

Η παρεγκεφαλίδα στην κινητική εκμάθηση και πιανιστική τεχνική

Άννυ Τζούμα

Οι επαγγελματίες μουσικοί αφιερώνουν μεγάλο μέρος της καθημερινότητάς τους στην εξάσκηση, προκειμένου να επιτύχουν ένα υψηλό επίπεδο δεξιοτεχνίας και να ξεπεράσουν κάθε τεχνικό εμπόδιο. Με τη μελέτη του εγκεφάλου μέσω της Νευροεπιστήμης, είναι πλέον δυνατόν να αποσαφηνιστούν διάφοροι παράμετροι της μουσικής αντίληψης και παραγωγής, οδηγώντας σε έναν τρόπο αποδοτικότερης μελέτης μέσα από τεκμηριωμένα επιστημονικά ευρήματα. Έτσι, το παρόν άρθρο εξετάζει τον τρόπο με τον οποίο επιτυγχάνεται το υψηλό επίπεδο δεξιοτεχνίας στους επαγγελματίες μουσικούς, θέτοντας ως βάση εκκίνησης την εκμάθηση ενός κινητικού έργου και πώς αυτό μπορεί να τελειοποιηθεί μέσα από τους μηχανισμούς της παρεγκεφαλίδας.

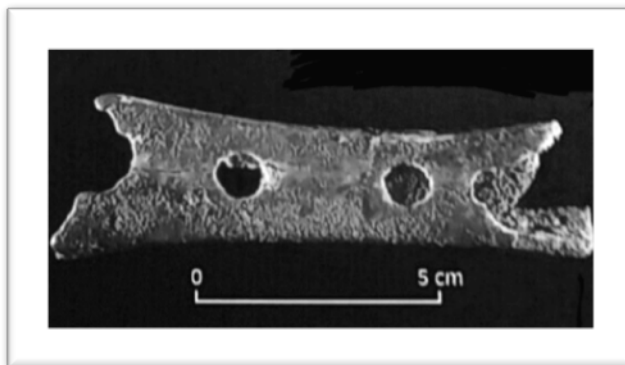
Λέξεις κλειδιά: παρεγκεφαλίδα, μνήμη, δεξιοτεχνία, πιάνο, διδακτική του πιάνου.

Εισαγωγή

Παίρνοντας το όνομά της από τις εννέα Μούσες της ελληνικής αρχαιότητας, η μουσική, ή αλλιώς Απολλώνια Τέχνη, με σκοπό να συνοδεύει την ανθρώπινη ύπαρξη από τα πρώτα της κιόλας βήματα (Μαργου, 1981: 81· Βελίς, 1999). Παρατηρώντας την πορεία της ακόμη πιο πίσω στον χρόνο, όμως, με αρχαιολογικά ευρήματα οστέινων μουσικών οργάνων να αγγίζουν ακόμη και τα 40.000 έτη (Εικόνα 1), οι επιστήμονες υποστηρίζουν ότι δεν δημιουργήθηκε αποκλειστικά για ψυχαγωγικούς ή εκπαιδευτικούς λόγους αλλά αποτελεί ένα αυθόρμητο, διαπολιτισμικό φαινόμενο, εξυπηρετώντας ίσως και μια ευρύτερη βιολογική σκοπιμότητα (Ακινόσογλου, 2010: 405–425). Κατά τον Αριστοτέλη, «Εκ μεν ουν τούτων φανερόν ότι δύναται ποιόν τι το της ψυχής ήθος μουσική παρασκευάζειν», δηλαδή «από αυτά προκύπτει πως η μουσική έχει τη δυνατότητα να επηρεάζει και να διαμορφώνει το ήθος της ψυχής» (Αριστοτέλης, 1939). Η ψυχή στην αρχαιότητα ταυτιζόταν με διάφορα όργανα, όπως δείχνουν και δύο διαφορετικές θεωρίες εκείνης της εποχής, η μία με κέντρο την καρδιά και η άλλη με κέντρο τον εγκέφαλο (Λεκατσάς, 2000). Αναζητώντας τον ρόλο του εγκεφάλου και ερχόμενος σε σύγκρουση με τις τότε επικρατούσες καρδιοκεντρικές θεωρίες, πρώτος ο Αλκμαίων υποστήριξε στα «Περι φύσεως» ότι ο εγκέφαλος είναι το κέντρο των αισθήσεων και των οργανικών λειτουργιών (Παναγής & Δαφέρμος, 2008: 324–366).

Ωστόσο, ο εντοπισμός διαφόρων λειτουργιών στον φλοιό του εγκεφάλου, αν και απασχολούσε κατά καιρούς την σύγχρονη επιστημονική κοινότητα (όπως με την επινόηση της φρενολογίας) (Renner, 2001: 249–256), άρχισε να βασίζεται σε αποδείξεις μόλις το 1861 όταν ο Paul Broca (Broca, 1861: 330–357) είχε την ευκαιρία να περιγράψει τη βαριά διαταραχή της εκφραστικής ομιλίας ενός ασθενούς και να δείξει ότι η βλάβη αυτή βρισκόταν στο πίσω τεταρτημόριο της κάτω μετωπιαίας έλικας. Με αυτόν τον τρόπο, αποδείχθηκε για πρώτη φορά ότι συγκεκριμένες λειτουργίες, όπως η ομιλία, μπορούσαν να «χαρτογραφηθούν» και έτσι να δημιουργηθεί ένας χάρτης απεικόνισης

των λειτουργιών που αναλαμβάνουν συγκεκριμένες εγκεφαλικές περιοχές (Luria, 1999: 24–26). Λίγα χρόνια αργότερα, ο Γερμανός νευρολόγος August Knoblauch (1863-1919) σχεδίασε το πρώτο αναλυτικό γνωστικό μοντέλο για τη μουσική επεξεργασία, εισάγοντας τον όρο «αμουσία» ο οποίος αντιπροσωπεύει την αδυναμία επεξεργασίας της μουσικής πληροφορίας έπειτα από εγκεφαλική βλάβη (Johnson & Graziano, 2003: 102–14). Καθώς η συστηματική μελέτη του εγκεφάλου κέρδιζε έδαφος όλο και περισσότερο, κατά τα τέλη της δεκαετίας του 1950 αναγνωρίστηκε ως χωριστή επιστήμη με τον όρο *Neuroscience* και κατ' επέκταση βρήκε εφαρμογή σε πολλούς άλλους τομείς σχηματίζοντας νέες κατευθύνσεις (νευροδιδακτική, νευροψυχολογία, νευρομουσικολογία, νευροθητική κ.ά.) (Cowan et al., 2000: 345–346).



Εικόνα 1. Εύρημα του παλαιοντολόγου Ivan Turk. Οστέινη Φλογέρα που χρονολογείται μεταξύ 43.000-68.000 ετών. Φυλάσσεται στο Αρχαιολογικό Ινστιτούτο ZRC-Sazu, Σλοβενία. (Φωτογραφία Marko Zapatil)

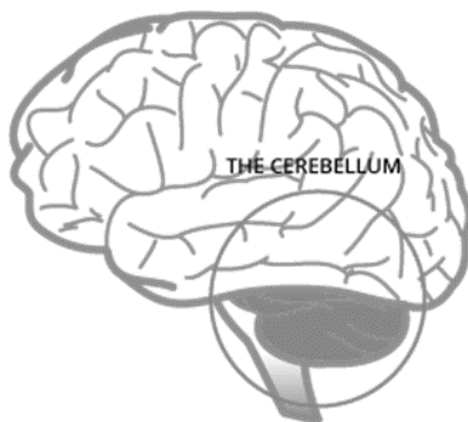
Σήμερα, η Νευροεπιστήμη στη μουσική ή αλλιώς «νευρομουσικολογία», ερευνά τον τρόπο με τον οποίο γίνεται η επεξεργασία της μουσικής στον εγκέφαλο, εστιάζοντας στην επιρροή της μουσικής στα συναισθήματα και σε διάφορες εγκεφαλικές δομές, αλλά και στην παρατήρηση διαφόρων νευρολογικών καταστάσεων που σχετίζονται είτε με την απουσία μουσικής κατανόησης (αμουσία) είτε με την ιδιαίτερη ικανότητα αντίληψης αυτής (*music savants*, απόλυτη ακοή, συναισθησία, σύνδρομο Williams (Semel & Rosner, 2003: 234–248) κ.ά.). Η μελέτη διαφόρων εγκεφαλικών περιοχών και του πώς αυτές συμμετέχουν στην ολοκλήρωση της μουσικής εμπειρίας είναι σε θέση πλέον να προσφέρει μια τελείως διαφορετική βάση στην παιδαγωγική προσέγγιση της μουσικής, οδηγώντας σε έναν τρόπο εκπαίδευσης βασιζόμενο σε επιστημονικά ευρήματα και όχι αποκλειστικά σε μεμονωμένες εμπειρίες.

Στη μουσική, η ορθή ερμηνεία είναι άρρηκτα δεμένη με το υψηλό επίπεδο τεχνικής, ενώ αντίθετα, ένα τεχνικά άρτιο έργο δεν συνεπάγεται απαραίτητα και την μετάδοση των συγκινησιακών χαρακτηριστικών του προς τον ακροατή. Αυτό συμβαίνει διότι η ορθή εκφραστικότητα είναι αδύνατον να επιτευχθεί εάν δεν έχουν ξεπεραστεί όλες οι τεχνικές δυσκολίες. Μια διακοπή στη μουσική φράση, μια αρμονική ή μελωδική αστοχία, είναι σε θέση να παραμορφώσουν την ευρύτερη μουσική ιδέα και με αυτόν τον τρόπο το έργο να εκπέσει αφήνοντας μια χλιαρή έως και δυσάρεστη τελική

εντύπωση. Για αυτόν τον λόγο οι επαγγελματίες μουσικοί αφιερώνουν αμέτρητες ώρες της καθημερινότητάς τους στην εξάσκηση πριν την τελική παρουσιάσή τους σε κοινό. Ποιες μέθοδοι μελέτης όμως χρησιμοποιούνται και ποιες είναι πιο αποδοτικές για την επίτευξη αυτού του στόχου; Η απάντηση βρίσκεται στο μέρος του εγκεφάλου που αναλαμβάνει την κινητική εκμάθηση, το οποίο δεν είναι άλλο από την παρεγκεφαλίδα. Στο παρόν άρθρο θα μελετήσουμε τον ιδιαίτερο ρόλο της παρεγκεφαλίδας στον τρόπο με τον οποίο επιτυγχάνεται η κινητική εκμάθηση.

Στοιχεία φυσιολογίας της παρεγκεφαλίδας

Η παρεγκεφαλίδα εδράζεται στο πίσω μέρος του εγκεφάλου, κάτω από τα εγκεφαλικά ημισφαίρια, και εναλλακτικά καλείται «ελάσσων εγκέφαλος» (cerebellum= little brain). Ενώ αποτελεί μόνο το 1/10 του συνόλου του εγκεφάλου, ο αριθμός των νευρώνων της ξεπερνά κατά τέσσερις φορές τον αριθμό των κυττάρων του φλοιού και ο συνολικός όγκος της παρατηρήθηκε να αυξάνεται μέχρι και κατά 5% σε επαγγελματίες μουσικούς με πρώιμη μουσική εκπαίδευση (Schaug, 2001: 281–299).



Εικόνα 2: Απεικόνιση της τοποθεσίας της παρεγκεφαλίδας

Στις αρχές του 19^{ου} αιώνα (βλ. Kandel et al., 2014), οι γνώσεις σχετικά με τη λειτουργία της ήταν ιδιαίτερα περιορισμένες, με τους επιστήμονες να της αποδίδουν μόνο τον έλεγχο της κίνησης μέσω του κινητικού συντονισμού. Πιο συγκεκριμένα, θεωρούσαν ότι η παρεγκεφαλίδα δρα ως ένα όργανο σύγκρισης το οποίο διορθώνει τα σφάλματα που προκύπτουν στην εκτελούμενη κίνηση όταν αυτή αποκλίνει σε σχέση με την επιδιωκόμενη. Το 1944 όμως, οι Snider και Stowell (Snider & Stowell, 1944: 331–358) άρχισαν να παρατηρούν ότι δυσλειτουργίες της παρεγκεφαλίδας συνέπιπταν συχνά με ακουστικά προβλήματα, όπως στον ηχοενοτισμό και μειωμένη ακουστική μνήμη ή προσοχή και έτσι διεξήγαγαν καινοτόμα πειράματα κατά τα οποία εντόπισαν και κατέγραψαν περιοχές της παρεγκεφαλίδας που αναλαμβάνουν ακουστικές λειτουργίες.

Μετά τη δεκαετία του 1980, με την επινόηση και εξέλιξη μη επεμβατικών μεθόδων μελέτης του εγκεφάλου (PET, MRI, fMRI), η επιστημονική κοινότητα μπόρεσε να

ανεξαρτητοποιηθεί από τις αποκλειστικές μελέτες πάνω σε ζωικά μοντέλα και να μελετήσει αναίμακτα τον φυσιολογικά αναπτυσσόμενο εγκέφαλο με αποτέλεσμα την ξαφνική άνθιση της έρευνας του εγκεφάλου. Έτσι, φάνηκε ότι η παρεγκεφαλίδα συμμετέχει και σε ένα πλήθος άλλων λειτουργιών όπως, λεκτική παραγωγή και επεξεργασία, μνήμη εργασίας, τονική αντίληψη, αισθητηριακή διάκριση, ακόμη και συναισθηματική αντίληψη (Schmahmann & Sherman, 1998: 561–579).

Το 1977 οι Gilbert και Thach (Gilbert & Thach, 1977: 309–328), διατύπωσαν τη θεωρία για τη συμβολή της παρεγκεφαλίδας στη μάθηση, η οποία επιβεβαιώθηκε μερικά χρόνια αργότερα (Lou & Bloedel, 1986: 340–344). Ενισχυτικά με τα παραπάνω δεδομένα, βρέθηκε ότι νευρικές αλλαγές οι οποίες διεκπεραιώνουν τη μαθησιακή διαδικασία, εντοπίζονται και στις δομές της παρεγκεφαλίδας, ενώ παράλληλα παρεγκεφαλιδικές βλάβες έχουν αρνητικές συνέπειες στην απόκτηση μιας κινητικής δεξιότητας καθ' όλα τα στάδια της εκμάθησής της (Molinari et al., 1997: 1753–1762).

Η Παρεγκεφαλίδα και οι 3 βασικές της λειτουργίες

A) Λεπτός κινητικός συγχρονισμός

Η ακρίβεια και ικανότητα της κίνησης στους επαγγελματίες μουσικούς εξαρτάται τόσο από την πολύχρονη εξάσκηση και την εκγύμναση των μικρών μυών, όσο και από τον λεπτό συντονισμό για τον ακριβή υπολογισμό των κινήσεων. Στην αναζήτηση του ρόλου της παρεγκεφαλίδας ως προς τον έλεγχο του λεπτού συγχρονισμού, οι Penhune et al. (1998) μέσω της διεξαγωγής πειραμάτων, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι διαφορετικά μέρη της είναι υπεύθυνα για διαφορετικές παραμέτρους του συγχρονισμού και πως συγκεκριμένα τα πλευρικά ημισφαίριά της εμπλέκονται στο πεδίο του συγχρονισμού ενώ οι κεντρικές δομές συμμετέχουν στην εκτέλεση της κίνησης.

Παρά το γεγονός ότι η μάθηση εξαρτάται από την ενδυνάμωση των συνδέσεων μεταξύ των νευρώνων, όπως διατύπωσε ο νευροανατόμος Santiago Ramon y Cajal (1852-1934), η κινητική εκμάθηση περιλαμβάνει και μία ακόμη παράμετρο, αυτήν του χρόνου. Η παρεγκεφαλίδα μπορεί και υπολογίζει τον χρόνο σε κυτταρικό επίπεδο μέσω των κυττάρων Purkinje από τα οποία αποτελείται. Τα κύτταρα Purkinje, τα οποία δεν συναντώνται σε άλλο μέρος το εγκεφάλου, με μόνη εξαίρεση τους αιθουσαίους πυρήνες, διαθέτουν την ικανότητα να μάθουν ολόκληρες ακολουθίες απόκρισης σε ερεθίσματα και όχι μόνο μεμονωμένες αντιδράσεις σε αυτά (Jirenhed et al., 2017: 6127–6132) (Jirenhed & Hesslow, 2011: 9070–9074). Έτσι, προκύπτει ότι τα συγκεκριμένα κύτταρα είναι εκείνα που υποστηρίζουν πολύπλοκες κινήσεις, οι οποίες απαιτούν ακριβή συγχρονισμό, όπως οι κινήσεις των χεριών κατά την εκτέλεση ενός μουσικού έργου στο πιάνο.

Ως εκ τούτου, με την προϋπόθεση ότι το αισθητηριακό ερέθισμα περιέχει κάποια χρονική σχέση, η παρεγκεφαλίδα αναζητάει μια συνέχεια σε κάθε επόμενο ερέθισμα. Ανιχνεύοντας ρυθμικά μοτίβα, στέλνει σήματα πίσω στον κινητικό φλοιό πριν από την πραγματοποίηση της κίνησης και ουσιαστικά υποθέτει ποια θα είναι η επόμενη. Αυτό έχει ως συνέπεια τη μείωση των σφαλμάτων επί της εκτελουμένης κίνησης με

αποτέλεσμα αυτή να απαιτεί λιγότερες διορθώσεις (Molinari et al., 1997: 1753–1762· Νίχον, 2003: 114–122).

Στον λεπτό συγχρονισμό πολύτιμος συνεργάτης είναι και ο ύπνος. Αν και κατά το πρώτο μισό του 20ού αιώνα, η επιστημονική κοινότητα θεωρούσε ότι η θετική επίδραση του ύπνου στη μνήμη οφειλόταν στο γεγονός ότι κατά τη διάρκειά του απλά δεν υπήρχαν παρεμβολές από το εξωτερικό περιβάλλον (Jenkins & Dallenbach, 1924: 605–612· Van Ormer, 1932: 5–49), στα χρόνια που ακολούθησαν η ιδέα περί ενεργητικής συμβολής του ύπνου στη μάθηση άρχισε να κερδίζει έδαφος. Συγκεκριμένα, οι Plihal και Born (1997) βρήκαν ότι ειδικά ο ύπνος βραδέων κυμάτων (SWS), ο οποίος συμβαίνει κυρίως κατά τις τρεις πρώτες ώρες του ύπνου και θεωρείται ο βαθύτερος όλων, είναι υπεύθυνος για αυξημένη απόδοση σε τεστ μνήμης.

Η συμβολή του ύπνου φαίνεται να είναι ιδιαίτερα κρίσιμη όχι μόνο στη συγκράτηση πληροφοριών αλλά γενικότερα όταν έπεται δραστηριότητας που εμπλέκει τη μάθηση, έχοντας ευεργετική επίδραση στη βελτίωση κινητικών δεξιοτήτων, και ειδικότερα σε εκείνες που έχουν να κάνουν με τον αθλητισμό ή τη μουσική εκτέλεση (Gais et al., 2006: 259–262) (Walker et al., 2002: 205–211). Με αυτό το γνώμονα, οι Canto et al. (2017), συνδέοντας παλαιότερες έρευνες (DelRosso & Hoque, 2014: 893–900) (Gao et al., 2012: 619–635) με την παρεγκεφαλίδα, διαπίστωσαν ότι ο ύπνος έχει ως συνέπεια τη βελτίωση στην ταχύτητα και την ακρίβεια των κινητικών έργων. Μάλιστα, όχι μόνο κατά τη διάρκεια της νύχτας αλλά και την ημέρα, ο ύπνος είναι κρίσιμος στη μνημονική ενίσχυση εφόσον κυμαίνεται μεταξύ 60-120 λεπτών (Mednick et al., 2003: 697–698) (Nishida & Walker, 2007: e341).

Από όλα αυτά τα δεδομένα προκύπτει το λογικό επακόλουθο ότι παθήσεις της παρεγκεφαλίδας θα μπορούσαν να έχουν δυσμενή επίδραση στη ρυθμική απόκριση. Πράγματι, μέσα από σχετικά πειράματα, εντοπίστηκε ότι η παρεγκεφαλίδα επηρεάζει την ικανότητα αντίληψης ρυθμικών αλλαγών αλλά και τη μίμηση ρυθμικών προτύπων (Sakai et al., 1999: 10074–10081) (Molinari et al., 2003: 313–321). Ειδικά σε περιπτώσεις ατροφίας, βρέθηκε ότι οι ασθενείς δυσκολεύονταν ιδιαίτερα στη διατήρηση ενός σταθερού ρυθμού, σημειώνοντας πολύ χαμηλή επίδοση σε σχετικά τεστ (Molinari et al., 2003: 313–321).

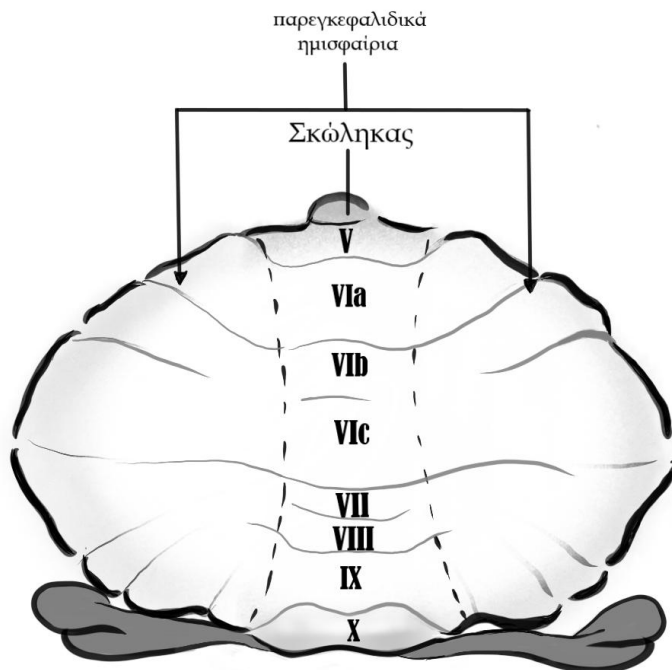
Εντύπωση προκαλούν μάλιστα τα ευρήματα από μελέτες περιπτώσεων αναπτυξιακής δυσλεξίας, που, παρά την ετερογένεια των χαρακτηριστικών της, εμφανίζει ως κοινό γνώρισμα σε όλες τις περιπτώσεις την αδυναμία των πασχόντων σε ρυθμικές δεξιότητες, όπως είναι η εκτίμηση του χρόνου (Nicolson et al., 1995: 43–47), η ρυθμική κρούση δαχτύλων (Wolf et al., 1991: 123–141) και ο εντοπισμός πολύπλοκων ρυθμικών σχημάτων (Kujala et al., 2000: 262–266). Αυτές οι παρατηρήσεις μάλιστα, εντοπίζονται και με συγκεκριμένες δομικές διαφορές, καθώς βρέθηκε ότι η βάση της παρεγκεφαλίδας και οι περιοχές του φακοειδούς πυρήνα διαφέρουν στο 100% των ατόμων με δυσλεξία (Pernet et al., 2009: 2278–2292).

B) Εντοπισμός σφαλμάτων

Η εκμάθηση μιας κίνησης αποτελείται από αυστηρώς ιεραρχημένα στάδια που εμπλέκουν την παρεγκεφαλίδα. Για κάθε νέα κίνηση η παρεγκεφαλίδα α) δέχεται τις

πληροφορίες από τον κινητικό και προκινητικό φλοιό, β) λαμβάνει την πληροφορία της πραγματικής κίνησης από την περιφέρεια (από τα αισθητήρια όργανα), γ) οι κινήσεις που δεν εμπίπτουν στη επιδιωκόμενη ροή των κινητικών έργων μεταφέρονται μέσω των αναρριχητικών ινών ως Σφάλματα/ Εκτελεστικά λάθη και δ) τροποποιεί τις εντολές των κύριων κατιόντων κινητικών συστημάτων του εγκεφάλου μέσω της συναπτικής διαβίβασης. Με αυτόν τον τρόπο, η δραστηριότητα των νευρώνων της παρεγκεφαλίδας μεταβάλλεται με την εμπειρία και συμβάλλει στην εκμάθηση νέων κινητικών έργων (βλ. Γιγής & Παρασκευάς, 1999).

Η κυριότερη πληροφόρηση που μπορεί να έχει ένας μουσικός για την κίνησή του είναι μέσω της ηχητικής απόκρισης του οργάνου στο άγγιμά του, επομένως μέσω του ακουστικού συστήματος. Αυτό ονομάζεται αισθητική ανάδραση (sensory feedback), και συνδέεται άμεσα με την παρεγκεφαλίδα, για την ταχύτερη δυνατή διαχείριση του σήματος. Μέσω του κοχλιακού πυρήνα, νευρωνικές προβολές καταλήγουν στον σκώληκα της παρεγκεφαλίδας (Niemer & Cheng, 1949) (Huang et al., 1982) ενώ νευρωνικές προβολές του οδοντωτού πυρήνα οδηγούν στα παρεγκεφαλιδικά ημισφαίρια υποδεικνύοντας μία νέα ακουστική οδό (Wang et al., 1991). Ο σκώληκας, ο οποίος παρουσιάζει τις ίδιες τονοτοπικές ιδιότητες (αναπαράσταση συχνοτήτων) με τον ακουστικό κοχλία, δέχεται επίσης προσαγωγές ίνες από τους οπτικούς και απτικούς υποδοχείς, στέλνοντας σήματα στις κροταφικές συνδέσεις των λοβών VI και VII του Larsell (1937) (Εικόνα 3).



Εικόνα 3: ο διαχωρισμός της παρεγκεφαλίδας σε λοβίσκους από τον Olof Larsell (1886-1964)

Εν συντομία, ο ήχος που προσλαμβάνεται από το ακουστικό νεύρο μεταβιβάζεται στην παρεγκεφαλίδα και μας πληροφορεί για εκτελεστικά λάθη που στη συνέχεια τροποποιούνται ως επόμενες εντολές έτσι ώστε κάθε επανάληψη να έχει λιγότερα σφάλματα. Αυτός ο τρόπος λειτουργίας συμβαίνει ανεξάρτητα από την πρόθεση του ασκούμενου και δεν υπόκειται σε συνειδητό έλεγχο. Με την πάροδο του χρόνου, εάν το σφάλμα παραμένει, το σύστημα της παρεγκεφαλίδας προσαρμόζεται, με συνέπεια οι εκπολώσεις των αναρριχητικών ινών να επιστρέφουν στα φυσιολογικά επίπεδα και να παύουν να σηματοδοτούν σφάλματα (Miles & Eighmy, 1980: 1406–1425). Αυτό εξηγεί και πώς πολλές φορές, αρχάριοι ή μέσης εκπαίδευσης μαθητές, οδηγούνται από την παροδική αποδοχή σε μία επιλεκτική “κώφωση” πάνω σε προβληματικά σημεία που στην αρχή τους ήταν αντιληπτά. Συνεπώς, ο ασκούμενος οφείλει να αντιμετωπίζει και να διορθώνει άμεσα τα εκτελεστικά λάθη πριν αυτά παγιωθούν και ενσωματωθούν στο υπόλοιπο σύνολο ως μέρος του μουσικού κειμένου.

Η ενσωμάτωση ενός λάθους, όμως, δύναται να συμβεί ακόμη και αν ήδη έχει τελειοποιηθεί ένα μουσικό μέρος. Μέσω της συνεχούς επανάληψης προστίθενται πολλές φορές μικρές μεταποιήσεις, οι οποίες εν αρχή είναι τόσο δυσδιάκριτες που περνούν απαρατήρητες. Οι μεταποιήσεις μπορεί να έχουν να κάνουν με τις ρυθμικές αξίες, με τη στόχευση (σε όργανα που δεν έχουν σταθερές θέσεις για τα χέρια) ή ακόμη και με λάθη στις ίδιες τις νότες, που, λόγω της παρόμοιας αρμονίας με την εκείνη του πρωτοτύπου κειμένου, δεν προσελκύουν την προσοχή. Το λάθος αυτό σταδιακά διογκώνεται, ώπου καταλήγει να μετατρέπεται σε κάτι εντελώς διαφορετικό από το αναγραφόμενο, ξεγελώντας ουσιαστικά τον μηχανισμό εντοπισμού σφαλμάτων της παρεγκεφαλίδας.

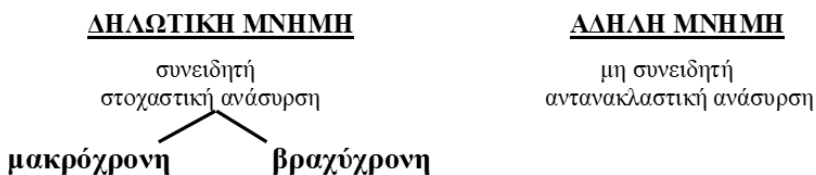
Γ) Αυτοματοποίηση

Η άλλη ιδιότητα της παρεγκεφαλίδας είναι η αυτοματοποίηση, καθώς η παρεγκεφαλίδα διαδραματίζει ουσιαστικό ρόλο και στη συνθήκη κατά την οποία μια ελεγχόμενη διαδικασία μετασχηματίζεται σε αυτοματοποιημένη, δηλαδή απομνημονεύεται (Courchesne & Allen, 1997: 1–35). Η οδήγηση αυτοκινήτου, ποδηλάτου και οι πολύπλοκες κινητικές διεργασίες είναι μερικές από τις καθημερινές ασχολίες που λειτουργούν βάσει αυτοματοποίησης και αλλιώς θα ήταν αδύνατο να πραγματοποιηθούν. Έρευνες εντός της τελευταίας εικοσαετίας (Boyd & Winstein, 2004: 134–143) (Petrosini et al., 2003: 252–264) (Nicolson et al., 1999: 1662–1667) (Nixon & Passingham, 2001: 251–257) δείχνουν ότι η παρεγκεφαλίδα δεν είναι βασική μόνο στην απόκτηση και τελειοποίηση των δεξιοτήτων αλλά και στην αυτοματοποίηση αυτών, ενώ παράλληλα τραυματισμοί της παρεγκεφαλίδας οφειλόμενοι σε κρανιοεγκεφαλικές κακώσεις έχουν αρνητικές συνέπειες στην απόκτηση νέων κινητικών έργων (Molinari et al., 1997: 1753–1762).

Η απομνημόνευση μιας κινητικής διεργασίας ξεκινάει από τη συνείδηση και επιθυμία της κίνησης αυτής και στην πορεία, μέσω της επαναληπτικότητας και της επεξεργασίας καταλήγει να εδραιωθεί ως εμπειρία. Όλα ξεκινάνε από τον τρόπο που λειτουργεί το μνημονικό σύστημα το οποίο έχει διαφορετικούς μηχανισμούς για την παροδική συγκράτηση μιας πληροφορίας, για την μακρόχρονη αποθήκευση δεδομένων

ή για τις συνήθειες που συχνά αποκτούνται ασυνείδητα. Πιο συγκεκριμένα, ο βασικότερος διαχωρισμός, που είναι και ο πιο διαδεδομένος για τη μνήμη, είναι μεταξύ **δηλωτικής** (explicit) και **άδηλης μνήμης** (implicit).

Συνοπτικά, η **δηλωτική μνήμη** (explicit) διαμορφώνεται από αναμνήσεις στις οποίες μπορούμε να ανατρέξουμε συνειδητά και να τις ανασύρουμε. Μέσω τυχαίων παρατηρήσεων, όπως στην περίπτωση του ασθενούς H.M. (Squire & Kandel, 2009: 28 – 33) προέκυψε ότι η δηλωτική μνήμη χωρίζεται σε ακόμη δύο κατηγορίες: τη μακρόχρονη και τη βραχύχρονη. Η **μακρόχρονη μνήμη** αφορά όλες εκείνες τις αναμνήσεις του παρελθόντος που μας ορίζουν, προσωπικές εμπειρίες και γενικότερες γνώσεις, ενώ η **βραχύχρονη μνήμη**, είναι εκείνο το είδος που χρησιμοποιούμε για να συγκρατήσουμε έναν αριθμό τηλεφώνου μέχρι να τον καταγράψουμε σε κάποιο χαρτί. Από την άλλη πλευρά, η **άδηλη μνήμη** (implicit) είναι η μη συνειδητή μνήμη που προκύπτει ως αλλαγή στη συμπεριφορά και περιλαμβάνει αντιληπτικές και κινητικές δεξιότητες ή συνήθειες, που λειτουργούν αντανάκλαστικά και όχι στοχαστικά (αντιπροσωπευτικό παράδειγμα αποτελεί το φαινόμενο κατά το οποίο ένα μουσικό έργο μπορεί να ξετυλιχθεί στη μνήμη, έπειτα από μία και μόνο αρχική νύξη).



Εκ πρώτης όψευς, φαίνεται λογικό στην κινητική εκμάθηση να μας αφορά μόνο το είδος της μνήμης που ονομάζεται άδηλη εφόσον μόνο σε αυτή εμπεριέχονται οι κινητικές δεξιότητες. Η άδηλη μνήμη, όμως, δεν λειτουργεί ανεξάρτητα. Όλα τα μνημονικά είδη είναι αλληλένδετα και για τη συνεργασία τους απαιτείται ένας κεντρικός επεξεργαστής του οποίου η ύπαρξη προτάθηκε το 1974 από τους Baddeley και Hitch με τον όρο **«working memory»**. Εναλλακτικές αποδόσεις στα ελληνικά σήμερα είναι «ενεργός μνήμη», «μνήμη εργασίας» ή «εργαζόμενη μνήμη». Σύμφωνα με το μοντέλο των Baddeley & Hitch, η μνήμη εργασίας αποτελείται από έναν κεντρικό επεξεργαστή ο οποίος διαχειρίζεται προσωρινά τις εισερχόμενες πληροφορίες (οπτικές ή ακουστικές) σε συνδυασμό με παλαιότερες αναμνήσεις και εμπειρίες, έχοντας ως στόχο την εκτέλεση μιας διεργασίας, δηλαδή, η μνήμη εργασίας αναλαμβάνει τον συνεχή προγραμματισμό μιας ακολουθίας κινήσεων σε πραγματικό χρόνο (Brown et al., 2014: 57–86).

Επί παραδείγματι, στην περίπτωση της εκτέλεσης ενός μουσικού έργου ακολουθείται η κάτωθι πορεία: Η μνήμη εργασίας διαχειρίζεται τις παλαιότερες γνώσεις (μακρόχρονη μνήμη), ανασύροντας τις απαραίτητες πληροφορίες της πρότερης μουσικής εκπαίδευσης, στη συνέχεια λαμβάνει τις νέες πληροφορίες από την παρτιτούρα (βραχύχρονη μνήμη), και οργανώνοντάς τις τις μετατρέπει σε κίνηση (άδηλη μνήμη). Σε αυτό το στάδιο, αναλαμβάνει η παρεγκεφαλίδα έτσι ώστε το νέο κινητικό έργο να περάσει σε αυτοματοποιημένο επίπεδο και να αποθηκευτεί μόνιμα στον εγκεφαλικό φλοιό (Penhune et al., 1998: 752–765). Με λίγα λόγια, η κίνηση

ξεκινάει ως μια ελεγχόμενη διεργασία και σταδιακά μετατρέπεται σε αυτοματοποιημένη. Πώς, όμως, συμβαίνει αυτό;

Η κινητική εκμάθηση περνάει μέσα από τρία στάδια μέχρι να θεωρηθεί ότι έχει ολοκληρωθεί επιτυχώς (Doyon et al., 2009: 61–75). Κατά το πρώτο στάδιο, η κινητική εκμάθηση στηρίζεται κυρίως στην αισθητική ανάδραση (Rattoni et al., 2000) και η κίνηση τείνει να μην είναι απόλυτα συγχρονισμένη, με αποτέλεσμα να προκύπτουν αρκετά σφάλματα (Hauptmann et al., 2005). Στο δεύτερο στάδιο, η κίνηση έχει μερικούς απομνημονευθεί αλλά εξακολουθεί να απαιτεί νοητική συγκέντρωση και γνωστικό έλεγχο (Hauptmann et al., 2005), και στο τελικό στάδιο, η κίνηση περνάει σε αυτοματοποιημένο επίπεδο, απαιτεί λιγότερη προσοχή και αυτή η δεξιότητα μπορεί πλέον να μεταφερθεί και σε διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες (Walker, 2005: 51–64).

Η κίνηση η οποία έχει περάσει με επιτυχία στο τελευταίο στάδιο είναι ασφαλής όχι μόνο λόγω της ανεξαρτησίας της από τη νοητική συγκέντρωση αλλά και διότι η παρεγκεφαλίδα σε αυτό το επίπεδο αναστέλλει τις εισερχόμενες αισθητηριακές πληροφορίες, εμποδίζοντας τυχόν παρεμβολή εξωτερικών παραγόντων σε αυτήν (Nixon, 2003: 114–122).

Ωστόσο, η διαδικασία του μετασχηματισμού των ελεγχόμενων διεργασιών σε αυτοματοποιημένες δεν αφορά μόνο τις κινητικές διεργασίες αλλά και τις νοητικές και τις αισθητηριακές. Σύμφωνα με τους Petrosini et al. προκύπτει ότι η ενεργοποίηση της παρεγκεφαλίδας είναι παρούσα τόσο κατά την οπτική παρατήρηση (Petrosini et al., 2003: 252–264), όσο και κατά τη νοερή επανάληψη κινητικών έργων, με αποτέλεσμα μέσα από αυτόν τον τρόπο να επιτυγχάνεται η βελτίωση της επίδοσης (Courchesne & Allen, 1997: 1–35). Αυτό μάλιστα εναρμονίζεται πλήρως τόσο με την αρχή του Carpenter όσο και με την τεκμηρίωση του φυσιολόγου Edmund Jacobson (Jacobson, 2011) ο οποίος παρατήρησε την ομοιότητα στα ηλεκτρομυογραφικά διαγράμματα μεταξύ της πραγματικής και νοερής κίνησης (βλ. Γεωργιάδου, 2017: 64–85). Οι συνεχείς επαναλήψεις (είτε νοερά είτε φυσικά) οδηγούν στην προσαρμογή της παρεγκεφαλίδας, δια του μηχανισμού εντοπισμού σφαλμάτων, και προοδευτικά βελτιώνουν την ταχύτητα, την ακρίβεια και την καταλληλότητα της προγραμματισμένης κίνησης (Ito, 1997: 475–487). Έτσι, ενώ το μυϊκό σύστημα ξεκουράζεται, ένας μουσικός μπορεί να εξελιχθεί στα μηχανικά στοιχεία ενός κομματιού χωρίς να επιβαρύνει το σώμα του και αποφεύγοντας πιθανό τραυματισμό οφειλόμενο στην υπέρχρηση (Gregg et al., 2008: 231–247).

Εφαρμογές στη μελέτη και παιδαγωγική προσέγγιση

Η σημασία της ομαδοποίησης

Προκειμένου να φτάσουμε στην αυτοματοποίηση με τον ταχύτερο δυνατό τρόπο, οφείλουμε να εκμεταλλευτούμε στο έπακρο τις δυνατότητες που μας δίνονται, γνωρίζοντας όλη τη διαδρομή που ακολουθείται για την κινητική εκμάθηση, από το πρώτο βήμα έως το τελευταίο. Πριν ακόμα περάσουμε στην ίδια την κίνηση, επεξεργαζόμαστε τις οδηγίες που μας δίνονται από την παρτιτούρα (τονικά ύψη,

άρθρωση, μελωδική γραμμή) και έτσι συγκεκριμενοποιούμε νοερά την κινητική διαδρομή και ορίζουμε το πώς θα την επιτύχουμε. Πιο συγκεκριμένα, η οπτική πληροφορία που εισέρχεται από το οφθαλμικό νεύρο, περνάει στη βραχύχρονη μνήμη η οποία αποτελεί και την πύλη εισόδου για τη μακρόχρονη αποθήκευση. Επομένως, ο πρώτη «πρόκληση» που συναντά η πληροφορία είναι να μπορέσει να διατηρηθεί τόσο ώστε να μπορέσει να περάσει από τη βραχύχρονη στη μακρόχρονη μνήμη, και η βασική προϋπόθεση για αυτήν την επιθυμητή εξέλιξη είναι να έχει περιορισμένο μέγεθος.

Αυτό συμβαίνει διότι, σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά της, η βραχύχρονη μνήμη διαρκεί μέχρι 30 δευτερόλεπτα και δεν μπορεί να συγκρατήσει παραπάνω από 7 στοιχεία (Miller, 1956: 81–97). Ως εκ τούτου, ο κάθε μουσικός οφείλει να οργανώνει το έργο που του δίνεται έτσι ώστε να μπορεί να συγκρατήσει και να διαχειριστεί με ευκολία το μουσικό απόσπασμα. Αυτό μπορεί να το επιτύχει με τον αρχικό επιμερισμό του έργου σε κομμάτια και με την οργάνωση του κειμένου μέσω της ομαδοποίησης (Chaffin et al., 2010: 3–30).

Η ομαδοποίηση ξεχωριστών στοιχείων σε ένα ενιαίο, είναι μια φυσική τάση που έχει ο εγκέφαλος για να αντιλαμβάνεται τα στοιχεία του περιβάλλοντος. Με αυτόν τον τρόπο, είναι ευκολότερα αντιληπτά, επιτρέποντας και διευκολύνοντας την τελική καταχώρησή τους στη μνήμη (Humphrey, 1924: 401–412). Το 1890 η ψυχολογία Gestalt, αναφερόμενη κυρίως στην οπτική αντίληψη, εξήγησε πώς τα διάφορα στοιχεία συνδυάζονται μεταξύ τους έτσι ώστε να φτιάξουν μεγαλύτερες ενότητες. Η θεωρία αυτή (προερχόμενη από τη γερμανική λέξη που σημαίνει «μορφή») υποστηρίζει ότι ερμηνεύουμε τα ερεθίσματα από το περιβάλλον οργάνωντάς τα σε ομάδες και ο κανόνας αυτής της ομαδοποίησης χρησιμοποιεί τέσσερα βασικά χαρακτηριστικά: την **ομοιότητα** των στοιχείων, την **εγγύτητα/γεινιάσή** τους, τη **συνέχεια** (προτίμηση στοιχείων που ενώνονται μεταξύ τους) και τη **συμπλήρωση**, δηλαδή την ομαδοποίηση όσων αντικειμένων μοιάζουν να ακολουθούν μια κοινή κατεύθυνση ή πορεία (Koffka, 1935).

Ομοίως στη μουσική, η ομαδοποίηση μπορεί να είναι είτε ακουστική (βάσει αρμονίας, τονικού ύψους ή ρυθμού), είτε οπτική μέσω της παρτιτούρας (βάσει αξιών, μελωδικής ανάβασης/κατάβασης, μελωδικών σχημάτων). Με αυτόν τον τρόπο, ένα απόσπασμα τεσσάρων μέτρων (βλ. παράδειγμα) το οποίο μπορεί να περιέχει πάνω από 50 νότες, είναι δυνατό να χωριστεί σε 4 ομάδες (A, B, A', B'), οι οποίες, αφού έχουν μελετηθεί μεμονωμένα και έχουν κατακτηθεί, θα λειτουργήσουν σαν μονάδες ενός ευρύτερου συνόλου.

Λειτουργώντας μέσα στα πλαίσια των κανόνων του μνημονικού συστήματος, προκύπτει ότι ένας μουσικός θα πρέπει να μην συνενώνει πολλές ιδέες/φράσεις εάν πρώτα δεν έχει ξεκαθαρίσει και τελειοποιήσει τα επιμέρους στοιχεία από τα οποία αποτελούνται, καθώς η πολυπλοκότητα μιας πληροφορίας καθορίζει το επίπεδο δυσκολίας της και την προσπάθεια που πρέπει να καταβάλουμε για να την απομνημονεύσουμε. Μάλιστα, επειδή ο αριθμός 7 της βραχύχρονης μνήμης δεν είναι σταθερός, λόγω των ατομικών διαφορών του καθενός, κάποιος μπορεί να χρειάζονται ακόμη λιγότερα στοιχεία (ίσως και 4) για να μπορέσουν να τα επεξεργαστούν με επιτυχία.

Συνεπώς, η μελέτη ολόκληρων σελίδων με την ελπίδα πως το περιεχόμενό τους θα βελτιωθεί από μόνο του, απλά και μόνο με τις συνεχείς επαναλήψεις, έχει ως αποτέλεσμα να χάνεται πολύτιμος χρόνος, ο οποίος επιβαρύνει με άσκοπη καταπόνηση το σώμα και παράλληλα θέτει περιττά εμπόδια στον δρόμο της τελειοποίησης του έργου. Εξ άλλου, στο πεδίο της γνωστικής ψυχολογίας, έχει επισημανθεί επανειλημμένως ότι η στείρα επανάληψη δίχως επεξεργασία δεν αρκεί για τη μακρόχρονη διατήρηση των πληροφοριών, με το εγχείρημα να καθίσταται σχεδόν αδύνατο όταν αυτές οι πληροφορίες είναι σύνθετες είτε σε επίπεδο διάρκειας είτε σε επίπεδο ποσότητας (Carter & Grahn, 2016:1251).

Πώς εξασφαλίζεται η απρόσκοπτη ροή κατά την μουσική εκτέλεση

Όπως αναλύθηκε παραπάνω, μόνο κατά το τρίτο και τελικό στάδιο της αυτοματοποίησης η παρεγκεφαλίδα μπορεί και αναστέλλει τις εισερχόμενες αισθητηριακές πληροφορίες και είναι σε θέση να εμποδίσει την ενδεχόμενη παρεμβολή εξωτερικών παραγόντων (Nixon, 2003: 114–122). Επομένως, πριν την ολοκλήρωση της αυτοματοποίησης, οποιαδήποτε μεταβολή στον περιβάλλοντα χώρο (αλλαγή φωτισμού, θέσης της παρτιτούρας, αλλαγή δωματίου) μπορεί να προκαλέσει περισπασμό ή γενικότερη δυσκολία στην περάτωση. Ειδικά στην περίπτωση των πιανιστών, που τις περισσότερες φορές το όργανο στο οποίο εξασκούνται είναι άλλο από το όργανο που θα παίξουν στον καθηγητή ή στον συναυλιακό χώρο, η σταθερότητα της απόδοσής τους εξαρτάται από το πόσο καλά έχουν εδραιωθεί οι κινητικές αλληλουχίες.

Παράλληλα, η ομαδοποίηση, η οποία ξεκινάει από τις μικρότερες ιδέες για να καταλήξει στις ευρύτερες, εξασφαλίζει ότι η ροή στηρίζεται καθ' όλη τη διάρκεια από πολλαπλά σημεία εκκίνησης (ομάδες) και ακόμα και στην περίπτωση τυχαίας αστοχίας ο μουσικός είναι σε θέση να καλύψει το λάθος και να μην υποπέσει σε αλυσιδωτή αντίδραση στα μετέπειτα αρμονικά σχήματα. Η κάλυψη του λάθους, όμως, πρέπει να εξασφαλίζεται ότι θα ενεργοποιηθεί αυτόματα και όχι ως συνειδητή επιλογή καθώς όταν ο οργανισμός είναι επιβαρυσμένος με άγχος καταστέλλεται η αποδοτικότητα του προμετωπιαίου φλοιού, υπεύθυνου για τη συνειδητή λήψη αποφάσεων (Luethi et al., 2008).

Έτσι, όταν ο μουσικός πρόκειται να εκτεθεί σε κοινό ή κάποια επιτροπή και το κινητικό έργο δεν έχει εδραιωθεί απόλυτα μέσω της αυτοματοποίησης, γίνεται επιρρεπής σε περισπασμούς και διακόπτεται η ομαλή ροή του έχοντας ως αποτέλεσμα

το γνωστό “black out”. Αυτό συμβαίνει διότι το άγχος παρεμβαίνει τόσο στην συνειδητή ανάκληση (μακρόχρονη μνήμη) όσο και στη μνήμη εργασίας, δηλαδή τον κεντρικό επεξεργαστή που εκείνη τη στιγμή φέρνει εις πέρας τη διεργασία της εκτέλεσης (Luethi et al., 2008: 5) (de Quervain et al., 2000: 313–314) (Het et al., 2005: 771–784).

Τα ίδια αποτελέσματα δεν φαίνεται να προκύπτουν βάσει ερευνών για την άδηλη μνήμη (Kirschbaum et al., 1996: 1475–1483) (Lupien et al., 1997: 2070–2075) με την ίδια να εμφανίζεται ιδιαίτερα ανθεκτική και άρα ως η πιο ασφαλής επιλογή για έναν μουσικό κατά τη μουσική εκτέλεση. Ακόμη και υπό την επιρροή του λεγομένου music performance anxiety (MPA), οι πιθανότητες ατυχών περιστατικών μπορούν ακόμη και να εκμηδενισθούν, με την προϋπόθεση ότι οι κινητικές αλληλουχίες έχουν κατακτηθεί μέσω των προαναφερθέντων βημάτων.

Εδραίωση της κινητικής εκμάθησης και Ύπνος

Η σημασία του ύπνου κρίνεται καθοριστική για τη μνημονική εδραίωση. Όπως αναλύθηκε στο κεφάλαιο «Λεπτός κινητικός συγχρονισμός», κάθε φορά που μεσολαβεί η διαδικασία του ύπνου, με την προϋπόθεση ότι υπερβαίνει τα 60 λεπτά, επιδρά στην παρεγκεφαλίδα βελτιώνοντας την ακρίβεια και την ταχύτητα των κινητικών έργων. Ανεξάρτητα από αντικρουόμενες θεωρίες που αναζητούν το ρόλο του ιπποκάμπου στον χρόνο όσον αφορά την εδραίωση μιας πληροφορίας, όπως η SMSC (Standard Model of Systems Consolidation) (Squire & Alvarez, 1995: 169–177) και η MTT (Multiple Trace Theory) (Marr, 1971: 23–81), τα ευρήματα για την αναγκαιότητα του ύπνου μας δίνουν την απάντηση σε σχέση με την χρονική απόσταση που απαιτείται από την εκμάθηση ενός μουσικού έργου μέχρι την εμφάνισή του στο συναυλιακό χώρο.

Μάλιστα, τα παραπάνω δεδομένα καταρρίπτουν την ιδέα της υπερβάλλουσας μελέτης κατά τα τελευταία εικοσιτετράωρα πριν από κάποια καθορισμένη εξέταση, συναυλία, ή παράσταση. Ειδικά στη μουσική εκπαίδευση, είναι σύνηθες, μαθητές και επαγγελματίες να καταναλώνουν πολλές ώρες σε εξουθενωτική μελέτη μία με δύο μέρες πριν την παρουσίασή τους. Κάτω από αυτές τις συνθήκες έχουν διαπιστώσει εμπειρικά ότι ακόμη και αν τα προβληματικά σημεία έχουν διορθωθεί λίγο πριν την εμφάνισή τους, την ώρα της έκθεσης, το σώμα τους καταφεύγει στην παλαιότερη κινητική εμπειρία. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το κινητικό έργο το οποίο έχουν μάθει δεν έχει περάσει από αρκετά στάδια εδραίωσης μέσω του ύπνου, προκειμένου να είναι ασφαλές, με αποτέλεσμα να αποτελεί την τελευταία στιγμή το πιο τρωτό σημείο του ερμηνευτή.

Σε αυτήν την περίπτωση, δεν πρέπει να συγχέεται η μελέτη που αποσκοπεί στο λεγόμενο “ζέσταμα” ή στην διατήρηση της τεχνικής αρτιότητας με την προσπάθεια ενσωμάτωσης κινητικών αλλαγών (διόρθωση νοτών, άρθρωσης κ.α.) κατά τις τελευταίες μέρες ή ώρες πριν την εμφάνιση. Οι κινητικές αλλαγές ακόμα και αν ενσωματωθούν, δεν θα εκτελεσθούν σε συνθήκες stress, ενώ η συνεχής εκγύμναση των χεριών αλλά και η σωματική και νοητική εγρήγορση που επιτυγχάνεται με την επανάληψη των έργων λίγο πριν τη συναυλία, επιδρά θετικά στο τελικό αποτέλεσμα. Με αυτόν τον τρόπο ενισχύεται η άποψη της οργανωμένης μελέτης η οποία ουσιαστικά ορίζει ότι το συνολικό πρόγραμμα που θα παρουσιασθεί θα πρέπει να βρίσκεται ήδη σε

στάδιο τελειοποίησης αρκετό καιρό πριν την καταληκτική ημερομηνία εμφάνισης στη συναυλιακή αίθουσα.

Επίλογος

Συμπερασματικά, η παρεγκεφαλίδα αναλαμβάνει τις 3 βασικότερες λειτουργίες για την ορθή ολοκλήρωση της κίνησης: τον λεπτό συγχρονισμό αυτής, τη λειτουργία του ελεγκτή σφαλμάτων και εκείνη της αυτοματοποίησης. Παράλληλα, ως κυρίαρχη δομή στην απόκτηση κινητικών έργων, οποιαδήποτε δυσλειτουργία της δύναται να καταστήσει δύσκολη έως και αδύνατη την ενασχόληση του πάσχοντα με τη μουσική σε επαγγελματικό επίπεδο, λόγω της απόλυτης ακρίβειας που απαιτείται από τον εκτελεστή πάνω στον τομέα του ρυθμού και της στόχευσης. Ωστόσο, εφόσον το πρόβλημα της παρεγκεφαλίδας είναι γνωστό, μπορούν να υπάρξουν εναλλακτικές οδοί προσέγγισης (Molinari et al., 2002: 863–870) (Petrosini et al., 2003: 252–264) ενώ υπάρχουν ενδείξεις ότι η ίδια η μουσική εμπειρία, μπορεί να βελτιώσει, τουλάχιστον ως ένα βαθμό, προβλήματα συντονισμού, δρώντας θεραπευτικά (Overy et al., 2003: 18–36) (Hai et al., 2013: 28–40).

Έρευνες στο μέλλον, ειδικά εστιασμένες στο πώς παραλλάσσεται η απόκριση της παρεγκεφαλίδας σε κινητικά έργα ανάλογα με την ηλικία, θα είναι κρίσιμες για τη βελτίωση παιδαγωγικών μεθόδων. Καθώς η παρεγκεφαλίδα υπόκειται σε πλήθος αλλαγών κατά την ανάπτυξη μέχρι την ενηλικίωση, τα δεδομένα αυτά μπορεί να αποκαλύψουν νέες δυνατότητες που θα βρουν εφαρμογή στη βελτίωση της τεχνικής της μουσικής εκτέλεσης.

Ευχαριστίες

Το παρόν άρθρο αποτελεί μέρος της διπλωματικής εργασίας μου που εκπονήθηκε κατά τη διάρκεια των σπουδών μου στο Μεταπτυχιακό τμήμα Νευροεπιστήμη της Εκπαίδευσης. Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον καθηγητή μου και πρόεδρο του μεταπτυχιακού κ. Λάζαρο Τριάρχου για την ιδιαίτερη συμβολή και καθοδήγησή του στην εργασία αλλά και την κα Δήμητρα Κόνιαρη για την πολύτιμη βοήθεια και στήριξή της κατά τη συγγραφή αυτού του άρθρου.

Βιβλιογραφία

- Baddeley, A.D., & Hitch, G. (1974). Working memory. *Psychology of Learning and Motivation, 8*, 47–89.
- Belis, A. (2004). *Η καθημερινή ζωή των μουσικών στην αρχαιότητα*. Αθήνα, Εκδόσεις Παπαδήμα.
- Boyd, L.A., & Winstein, C.J. (2004). Cerebellar stroke impairs temporal but not spatial accuracy during implicit motor learning. *Neurorehabilitation and neural repair, 18*, 134–143.

- Broca, P. (1861). Remarques sur le siège de la faculté du langage articulé, suivies d'une observation d'aphémie (perte de la parole). *Bulletin et mémoires de la Société Anatomique de Paris*, 6, 330–357.
- Brown, R.M., Zatorre, R.J., & Penhune, V.B. (2014). Expert music performance: cognitive, neural, and developmental bases. *Brain Research*, 217, 57–86.
- Canto, C.B., Onuki, Y., Bruinsma, B., Van der Werf, Y.D., & De Zeeuw, C.I. (2017). The Sleeping Cerebellum. *Trends in neurosciences*, 40(5), 309–323.
- Carter, C.E., & Grahn, J.A. (2016). Optimizing Music Learning: Exploring How Blocked and Interleaved Practice Schedules Affect Advanced Performance. *Frontiers in psychology*, 7, 1251.
- Chaffin, R., Lisboa, T., Logan, T., & Begosh, K.T. (2010). Preparing for memorized cello performance: the role of performance cues. *Psychology of music*, 38, 3–30.
- Coker, C.A. (2001). *Motor learning and control for practitioners*. New York: McGraw Hill.
- Courchesne, E., & Allen, G. (1997). Prediction and preparation, fundamental functions of the cerebellum. *Learning & memory*, 4(1), 1–35.
- Cowan, W.M.; Harter, D.H., & Kandel, E.R. (2000). The emergence of modern neuroscience: Some implications for neurology and psychiatry. *Annual Review of Neuroscience*, 23: 345–346.
- Crist, R.E., Li, W., & Gilbert, C.D. (2001). Learning to see: experience and attention in primary visual cortex. *Nature Neuroscience*, 4, 519–525.
- de Quervain, D.J-F., Roozendaal, B., Nitsch, R.M., McGaugh, J.L., & Hock, C. (2000). Acute cortisone administration impairs retrieval of long-term declarative memory in humans. *Nature neuroscience*, 3, 313–314.
- DelRosso, L.M., Hoque, R. (2014). The cerebellum and sleep. *Neurologic clinics*, 32, 893–900.
- Doyon, J., Bellec, P., Amsel, R., Penhune, V., Monchi, O., Carrier, J., Lehéricy, S., Benali, H. (2009). Contributions of the basal ganglia and functionally related brain structures to motor learning. *Behavioral Brain Research*, 199, 61–75.
- Fishbein, M., Middlestadt, S.E., Ottati, V., Straus, S., & Ellis, A. (1988). Medical problems among ICSOM musicians: overview of a national survey. *Medical problems of performing artists*, 3, 1–8.
- Gais, S., Lucas, B., & Born, J. (2006). Sleep after learning aids memory recall. *Learning & memory*, 13, 259–262.
- Gao, Z., Van Beugen, B.J., & De Zeeuw, C.I. (2012). Distributed synergistic plasticity and cerebellar learning. *Nature reviews. Neuroscience*, 13, 619–635.
- Gilbert, P.F.C., & Thach, W.T. (1977). Purkinje cell activity during motor learning. *Brain Research*, 128, 309–328.
- Gregg, M.J., Clark, T.W., & Hall, C.R. (2008). Seeing the sound: an exploration of the use of mental imagery by classical musicians. *Musicae scientiae: the journal of the European Society for the Cognitive Sciences of Music*, 12, 231–247.
- Hai, A., Granot, R.Y., & Ahissar, M. (2014). The enigma of dyslexic musicians. *Neuropsychologia*, 54, 28–40.

- Hauptmann, B.R., Reinhart, E., Brandt, S.A., & Karni, A. (2005). The predictive value of the leveling off of within session performance for procedural memory consolidation. *Cognitive Brain Research*, 24(2), 181–189.
- Humphrey, G. (1924). The Psychology of the Gestalt. *Journal of Educational Psychology*, 15(7), 401–412.
- Het, S., Ramlow, G., & Wolf, O.T. (2005). A meta-analytic review of the effects of acute cortisol administration on human memory. *Psychoneuroendocrinology*, 30, 771–784.
- Huang, C.M., Liu, G., & Huang, R. (1982). Projections from the cochlear nucleus to the cerebellum. *Brain Research*, 244, 1–8.
- Ito, M. (1997). Cerebellar microcomplexes. Στο Schmahmann, J.D. (επιμ.), *The cerebellum and cognition*, 475–487. New York, Academic.
- Jacobson, E. (2011). *Entspannung als Therapie: Progressive Relaxation in Theorie und Praxis*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Jenkins, J.G., Dallenbach, K.M. (1924). Obliviscence during sleep and waking. *The American journal of psychology*, 35, 605–612.
- Jirenhed, D.A., & Hesslow, G. (2011). Time course of classically conditioned Purkinje cell response is determined by initial part of conditioned stimulus. *Journal of Neuroscience*, 31, 9070–9074.
- Jirenhed, D.A., Rasmussen, A., Johansson, F., & Hesslow, G. (2017). Learned response sequences in cerebellar Purkinje cells. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114(23), 6127–6132.
- Johnson J.K., & Graziano, A.B. (2003). August Knoblauch and amusia: a nineteenth-century cognitive model of music. *Brain and cognition*, 51(1):102–14.
- Kandel, E.R., Schwartz, J.H., & Jessell, T.M. (2014). *Νευροεπιστήμη και Συμπεριφορά*. Ηράκλειο: Πανεπιστημιακές εκδόσεις Κρήτης.
- Kirschbaum, C., Wolf, O.T., Wippich, W., & Hellhammer, D.H. (1996). Stress and treatment induced cortisol levels associated with impaired declarative memory in healthy adults. *Life sciences*, 58, 1475–1483.
- Koffka, K. (1935). *Principles of Gestalt psychology*. New York, Harcourt, Brace and World.
- Kujala, T., Myllyviita, K., Tervaniemi, M., Alho, K., Kallio, J., & Naatanen, R. (2000). Basic auditory dysfunction in dyslexia as demonstrated by brain activity measurements. *Psychophysiology*, 37, 262–266.
- Larsell, O. (1937). The cerebellum: A review and interpretation. *Archives of Neurology and Psychiatry*, 38, 580–607.
- Litzmann, B. (2007). *Clara Schumann an artist's life. Based on material found in diaries and letters*, 1: 107. London, Litzmann Press.
- Lou, J.S., & Bloedel, J.R. (1986). The responses of simultaneously recorded Purkinje cells to the perturbations of the step cycle in the walking ferret: a study using a new analytical method—the real-time postsynaptic response (RTPR). *Brain Research*, 365, 340–344.
- Luethi, M., Meier, B., & Sandi, C. (2008). Stress effects on working memory, explicit memory, and implicit memory for neutral and emotional stimuli in healthy men. *Frontiers in behavioral neuroscience* [electronic resource], 2, 5.

- Lupien, S.J., Gaudreau, S., Tchiteya, B.M., Maheu, F., Sharma, S., Nair, N.P.V., Hauger, R.L., McEwen, B.S., & Meaney, M.J. (1997). Stress-induced declarative memory impairment in healthy elderly subjects: relationship to cortisol reactivity. *The Journal of clinical endocrinology and metabolism*, 82, 2070–2075.
- Lupien, S.J., Maheu, F., Tu, M., Fiocco, A., & Schramek, T.E. (2007). The effects of stress and stress hormones on human cognition: implications for the field of brain and cognition. *Brain and cognition*, 65, 209–237.
- Luria, A.R. (1999). *Η λειτουργία του εγκεφάλου, εισαγωγή στη νευροψυχολογία*. 1^η έκδοση. Αθήνα: Εκδόσεις Καστανιώτη.
- Magill, R.A. (1993). *Motor learning concepts and applications*. 4th ed. Melbourne, Australia: Brown and Benchmark.
- Marr, D. (1971). Simple memory: a theory for archicortex. *Philosophical transactions of the Royal Society of London, Biological sciences* (Series B), 262, 23–81.
- Marrou, H.I. (1981). *Histoire de l'éducation dans l'Antiquité*, Vol. 1. ed 6, 81–82, Paris, France: Seuil.
- Mason, W. (1900). Memories of a Musical Life. *The Century Magazine*, 60, 770.
- Mednick, S., Nakayama, K., & Stickgold, R. (2003). Sleep-dependent learning: a nap is as good as a night. *Nature neuroscience*, 6, 697–698.
- Miles, F.A., & Eighmy, B.B. (1980). Long-term adaptive changes in primate vestibuloocular reflex. I. Behavioral observations. *Journal of Neurophysiology*, 43, 1406–1425.
- Miller, G.A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63(2), 81–97.
- Molinari, M., Filippini, V., & Leggio, M.G. (2002). Neuronal plasticity of interrelated cerebellar and cortical networks. *Neuroscience*, 111, 863–870.
- Molinari, M., Leggio, M.G., De Martin, M., Cerasa, A., & Thaut, M. (2003). Neurobiology of rhythmic motor entrainment. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 999, 313–321.
- Molinari, M., Leggio, M.G., Solida, A., Ciorra, R., Misciagna, S., Silveri, M.C., & Petrosini, L. (1997). Cerebellum and procedural learning: Evidence from focal cerebellar lesions. *Brain*, 120, 1753–1762.
- Niemer, W.T., Cheng, S. (1949). The ascending auditory system, a study of retrograde degeneration. *Anatomy research international*, 103, 116.
- Nicolson, R.I., Fawcett, A.J., Berry, E.L., Jenkins, I.H., Dean, P., & Brooks, D.J. (1999). Association of abnormal cerebellar activation with motor learning difficulties in dyslexic adults. *Lancet*, 353, 1662–1667.
- Nicolson, R.I., Fawcett, A.J., & Dean, P. (1995). Time estimation deficits in developmental dyslexia: Evidence of cerebellar involvement. *Proceedings Biological sciences*, 259(1354), 43–47.
- Nishida, M., & Walker, M.P. (2007). Daytime naps, motor memory consolidation and regionally specific sleep spindles. *PloS one* [electronic resource], 2, e341.
- Nixon, P.D. (2003). The role of the cerebellum in preparing responses to predictable sensory events. *Cerebellum*, 2, 114–122.

- Nixon, P.D., & Passingham, R.E. (2001). Predicting sensory events— The role of the cerebellum in motor learning. *Experimental brain research*, 138, 251–257.
- Overy, K., Nicolson, R.I., Fawcett, A.J., & Clarke, E.F. (2003). Dyslexia and music: measuring musical timing skills. *Dyslexia*, 9(1), 18–36.
- Penhune, V.B., Zatorre, R.J., & Evans, A.C. (1998). Cerebellar Contributions to Motor Timing: A PET Study of Auditory and Visual Rhythm Reproduction. *Journal of cognitive neuroscience*, 10(6), 752–765.
- Pernet, C., Andersson, J., Paulesu, E., & Demonet, J.F. (2009). When all hypotheses are right: a multifocal account of dyslexia. *Human brain mapping*, 30, 2278–2292.
- Petrosini, L., Graziano, A., Mandolesi, L., Neri, P., Molinari, M., & Leggio, M.G. (2003). Watch how to do it! New advances in learning by observation. *Brain research reviews*, 42, 252–264.
- Plihal, W., & Born, J. (1997). Effects of early and late nocturnal sleep on declarative and procedural memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 9, 534–547.
- Rattoni, F., Escobar, M., Pawlik, K., & Rosenzweig, M. (2000). Neurobiology of learning. In K. Pawlik & M. Rosenzweig (Eds.), *The international handbook of psychology* (pp. 136–151). London: Sage Publications Ltd.
- Roosendaal, B. (2002). Stress and memory: opposing effects of glucocorticoids on memory consolidation and memory retrieval. *Neurobiology of learning and memory*, 78, 578–595.
- Sakai, K., Hikosaka, O., Miyauchi, S., Takino, R., Tamada, T., Iwata, N.K., & Nielsen, M. (1999). Neural representation of a rhythm depends on its interval ratio. *Journal of Neuroscience*, 19, 10074–10081.
- Sandi, C., & Pinelo-Nava, M.T. (2007). Stress and memory: behavioral effects and neurobiological mechanisms. *Neural plasticity*, 78970.
- Schlaug, G. (2001). The brain of musicians. A model for functional and structural adaptation. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 930, 281–299.
- Schmahmann, J.D., & Sherman, J.C. (1998). The cerebellar cognitive affective syndrome. *Brain*, 121, 561–579.
- Semel, E., & Rosner S.R. (2003). *Understanding Williams syndrome: behavioral patterns and interventions*. New Jersey, Lawrence Erlbaum Associates.
- Snider, R.S., & Stowell, A. (1944). Receiving areas of the tactile auditory, and visual systems in the cerebellum. *Journal of Neurophysiology*, 7, 331–358.
- Squire, L.R., & Kandel, E.R., (2009). *Μνήμη - Από τον νου στα μόρια*. Αθήνα, Κάτοπτρο.
- Squire, L.R., & Alvarez, P. (1995). Retrograde amnesia and memory consolidation: a neurobiological perspective. *Current opinion in neurobiology*, 5, 169–177.
- Thach, W.T. (1998). What is the role of the cerebellum in motor learning and cognition? *Trends in cognitive sciences*, 2, 331–337.
- Tzouma, A. (2017). Μουσική εκτέλεση και πιανιστική τεχνική: Παρεγκεφαλιδικές καταβολές και μνημονική λειτουργία, *Αδημοσίευτη Διπλωματική Εργασία*.
- Tzouma, A., Margulies, D.S., & Triarhou, L.C. (2016). Commentary on "The Cerebellar System and What it Signifies from a Biological Perspective: A Communication by Christofredo Jakob (1866-1956) Before the Society of Neurology and Psychiatry of Buenos Aires, December 1938". *Cerebellum*, 15(4), 417–424.

- Van Ormer, E.B. (1932). Retention after intervals of sleep and waking. *Archives of Psychology*, 137, 5–49.
- Walker, M.P. (2005). A refined model of sleep and the time course of memory formation. *Behavioral and Brain Sciences*, 28, 51–64.
- Walker, M.P., Brakefield, T., Morgan, A., Hobson, J.A., & Stickgold, R. (2002). Practice with sleep makes perfect: sleep-dependent motor skill learning. *Neuron*, 35, 205–211.
- Wang, X.F., Woody, C.D., Chizhevsky, V., Gruen, E., & Landeira-Fernande, J. (1991). The dentate nucleus is a short-latency relay of a primary auditory transmission pathway. *Neuroreport*, 2, 361–364.
- Williamon, A. (1999). The value of performing from memory. *Psychology of music*, 27, 84–95.
- Wolf, M. (1991). Naming speed and reading: The contribution of the cognitive neurosciences. *Reading research quarterly*, 26, 123–141.
- Ακινόσογλου, Κ. (2010). Ο μουσικός εγκέφαλος. Στο *Συζητήσεις για τον Λόγο στο αιγινήτσιο* (σσ. 405–425). Αθήνα: Συνάψεις.
- Αριστοτέλης (1939). *Πολιτικά*. Αθήνα, Ζαχαρόπουλος.
- Γεωργιάδου, Ρ. (2017). Νοερή Εξάσκηση. Από τον Αθλητισμό στη Μουσική: Εφαρμογές, Δυνατότητες, Προοπτικές. *Μουσικοπαιδαγωγικά*, 15, 64–85.
- Γιγής, Π., & Παρασκευάς, Γ. (1999). *Νευροανατομία, Κεντρικό νευρικό σύστημα*, Θεσσαλονίκη, university studio press.
- Λεκατσάς, Π. (2000). *Η ψυχή*. Αθήνα: Εκδόσεις Καστανιώτης.
- Παναγής, Γ.Θ., & Δαφέρμος, Μ. (2008). Ψυχή, νους, εγκέφαλος, μια ιστορική αναδρομή στη μελέτη των μεταξύ τους σχέσεων. *Hellenic Journal of Psychology*, 5, 324–366.

Η **Αννυ Τζούμα** γεννήθηκε στη Θεσσαλονίκη και ξεκίνησε μαθήματα πιάνου σε ηλικία 5 ετών. Απόφοιτος του Μουσικού Σχολείου Θεσσαλονίκης, το 2007 πέρασε στο Πανεπιστήμιο Μακεδονίας στο τμήμα Μουσικής Επιστήμης και Τέχνης, όπου και ολοκλήρωσε τις σπουδές της στην ειδίκευση Πιάνου με καθηγήτρια την διεθνούς φήμης Βίβια Τσόπελα. Έχει παρακολουθήσει σεμινάρια και μαθητεύσει δίπλα σε πιανίστες μεταξύ των οποίων Murray McLachlan, Eduard Zilberkant, Uwe Matschke, Γεώργιος Χατζηνίκος, Δημήτριος Δημόπουλος, Διονύσιος Μαλλούχος και έχει δώσει συναυλίες σε διάφορες πόλεις της Ελλάδας αλλά και στο εξωτερικό. Είναι κάτοχος μεταπτυχιακού διπλώματος στη Νευροεπιστήμη της Εκπαίδευσης, άρθρα της έχουν δημοσιευτεί σε γνωστά περιοδικά του εξωτερικού, ενώ διάλεξή της έχει φιλοξενηθεί στο 17^ο Διεθνές Σεμινάριο Μουσικής Κοζάνης. Σήμερα, είναι μέλος της Ελληνικής Ένωσης για τη Μουσική Εκπαίδευση, του European Society for the Cognitive Sciences of Music και του σχήματος αρχαιοελληνικής μουσικής Ορφεία Αρμονία. Παράλληλα εργάζεται ως καθηγήτρια πιάνου στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση και στο Ωδείο Δ. Δημόπουλου.
E-mail: annyztzouma@gmail.com

The cerebellum in motor learning and piano technique

Anny Tzouma

Professional musicians spend most of their day in exercising, in order to achieve a high level of dexterity and to overcome any technical obstacle. Through Neuroscience, it is now possible to clarify the ways of music production and cognition, leading the way in music teaching. Thus, based on scientific research, in this paper I will discuss how the cerebellum orchestrates motor learning and how we can use this knowledge to increase our efficiency in piano technique.

Key words: cerebellum, memory, dexterity, piano, piano pedagogy

Anny Tzouma was born in Thessaloniki and started piano lessons at the age of 5. She completed her High School studies at Music School of Thessaloniki and in 2007 she registered at the Department of Music Science and Arts, University of Macedonia, Thessaloniki, where she studied Piano Performance with world renowned pianist Vinia Tsopela. She has attended lessons with Murray McLachlan, Eduard Zilberkant, Uwe Matschke, Y. Hadjinikos, D. Dimopoulos, D. Mallouhos, and has given recitals in many cities in Greece and abroad. Her postgraduate degree (MSc) is in Neurosciences of Education, she had articles published in well-known journals and her lecture was hosted at the 17th International Music Seminar of Kozani. She is a member of Greek Society for Music Education, of European Society for the Cognitive Sciences of Music and of the ancient Greek music ensemble Orfeia Armonia. Currently, she teaches piano in state music schools and the D. Dimopoulos Conservatory.