus, judinant tam tikrus raumenis ir pan. Implicitinis mokymasis laikomas esmine kognityvinės sistemos savybe, leidžiančia įsiminti labai komplikuotą informaciją, kurios eksplicitiniu būdu nebūtų įmanoma išmokti (Reber, 1989). Implicitinio mokymosi procesų tyrimai, panaudojus įvairius dirgiklius (raides, skiemenis), organizuotus pagal dirbtinės gramatikos (statistinius) dėsningumus, parodė, kad eksperimentų dalyviai, kurį laiką veikiami tokių dirgiklių, geba atskirti gramatines struktūras nuo negramatinių, bet per žodinę apklausą dažnai negali įvardyti taisyklių, grindžiančių tokią gramatiką (Altmann, Dienes, Goode, 1995; Dienes, Broadbent, Berry, 1991; Reber, 1967; 1989).

Jei klausytojai nesąmoningai išmoksta tonų hierarchijas veikiami statistinių muzikos struktūros dėsningumų, tuomet psichologinių eksperimentų duomenys turėtų koreliuoti su tam tikrais šios struktūros parametrais. Krumhansl (1985; 1990a, p. 66–76) tyrė ryšį tarp bandomojo tono įverčių (t. y. standartizuotųjų dermių kontūrų; Krumhansl, Kessler, 1982) ir tonų (garso aukščio klasių) pasiskirstymo muzikos kūriniuose. Duomenis ji lygino su ankstesnių statistinio pobūdžio tyrimų duomenimis. Josephas E. Youngbloodas (1958), Leonas Knopoffas ir Williamas Hutchinsonas (1983) suskaičiavo kiekvieno tono dažnį Schuberto, Mozarto, Hasse's, R. Strausso, Mendelssohno ir Schumanno dainų melodinėse linijose (iš viso per 20 000 tonų mažoriniuose ir beveik 5000 tonų minoriniuose kūriniuose). Mattas Hughesas (1977) apskaičiavo visų tonų (ne tik melodinėje linijoje) trukmes Schuberto pirmajame muzikiniame momente (op. 94 Nr. 1). Mažoro ir minoro kontūrai su tonų dažniais koreliavo gana gerai (ir statistiškai reikšmingai), bet pastebėta ir ryškesnių nesutapimų (Krumhansl, 1990a, p. 69; 8 pvz.). Mažoro atveju didžiausią bandomojo tono įvertį gavo I laipsnis, po jo – V, bet tonų dažniuose ši diferenciacija neatsispindi; taip pat II laipsnio dažnis beveik prilygsta pastoviųjų laipsnių dažniams, nors bandomojo tono įvertis gerokai žemesnis. Minoro atveju bandomojo tono metodu aukščiausiai įvertinti atitinkamai I, III ir V laipsniai, bet dažniausiai skambantis laipsnis yra V, po jo – I ir tik tada – III. Mažoro kontūras su Schuberto momento tonų trukmėmis sutapo beveik tobulai. Tačiau šiuo atveju psichologinio eksperimento duomenys lyginti tik su vieno kūrinio tonų pasiskirstymu. Be to, Davidas Butleris (1989, p. 224–225) kritikuoja Krumhansl už palyginimui neko- rektiškai parinktą pagrindinę kūrinio tonaciją<sup>11</sup>.

Davidas Temperley'us (2007) taip pat tyrė tonų pasiskirstymą muzikos kūriniuose. Jis pasirinko kelis skirtingus repertuarus ir kai kuriais atvejais kiek kitaip skaičiavo tonų pasiskirstymą. Tirdamas tonų hierarchijas vienbalsėse melodijose, jis skaičiavo tonų (garso aukščio klasių) dažnį



8 pvz. Standartizuotų mažoro (viršuje) ir minoro (apačioje) dermių kontūrų (punktyrinė linija) palyginimas su tonų dažniais įvairių kompozitorių kūriniuose. Visi kūriniai transponuoti nuo bendros tonikos C (originali iliustracija iš Krumhansl, 1990a, p. 68)

Eseno liaudies dainų archyvo (angl. *Essen Folksong Database*; Schaffrath, 1997) melodijose (per 6000 Europos šalių liaudies dainų; Temperley, 2007, p. 56). Tirdamas tuos pačius reiškinis daugiabalsėje muzikoje, Temperley'us rėmėsi dviem repertuarais, atspindinčiais tradicinės tonaliosios praktikos periodą (angl. *common practice period*; atitinkamai 46 ir 10 ištraukų; Temperley, 2007, p. 84–85, 91), tik šiuo atveju jis skaičiavo ne tonų dažnį, o pasirodymo tikimybę trumpuose segmentuose (atitinkančiuose kokio nors lygmens metrinį vienetą ir ne trumpesniuose nei 1 sekundė). Nepaisant skirtingų repertuarų ir skaičiavimo metodikų, statistinių duomenų ir standartizuotų dermių kontūrų (Krumhansl, Kessler, 1982) palyginimai atskleidė tas pačias tendencijas – statistiniai ir psichologiniai duomenys tarpusavyje koreliuoja gana gerai (Temperley'aus ir Krumhansl koreliacijos koeficientai beveik sutampa; plg. Krumhansl, 1990a, p. 67, ir Temperley, 2007, p. 86), bet matomi tie patys nesutapimai. Be to, pastebėta, kad minorinių liaudies dainų repertuare labiau akcentuojamas natūralus VII laipsnis (natūralus minoras), o minorinių tonaliosios praktikos kūrinių repertuare – paaukštintas VII laipsnis (harmoninis minoras; Temperley, 2007, p. 84).

Aardenas, tirdamas klausytojų reakciją į melodijos vingius (žr. skyrelį „Tonų hierarchijos ir reakcijos laikas“), dviejų



eksperimentų rezultatus lygino ne tik su standartizuotaisiais dermių kontūrais (Krumhansl, Kessler, 1982), bet ir su savo paties statistiniais skaičiavimais. Jis suskaičiavo tonų dažnius didelėje vienbalsių melodijų imtyje (daugiau kaip 65 000 natų mažorinėse melodijose ir per 25 000 minorinėse melodijose), kurioje melodijos transponuotos nuo bendros tonikos, o moduluojantys fragmentai pašalinti (Huron, 2006, p. 148–149). Tonų statistikos duomenys rodo tas pačias tendencijas kaip Youngbloodo (1958), Knopoffo ir Hutchinsono (1983) bei Temperley'aus (2007) tyrimuose, taip pat tuos pačius nesutapimus su standartizuotaisiais dermių kontūrais (Krumhansl, Kessler, 1982)<sup>12</sup>. Aardenas iškėlė mintį, kad problema slypi pačiame bandomojo tono metode: klausytojai vertina ne kaip tonas *tinka* prie konteksto, bet kaip jį *užbaigia*. Šiai hipotezei patikrinti jis suskaičiavo frazių baigiamųjų tonų dažnius tame pačiame repertuare. Kaip jau minėta, Aardeno antrajame eksperimente buvo vertinamas klausytojų reakcijos į paskutinio kiekvienos frazės garso kryptį laikas. Palyginus frazių baigiamųjų tonų statistiką, antrojo eksperimento rezultatus ir standartizuotųjų dermių kontūrus, rasta aukšta šių dydžių koreliacija, patvirtinanti Aardeno hipotezę (Aarden, 2003; pagal Huron, 2006, p. 147–153).

Minėtuose tyrimuose vertintas tik izoliuotų tonų pasiskirstymas muzikos kūrinuose. Tačiau muziką sudaro ne pavieniai garsai, o jų sekos, taip pat harmoniniai sąskambiai ir jų junginiai. Taigi tikėtina, kad klausytojai yra jautrūs ir sudėtingesnių muzikos darinių dėsningumams, o pastarieji taip pat prisideda prie tonų hierarchijų formavimosi. Krumhansl su kolegomis atliko seriją eksperimentų, kuriuose kontekstą užbaigdavo ne pavienis tonas, o tonų arba akordų pora (Krumhansl, Bharucha, Castellano, 1982; Krumhansl, Bharucha, Kessler, 1982; Bharucha, Krumhansl, 1983; Krumhansl, 1990a). Klausytojai turėjo įvertinti, ar gerai duotame kontekste antrasis tonas arba akordas tinka prie pirmojo tono arba akordo. Rezultatai palyginti su Youngbloodo (1958), Richardo C. Pinkertono (1956) ir Helen Budge (1943) duomenimis – melodinių intervalų ir harmoninių sąskambių (akordų) pasiskirstymu įvairiuose repertuaruose. Palyginimas parodė, kad psichologiniai vertinimai ir vėl gana neblogai atitiko muzikos statistiką.

#### *Sensorinis disonansas*

Be minėtų dviejų principų gali egzistuoti ir kiti psichologiniai veiksniai, formuojantys tonų hierarchijas. Krumhansl (1990a) tyrė psychoakustinę – sensorinio disonanso – įtaką šiam reiškiniui. Psychoakustinis tonų hierarchijų pagrindimas turi svarių argumentų: viena vertus, konsonansiškiausi intervalai (oktava, kvinta) yra labai reikšmingi kai kuriose muzikinėse kultūrose (pavyzdžiui, Vakarų tonaliojoje sistemoje, indų klasikinėje muzikoje), kita vertus, – natūraliuoju garsaeiliu jau nuo Pitagoro laikų stengiasi pagrįsti (nors ir ne visai sėkmingai) muzikos struktūrą (Krumhansl,

1990a, p. 51–52; Krumhansl, Cuddy, 2010, p. 52–53). Sensorinis disonansas tonų hierarchijų reiškinį galėtų paaiškinti tik daugiabalsės muzikos atveju, t. y. labiau konsonuojantys sąskambiai lemtų juos sudarančių tonų didesnę stabilumą tonų hierarchijoje. Krumhansl surinko 6 studijų apie harmoninių intervalų disonansą (Malmborg, 1918; Helmholtz, 1885/1954; Hutchinson, Knopoff, 1978; Kameoka, Kuriyagawa, 1969; žr. Krumhansl, 1990a, p. 55–57) rezultatus, kiekvienos studijos duomenis pertvarkė taip, kad apatinis visų intervalų garsas liktų fiksuotas ir reprezentuotų dermės toniką, o viršutinis atitiktų vieną iš 12 tonų hierarchijos garsų. Intervalų disonanso reikšmės jį palygino su bandomojo tono įverčiais mažoro ir minoro dermių atveju. Mažoro kontūras statistiškai reikšmingai koreliavo su 5 studijų duomenimis, bet išryškėjo gana didelių nesutapimų (pavyzdžiui, didžioji sekunda mažoro dermėje yra kur kas stabilesnė nei mažoji tercija, tačiau sensorinio disonanso reikšmės rodo priešingą tendenciją). Minoro kontūras statistiškai reikšmingai koreliavo tik su vienos studijos duomenimis (Krumhansl, 1990a, p. 59–61). Šiame tyrime buvo svarstoma ir tonų pasiskirstymo įtaka tonų hierarchijai, todėl atlikta daugialypė regresinė analizė, kuri parodė, kad pastarasis veiksnys yra kur kas reikšmingesnis nei sensorinis disonansas. Krumhansl teigimu, tai įrodo, kad tonų hierarchijos yra kultūrinis reiškinys – jos kinta laiko ir vietos atžvilgiu bei priklauso nuo muzikinės praktikos (Krumhansl, 1990a, p. 50–51, 75–76).

#### **Tonų hierarchijas žadinantys veiksniai**

##### *Krumhansl / Schmucklerio algoritmas*

Statistiniai tonaliosios muzikos dėsningumai per implicitinį mokymąsi formuoja kognityvinę schemą – tonų hierarchiją. Todėl turėtų būti matomas ir atvirkštinis efektas – susiformavusi tonų hierarchija turėtų veikti muzikos suvokimą ir jos interpretacijas. Kitaip tariant, klausydamiesi muzikos ar net trumpo jos fragmento, mes gana greitai (nuskambėjus keliems garsams ar akordams) pradėdame jausti, kuris garsas (nepaisant oktavos dimensijos) yra tonacinis centras. Annabel J. Cohen (1991) atliko eksperimentą, kuriame klausytojai, turintys muzikinį išsilavinimą, išgirdę pirmus 4 muzikinius įvykius (garsus ar harmoninius sąskambius) iš J. S. Bacho „Gerai temperuoto klavyro“ I tomo preliudų Nr. 1–12, turėjo paniūniuoti greičiausiai į galvą atėjusią gamą. Dauguma eksperimento dalyvių „pataikė“ į originalią kiekvieno preliudo tonaciją. Taigi ar šiuo atveju klausytojams tonaciją pasufleravo tonų statistika?

Krumhansl (1990a, p. 77) iškėlė mintį, kad tonų hierarchijos funkcionuoja kaip tam tikri šablonai, prie kurių pritaikomi muzikos kūrinio ar jo fragmento tonai. Šablonas, su kuriuo geriausiai dera tonų pasiskirstymas (trukmės arba dažniai), ir sužadina tonacijos suvokimą. Krumhansl kartu

su Marku Schmuckleriu sukūrė algoritmą, kuris imituoja tonų hierarchijų reiškinį ir drauge nustato labiausiai tikėtina muzikinio fragmento tonaciją (Krumhansl, 1990a, p. 78–81). Algoritmui pateikiami duomenys (įvestis) yra vektorius, kurį sudaro 12 aukščio klasių trukmės (metriniais vienetais) analizuojamame muzikos fragmente. Oktavos, enharmoninė ir garsų tvarkos informacija (taip pat dinamika, tembras, tempas ir pan.) yra ignoruojama. Vektorius lyginamas su 12 mažoro dermės ir 12 minoro dermės kontūrų (Krumhansl, Kessler, 1982), atitinkančių 24 tonacijas (enharmoniškai tapačios tonacijos laikomos vienodomis)<sup>13</sup>. Algoritmo išvestis yra 24 koreliacijos koeficientai, parodantys, kaip muzikos fragmento tonų trukmės atitinka kiekvienos iš 24 tonacijų tonų hierarchijas. Jei tonų trukmės gerai koreliuoja tik su kuria nors viena tonacija (koreliacijos koeficientas yra didžiausias), tuomet tai ir yra analizuojamo fragmento tonacija. Jei išvestyje aptinkami keli didesni ir tarpusavyje maždaug lygūs koeficientai, tai atitinka tonaliai dviprasmišką situaciją (pavyzdžiui, moduliacijos atveju). Algoritmas buvo išbandytas su J. S. Bacho „Gerai temperuoto klavyro“ visų 48 preliudų pradžiomis – pirmųjų 4 natų fragmentais (Krumhansl, 1990a, p. 81–86). 44 preliudams algoritmas nustatė teisingą tonaciją, 2 minoriniams preliudams parinko bendravardžio mažoro tonaciją (fragmentuose trūko III laipsnio), dar 2 mažoriniams preliudams – minoro tonaciją nuo III laipsnio (fragmentuose labai pabrėžti III ir V laipsniai). Visiems 12 preliudų, naudotų ir Cohen (1991) eksperimente, algoritmas nustatė teisingą tonaciją. Taip pat algoritmas išbandytas su „Gerai temperuoto klavyro“ 48 fugų temomis. 44 fugoms algoritmas nustatė teisingą tonaciją.

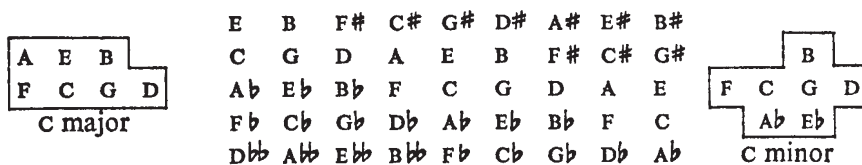
#### Longuet-Higginso / Steedmano algoritmas

H. Christopheris Longuet-Higginsas ir Markas J. Steedmanas (1971) dar iki Krumhansl tonų hierarchijų teorijos bandė automatizuoti tonacijos nustatymą. Jų algoritmas veikia kitu principu, bet gana sėkmingi algoritmo rezultatai siūlo, kad šis principas gali atskleisti dar vieną mechanizmą tonų hierarchijoms sužadinti. Be to, autoriai išbandė algoritmą su J. S. Bacho „Gerai temperuoto klavyro“ 48 fugų temomis, tad galima palyginti šio ir Krumhansl / Schmucklerio algoritmų efektyvumą tarpusavyje. Algoritmas skirtas tik monofoninei muzikai. Algoritmas sulig

kiekvienu kūrinio garsu, pradėdamas pirmuoju, eliminuoja visas tonacijas, kurių garsai neturi šio garso. Jei lieka tik viena tonacija, ji ir laikoma kūrinio tonacija. Jei, atlikus žingsnį, eliminuojamos visos 24 tonacijos, grįžtama vienu garsu atgal ir pritaikoma tonikos-dominantės taisyklė: ta tonacija (iš kelių galimų), kurioje pirmasis kūrinio garsas yra tonika arba dominantė (jei nerandama tonika), laikoma kūrinio tonacija. Jei ir po to nerandama vienintelė tonacija, praleidžiamas garsas, eliminavęs visas 24 tonacijas, ir procedūra tęsiama nuo paskesnio garso. Tuo atveju, kai, pasiekus kūrinio pabaigą, lieka kelios galimos tonacijos, taip pat pritaikoma tonikos-dominantės taisyklė. Vaizdumo sumetimais algoritmo autoriai tonacijas modeliuoja tam tikroje dvimatėje erdvėje, kurią sudaro aukščio klasės, išdėstytos grynosiomis kvintomis (horizontaliai) ir didžiosiomis tercijomis (vertikaliai)<sup>14</sup>. Kiekvieną mažorinę arba minorinę tonaciją atitinka kompaktiškos formos regionas, apibrėžtas šioje erdvėje (žr. 9 pvz.). Kiekvienas garsas gali priklausyti 14 tonacijų, tad 10 iš 24 galimų tonacijų yra eliminuojamos jau su pirmuoju kūrinio garsu. Algoritmas nustatė teisingą tonaciją visose 48 fugose. Tačiau, nors veikia puikiai, Longuet-Higginso / Steedmano algoritmui reikia beveik dukart daugiau natų tonacijai nustatyti (vidutiniškai 9,42), lyginant su Krumhansl / Schmucklerio algoritmu (vidutiniškai 5,11; Krumhansl, 1990a, p. 93).

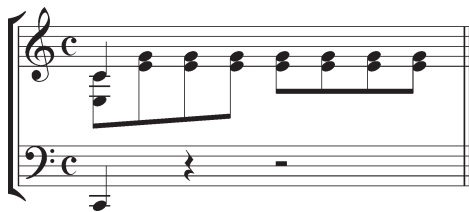
#### Temperley'aus algoritmas

Abu aprašyti algoritmai atskleidžia galimus tonų hierarchijų sužadavimo mechanizmus, bet nė vienas jų neveikia tobulai. Temperley'us (2007, p. 80) pateikia Haydno Styginių kvarteto op. 74 Nr. 3 pavyzdį (10 pvz.), kuris akivaizdžiai yra C-dur tonacijoje, bet dėl pasikartojančių E ir G Krumhansl / Schmucklerio algoritmas parinktų šiam fragmentui klaidingą e-moll tonaciją. Iš to galima daryti išvadą, kad pagrindinį indėlį į tonų hierarchijų suvokimą trumpuose muzikos fragmentuose daro ne tonų trukmė, kartojimas ir dvejinimas harmoniniuose sąskambiuose, bet fragmento garsai (tam tikrų aukščio klasių pasirodymas). Kita vertus, Longuet-Higginso / Steedmano algoritmas taip pat būtų bejėgis susidoroti su Haydno pavyzdžiu, nes jis skirtas tik monofoninei muzikai. Be to, algoritmas turi ir kitų trūkumų. Temperley'us (2007, p. 51) kaip pavyzdį pateikia JAV himno pradžią (11 pvz.), kurioje pasirodo



9 pvz. Grynujų kvintų (horizontaliai) ir didžiųjų tercijų (vertikaliai) dvimatė erdvė bei mažoro (C-dur) ir minoro (c-moll) regionai (originali iliustracija iš Longuet-Higgins, Steedman, 1971, p. 232)

ne visi B-dur tonai, tad algoritmas iki fragmento pabaigos neišsirinktų tarp kelių tonacijų, o tokiu atveju pritaikyta tonikos-dominantės taisyklė parinktų klaidingą F-dur tonaciją. Savo tonacijos nustatymo algoritme Temperley'us sujungė abi strategijas (Temperley, 2007, p. 79–89). Jis pasiūlė analizuojamą kūrinį padalyti į trumpus segmentus, sutampančius su taktų ribomis, ir kiekviename segmente nustatyti panaudotas aukščio klases, ignoruojant jų dažnį ar trukmę. Tuomet kiekvieno segmento aukščio klasių vektorius (sudarytas tik iš nulių ir vienetų) yra palyginamas su 24 tonacijų kontūrais (Temperley'us naudoja ne Krumhansl ir Kesslerio, 1982, bandomojo tono įverčius, o savo paties statistinius duomenis; žr. skyrelį „Jautrumas statistiniams dėsningumams“), ir randamos visų 24 tonacijų tikimybės kiekvienam segmentui. Sujungus prielaidą apie tonacijos inertiškumą (t. y. tikimybę, kad tolimesnis segmentas liks toje pačioje tonacijoje) ir Bayeso teoremą<sup>15</sup>, apskaičiuojama labiausiai tikėtina kūrinio tonacijų seka. Suvokta tonų hierarchija ir kūrinio tonacinis planas (įskaitant nukrypimus ir moduliacijas) būtų pagrįsti šia tonacijų seka. Temperley'us palygino savo algoritmą su kiek modifikuotu Krumhansl / Schmucklerio algoritmu, analizuodamas 46 tonaliosios praktikos ištraukas (beveik 900 segmentų): Temperley'aus algoritmas teisingai tonaciją nustatė 86,5 % segmentų, o Krumhansl / Schmucklerio algoritmas – 80,4 % segmentų (Temperley, 2007, p. 89–90). Taigi net gerokai patobulintas modelis, sujungiantis tikimybių teoriją ir kelias strategijas, negali išsamiai paaiškinti tonų hierarchijų sužadavimo.



10 pvz. Ištrauka iš Haydno Styginių kvarteto op. 74 Nr. 3 II dalies (pagal Temperley, 2007, p. 80)



11 pvz. JAV himno pradžia (pagal Temperley, 2007, p. 51)

#### *Dinaminis muzikos veiksnys*

Iki šiol apžvelgti algoritmai, imituojantys tonų hierarchijų suvokimą, veikia analizuodami statines muzikos savybes – garsaeilį, tonų dažnį ir trukmę – ir neatsižvelgia į garsų eilės tvarką laike. Richmondas Browne'as (1981), Helen Brown ir Davidas Butleris (Brown, Butler, 1981; 1989; Brown, 1988) kritikavo tonų hierarchijų teoriją dėl statinio požiūrio į muziką, pabrėždami dinaminę jos pusę ir konteksto svarbą nustatant funkcinis garsų ryšius. Jie pasiūlė „retų

intervalų“ ir tonų tvarkos veiksnius, padedančius suvokti tonaciją. Mažoriniame garsaeilyje aptinkamos 2 mažosios ir 5 didžiosios sekundos, 4 mažosios ir 3 didžiosios tercijos, 6 grynosios kvartos ir tik 1 tritonis (intervalų apvertimai laikomi ekvivalenčiais). Tritonis ir mažoji sekunda dėl savo unikalumo (retumo) padeda klausytojui rasti tonacinę centrą, o kiti „neunikalūs“ intervalai (ypač kvarta) gali klaidinti tarp kelių centrų<sup>16</sup>. Be to, tų pačių garsų ir retų intervalų skirtingas išdėstymas laike taip pat gali lemti klausytojo užtikrintumą arba abejonę vertinant tonacinę centrą (žr. 12 pvz.). Deja, Brown ir Butlerio atliktų eksperimentų (Brown, Butler, 1981; Brown, 1988) dviprasmiški rezultatai ir nekorektiškas jų interpretavimas nevisiškai patvirtina šias teorines išvalgas (žr. Krumhansl, 1990b).



12 pvz. Tie patys garsai, skirtingai išdėstyti muzikinėje vertikaloje ir laike taip, kad sužadintų arba ryškų tonacijos pojūtį (pirmas atvejis), arba abejonę dėl tonacinio centro (antras atvejis) (pagal Butler, 1989, p. 236)

Davidas Huronas ir Richardas Parncuttas (1993), modeliudami tonų hierarchijų sužadimą, į Krumhansl / Schmucklerio algoritmą įtraukė echoinę atmintį (angl. *echoic memory*)<sup>17</sup>. Echoinė atmintis – tai buferinė atmintis, sauganti pirminį garsinės aplinkos „vaizdą“ tolesniam apdorojimui. Įvairiais tyrimais gautos gana prieštaringos echoinės atminties trukmės – nuo 0,25 iki 2 s (Treisman, 1964; Massaro, Loftus, 1996, p. 73–80). Šis algoritmo patobulinimas turėjo iš dalies atsižvelgti į garsų tvarką laike: kiekvieno ankstesnio garso ar harmoninio sąskambio garsų svarbą analizei nulemia svertinis koeficientas, kurio dydis priklauso nuo garsinio įvykio pradžios pozicijos laike ir echoinės atminties gesimo pusamžio (eksperimentiškai nustatyta šio dydžio vertė – maždaug 1 sekundė). Pavyzdžiui, jei garso pradžia įvyko prieš sekundę, tada šio garso svertinis koeficientas yra 0,5. Huronas ir Parncuttas išbandė algoritmą su Brown (1988) eksperimento duomenimis<sup>18</sup> – 9 tonų sekomis (3 sekos × 3 tonų išdėstymo variantai) – ir palygino algoritmo rezultatus su klausytojų atsakymais. Deja, keičiantis tų pačių tonų tvarkai sekose, algoritmo išvesties tendencijos nesutapo su klausytojų atsakymais, t. y. algoritmas, nustatydamas tonaciją, neatsižvelgia į tonų tvarką laike.

#### **Apibendrinimas**

Tonų hierarchijų reiškinys Vakarų muzikologijoje pastebėtas ir dokumentuotas jau nuo Rameau laikų (*Traité de l'harmonie*, 1722; *Génération harmonique*, 1737), kai iškelta pagrindinio tono – fundamentinio boso (pranc. *basse fondamentale*) – ir pagrindinio akordo – tonikos – idėja

bei padėti klasikinės harmonijos pagrindai (Lester, 2002, p. 760–761; Mikulevičiūtė, 2007, p. 530). Gausi tonaliosios muzikos teorijos literatūra paskatino muzikos psichologus ieškoti psichologinio šio reiškinio pagrindo (Krumhansl, Cuddy, 2010, p. 79). Bandomojo tono ir kitais metodais atskleisti faktai parodė, kad muzikos teorijos aprašymai glaudžiai atitinka klausytojų psichologinę tikrovę net ir tais atvejais, kai eksperimentuose dalyvavę klausytojai neturėjo nei teorinių žinių, nei muzikavimo praktikos arba žinias apie tonų hierarchijas jie pateikė nesąmoninga forma (pavyzdžiui, reakcijos laiko užduotyse).

Psichologinių eksperimentų duomenų palyginimas su sensoriniu disonansu tik iš dalies pagrindė psichoakustinę tonų hierarchijų prigimtį – kai kurie konsonansiškiausi intervalai sutampa su vakarietiškosios mažoro dermės tonų hierarchija. Tačiau, remiantis sensoriniu disonansu, neįmanoma paaiškinti minoro dermės ar tuo labiau kitose muzikinėse kultūrose egzistuojančių dermių. Tad labiausiai tikėtina, kad tonų hierarchijos yra ne gamtos, o kultūros lemtas reiškinys – jos išmokstamos per muzikos praktiką ir kinta laiko bei vietos atžvilgiu.

Tonų hierarchijų suvokimą reguliuoja kognityvinė schema, kuri formuojasi dėl implicitinio mokymosi ir jautrumo statistiniams dėsniumams. Klausytojai, veikiami muzikinės aplinkos, nesąmoningai fiksuoja konkrečiame muzikos stiliuje vartojamų garsų (aukščio klasių) statistinį pasiskirstymą, dažniau kartojamiems ar kitaip akcentuojamiems garsams suteikdami didesnę derminį svorį. Susiformavusi kognityvinė schema veikia kaip tam tikras šablonas, su kuriuo lyginamas muzikos fragmento garsų pasiskirstymas – dažnai klausytojams pakanka išgirsti kelis pirmuosius kūrinio garsus, kad jie galėtų suvokti svarbiausią dermės toną.

Šioje tonų hierarchijų tyrimų apžvalgoje liko neaparta daug naujesnės literatūros ir sudėtingesnių temų. Pirmiausia tokioms temoms priklauso netonaliosios ir nevakarietiškos muzikos tyrimai – tonų hierarchijos dodekafoninėje (Krumhansl, Sandell, Sergeant, 1987), tradicinėje indų (Castellano, Bharucha, Krumhansl, 1984), baliečių (Kessler, Hansen, Shepard, 1984) ir suomių (Krumhansl et al., 1999; Krumhansl et al., 2000) muzikoje. Taip pat daug nuveikta modeliuojant tonų hierarchijų suvokimą – ypač taikant neuroninių tinklų ir saviorganizuojančių žemėlapių modelius (pavyzdžiui, Bharucha, 1999; Tillmann, Bharucha, Bigand, 2000; Krumhansl, Toiviainen, 2001; Toiviainen, Krumhansl, 2003). Dar reikėtų paminėti matematinius metodus, skirtus psichologinių tonų hierarchijų eksperimentų duomenims apdoroti ir vizualizuoti (Krumhansl, Kessler, 1982; Krumhansl, Bharucha, Kessler, 1982; Krumhansl, Bharucha, Castellano, 1982; Bharucha, Krumhansl, 1983). Tačiau visa tai lieka jau už šio straipsnio ribų.

## Nuorodos

- Paprastai darnos realizacijose taip pat aptinkama nukrypimų nuo teorinio modelio; tam turi įtakos intervalų plėtimas (Ward, 1954; 1970; Terhardt, 1969; taip pat. žr. Dowling, Harwood, 1986, p. 101–103; Roederer, 2008, p. 181), atlikimo taisyklės (Sundberg, 1982; Fyk, 1994; Gabrielsson, 1999; Burns, 1999; Morrison, Fyk, 2002; Kopiez, 2003) ir kiti reiškiniai.
- Pavyzdžiui, Ernesto Terhardto virtualaus aukščio teorijoje (Terhardt, 1974) jungiami psichoakustinis ir kognityvinis sudėtinų tonų, intervalų, akordų ir harmonijos aspektai.
- Dauguma modelių yra simbolinio tipo, t. y. skirti imituoti muzikos suvokimo procesus, bet neatitinkantys realių neurofiziologinių struktūrų.
- Kai kuriose muzikinėse kultūrose dermė yra ne vien tik atitinkama darnos garsų seka su išryškintomis funkcijomis, bet ir tam tikrų melodinių bei harmoninių darinių sistema. Pavyzdžiui, tokia dermės samprata būdinga indų ragai (Dowling, Harwood, 1986, p. 118–119).
- Pavyzdžiui, žr. Dowling and Harwood, 1986; Snyder, 2000; Ambrazėvičius, 2008a; taip pat apie kognityvinius atskaitos taškus žr. toliau tekste.
- Tai sudėtiniai tonai, sudaryti iš oktavos intervalais išsidėsčiusių grynujų tonų (Shepard, 1964).
- Iš tiesių buvo atlikti trys eksperimentai, bet du jų buvo beveik identiški, tik viename naudoti fortepijono garsai, kitame – grynieji tonai. Tembros pakeitimas neparodė jokių kokybinių eksperimentų rezultatų pokyčių (Cuddy, Cohen, Miller, 1979, p. 154).
- Kognityvinė schema vadinama mentaline struktūra, kuri organizuoja informaciją, gautą iš mūsų pojūčių, ir pati yra keičiama tos informacijos; ji formuoja mūsų patirties esmę ir interpretacijas (žr. Neisser, 1976).
- Pavyzdžiui, kategorijoje „paukštis“ iš trijų pavyzdžių – žvirblio, stručio ir pingvino – žvirblis būtų laikomas prototipiniu paukščio pavyzdžiu.
- Tarkime, labiau linkstama sakyti, kad „elipsė yra panaši į apskritimą“, nei kad „apskritimas yra panašus į elipsę“ (Eysenck, Keane, 2000, p. 319).
- Hughesas, remdamasis statistiniais duomenimis, teigia, kad Schuberto momentas orientuotas link (angl. *toward*) G-dur tonacijos. Su šios tonacijos kontūru Krumhansl ir lygino tonų trukmes. Tačiau pagrindinė kūrinio tonacija yra C-dur (matyt, Schubertas taip pat tikėjo, kad kūrinyje yra šioje tonacijoje).
- Nors Aardenas atliko savo skaičiavimus anksčiau nei Temperley'us, jis mini, kad standartizuotieji dermių kontūrai neatitinka Youngbloodo, Knopoffo ir Hutchinsonso bei jo paties gautų duomenų (žr. Aarden, 2003, p. 58–63).
- Pavyzdžiui, C-dur kontūro reikšmės (psichologinio eksperimento įverčiai) visoms 12 aukščio klasių, pradedant C, yra 6,35, 2,23, 3,48, 2,33, 4,38, 4,09, 2,52, 5,19, 2,39, 3,66, 2,29, 2,88. Cis-dur / Des-dur kontūras gaunamas perstumus šias reikšmes per vieną vietą į dešinę, o paskutinę reikšmę perkėlus į priekį (t. y. C aukščio klasė įgyja prieš tai buvusią H reikšmę). Tuomet Cis-dur / Des-dur kontūro reikšmės yra 2,88, 6,35, 2,23, 3,48, 2,33, 4,38, 4,09, 2,52, 5,19, 2,39, 3,66, 2,29.
- Grynujų kvintų ir didžiųjų tercijų dvimatė erdvė sutampa su Rameau triguba ir penkiaguba progresijomis bei jų realizacija progresijų lentelės pavidalu (*Nowveau système*, 1726), taip pat su Eulerio tonų tinkleliu (vok. *Tonnetz; Tentamen novae theoriae musicae*, 1739), tačiau straipsnio autoriai niekur

neužsimena, kad idėjų būtų pasiskolinę iš Rameau, Eulerio ar vėlesnių autorių muzikos teorijos darbų.

- <sup>15</sup> Apie Bayeso teoremą žr., pavyzdžiui, Čekanavičius, Murauskas, 2000, p. 84–85.
- <sup>16</sup> Apie intervalų asimetrijos svarbą dermės suvokimui užsimena ir kiti mokslininkai, pavyzdžiui, žr. Dowling, Harwood, 1986, p. 98–101; Lerdahl, 1988, p. 247.
- <sup>17</sup> Jie į algoritmą taip pat įtraukė Ernsto Terhardto „virtualaus aukščio“ modelio (Terhardt, 1979; Terhardt, Stoll, Seewann, 1982a; 1982b) supaprastintą versiją (Parncutt, 1989, p. 77–97).
- <sup>18</sup> Brown (1988) atliko eksperimentą, kuriame klausytojai, išgirdę vienbalsę lygių skirtingų tonų seką, turėjo paniūniuoti toniką. Kiekviena seka buvo pateikta tris kartus, kaskart pakeičiant garsų tvarką. Garsai galėjo būti išdėstyti taip, kad sužadintų vieną iš dviejų aiškių tonacijų arba kad sukeltų dviprasmišką tonacijos pojūtį. Kiekvienai tonų sekai Brown užfiksavo klausytojų, paniūniavusių vieną iš 12 galimų tonikų, skaičių.

## Literatūra

- Aarden, Bret. *Dynamic melodic expectancy*. Ph. D. dissertation. School of Music, Ohio State University, 2003.
- Altmann, Gerry T. M.; Dienes, Zoltán; Goode, Alastair. Modality independence of implicitly learned grammatical knowledge. In *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 1995, vol. 21, p. 899–912.
- Ambrzevičius, Rytis. Returning to Musical Universals: Question of Equidistant Scale. In Jukka Louhivuori, Tuomas Eerola, Suvi Saarikallio, Tommi Himberg, Päivi-Sisko Eerola (eds.). *Proceedings of the 7th Triennial Conference of European Society for the Cognitive Sciences of Music (ESCOM 2009)*. Jyväskylä: University of Jyväskylä, 2009, p. 11–15.
- Ambrzevičius, Rytis; Wiśniewska, Irena. Chromaticisms or Performance Rules? Evidence from Traditional Singing. In *Journal of interdisciplinary music studies*, 2008, vol. 2, Issue 1&2, p. 19–31.
- Ambrzevičius, Rytis. *Psichologiniai muzikinės darnos aspektai: jų raiška lietuvių tradiciniame dainavime*. Kaunas: Technologija, 2008a.
- Ambrzevičius, Rytis. Darnos ir ritmo „chromatizmai“ lietuvių liaudies dainose. In *Lietuvos muzikologija*. Vilnius: Lietuvių muzikos ir teatro akademija, 2008b, t. 9, p. 182–195.
- Ambrzevičius, Rytis. Tolygiai temperuotos darnos. In *Muzikos enciklopedija*. T. 3: O–Ž. I–III tomo papildymai. Vilnius: Lietuvos muzikos ir teatro akademija, Mokslo ir enciklopedijų leidybos institutas, 2007, p. 522.
- Ambrzevičius, Rytis. Pseudo-Greek modes in traditional music as result of misperception. In Mario Baroni, Anna Rita Addessi, Roberto Caterina, Marco Costa (eds.). *ICMPC9. Proceedings of the 9th International Conference on Music Perception and Cognition. 6th Triennial Conference of the European Society for the Cognitive Sciences of Music*. Bologna: Bononia University Press, 2006, p. 1817–1822.
- Balzano, Gerald J. *Chronometric studies of the musical interval sense (doctoral dissertation, Stanford University)*. Dissertation Abstracts International, 1977, 38, 2898B.
- Bharucha, Jamshed J. Neural Nets, Temporal Composites, and Tonality. In Diana Deutsch (ed.). *The Psychology of Music (2nd edition)*. San Diego, CA: Academic Press, 1999, p. 413–440.
- Bharucha, Jamshed J.; Krumhansl, Carol L. The representation of harmonic structure in music: Hierarchies of stability as a function of context. In *Cognition*, 1983, vol. 13, p. 63–102.
- Brown, Helen. The interplay of set content and temporal context in a functional theory of tonality perception. In *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 1988, vol. 5, Nr. 3, p. 219–250.
- Brown, Helen; Butler, David. Diatonic trichords as minimal tonal cue-cells. In *In Theory Only*, 1981, vol. 5, p. 39–55.
- Browne, Richmond. Tonal implications of the diatonic set. In *In Theory Only*, 1981, vol. 5, p. 3–21.
- Budge, Helen. *A study of chord frequencies*. New York, NY: Bureau of Publications, Teachers College, Columbia University, 1943.
- Burns, Edward M. Intervals, Scales, and Tuning. In Diana Deutsch (ed.). *The Psychology of Music (2nd edition)*. San Diego, CA: Academic Press, 1999, p. 215–264.
- Butler, David. Describing the Perception of Tonality in Music: A Critique of the Tonal Hierarchy Theory and a Proposal for a Theory of Intervallic Rivalry. In *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 1989, vol. 6, Nr. 3, p. 219–241.
- Castellano, Mary A.; Bharucha, Jamshed J.; Krumhansl, Carol L. Tonal hierarchies in the music of North India. In *Journal of Experimental Psychology: General*, 1984, vol. 113, Nr. 3, p. 394–412.
- Cohen, Annabel J. Tonality and perception: musical scales primed by excerpts from *The Well-Tempered Clavier* of J. S. Bach. In *Psychological Research*, 1991, vol. 53, Issue 4, p. 305–314.
- Cross, Ian. Psychology of music, §II, 1: Perception & cognition of pitch. In Stanley Sadie (ed.). *The New Grove Dictionary of Music and Musicians (2nd edition)*. London: Macmillan Publishers Limited, 2001, vol. 20: Pohlman to Recitala, p. 223–224.
- Cross, Ian. Pitch Schemata. In Irène Deliège, John Sloboda (eds.). *Perception and cognition of music*. Hove, NY: Psychology Press, 1997, p. 357–390.
- Cuddy, Lola L. Melodic patterns and tonal structure: Converging evidence. In *Psychomusicology*, 1991, vol. 70, p. 107–126.
- Cuddy, Lola L.; Badertscher, Betsy. Recovery of the tonal hierarchy: Some comparisons across age and levels of musical experience. In *Perception & Psychophysics*, 1987, vol. 41, p. 609–620.
- Cuddy, Lola L.; Cohen, Annabel J.; Mewhort, D. J. K. Perception of Structure in Short Melodic Sequences. In *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 1981, vol. 7, Nr. 4, p. 869–883.
- Cuddy, Lola L.; Cohen, Annabel J.; Miller, Janet. Melody Recognition: The Experimental Application of Musical Rules. In *Canadian Journal of Psychology*, 1979, vol. 33, Issue 3, p. 148–157.
- Čekanavičius, Vydas; Murauskas, Gediminas. *Statistika ir jos taikymai I*. Vilnius: TEV, 2000.
- Četkauskaitė, Genovaitė. *Lietuvių liaudies dainų melodijų tipologija*. Vilnius: Lietuvos rašytojų sąjungos leidykla, 1998.
- Dienes, Zoltan; Broadbent, Donald; Berry, Dianne. Implicit and explicit knowledge bases in artificial grammar learning. In *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 1991, vol. 17, p. 875–887.
- Dowling, W. Jay; Harwood, Dane. *Music Cognition*. Orlando, FL: Academic Press, 1986.
- Dowling, W. Jay. Musical scales and psychophysical scales: their psychological reality. In Robert Falck, Timothy Rice (eds.). *Cross-cultural perspectives on music*. Toronto: University of Toronto Press, 1982.
- Eysenck, Michael W.; Keane, Mark. *Cognitive Psychology: A Student's Handbook (4th edition)*. Hove, NY: Psychology Press, 2000.

- Fyk, Janina. Static and dynamic model of musical intonation. In Anders Friberg et al. (eds.). *SMAC 93. Proceedings of the Stockholm Music Acoustics Conference*. Stockholm: Royal Swedish Academy of Music, 1994, p. 89–95.
- Friberg, Anders; Bresin, Roberto; Sundberg, Johan. Overview of the KTH Rule System for Musical Performance. In *Advances in Cognitive Psychology*, 2006, vol. 2, Nr. 2–3, p. 145–161.
- Gabrielsson, Alf. The Performance of Music. In Diana Deutsch (ed.). *Psychology of Music (2nd edition)*. San Diego, London: Academic Press, 1999, p. 501–602.
- Helmholtz, Hermann Ludwig Ferdinand von. *On the sensations of tone as a physiological basis for the theory of music*. Alexander John Ellis (ed. & trans.). New York, NY: Dover, 1885/1954.
- Hughes, Matt. A quantitative analysis. In Maury Yeston (ed.). *Readings in Schenker analysis and other approaches*. New Haven, CT: Yale University Press, 1977.
- Huron, David. *Sweet Anticipation: Music and the Psychology of Expectation*. Cambridge, MA: MIT Press, 2006.
- Huron, David; Parncutt, Richard. An Improved Model of Tonality Perception Incorporating Pitch Salience and Echoic Memory. In *Psychomusicology*, 1993, vol. 12, Nr. 2, p. 154–171.
- Youngblood, Joseph E. Style as information. In *Journal of Music Theory*, 1958, vol. 2, p. 24–35.
- Janata, Petr; Reisberg, Daniel. Response-time measures as a means of exploring tonal hierarchies. In *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 1988, vol. 6, Nr. 2, p. 161–172.
- Kameoka, Akio; Kuriyagawa, Mamoru. Consonance theory Part II: Consonance of complex tones and its calculation method. In *Journal of the Acoustical Society of America*, 1969, vol. 45, p. 1460–1469.
- Kessler, Edward J.; Hansen Christa; Shepard, Roger N. Tonal schemata in the perception of music in Bali and the West. In *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 1984, vol. 2, Nr. 2, p. 131–165.
- Knopoff, Leon; Hutchinson, William. Entropy as a measure of style: The influence of sample length. In *Journal of Music Theory*, 1983, vol. 27, p. 75–97.
- Knopoff, Leon; Hutchinson, William. An index of melodic activity. In *Interface*, 1978, vol. 7, p. 205–229.
- Kopiez, Reinhard. Intonation of harmonic intervals: Adaptability of expert musicians to equal temperament and just intonation. In *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 2003, vol. 20, Nr. 4, p. 383–410.
- Krumhansl, Carol L. *Cognitive Foundations of Musical Pitch. Oxford Psychology Series No. 17*. New York, NY: Oxford University Press, 1990a.
- Krumhansl, Carol L. Tonal Hierarchies and Rare Intervals in Music Cognition. In *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 1990b, vol. 7, Nr. 3, p. 309–324.
- Krumhansl, Carol L. Perceiving tonal structure in music. In *American Scientist*, 1985, vol. 73, Nr. 4, p. 371–378.
- Krumhansl, Carol L. The psychological representation of musical pitch in a tonal context. In *Cognitive Psychology*, 1979, vol. 11, p. 346–374.
- Krumhansl, Carol L.; Bharucha, Jamshed J.; Castellano, Mary A. Key distance effects on perceived harmonic structure in music. In *Perception & Psychophysics*, 1982, vol. 32, p. 96–108.
- Krumhansl, Carol L.; Bharucha, Jamshed J.; Kessler, Edward J. Perceived harmonic structure of chords in three related musical keys. In *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 1982, vol. 8, p. 24–36.
- Krumhansl, Carol L.; Cuddy, Lola L. A Theory of Tonal Hierarchies in Music. In Mari Riess Jones, Richard R. Fay, Arthur N. Popper (eds.). *Music Perception. Springer Handbook of Auditory Research*. New York, NY: Springer, 2010, p. 51–87.
- Krumhansl, Carol L.; Kessler, Edward J. Tracing the dynamic changes in perceived tonal organization in a spatial representation of musical keys. In *Psychological Review*, 1982, vol. 89, p. 334–368.
- Krumhansl, Carol L.; Louhivuori, Jukka; Toiviainen, Petri; Järvinen, Topi; Eerola, Tuomas. Melodic expectation in Finnish spiritual folk hymns: convergence of statistical behavioral and computational approaches. In *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 1999, vol. 17, Nr. 2, p. 151–195.
- Krumhansl, Carol L.; Sandell, Gregory J.; Sergeant, Desmond C. The perception of tone hierarchies and mirror forms in twelve-tone serial music. In *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 1987, vol. 5, Nr. 1, p. 31–78.
- Krumhansl, Carol L.; Shepard, Roger N.; Quantification of the Hierarchy of Tonal Functions Within a Diatonic Context. In *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 1979, vol. 5, Nr. 4, p. 579–594.
- Krumhansl, Carol L.; Toivanen, Pekka; Eerola, Tuomas; Toiviainen, Petri; Järvinen, Topi; Louhivuori, Jukka. Cross-cultural music cognition: cognitive methodology applied to North Sami yoiks. In *Cognition*, 2000, vol. 76, Issue 1, p. 13–58.
- Krumhansl, Carol L.; Toiviainen, Petri. Tonal cognition. In *Annals of the New York Academy of Sciences*, 2001, vol. 930, p. 77–91.
- Lerdahl, Fred. Cognitive constraints on compositional systems. In John A. Sloboda (ed.). *Generative processes in music: the psychology of performance, improvisation, and composition*. Oxford: Clarendon Press, 1988, p. 231–259.
- Lester, Joel. Rameau and eighteenth-century harmonic theory. In Thomas Christensen (ed.). *The Cambridge History of Western Music Theory*. Cambridge: Cambridge University Press, 2002, p. 753–777.
- Longuet-Higgins, H. Christopher; Steedman, Mark J. On Interpreting Bach. In *Machine Intelligence*, 1971, vol. 6, p. 221–241.
- Malmberg, Constantine Frithiof. The perception of consonance and dissonance. In *Psychological Monographs*, 1918, vol. 25(2), p. 93–133.
- Massaro, Dominic W.; Loftus, Geoffrey R. Sensory and Perceptual Storage: Data and Theory. In Elizabeth Ligon Bjork, Robert A. Bjork (eds.). *Memory. Handbook of perception and cognition (2nd edition)*. New York, NY: Academic Press, 1996, p. 67–99.
- Mikulevičiūtė, Irena. Tonika. In *Muzikos enciklopedija*. T. 3: O–Ž. I–III tomo papildymai. Vilnius: Lietuvos muzikos ir teatro akademija, Mokslo ir enciklopedijų leidybos institutas, 2007, p. 530–531.
- Miller, George A. The magic number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. In *Psychological Review*, 1956, vol. 63, p. 81–93.
- Morrison, Steven J.; Fyk, Janina. Intonation. In Richard Parncutt, Gary E. McPherson (eds.). *The science and psychology of music performance: Creative strategies for teaching and learning*. New York, NY: Oxford University Press, 2002, p. 183–197.
- Neisser, Ulric. *Cognition and Reality: Principles and Implications of Cognitive Psychology*. San Francisco: W. H. Freeman, 1976.
- Palmer, Caroline; Krumhansl, Carol L. Independent Temporal and Pitch Structures in Determination of Musical Phrases. In *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 1987a, vol. 13, Nr. 1, p. 116–126.

- Palmer, Caroline; Krumhansl, Carol L. Pitch and temporal contributions to musical phrase perception: Effects of harmony, performance timing, and familiarity. In *Perception & Psychophysics*, 1987b, vol. 41, Nr. 6, p. 505–518.
- Parncutt, Richard. *Harmony: A Psychoacoustical Approach*. Berlin: Springer-Verlag, 1989.
- Pinkerton, Richard C. Information theory and melody. In *Scientific American*, 1956, vol. 194, p. 77–86.
- Plomp, Reinier; Levelt, Willem J. M. Musical Consonance and Critical Bandwidth. In *Journal of the Acoustical Society of America*, 1965, vol. 38, Nr. 4, p. 548–560.
- Reber, Arthur S. Implicit learning and tacit knowledge. In *Journal of Experimental Psychology: General*, 1989, vol. 118, Nr. 3, p. 219–235.
- Reber, Arthur S. Implicit learning of artificial grammars. In *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 1967, vol. 6, p. 855–863.
- Roederer, Juan G. *The Physics and Psychophysics of Music: An Introduction (4th edition)*. New York, NY: Springer, 2008.
- Rosch, Eleanor. Principles of categorization. In Eleanor Rosch, Barbara Bloom Lloyd (eds.). *Cognition and categorization*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1978. Perpausdinta in Daniel J. Levitin (ed.). *Foundations of Cognitive Psychology*. Cambridge, MA: The MIT Press, 2002, p. 251–270.
- Rosch, Eleanor. Cognitive reference points. In *Cognitive Psychology*, 1975, vol. 7, p. 532–547.
- Schaffrath, Helmut. The Essen Associative Code: A Code for Folksong Analysis. In Eleanor Selfridge-Field (ed.). *Beyond MIDI: The Handbook of Musical Codes*. Cambridge, MA: MIT Press, 1997, p. 343–361.
- Shepard, Roger N. Structural representations of musical pitch. In Diana Deutsch (ed.). *The Psychology of Music*. London: Academic Press, 1982, p. 343–390.
- Shepard, Roger N. Circularity in Judgments of Relative Pitch. In *Journal of the Acoustical Society of America*, 1964, vol. 36, Nr. 12, p. 2346–2353.
- Snyder, Bob. *Music and Memory: An Introduction*. Cambridge, MA: The MIT Press, 2000.
- Sundberg, Johan. Cognitive Aspects of Music Performance. In *TMH-QPSR*, 1997, vol. 2–3, p. 21–27.
- Sundberg, Johan. In tune or not? A study of fundamental frequency in music practice. In Carl Dahlhaus, Manfred Krause (eds.). *Tiefenstruktur der Musik: Festschrift Fritz Winckel zum 75. Geburtstag am 20. Juni 1982*. Berlin: Technische Universität Berlin, 1982, p. 69–97.
- Temperley, David. *Music and Probability*. Cambridge, MA: The MIT Press, 2007.
- Terhardt, Ernst; Stoll, Gerhard; Seewann, Manfred. Pitch of complex signals according to virtual-pitch theory: test, examples, and predictions. In *Journal of the Acoustical Society of America*, 1982a, vol. 71, p. 671–678.
- Terhardt, Ernst; Stoll, Gerhard; Seewann, Manfred. Algorithm for extraction of pitch and pitch salience from complex tonal signals. In *Journal of the Acoustical Society of America*, 1982b, vol. 71, p. 679–688.
- Terhardt, Ernst. Calculating virtual pitch. In *Hearing Research*, 1979, vol. 1, p. 155–182.
- Terhardt, Ernst. Pitch, Consonance, and Harmony. In *Journal of the Acoustical Society of America*, 1974, vol. 55, p. 1061–1069.
- Terhardt, Ernst. Oktavspreizung und Tonhöhenverschiebung bei Sinustönen. In *Acustica*, vol. 22, 1969, p. 345–351.
- Tillmann, Barbara; Bharucha, Jamshed J.; Bigand, Emmanuel. Implicit Learning of Tonality: A Self-Organizing Approach. In *Psychological Review*, 2000, vol. 107, Nr. 4, p. 885–913.
- Toiviainen, Petri; Krumhansl, Carol L. Measuring and modeling real-time responses to music: The dynamics of tonality induction. In *Perception*, 2003, vol. 32, p. 741–766.
- Treisman, Anne M. Verbal cues, language, and meaning in selective attention. In *American Journal of Psychology*, 1964, vol. 77, Nr. 2, p. 206–219.
- Tversky, Amos. Features of similarity. In *Psychological Review*, 1977, vol. 84, p. 327–352.
- Tversky, Amos; Gati, Itamar. Studies of similarity. In Eleanor Rosch, Barbara Bloom Lloyd (eds.). *Cognition and categorization*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1978, p. 79–98.
- Ward, W. Dixon. Musical perception. In Jerry V. Tobias (ed.). *Foundations of Modern Auditory Theory (Vol. 1)*. New York, NY: Academic Press, 1970, p. 405–447.
- Ward, W. Dixon. Subjective musical pitch. In *Journal of the Acoustical Society of America*, 1954, vol. 26, p. 369–380.

### Summary

Tonal hierarchies in Western musicology have been observed and well documented since Rameau (*Traité de l'harmonie*, 1722; *Generation harmonique*, 1737), when the idea of central pitch and central chord (the tonic) was suggested and the base for classical harmony was established. A large body of music theory literature on tonal-harmonic music and evidences against psycho-acoustical tradition of scale formation encouraged music psychologists to search for the psychological basis of this phenomenon. The research in tonal hierarchies was developed initially by Shepard and Krumhansl and elaborated and summarized in the well known study by Krumhansl and her associates (Krumhansl, 1990a).

Tonal hierarchy is not the only principle which operates on construction and cognition of musical scales, therefore this phenomenon should be analyzed among other laws of perception and cognition (e. g. Dowling's model of scale; Dowling, 1982). Tonal hierarchies are based on other general and music-specific phenomena of perception and cognition; these are psychophysical (Weber-Fechner) law (frequency logarithmization), categorization (division of pitch continuum into discrete categories), octave equivalence, Miller's number  $7 \pm 2$  (Miller, 1956), optimal intervallic step, cognitive reference points etc.

The probe tone technique for tonal hierarchy evaluation was described for the first time by Krumhansl and Shepard (1979; see also Krumhansl, Kessler, 1982). The participants of experiments had to rate in the seven-point scale how well each of the 12 tones of chromatic scale fit the musical context (e. g. major scale, chord, chord progression). The experiment results were summarized as standardized key profiles, i.e. 12-number vectors which represent the salience of each tone in the hierarchies of major and minor scales.

The highest rating was given to the first scale degree (the tonic), slightly lower to the third and the fifth degree (other tones of the tonic chord), still lower for other scale degrees, and the lowest ratings for nonscale (chromatic) tones.

The evidence revealed by the probe tone technique and other methods showed that music theory was in close correspondence with psychological reality, even though the participants of experiments had little or no knowledge of music theory and practice of music performance, or they behaved unconsciously during experiments (e. g. reaction time task).

Krumhansl and Cuddy (2010, p. 53) suggested two basic principles which operate on formation of cognitive schema of tonal hierarchies. The first is the existence of cognitive reference points (Rosch, 1975). The second principle is sensitivity to statistical regularities. Listeners are exposed to the musical soundscape and thus they unconsciously learn the distribution of pitch classes in particular music style; tones which are more frequently repeated and emphasized in other ways get greater modal weight in the scale. Studies reported by Krumhansl (1985; 1990a, p. 66–76), Aarden (2003) and Temperley (2007) showed that correlation between probe tone ratings (i.e. key profiles for major and minor) and pitch class distributions (frequency of occurrence and duration) in the Western tonal music is statistically significant.

Krumhansl (1990a, p. 77) suggested that tonal hierarchies operate as templates which are compared with tone distributions in the piece of music or its excerpt; the best fitted template induces the sense of tonality. Longuet-Higgins and Steedman (1971), Krumhansl and Schmuckler,

(Krumhansl, 1990a, p. 78–81) and Temperley (2007, p. 79–89) described different algorithms which simulate the induction of tonal hierarchy and estimate the most probable key of the musical excerpt as well. These algorithms analyze only static properties of music (scales and pitch class distributions) and ignore temporal order of tones. Browne (1981), Brown and Butler (Brown, Butler, 1981; 1989; Brown, 1988) emphasized the dynamic aspect of music. Brown (1988) accomplished the experiment in which participants heard monophonic sequences of tones; the same tones were arranged in three temporal orders as each variation could induce different key. Participants had to hum the tonic of the sequence. Huron and Parncutt (1993) improved Krumhansl and Schmuckler's algorithm by incorporating the echoic memory; this improvement should partly consider the temporal order of tones. The algorithm was performed on Brown's (1988) sequences and output was compared with participants' responses. However the algorithm was unable to identify different keys for different temporal orders of the same tones.



Straipsnis, skirtas projektui „Lietuvių tradicinės muzikos dermės tarpkultūriniame kontekste: akustiniai ir kognityviniai aspektai“ (VP1-3.1-ŠMM-07-K-01-154) įgyvendinti pagal 2007–2013 m. Žmogiškųjų išteklių plėtros veiksmų programos 3 prioritetą „Tyrėjų gebėjimų stiprinimas“, finansuojamas iš Europos socialinio fondo.