

A NAZOMALÁRIS SZÖG ÉS SZIMOTIKUS HÚR ALKALMAZÁSA METRIKUS ALAPÚ TAXONÓMIAI OSZTÁLYOZÁSI FELADATOKBAN

Szeniczey Tamás^{1,2}

¹Embertani Tanszék, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest; ²Embertani Tár, Magyar Természettudományi Múzeum, Budapest

Szeniczey T.: *The utility of nasomalar angle and simotic chord in ancestry estimation from craniometric data.* Ancestry can be estimated in a probabilistic framework using facial morphological signatures of the different population histories. While the assessment of qualitative traits requires more experience, the measurement of the most distinctive quantitative characters usually demands anthropological tools seldom available. However, some of the facial measurements related to ancestry can be easily recorded with a caliper. The study aims to present the efficiency of simotic chord (SC) and nasomalar angle (M77) in ancestry estimation by applying supervised and unsupervised algorithms to classify skulls with European and Asian ancestry. Linear discriminant analysis and Gaussian Mixture models were applied to a subset of the Howells' craniometric dataset comprised of individuals with European and Asian ancestry. Prediction of ancestry was carried out on a set of craniometric traits describing height, length and width parameters of the crania and then repeated on this set supplemented with M77 and SC measurements. An increased percentage of true positive prediction of ancestry was achieved by involving the M77 and SC measurements.

Keywords: Ancestry estimation; Nasomalar angle; Simotic chord; Gaussian mixture model; Linear discriminant analysis.

Bevezetés

Az emberi maradványok morfológiai variabilitásának leírására kvalitatív és kvantitatív szkeletális, valamint dentális jelek is használhatók (Ubelaker és Buikstra 1994). A kvantitatív változók, mint pl. a kraniometriai méretek, tipikusan poligénes jelek, tehát ezeknek a tulajdonságoknak a meghatározásáért számos lókuszt felelős. Amennyiben ezeknek a lókusztoknak a fenotípusra gyakorolt hatása additív és közel egyenlő, akkor megmagyarázható, hogy a diszkrét jellegű változók, mint az allélok, miképpen alakíthatnak ki egy folytonos jelleget (Falconer 1989). Összességében, ha n darab lókuszon legalább két kodomináns allél található, akkor 3^n darab genotípus mellett $2n+1$ fenotípus kategória lehetséges. Tehát minél nagyobb a kódoló lókusztok száma, annál több fenotípus kategória létezhet, amelyek eloszlása így egyre jobban közelíti a normál eloszlásra jellemző haranggörbe alakot (Rogers and Harpending 1983).

A környezeti hatások további befolyást gyakorolhatnak a fenotípusra, amelynek köszönhetően az adott jelleg már valóban folytonos eloszlású lesz. Ebből adódóan a morfológiai jelekben megfigyelhető variancia (V_P) a mögötte meghúzódó genetikai (V_G) és a környezeti variancia függvénye (V_E). A három variancia kapcsolata V_G és V_E függetlensége esetén leírható az alábbi képlettel:

$$V_P = V_G + V_E$$

A genetikai okokra visszavehető változatosság további alkategóriákra osztható, mint az additív (V_A), episztatikus (V_I) és a dominanciaviszonyokból fakadó variancia (V_D).

$$V_G = V_A + V_I + V_D$$

Egy adott jelleg tágabb értelemben vett örökölhetőségének mértékét (H^2), a teljes genetikai variancia és a fenotípusos variancia hányadosa adja meg.

$$H^2 = \frac{V_A + V_I + V_D}{V_P}$$

A heritabilitásnak ez a mérőszáma tehát azt fejezi ki, hogy a fenotípusos variancia mekkora aránya magyarázható az egyének közötti összes genetikai különbséggel. Mivel az utódgenerációba azonban csak az allélok adódnak át, a nem-additív természetű genetikai tényezők, mint dominanciaviszonyok nem, az allélok közötti interakciók pedig csak csekély mértékben öröklődnek át. A szűkebb értelemben vett heritabilitás, a fenotípusos variancia additív tényezőkre visszavehető hányadát jelenti.

$$h^2 = \frac{V_A}{V_P}$$

A h^2 az additív genetikai variancia és a fenotípusos variancia arányosságának mértéke mellett azt is jelenti, hogy a vizsgált jelleg/jellegegyüttes mekkora evolúciós potenciállal rendelkezik, mekkora a szelekcióra adott válasz mértéke. Az egy leszármazási vonalba tartozó maradványokon végzett vizsgálatok és az állatmodellek alapján a koponya méreteinek h^2 értéke közepes mértékű, tehát a genetikai és a fenotípusos variancia arányossága fennáll (Carson 2006, Martín-Abadías és mtsai 2009). A genetikai-morfológiai proporcionalitás mellett fontos, hogy a kraniometriai jellegeket tesztelni lehet, azt vizsgálva, hogy megfelelnek-e az evolúció neutrális elméletének. Vagyis elsősorban a mutáció, genetikai sodródás és génáramlás formálja ezeket a jellegeket, nem pedig a szelekciós nyomás. A neutrális genetikai markerek és morfológiai jellegek alapján felállított globális távolságmátrix összehasonlítása alapján elfogadható, hogy a kraniometriai változatosság egy részét neutrális evolúciós tényezők alakították (Rosemann és Weaver 2007, von Cramon-Taubadel 2014). Tehát a morfológiai alapon felállított biológiai távolságok értelmezhetők úgy, mint genetikai különbségek (von Cramon-Taubadel és Weaver 2009).

A koponya több, anatómiai-fejlődéstani modulra osztható, ezek közül van, amelyek diverzitása jól illeszkedik a neutrális modellbe, de akadnak olyan részek is, amelyek hosszantartó szétválasztó szelekció nyomán formálódtak (González-José és mtsai 2004, Harvati és Weaver 2006). Az eddigi kraniometriai-genetikai összehasonlító vizsgálatok alapján az előbbi kategóriába sorolható a koponyaboltozat, és halántékcsonti tájék, míg a környezeti – elsősorban klimatikus és táplálkozási – tényezőktől befolyásolt koponyaterületnek leginkább az állkapocs és az arc tekinthető (Smith 2009).

Bár az emberi csoportokon belüli genetikai változatosság nagyobb, mint a csoportok közötti, ez nem jelenti azt, hogy ne lehetne időbeli vagy földrajzi alapon szerveződő morfológiai mintázat az emberi csoportokon belül, amelyet neutrális és/vagy szelekciós

evolúciós folyamatok alakítottak ki (Lewontin 1972). A környezeti hatás hozzájárulásával pedig a fenotípusos változatosság eleve nagyobb a genetikai variabilitásnál. Az így létrejövő földrajzi változatoknak vannak olyan fenotípusos jellegeik, amelyek jelentősen eltérhetnek egymástól (Hanihara 2000).

Az europid és mongolid földrajzi változatok megkülönböztetése igazságügyi és népeségtörténeti vizsgálatokban is fontos, azonban nem problémamentes feladat. A kvalitatív tulajdonságok leíró-morfológiai alapon is felhasználhatók, de ehhez megfelelő tapasztalat szükséges (Lipták 1980). A magyarországi kutatásokban elterjedt taxonómiai osztályozási rendszer kvalitatív és kvantitatív jellegeket is használ a földrajzi változatok megkülönböztetésében és a változatokon belüli további kategorizálásban (Lipták 1965, Farkas 1972). Ez a módszer a metrikus jellegek használatával a földrajzi változatokon belüli osztályozáshoz objektívebb alapot nyújt. A földrajzi változatok elkülönítésében azonban elsősorban morfológiai különbségekre támaszkodik, illetve a változatokhoz rendelt méretintervallumokra, ami referenciafüggő és nem nyújt lehetőséget a valószínűségi osztályozáshoz.

A metrikus jellegek használata a földrajzi változatok megkülönböztetésében objektívebb megoldást nyújthat, viszont ehhez megfelelő matematikai modell és – a modelltől függően – egy referencia-adatbázis kell.

Az osztályozási feladat pontosabb végrehajtását elősegítheti, ha olyan kraniometriai méreteket is alkalmazunk, amelyeket feltehetően nem a neutrális evolúció, hanem a szelekciós-adaptációs folyamatok befolyásolnak elsősorban. Az arclapossági indexek kraniometriai méretei és az arc bizonyos szögei feltehetően ebbe a csoportba tartoznak, azonban ezek felvételéhez sokszor ritka mérőeszközök (pl. szimométer) szükségesek. A szimotikus húr (SC) és a nazomaláris (M77) szög viszont felvehető egyszerű tolmérő segítségével. A szimotikus húr felvételéhez az orrcsontok legkisebb szélességi értékét szükséges megmérni, míg a nazomaláris szög esetén trigonometrikus összefüggést kell követni. A háromszög alapja a belső biorbitális szélesség (M43a: a két frontomalare orbitale közötti egyenesvonalú távolság) mérete, míg a szárak hossza a nasion és a jobb, illetve baloldali frontomalare orbitale mérőpontok közötti távolság. Ezek után a háromszög két szára közötti szög, vagyis az M77-es méret a koszinusztétel segítségével kiszámítható.

A tanulmány célja a tolmérővel felvehető M77 és SC méretek használhatóságának tesztelése az europid és mongolid koponyák megkülönböztetésében, valamint az, hogy elősegítse ezek szélesebb körben történő használatát.

Anyag és módszer

A vizsgálatban a Howells adatbázist választottam referenciaként, mert ismert etnikumú egyének koponyáit tartalmazza és a vizsgálni kívánt méretekkkel is rendelkezik (Howells, 1973, 1989, 1995 – az adatbázis elérhető az alábbi címen: <https://web.utk.edu/~auerbach/HOWL.htm>). Az adatbázisból európai népességként az ausztriai Berg, a norvégiai Norse és a magyarországi Zalavár férfi mintákat, míg az ázsiai populációkból északi és déli japán, a koreai Anyang és a kínai Hainan férfi mintákat választottam ki (1. táblázat). A referenciát azért állítottam össze több mintából, hogy a koponyaindexek szempontjából az europid és a mongolid mintán belül is nagy változatosság legyen. Az így összeállított 356 koponyát tartalmazó mintát földrajzi hovatartozás szempontjából egy európai (n=164) és egy ázsiai mintára (n=192) osztottam.

Az így összevont minta Mardia (1970) tesztje alapján többváltozós normális eloszlást követ ($p > 0,05$).

Az europid és mongolid földrajzi változatok elkülönítésére használt kraniometriai méreteket ún. ellenőrzött (supervised) és nem ellenőrzött (unsupervised) osztályozási módszerekben is alkalmaztam. Az ellenőrzött osztályozási modellekhez szükséges egy referencia-adatsor (tanító adatbázis) amely a kívánt osztályozás szempontjából már kategorizált adatokat tartalmaz, tehát a modell bemeneti (kraniometriai méretek) és a kívánt kimeneti adat (mongolid vagy europid) is ismert. Ezzel a módszerrel olyan diszkrimináns függvények alkothatók, amelyek segítségével kiszámolható annak a valószínűsége, hogy a tesztelni kívánt adat melyik osztályba tartozik (pl. Thoma 2002). A referencia-adatbázis összetétele azonban alapvetően meghatározza, hogy a modell milyen sikerességgel képes elvégezni az osztályozási feladatot. Ellenőrzött osztályozási modellként a lineáris diszkriminancia-analízist (LDA) alkalmaztam.

1. táblázat. A Howells kraniometriai adatbázisból választott minták.

Table 1. Samples included from the Howells' craniometric database.

| Europid | n | Mongolid | n |
|-------------------|-----|-------------------------------------------|-----|
| Berg | 56 | Észak- és Dél-Japán – North & South Japan | 105 |
| Norse | 55 | Hainan | 45 |
| Zalavár | 53 | Anyang | 42 |
| Együtt – Together | 164 | | 192 |

Ellenőrzés nélküli osztályozáshoz egy modell alapú klaszterezést, a kevert Gauss-modellt (Gaussian Mixture Model, GMM) alkalmaztam. Ez egy valószínűségi modell, ami azt feltételezi, hogy a megfigyelt adatok, k számú normál eloszlású komponens keverékéből származnak, vagyis a fenotípusos jellegekre jellemző eloszlás több látens alpopuláció eloszlásának a terméke. A k számú kevert normál eloszlás paramétereit (\bar{x}_k, σ_k^2) az EM (Expectation Maximization) algoritmus segítségével becsültem meg, majd a megfigyelt adatok eloszlását a legnagyobb valószínűséggel magyarázó modellt a Bayes-féle információs kritérium (BIC) értéke alapján adtam meg.

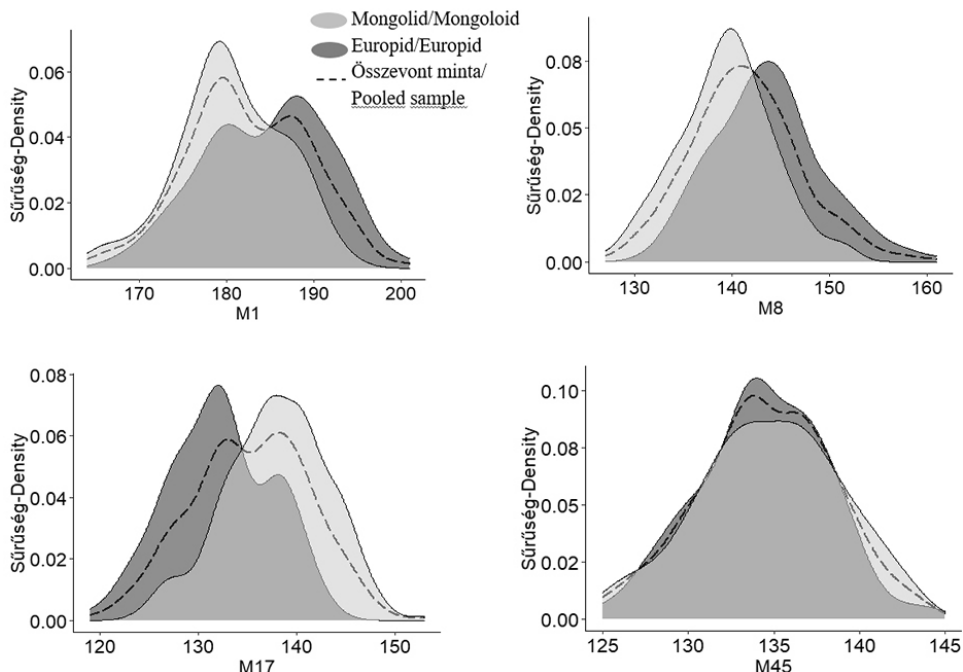
A GMM előnye a k -közép klaszterezéssel szemben, hogy egy ún. „lágymód” osztályozás, vagyis az egyének csoporthoz tartozását valószínűségi szinten adja meg. A GMM modellezés további előnye, hogy az alpopulációk kovarianciamátrixának szerkezete is módosítható.

Az arclapossági méretek mellett olyan kraniometriai méreteket is bevontam az osztályozásba, amelyeket a biológiai távolságalapú összehasonlításoknál általában fel szoktak használni. Ezek a következők voltak: legnagyobb koponyahossz (M1), legnagyobb koponyaszélesség (M8), basion-bregma koponyamagasság (M17), járomívszélesség (M45), felsőarcmagasság (M48), szemüregszélesség (M51), orrszélesség (M54) és orrmagasság (M55). A legkisebb homlokszélesség (M9) és szemüregmagasság (M52) azért nem került bevonásra, mert a Howells-adatbázisban nem szerepelnek. Az LDA és GMM modelleket először kizárólag ezekre a méretekre, mint „kontroll csoportra” futtattam le, majd utána az M77 és SC-vel kiegészített adatsorra.

A statisztikai számításokat R-ben az mclust5 és MASS csomagok használatával készítettem el (Venables és Ripley 2002, Scrucca és mtsai 2016).

Vizsgálati eredmények és megvitatásuk

Az europid és mongolid minták kraniometriai jellegeinek külön-külön ábrázolt, valamint az összevont (poolozott) minta közös sűrűségfüggvényei az 1–3. ábrákon láthatók. Az összevont minták sűrűségfüggvényeinek alakja több esetben is – pl. M1, M17 – árulkodott a háttérben meghúzódó csoportok kraniometriai eltéréseiről. Voltak azonban olyan méretek is, mint az M77 és SC, ahol az egyébként eltérő eloszlások az összevont mintában unimodális sűrűségeloszlást eredményeztek.



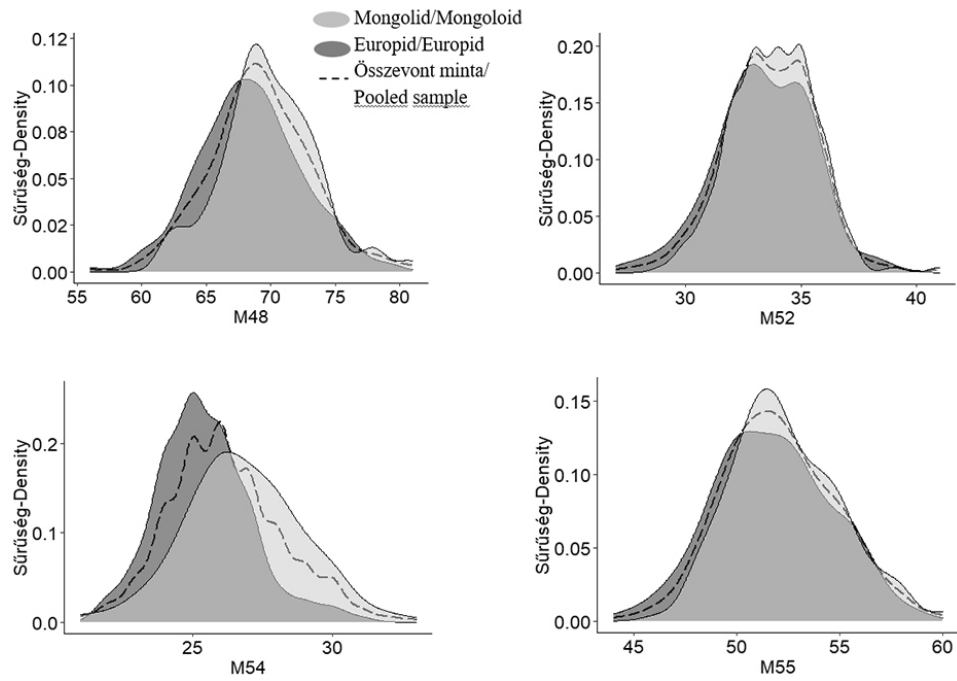
1. ábra: Az M1, M8, M17 és M45 kraniometriai méretek sűrűségfüggvényei külön az europid és mongolid, valamint az összevont mintára is.

Fig. 1: The probability density functions of the M1, M8, M17 and M45 craniometric measurements of the Europid and Mongoloid groups as well as of the pooled sample.

A lineáris diszkriminancia-elemzés eredményei

A koponyaméreteken végzett LDA elemzésben kapott diszkrimináló függvényben az M17, M1 és M8-es méretek a legmeghatározóbb változók, figyelembe véve a szórásukat is (2. táblázat). A tévesztési mátrix alapján a döntési függvénnyel a koponyák 82,3%-át jó kategóriába sorolta, ami az 50–50%-os a priori valószínűség mellett hatékony osztályozásnak minősül (3. táblázat).

Az M77 és SC méretek bevonása megváltoztatta a döntési függvény együtthatóinak hozzájárulását (2. táblázat). Az M77-es méret relatív hozzájárulása a legerősebb az összes méret közül. Az SC koefficiens értéke az agykoponyaméretektől elmarad, de az arcjelzők között az M77 és M54 után a legjelentősebb. A keresztvalidált tévesztési mátrix alapján, az új diszkrimináló függvény 91,2%-os pontossággal kategorizálta a koponyákat (3. táblázat).



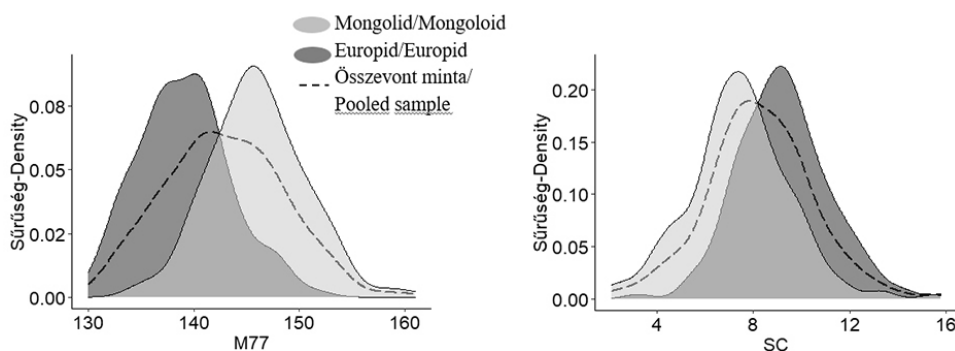
2. ábra: Az M48, M52, M54 és M55 kraniometriai méretek sűrűségfüggvényei külön az euroid és mongolid, valamint az összevont mintára is.

Fig. 2: The probability density functions of the M48, M52, M54 and M55 craniometric measurements of the Euroid and Mongoloid groups as well as of the pooled sample.

2. táblázat. A két LDA modell lineáris diszkrimináló függvényének standardizált együtthatói.

Table 2. Standardized discriminant function coefficients of the two LDA models.

| Változók – Variables | 1. LDA modell – LDA 1 model | 2. LDA modell – LDA 2 model |
|----------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| M1 | -0,642 | 0,425 |
| M8 | -0,571 | 0,457 |
| M17 | 0,701 | -0,520 |
| M45 | 0,158 | -0,018 |
| M48 | 0,130 | -0,172 |
| M52 | 0,246 | -0,179 |
| M54 | 0,405 | -0,406 |
| M55 | -0,018 | -0,037 |
| M77 | – | -0,573 |
| SC | – | 0,222 |



3. ábra: Az M77 és az SC kranioetriai méretek sűrűségfüggvényei külön az europid és mongolid, valamint az összevont mintára is.

Fig. 3: The probability density functions of the M77 and SC craniometric measurements of the Europid and Mongoloid groups as well as of the pooled sample.

3. táblázat. A két LDA modell keresztvalidált tévesztési mátrixa (abszolút előfordulási gyakoriságok; VG: valós gyakoriságok).

Table 3. The cross-validated confusion matrices of the two LDA models (number of instances, VG: actual instances).

| | | Prediktált gyakoriságok – Predicted instances | | | |
|----|----------|-----------------------------------------------|-----|-----------------------------|-----|
| | | 1. LDA modell – LDA 1 model | | 2. LDA modell – LDA 2 model | |
| VG | Europid | 134 | 30 | 152 | 12 |
| | Mongolid | 33 | 159 | 19 | 173 |

A kevert Gauss-modellek eredményei

A GMM algoritmus a kontroll mintán a legvalószínűbbnek az egy komponensű összetételt találta, tehát a módszer nem ismerte fel a két alcsoport jelenlétét. Amennyiben az algoritmusnak megadjuk, hogy legalább két alpopulációt keressen a mintában, akkor legvalószínűbb modellnek az adódik, hogy a minta két alcsoportból tevődik össze. A talált két csoportba az eredeti minta 70%-a a valódi csoportjának megfelelően került be. Az europid és mongolid koponyák félreosztályozása nagyjából egyforma mértékű volt (4. táblázat).

Az M77 és SC méretek bevonását követően a GMM módszer szerint statisztikai szempontból továbbra is az egy komponensű modell a legvalószínűbb, tehát ezek a méretek sem javították az alap modell alcsoport-felismerési potenciálját. Az új méretekkel kiegészített adatsorra is lefuttattuk a GMM modellt $k \geq 2$ megkötéssel. Ebben az esetben szintén a két komponensű modell illeszkedik a legjobban a mintához, tehát a két alcsoport jelenléte a legvalószínűbb. Az eredeti osztálykategóriák az új csoportokba 90%-ban helyesen kerültek be, ami jelentősen jobb osztályozási eredmény az előző modell esetében tapasztaltnál. A javulási arányhoz mindkét földrajzi változat sikeresebb klaszterezése is hozzájárult.

4. táblázat. A két kevert Gauss-modell (GMM) tévesztési mátrixa.
 Table 4. The confusion matrices of the two Gaussian Mixture Model (GMM).

| | | Prediktált gyakoriságok – Predicted instances | | | |
|----|----------|-----------------------------------------------|----------|---------|----------|
| | | 1. GMM | | 2. GMM | |
| VG | | Europid | Mongolid | Europid | Mongolid |
| | Europid | 107 | 57 | 150 | 14 |
| | Mongolid | 50 | 142 | 21 | 171 |

Következtetések

Az összevont európai és ázsiai eredetű csoportokat is tartalmazó minta kraniometriai jellegeinek sűrűségfüggvénye több esetben is bimodális volt. A kétszcúsú eloszlás azonban önmagában nem elegendő megfontolási alap ahhoz, hogy alcsoportok jelenlétét lehessen feltételezni.

Több kraniometriai jelleg bimodális eloszlása esetében (pl. M1, M45, M52 méreteknél) az európai és ázsiai minták jelentős mértékben átfedtek. Ennek következtében ezeknél a jellegeknél egy véletlenszerűen választott pontról valószínűségi alapon nehéz lenne eldönteni, melyik csoporthoz tartozik.

A kevésbé átfedő sűrűségfüggvények alapján várható volt, hogy a valószínűségi modellek segítségével a véletlenszerűségnél (vagyis két csoport esetében 50–50%-os eséllynél) sikeresebb osztályozás hajtható végre, tehát igazolható az alcsoportok jelenléte a mintában.

A lineáris diszkriminancia-elemzés klasszifikációs arányát javította az M77 és SC méretek bevonása. A standardizáld koefficiensek értékei alapján elsősorban az M77 növelte az osztályozás sikerét. A 8,9% javulási arány azonban csak erre a referencia-adatbázisra felállított modellre érvényes, nem általánosítható, más referenciasorok eltérő eredményeket adhatnak.

Egyik kevert Gauss-modell sem hozta ki legnagyobb valószínűségű eredménynek, hogy a tesztminta két (vagy több) alminta keveréke lenne. Amennyiben viszont abból a feltételezésből indultam ki, hogy több csoportnak kell lennie az összevont mintában, akkor a két alcsoport kompozíciója volt a legvalószínűbb modell. Bár az europid és mongolid csoportok is több mintából álltak össze és a modell-alapú klaszterezés is viszonylag jó hatékonysággal különítette el az eltérő földrajzi változatú egyéneket egymástól, ugyanakkor az M77 és SC méretek bevonásával további 20%-kal nagyobb osztályozási pontosságot értem el.

A gyakorlatban könnyen előfordulhat, hogy van valamilyen előzetes információnk a minta összetételéről, pl. morfológiai jegyek eloszlása, vagy a régészeti kontextus alapján feltételezzük az alcsoportok jelenlétét. Ilyen esetekben az átlagkülönbségek egyszerű inspekciós összevetése helyett (pl. Fóthi 2014) az eloszlások szóródási paraméterein is alapuló valószínűségi modellek javasoltak az a priori hipotézis tesztelésére.

A tanulmányban bemutatott vizsgálatok nem jelentenek egzakt, a közvetlen gyakorlatban is tökéletesen használható modelleket, pusztán csak rávilágítanak arra, hogy egyes, a hazai kutatások során ritkán felvett kraniometriai méretek milyen hasznosak lehetnek különböző osztályozási feladatokban. A valószínűségi alapon végzett

osztályozás hasznosnak bizonyulhat, ha a csoportosítási kíván minta elemei nem ennyire eltérő eredetűek, hanem kevert európid-mongolid egyéneket is tartalmaznak.

* * *

Tanulmányomat a 80 éves Dr. Marcsik Antónia és Dr. Gyenis Gyula tiszteletére ajánlom.

Köszönetnyilvánítás: A tanulmány elkészítését az Emberi Erőforrások Minisztériuma által meghirdetett Nemzet Fiatal Tehetségeiért Ösztöndíj '18 (NTP-NFTÖ-19-B-0204) pályázata, az Árpád-ház Program, az NKFIH FK-128013 azonosítószámú NKFIH NN-128035 azonosítószámú projektek, valamint a HistoGenes ERC Synergy Grant Project támogatta.

Irodalom

- Carson, E.A. (2006): Maximum likelihood estimation of human craniometric heritabilities. *Am. J. Phys. Anthropol.*, 131: 169–180. DOI: [10.1002/ajpa.20424](https://doi.org/10.1002/ajpa.20424).
- Falconer, D.S. (1989): *Introduction to Quantitative Genetics*. 3rd ed. John Wiley & Sons, New York.
- Farkas, Gy. (1972): *Antropológiai praktikum I-II*. JATE, Szeged.
- Fóthi, E. (2014): A Kárpát-medence 6–11. századi történetének embertani vonatkozásai. In: Sudár, B., Szentpéteri, J., Petkes, Zs., Lezsák, G., Zsidai, Z. (Szerk.) *Magyar őstörténet. Tudomány és hagyományörzés*. MTA Bölcsészettudományi Kutatóközpont, Budapest. pp. 151–168.
- González-José, R., Van der Molen, S., González-Pérez, E., Hernandez, M. (2004): Patterns of phenotypic covariation and correlation in modern humans as viewed from morphological integration. *Am. J. Phys. Anthropol.*, 123(1): 69–77. DOI: [10.1002/ajpa.10302](https://doi.org/10.1002/ajpa.10302).
- Hanihara, T. (2000). Frontal and facial flatness of major human populations. *Am. J. Phys. Anthropol.*, 111(1): 105–134. DOI: [10.1002/\(SICI\)1096-8644\(200001\)111:1<105::AID-AJPA7>3.0.CO;2-O](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-8644(200001)111:1<105::AID-AJPA7>3.0.CO;2-O)
- Harvati, K., Weaver, T.D. (2006): Human cranial anatomy and the differential preservation of population history and climate signatures. *Anat. Rec. A Discov. Mol. Cell. Evol. Biol.*, 288(12): 1225–1233. DOI: [10.1002/ar.a.20395](https://doi.org/10.1002/ar.a.20395)
- Howells, W.W. (1973): Cranial variation in man: A study by multivariate analysis of patterns of difference among recent human populations. *Pap. Peabody Museum*, 67: 1–259.
- Howells, W.W. (1989): Skull shapes and the map: Craniometric Analyses in the Dispersion of Modern Homo. *Pap. Peabody Museum*, 78: 1–189.
- Howells, W.W. (1995): Who's Who in Skulls. Ethnic Identification of Crania from Measurements. *Pap. Peabody Museum*, 82: 1–108.
- Lewontin, R.C. (1972): The Apportionment of Human Diversity. *Evol. Biol.*, 6: 381–398.
- Lipták, P. (1965): On the taxonomic method in Paleontology (historical anthropology). *Acta Biol. Szeged.*, (11): 169–183.
- Lipták, P. (1980): *Embortan és emberszármazástan*. Tankönyvkiadó Vállalat, Budapest.
- Mardia, K.V. (1970): Measures of multivariate skewness and kurtosis with applications. *Biometrika*, 57(3): 519–530.
- Martínez-Abadías, N., Esparza, M., Sjøvold, T., Gonzalez-José, R., Santos, M., Hernández, M. (2009): Heritability of human cranial dimensions: comparing the evolvability of different cranial regions. *J. Anat.*, 214(1): 19–35. DOI: [10.1111/j.1469-7580.2008.01015.x](https://doi.org/10.1111/j.1469-7580.2008.01015.x)
- Rogers, A.R., Harpending, H.C. (1983): Population structure and quantitative characters. *Genetics*, 105: 985–1002.
- Roseman, C.C., Weaver, T.D. (2007). Molecules versus morphology? Not for the human cranium. *Bioessays*, 29(12): 1185–1188. DOI: [10.1002/bies.20678](https://doi.org/10.1002/bies.20678)

- Scrucca, L., Fop, M., Murphy, T.B., Raftery, A.E. (2016). mclust 5: clustering, classification and density estimation using Gaussian finite mixture models. *R. J.*, 8(1): 289–317.
- Smith, H.F. (2009): Which cranial regions reflect molecular distances reliably in humans? Evidence from three-dimensional morphology. *Am. J. Hum. Biol.*, 21: 36–47. DOI: [10.1002/ajhb.20805](https://doi.org/10.1002/ajhb.20805)
- Thoma, A. (2002): Europid és mongolid koponyák megkülönböztetése. *Anthrop. Közl.*, 43: 27–28.
- Ubelaker, D.H., Buikstra, J.E. (1994): Standards for data collection from human skeletal remains. *Ark. Archaeol. Sur. Res.*, 44: 206–212.
- Venables, W.N., Ripley, B.D. (2002): *Modern Applied Statistics with S*. 4th ed. Springer, New York.
- von Cramon-Taubadel, N. (2014): Evolutionary insights into global patterns of human cranial diversity: population history, climatic and dietary effects. *J. Anthropol. Sci.*, 92(4): 43–77. DOI: [10.4436/jass.91010](https://doi.org/10.4436/jass.91010)
- von Cramon-Taubadel, N., Weaver, T.D. (2009): Insights from a quantitative genetic approach to human morphological evolution. *Evol. Anthropol.*, 18(6): 237–240. DOI: [10.1002/EVAN.20233](https://doi.org/10.1002/EVAN.20233)

Levelezési cím: Szeniczey Tamás
Mailing address: Embertani Tanszék
Eötvös Loránd Tudományegyetem
Pázmány P. s. 1/c.
H-1117 Budapest
Hungary
tamas.szeniczey@ttk.elte.hu