

**New quantitative
morphometric methods
in taxonomy and
paleontology**

by

Sándor Gulyás

Abstract: The large scale development of computer systems and software packages opens up new possibilities for the sciences of paleontology and taxonomy. The utilization of computer assisted digital image analysis methods of Elliptic Fourier Analysis and Eigenshape Analysis, embedding the whole shape analysis of a form, make way for the quantitative interpretation of qualitative features, characters of fossils and living specimens as well. It gives us the possibility of statistical testing of evolutionary hypotheses as well as the discrimination of taxa on a purely quantitative basis.

Keywords: paleontology, new morphometric methods

Introduction

Several areas within the science of geology have seen a very rapid evolution in the past few years. The major technical developments in the industrial sector along with the large-scale availability of microcomputer systems and software packages made feasible the introduction of new quantitative analytical methods into several fields of this science. The fields of seismology and sedimentology has made a real breakthrough within the geological sciences

Gulyás Sándor

**Új kvantitatív morfometriai
módszerek alkalmazási lehetőségei a taxonómiai és a paleontológiai vizsgálatokban**

Kivonat: A számítástechnika fejlődése új távlatokat nyithat meg a paleontológiában és a taxonómiában. A komputeres digitális képanalízisen alapuló teljesalak elemzés módszerei az Elliptikus Fourier Analízis és az Eigenshape Analízis révén mód nyílik a szemmel látható hasonlóságok és különbségek kvantitatív módon történő meghatározására. Az így kapott adathalmazt további statisztikai vizsgálatokkal értelmezve lehetőség nyílik a hipotézisek direkt tesztelésére és a kvantitatív úton történő taxonómiai elhatárolásra. A módszerek továbbá lehetővé teszik az evolúciós változások ütemének számszerű vizsgálatát is.

Kulcsszavak: paleontológia, új kvantitatív morfometriai módszerek

Bevezetés

Az elmúlt években a geológia számos területe dinamikus fejlődésen ment keresztül. A technikai berendezések erőteljes fejlődése, a nagyszámú mikrokomputeres rendszerek s a hozzájuk kötődő szoftvercsomagok elérhetővé válása új kvantitatív kutatási és értékelési módszerek bevezetését tették lehetővé. A szeizmika, szedimentológia robbanásszerű előretörést ért el a geológiai kutatásban a 3D-s értékelés, a szekvenciarétegtan és a komputerrel támogatott

with the introduction of such research methods as 3D seismic analysis and modeling, sequence stratigraphy and computer supported basin analysis and modeling.

There is greater and greater demand for the introduction of modern, more economical research methods within both scientific and industrial circles. These methods would certainly make the research process more reliable and cut back the costs significantly.

According to several scientists and industrial employees paleontology has turned to be out of date due to the lack of its ability for renewal. No wonder why we can see a major depression within this field of geology in our country today. However, the former statement by no means can be fully accepted as being relevant. The traditional descriptive methods of paleontology have truly become out of date in comparison to the other rapidly developing fields in geology. These however would be in fact pull factors for the future renewal of paleontology. As high-resolution biostratigraphy based on the phylogenetic and morphometric analysis of fossils is an indispensable, and extraordinarily economic component of the newly developed integrated stratigraphic and basin modeling methods. Also there is a growing interest in phylogenetic and evolutionary studies requiring new methods and new type of data within the field of paleontology.

This article would like to give a short overview of the methodologies widely used in the so-called western world for the quantitative interpretation of fossil morphologies and characters. These methods open new ways for testing of evolutionary or other hypothesis within a single taxon or between

medencemodellezés bevezetésével. Mind a tudomány, mind az ipar életében égető szükség mutatkozik a korszerű, gazdaságosabb, modern módszerek bevezetésére, melyek jelentősen növelik a kutatások megbízhatóságát, csökkentve annak költségeit.

Számos kutató véleménye az, hogy a paleontológia elavult, korszerűtlen tudománnyá vált, s hazánkban sajnos jelenleg is krízis helyzetben van. Ez az állítás azonban csak részben igaz. A hagyományos értelemben vett verbálisan leíró paleontológia a geológia többi dinamikusan fejlődő ágával szemben valóban elavulttá vált. Ezek a húzóágazatok azonban igényelnék a paleontológiai kutatások megújítását is, hiszen az új integrált sztratigráfiai és medenceanalízis vizsgálatok valamint az egyre erősödő genetikai evolúciókutatás elengedhetetlen kelléke a fossziliák filogenetikai vizsgálata és az evolúciós fejlődési sorok vizsgálatára alapozott nagy felbontású biosztratigráfia. A továbbiakban néhány olyan, nyugaton már széles körben alkalmazott módszert szeretnék ismertetni, amely lehetővé teszi a fossziliákon megfigyelhető paraméterek, bélyegek kvantitatív leírását és statisztikai alapon történő feldolgozását. Ezáltal lehetővé válik az egyes hipotézisek statisztikai alapon történő tesztelése, s a taxonokon belüli, valamint az egyes taxonok közötti kapcsolatok kvantitatív tanulmányozása. Így kvantitatív mód nyílik a fajok, taxonok szétválasztására, a közöttük rejlő kapcsolatok (hasnoltság, változás, filogenetika) értékelésére.

A paleontológia, taxonómia és paleoökológia jövője tehát a továbbiakban szorosan kapcsolódik majd a mikrokomputeres rendszerek és szoftvercsomagok fejlődéséhez, s a határ

Fig. 6. Some types of *Chitons*

6. ábra. Jellemzős bogárcsigák

several taxa on a statistical basis. These methods offer a quantitative way for the discrimination of given taxa and the interpretation of their complex interrelationships (similarity, variance and phylogeny).

The future of paleontology, taxonomy and paleoecology will be closely linked to the new developments within computer sciences and industry and the limits are the sky.

Methods for the description of biological form, shape

Size and shape are the two principal aspects of a form. Description of these serves a purely comparative goal and the testing of evolutionary processes. Besides the qualitative description the quantitative analysis of the major characters of a form is indispensable for comparative methods. All this can be carried out with the help of morphometric measurements.

The classical measurements - size, length, width - can be carried out in a computer-based environment nowadays thanks to the rapid development of technology. The newly appeared computer systems coupled to digital frame grabber cards and cameras along with the software packages make the process of morphometrics less complicated and time consuming utilizing digital image processing methods. Furthermore these systems open up new possibilities within the field of morphometrics as well.

Data received through classic measurements can be used to make a data matrix for multivariate analysis (PCA, PCD, Cluster-analysis, Correspondence Analysis). These multivariate methods help us to reduce the morphospace to two or more dimensions with

gyakorlatilag végtelennek tűnik.

A biológiai forma, alak jellemzésére használt módszerek

Egy adott forma jellemzéséhez használt két fő alkotó, a méret és az alak, melyek rögzítése alapvetően komparatív célú, illetve bizonyos evolúciós mechanizmusok tesztelését és leírását szolgálja. A kvalitatív felhasználás mellett, a tényleges összehasonlítás végett elengedhetetlen az adott forma jellemzőinek, karaktereinek kvantitatív értékelése is. Mindez pedig morfometriai mérésekkel valósítható meg.

A klasszikus értelemben vett geometriai morfometriai mérések a számítástechnika fejlődésével manapság már elvégezhetőek számítógépek segítségével is. Számos, grafikus kártyával a számítógépekhez csatlakoztatható videokamera jelent meg a piacon a megfelelő szoftvercsomaggal együtt, amely lehetővé teszi az egyes vizsgált formák digitális alapon történő feldolgozását. Ezek a szoftverek nem csupán a hagyományos értelemben vett mérések - hosszúság, szélesség stb. - könnyítik meg, illetve teszik pontosabbá, hanem új távlatokat is nyitnak. Az így kapott adathalmazt megfelelő átalakítás után többváltozós adatanalízisnek vethetjük alá (főkomponens analízis (PCA), cluster-analízis, korrespondencia analízis). Ezek a többváltozós módszerek segítenek a többváltozós morfotér dimenzióinak néhány alkotóra történő le-redukálásában, melyek a legnagyobb mértékű variancia irányát jelölik ki, lehetővé téve a komplex biológiai vagy ökológiai értékelést.

A biometria legfontosabb alapszabálya szerint lehetőleg olyan bélyegek, részek mérését kell elvégeznünk,

1. ábra. *Pteronotus varians* Fuchs körvonalának rekonstrukciója EPA statisztikus komponensek segítségével. Az első kilenc komponens (0-9) alkalmas a teljes eredeti körvonal rekonstrukciójára.

components showing the directions of maximum variance, thus helping complex ecological and biological interpretations.

The basic principle of morphometrics is that we should seek to measure parts that are homologous. By homology we mean in a broader sense the strong correspondence - shape and position - between morphological characters due to possible inheritance from a common ancestor. There are several cases however, when no homologous landmarks can be detected on the outline of a fossil form. Digital image analysis methods prove to be extraordinary useful in these cases.

Methods based on the outline analysis of forms

These methods are extremely helpful when no real homologous landmarks can be traced on the outline of a form. Two major methods are widely used in the process of continuous shape or outline analysis. Elliptic Fourier Analysis (EFA) and Eigenshape Analysis (EA). Both methods use similar input data, the x, y Cartesian coordinates of an outline easily gained with use of digital image analysis software. After the necessary rotation and data transformation (size invariance) these data matrixes can be used in both methods.

In case of EFA most of the available software packages automatically carries out the transformation and trimming of the raw data matrix by translation of coordinates and making them invariant to size and starting point (FOOTE 1991). This method carries out the reconstruction of the original outline through the Elliptic Fourier transform of the coordinates with the help of harmonic terms (Fig.1). The first harmonic

amelyek homológok. Homológián tább értelemben az adott morfológiai bélyegek közötti szoros alak és helyzeti megfelelést értjük, mely valószínűleg közös eredet eredményeképpen alakult ki. Számos olyan eset van, amikor azonban egy adott forma körvonalán nem lehetséges a homológ landmark pontok meghatározása. Ilyenkor van csak nagy szerepe a digitális képanalízisen alapuló módszereknek.

A teljesalak elemzésre épülő morfometriai módszerek

Ezek a módszerek olyan esetben jelentenek nagy segítséget, amikor egy adott formán nem jelölhető ki igazán homológ pontok. A teljesalak analízisnek két fő metódusa ismert és alkalmazott: az Elliptikus Fourier Analízis (EFA) és az Eigenshape Analízis (EA). Mindkét módszer hasonló kiindulási adatokat használ, egy adott körvonal x, y Cartesi koordinátáit. Ezen koordináták kiszámítása a digitális képanalízis szoftverek segítségével könnyen, gyorsan elvégezhető. Majd a megfelelő transláció és adat átalakítás után következhet a forma teljesalak analízise.

Az EFA esetén az elérhető szoftverek többsége automatikusan elvégzi a nyers adatok előkészítését a koordináta pontok elforgatásával, a méret eltérésekből származó különbségek kiküszöbölésével és egységes kiindulási digitalizálási pont kiszámításával (FOOTE 1991). A módszer lényege, hogy az eredeti körvonal reprodukcióját a koordináták elliptikus Fourier transzformációjával igyekszik elérni, illetve megközelíteni ún. harmonikus komponensek megadásával (1. ábra). Az első komponens által reprodukált forma a legáltalánosabb, s fokozatosan haladunk az egyre komplexebb, a többi formától eltérőbb,

gives the most general estimation of the original outline and we gradually move toward more complex, more specific outline estimation with the combination of new harmonics. The task is to choose that harmonic term,

specifikus reprodukciók felé. A feladat annak a harmonikus komponensnek a kiválasztása, amely megkülönbözteti a formát a többitől, így alkalmas annak kvantitatív leírására. Az így kapott koefficiens értékek, mint formát

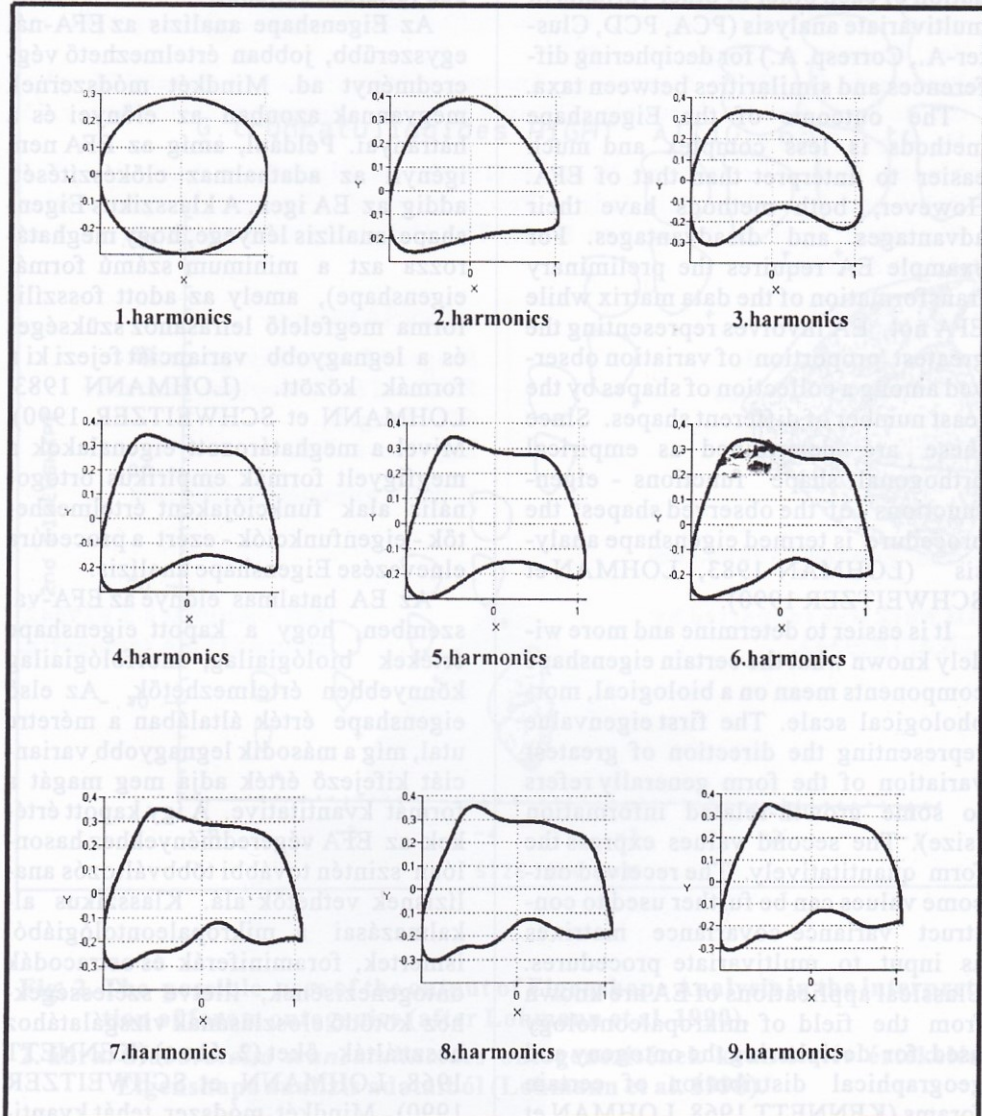


Fig. 1. Reconstruction of the outline of *Planorbis varians* snail with the help of the first nine harmonics of Elliptic Fourier Analysis.

1. ábra. *Planorbis varians* Fuchs körvonalának rekonstrukciója EFA harmonikus komponensek segítségével. Az első kilenc komponens (0-9) alkalmas a teljes eredeti körvonal rekonstrukciójára.

which serves as a basis for the discrimination of the form from the others. The coefficient values for this term serve as means of quantitative description of the shape of our analyzed form and can be further used with the combination of each other or other variants in multivariate analysis (PCA, PCD, Cluster-A., Corresp. A.) for deciphering differences and similarities between taxa.

The outcome of the Eigenshape methods is less complex and much easier to interpret than that of EFA. However, both methods have their advantages and disadvantages. For example EA requires the preliminary transformation of the data matrix while EFA not. EA involves representing the greatest proportion of variation observed among a collection of shapes by the least number of different shapes. Since these are determined as empirical orthogonal shape functions - eigenfunctions - of the observed shapes, the procedure is termed eigenshape analysis (LOHMAN 1983, LOHMAN et SCHWEITZER 1990).

It is easier to determine and more widely known what the certain eigenshape components mean on a biological, morphological scale. The first eigenvalue representing the direction of greatest variation of the form generally refers to some growth-related information (size). The second values express the form quantitatively. The received outcome values can be further used to construct variance-covariance matrixes as input to multivariate procedures. Classical applications of EA are known from the field of mikropaleontology used for deciphering the ontogeny and geographical distribution of certain forams (KENNETT 1968, LOHMAN et al. 1990) (Fig. 2).

Both methods achieve quantitatively

jellemző változók azután további többváltozós analízisnek vethetők alá (PCA, PCD, Cluster A., Correspondence A.), akár egymás vagy más variánsok kombinációjával (pl. méret) a taxonok közötti hasonlóságok illetve különbségek feltárása céljából.

Az Eigenshape analízis az EFA-nál egyszerűbb, jobban értelmezhető végeredményt ad. Mindkét módszernek megvannak azonban az előnyei és a hátrányai. Például, amíg az EFA nem igényli az adathalmaz előkészítését, addig az EA igen. A klasszikus Eigenshape analízis lényege, hogy meghatározza azt a minimum számú formát (eigenshape), amely az adott fosszilis forma megfelelő leírásához szükséges és a legnagyobb varianciát fejezi ki a formák között. (LOHMANN 1983, LOHMANN et SCHWEITZER 1990). Mivel a meghatározott eigenalakok a megfigyelt formák empirikus ortogonális alak funkciójaként értelmezhetők - eigenfunkciók - ezért a procedura elnevezése Eigenshape analízis.

Az EA hatalmas előnye az EFA-val szemben, hogy a kapott eigenshape értékek biológiailag, morfológiailag könnyebben értelmezhetők. Az első eigenshape érték általában a méretre utal, míg a második legnagyobb varianciát kifejező érték adja meg magát a formát kvantitativé. A így kapott értékek az EFA végeredményekhez hasonlóan szintén további többváltozós analízisnek vethetők alá. Klasszikus alkalmazásai a mikropaleontológiából ismertek, foraminiferák és ostracodák ontogenezisének, illetve szélességekhez kötődő eloszlásának vizsgálatához használták őket (2. ábra) (KENNETT 1968, LOHMANN et SCHWEITZER 1990). Mindkét módszer tehát kvantitativé végzi el azt, amit a paleontológus kvalitatív megfigyelhet.

what the paleontologist routinely attempts to do qualitatively.

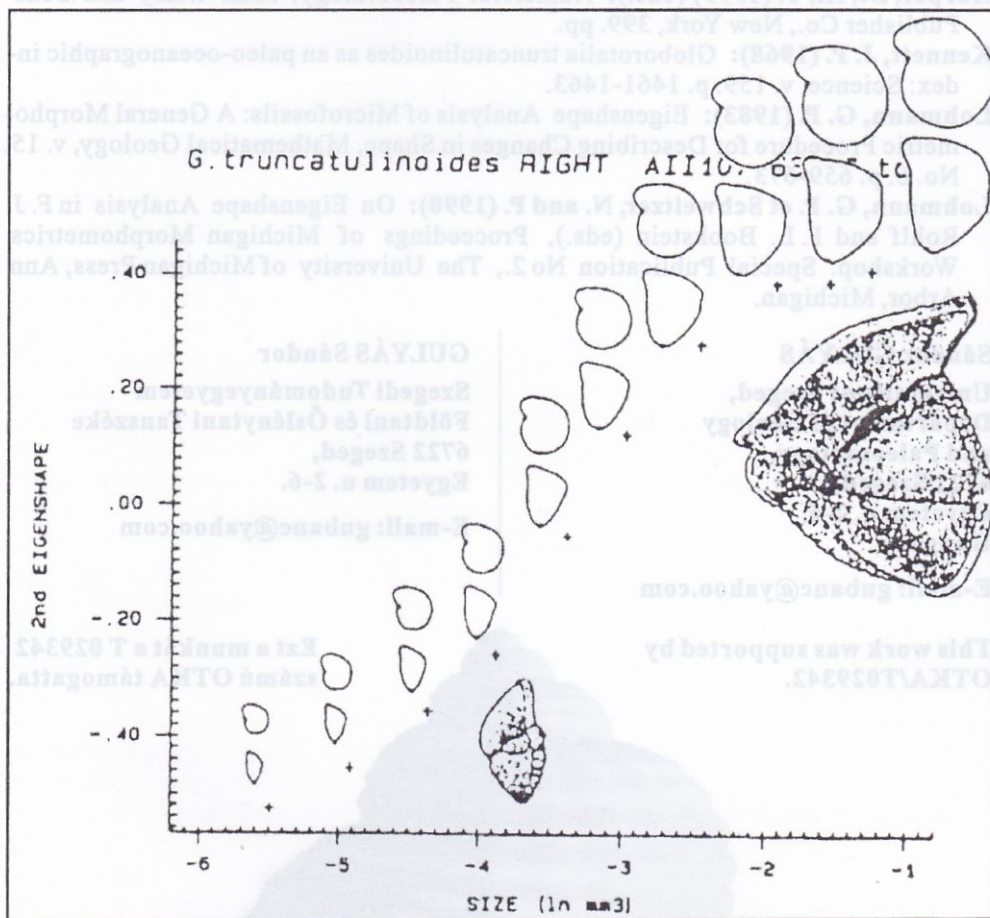


Fig. 2. The possible uses of the output of Eigenshape Analysis in the interpretation of foram ontogenies (after Lohmann et al. 1990).

2. ábra. *Globorotalia truncatulinoides* ontogenezisének kvantitatív értékelése Eigenshape analízis adataiból (Lohmann et al. 1990).

References/Irodalom

- Foote, Mike (1991):** Analysis of Morphological Data in Gilinsky, N. L., Signor, P., W., (eds.): Analytical Paleobiology, Short Courses in Palaeo No 4; Paleontological Society, p. 59-86.
- Harper, D., A., T. (1999) (eds.):** Numerical Paleobiology; John Wiley and Sons Publisher Co., New York, 399. pp.
- Kennett, J. P. (1968):** Globorotalia truncatulinoides as an paleo-oceanographic index: Science, v. 159. p. 1461-1463.
- Lohmann, G. P. (1983):** Eigenshape Analysis of Microfossils: A General Morphometric Procedure for Describing Changes in Shape, Mathematical Geology, v. 15. No. 6. p. 659-673.
- Lohmann, G. P. et Schweitzer, N. and P. (1990):** On Eigenshape Analysis in F. J. Rohlf and F. L. Bookstein (eds.), Proceedings of Michigan Morphometrics Workshop. Special Publication No 2., The University of Michigan Press, Ann Arbor, Michigan.

Sándor GULYÁS

University of Szeged,
Department of Geology
and Paleontology,
6722 Szeged,
Egyetem u. 2-6.
Hungary

E-mail: gubanc@yahoo.com

GULYÁS Sándor

Szegedi Tudományegyetem
Földtani és Őslénytani Tanszéke
6722 Szeged,
Egyetem u. 2-6.

E-mail: gubanc@yahoo.com

This work was supported by
OTKA/T029342.

Ezt a munkát a T 029342
számú OTKA támogatta.

