



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΙΣΤΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΘΕΩΡΙΑΣ ΤΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ και ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΝΟΣΗΛΕΥΤΙΚΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΦΙΛΟΣΟΦΙΑΣ, ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΗΣ ΚΑΙ ΨΥΧΟΛΟΓΙΑΣ



ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Εννοιολογική Αλλαγή και Εκτελεστικές Λειτουργίες

Άννα Χουντάλα

AM 11M13

Διπλωματική εργασία

Στα πλαίσια των σπουδών για την απόκτηση του
Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης που απονέμει το
Διαπανεπιστημιακό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
«Βασική και Εφαρμοσμένη Γνωσιακή Επιστήμη»

Αθήνα, Ελλάδα

2014

ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

Η Κάτωθι Συμβουλευτική Επιτροπή Εγκρίνει τη

Διπλωματική Εργασία της

Άννας Χουντάλα

Εννοιολογική Αλλαγή και Εκτελεστικές Λειτουργίες

2014

Στέλλα Βοσνιάδου, Καθηγήτρια
Τμήμα Μεθοδολογίας, Ιστορίας και Θεωρίας της Επιστήμης,
Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Αθανάσιος Πρωτόπαπας, Αναπλ. Καθηγητής
Τμήμα Μεθοδολογίας, Ιστορίας και Θεωρίας της Επιστήμης,
Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Πέτρος Ρούσσοσ, Επικ. Καθηγητής
Τμήμα Ψυχολογίας,
Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Ημερομηνία έγκρισης

Περίληψη

Γιατί τα παιδιά δυσκολεύονται τόσο με τη μάθηση των επιστημονικών εννοιών και τα μαθηματικά; Πρόσφατες μελέτες συσχετίζουν την εννοιολογική ανάπτυξη με τις εκτελεστικές λειτουργίες. Στόχος της παρούσας έρευνας ήταν η πειραματική, παρά η συσχετιστική, διερεύνηση της σχέσης μεταξύ εκτελεστικών λειτουργιών και εννοιολογικής αλλαγής, αφενός σε ευρύ πεδίο γνωστικών τομέων και, αφετέρου σε παιδιά σχολικής ηλικίας, τα οποία έχουν εκτεθεί στη συστηματική και ρητή διδασκαλία των επιστημονικών εννοιών. Προηγούμενες έρευνες δείχνουν ότι οι εκτελεστικοί πόροι δεν είναι απεριόριστοι, αλλά εξαντλούνται προσωρινά με τη χρήση τους. Η εμπλοκή σε δραστηριότητα που απαιτεί εκτελεστικό έλεγχο μειώνει την ικανότητα περαιτέρω χρήσης του αμέσως μετά. Η εξάντληση των εκτελεστικών λειτουργιών πρόσφατα παρατηρήθηκε και σε παιδιά προσχολικής ηλικίας για τη μελέτη της σχέσης των εκτελεστικών λειτουργιών και της Θεωρίας του Νου. Το Πείραμα 1 έδειξε ότι η εξάντληση των εκτελεστικών λειτουργιών σε παιδιά της ΣΤ΄ δημοτικού μείωσε την επίδοση τους όταν κατηγοριοποιούσαν έννοιες στις επιστημονικές τους κατηγορίες, αλλά όχι όταν τις κατηγοριοποιούσαν στις αρχικές, διαισθητικές τους κατηγορίες. Αντίστοιχες επιδράσεις δεν βρέθηκαν στους χρόνους απόκρισης ούτε των παιδιών, αλλά ούτε και των ενηλίκων (Πείραμα 2). Τα ευρήματα αυτά υποστηρίζουν την άποψη ότι η εννοιολογική αλλαγή εμπλέκει εκτελεστικές λειτουργίες. Περαιτέρω μελλοντική έρευνα για την αποσαφήνιση του ρόλου των ΕΛ στη μάθηση, τόσο στο εννοιολογικό σύστημα των παιδιών όσο και των ενηλίκων είναι απαραίτητη. Το παράδειγμα της εξάντλησης των εκτελεστικών λειτουργιών παρέχει μία χρήσιμη πειραματική μέθοδο στην εν λόγω έρευνα.

Abstract

Why children find it so hard to learn science and math? Recent studies correlate conceptual development with executive functions (EFs) development. The aim of the present study was to explore the relationship between executive functions and conceptual change using an experimental rather than a relational method, in a wide range of cognitive domains, and as well in children, who have been exposed to systematic and explicit instruction of scientific concepts. Past research suggests that executive resources are not unlimited; rather they are temporarily depleted with use. Engaging in any activity that requires executive control reduces the ability to draw upon further EF resources immediately thereafter. Recently, the depletion of executive functions observed in preschool children for the study of the relationship between executive functions and theory of mind. Experiment 1 showed that the depletion of the executive functions in elementary school children (6th grade) decreased their performance when they had to categorize concepts into a scientific, counter-intuitive category, but not when they had to categorize the concepts into an initial, intuitive category. Similar effects were not found in the response times neither for the children nor for the adults (Experiment 2). These findings support the view that conceptual change involves executive functions. Further future research to clarify the precise role of the EFs in the conceptual system both of children and adults is required. EFs depletion paradigm provides a useful method to this research.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΣΕΛΙΔΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	iii
ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ	vii
ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	viii
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	ix
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	1
1. Εννοιολογική Αλλαγή	1
1.1. Εννοιολογική αλλαγή στη Φυσική, στα Μαθηματικά, στη Βιολογία και στην Επιστημολογία	3
2. Εκτελεστικές Λειτουργίες	6
2.1. Ορισμός	7
2.2. Ιστορική αναδρομή	8
2.3. Θεωρητικά μοντέλα και Εγκεφαλική οργάνωση.....	9
2.4. Φύση.....	10
2.5. Τρεις εκτελεστικές λειτουργίες: Αναστολή, Εναλλαγή πλαισίου, Ανανέωση μνήμης.....	11
2.6. Μέτρηση	13
2.7. Ανάπτυξη	14
3. Σχέση Εννοιολογικής Αλλαγής και Εκτελεστικών Λειτουργιών	15
4. Εξάντληση του Εγώ (Ego Depletion)	20
4.1. Ορισμός	20
4.2. Πειραματικό Παράδειγμα	21
4.3. Τομείς εξάντλησης του εγώ	23

4.4 Δημοφιλή Έργα	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΑΡΟΥΣΑ ΕΡΕΥΝΑ	27
1. Πείραμα 1	27
1.1. Μέθοδος	30
1.1.1. Συμμετέχοντες	30
1.1.2. Υλικό	30
1.1.3. Διαδικασία	33
1.1.4. Ανάλυση δεδομένων	33
1.2. Αποτελέσματα	34
1.3. Συμπεράσματα	37
2. Πείραμα 2	37
2.1. Μέθοδος	37
2.1.1. Συμμετέχοντες	37
2.1.2. Υλικό και διαδικασία	37
2.1.3. Ανάλυση δεδομένων	38
2.2. Αποτελέσματα	39
2.3. Συμπεράσματα	41
3. Γενική Συζήτηση	41
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	46

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΣΕΛΙΔΑ

Πίνακας 1. Χρόνος Απόκρισης (ms) στις Αρχικές και Επιστημονικές Κατηγοριοποιήσεις ανα Συνθήκη (Πείραμα 1)	36
Πίνακας 2. Ακρίβεια στις Αρχικές και Επιστημονικές Κατηγοριοποιήσεις ανα Συνθήκη (Πείραμα 2)	40
Πίνακας 3. Χρόνος Απόκρισης (ms) στις Αρχικές και Επιστημονικές Κατηγοριοποιήσεις ανα Συνθήκη (Πείραμα 2)	40

ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

ΣΕΛΙΔΑ

Σχήμα 1. Παραδείγματα από το έργο Κατηγοριοποίησης στην <i>αρχική</i> (A) και στην <i>επιστημονική</i> (B) συνθήκη.....	31
Σχήμα 2. Παραδείγματα από το έργο N-πίσω στη 1-πίσω (A) και στη 2-πίσω (B) εκδοχή του.....	32
Σχήμα 3. Επίδραση της συνθήκης στην ακρίβεια στις αρχικές και επιστημονικές κατηγοριοποιήσεις	35

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η ολοκλήρωση αυτής της εργασίας οφείλεται στη συνδρομή πολλών παραγόντων στους οποίους θα ήθελα να εκφράσω ξεχωριστά την ευγνωμοσύνη μου.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτριά μου Στέλλα Βοσνιάδου, για την εμπειρία και την επιστημονική καθοδήγηση που μου παρείχε. Η κριτική της ματιά και οι οξυδερκείς παρατηρήσεις της, συνέβαλαν στην επιτυχή ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους διευθυντές των σχολείων, τους δασκάλους, τους μαθητές και τους γονείς τους, καθώς και τους υπόλοιπους συμμετέχοντες για τη συνεργασία τους, χωρίς την οποία η έρευνα θα ήταν αδύνατον να υλοποιηθεί.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή Αθανάσιο Πρωτόπαπα που κατάφερε πάντα να μου μεταδίδει τις γνώσεις του και να αποτελεί πηγή έμπνευσης.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω και στην οικογένεια μου και κυρίως στη μητέρα μου για τη στήριξή της.

Επίσης, δεν μπορώ να μη συμπεριλάβω στις ευχαριστίες μου τη βοήθεια των συμφοιτητών μου και κυρίως της Αιμιλιάνας Θάνου και του Πέτρου Παπαβασιλείου για την πρακτική και ηθική στήριξή τους καθόλη τη διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών.

Τέλος, η ολοκλήρωση της εργασίας αυτής έγινε στο πλαίσιο της υλοποίησης του μεταπτυχιακού προγράμματος το οποίο συγχρηματοδοτήθηκε μέσω της Πράξης «Πρόγραμμα χορήγησης υποτροφιών ΙΚΥ με διαδικασία εξατομικευμένης αξιολόγησης ακαδ. Έτους 2012-2013» από πόρους του Ε.Π. «Εκπαίδευση και Δια

Βίου Μάθηση» του Ευρωπαϊκού Κοινωνικού Ταμείου (ΕΚΤ) και του ΕΣΠΑ (2007-2013).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

1. Εννοιολογική Αλλαγή

Τετράχρονο κορίτσι: «Τι αστείο! Τα αγάλματα δεν είναι ζωντανά αλλά μπορούμε να τα δούμε!»

Ενήλικος: «Τι είναι τόσο αστείο σε αυτό;»

Τετράχρονο κορίτσι: «Ε ναι, ο παππούς δεν είναι ζωντανός και είναι κρίμα γιατί δεν μπορούμε να τον δούμε πια.»

(μετάφραση από Carey, 1985: πηγή Zaitchik et al., 2013)

Το παραπάνω παράδειγμα δείχνει με γλαφυρό τρόπο τη δυσκολία μάθησης των επιστημονικών εννοιών. Το κοριτσάκι έχει δομήσει μία διαισθητική αντίληψη για την έννοια ζωντανός, η οποία δεν περιλαμβάνει τη διαφοροποίηση μεταξύ άψυχων και πεθαμένων, αλλά ούτε και την έννοια «πεθαμένος» ως το τέλος της ζωής λόγω της παύσης της σωματικής λειτουργίας. Έτσι, μοιραία πέφτει σε μία αντίφαση σχετικά με την έννοια μη-ζωντανός. Η επίλυση αυτής της σύγκρουσης και η κατανόηση των βιολογικών εννοιών απαιτεί εννοιολογική αλλαγή.

Η εννοιολογική αλλαγή είναι μία ιδιαίτερα απαιτητική διαδικασία, απαιτεί χρόνο και επίπονη προσπάθεια. Τα παιδιά δυσκολεύονται με τη μάθηση κυρίως εκείνων των επιστημονικών και μαθηματικών εννοιών οι οποίες συγκρούονται -είναι ασύμβατες- με τις προϋπάρχουσες έννοιες τις οποίες έχουν διαμορφώσει μέσα από την καθημερινή τους εμπειρία προτού εκτεθούν στη σχολική γνώση. Τα παιδιά όταν

εκτίθενται στη σχολική διδασκαλία έχουν ήδη δομήσει διαισθητικές θεωρίες για διάφορους επιστημονικούς τομείς από την καθημερινή αλληλεπίδραση με το φυσικό και κοινωνικο-πολιτισμικό τους περιβάλλον μέσω της αντίληψης και της διαίσθησης. Αυτές οι αφελείς θεωρίες των παιδιών διαφέρουν σημαντικά από τις επιστημονικές ως προς τη δομή τους, το εύρος των φαινομένων που εξηγούν και τις έννοιες που περιλαμβάνουν (Carey, 2000; 2009; Vosniadou, 2013). Συνεπώς, η μάθηση της επιστήμης αποτελεί ένα αρκετά δύσκολο εγχείρημα για τα παιδιά καθώς απαιτεί σημαντικές εννοιολογικές αλλαγές.

Για παράδειγμα, στο πεδίο της αστρονομίας τα παιδιά προτού εκτεθούν στη σχολική διδασκαλία κατηγοριοποιούν τη Γη ως «φυσικό αντικείμενο» και της αποδίδουν όλες τις ιδιότητες των φυσικών αντικειμένων, όπως η στερεότητα, η σταθερότητα και η αδυναμία αυτόβουλης κίνησης. Επίσης, οργανώνουν το χώρο με όρους κατεύθυνσης πάνω και κάτω και πιστεύουν ότι τα φυσικά αντικείμενα όταν δεν στηρίζονται στη Γη πέφτουν προς τα κάτω (Nussbaum, 1979; Nussbaum & Novak 1976; Sneider & Pulos, 1983; Vosniadou & Brewer, 1992; 1994).

Για να κατανοήσουν τα παιδιά την επιστημονική έννοια της Γης πρέπει να την επανακατηγοριοποιήσουν ως «φυσικό-αστρονομικό» αντικείμενο. Οι Vosniadou & Skopeliti (2005) έδειξαν ότι τέτοιες επανακατηγοριοποιήσεις συμβαίνουν στα παιδιά μεταξύ 3^{ης} και 5^{ης} δημοτικού. Η επανακατηγοριοποίηση της Γης συνοδεύεται από αλλαγές στις αναπαραστάσεις των παιδιών. Η Γη από επίπεδη, στερεή και σταθερή με τον ουρανό και τα ηλιακά αντικείμενα από πάνω της, γίνεται σφαιρική, κινείται και βρίσκεται στο διάστημα, όπως ο ήλιος ή το φεγγάρι.

Η αλλαγή στις αναπαραστάσεις προϋποθέτει ικανότητες αλλαγής προοπτικής. Δηλαδή, θα πρέπει τα παιδιά να μπορούν καταλάβουν ότι η Γη φαίνεται επίπεδη από

την προοπτική κάποιου που βρίσκεται πάνω της, αλλά σφαιρική από την προοπτική κάποιου που βρίσκεται στο διάστημα. Η δυνατότητα αλλαγής προοπτικής με τη σειρά της προϋποθέτει αναπτυγμένες επιστημολογικές πεποιθήσεις. Είναι απαραίτητο τα παιδιά να κατανοήσουν ότι τα πράγματα δεν είναι έτσι όπως φαίνονται, να διακρίνουν δηλαδή ανάμεσα στα φαινόμενα και στην πραγματικότητα και να καταλάβουν ότι κάτι που φαίνεται πραγματικό χρήζει επαλήθευσης ή διάψευσης (Kyriakopoulou & Vosniadou, 2013; Mason & Gava, 2007; Mason, Gava, & Boldrin, 2008; Stathopoulou & Vosniadou, 2007a; 2007b; Wiser & Smith, 2008).

Συνοψίζοντας, η εννοιολογική αλλαγή περιλαμβάνει δημιουργία νέων οντολογικών κατηγοριών, νέων αναπαραστάσεων και νέων επιστημολογικών πεποιθήσεων.

1.1. Εννοιολογική αλλαγή στη Φυσική, στα Μαθηματικά, στη Βιολογία και στην Επιστημολογία

Ανάλογες αλλαγές στις οντολογικές κατηγοριοποιήσεις και αναπαραστάσεις των εννοιών απαιτούνται ουσιαστικά σε όλους τους επιστημονικούς τομείς. Στο χώρο της Φυσικής και της Χημείας, για παράδειγμα, η εννοιολογική ανάπτυξη των εννοιών *δύναμη*, *ενέργεια*, *θερμότητα*, *ύλη* κ.λ.π έχει ως αποτέλεσμα οι έννοιες να κατηγοριοποιούνται ως «διαδικασίες» ή «αλληλεπιδράσεις» στο γνωστικό σύστημα των ειδικών εν αντιθέσει με την κατηγοριοποίησή τους ως «οντότητες» ή «ουσίες» στο γνωστικό σύστημα των αρχαίων (Chi, 2008; Wiser & Smith, 2008; Ioannides & Vosniadou, 2002). Οι οντολογικές αλλαγές συνοδεύονται και εδώ από αλλαγές στις αναπαραστάσεις και στην επιστημολογία. Η κατανόηση της ατομικής θεωρίας της ύλης, για παράδειγμα, απαιτεί τη δυνατότητα εναλλαγής μεταξύ του μικροσκοπικού και μακροσκοπικού επιπέδου και την κατανόηση του πώς οι αφηρημένες έννοιες σε

μικροσκοπικό επίπεδο συνδέονται με τα παρατηρήσιμα, μακροσκοπικά φαινόμενα που εξηγούν (Wiser & Smith, 2008).

Αντίστοιχα, στον τομέα των μαθηματικών, τα παιδιά από μικρή ηλικία διαμορφώνουν ένα συνεκτικό ερμηνευτικό πλαίσιο γύρω από τους φυσικούς αριθμούς, το οποίο μετέπειτα λειτουργεί σαν εμπόδιο στην κατανόηση πιο περίπλοκων μαθηματικών δομών, όπως οι ρητοί αριθμοί ή η μετάβαση από την αριθμητική στην άλγεβρα (Stafylidiou & Vosniadou, 2004; Vamvakoussi & Vosniadou, 2010, 2012; Vosniadou & Verschaffel, 2004, but also Ni & Zhou, 2005).

Για παράδειγμα, η δυσκολία της κατανόησης των κλασμάτων έχει συνδεθεί με την τάση των παιδιών να αποδίδουν στα κλάσματα τις ιδιότητες των ακέραιων αριθμών, ένα φαινόμενο γνωστό ως *προκατάληψη των ακέραιων αριθμών* (*whole number bias*, Ni & Zhou, 2005). Πολλά ερευνητικά δεδομένα δείχνουν πως τα παιδιά δεν κατανοούν την αναπαράσταση του κλάσματος και, ως αποτέλεσμα, συμπεριφέρονται στον αριθμητή και στον παρονομαστή του κλάσματος σα να είναι δύο ξεχωριστοί ακέραιοι αριθμοί (Stafylidou & Vosniadou, 2004).

Δυσκολίες καθώς και παρανοήσεις εντοπίζονται, επίσης, στην κατανόηση της πυκνότητας και της άπειρης διαιρετότητας των αριθμών (Smith et al., 2005). Η πυκνότητα αναφέρεται στο γεγονός πως ανάμεσα σε δύο ρητούς αριθμούς βρίσκονται άπειροι αριθμοί. Η ιδιότητα αυτή δεν εφαρμόζεται ανάμεσα σε δύο φυσικούς αριθμούς, εφόσον ανάμεσα σε δύο φυσικούς αριθμούς δεν υπάρχει άλλος φυσικός αριθμός. Προκειμένου να γίνει κατανοητή η έννοια της πυκνότητας, οι μαθητές πρέπει να κατανοήσουν πως στην έννοια των ρητών αριθμών εντάσσονται οι δεκαδικοί αριθμοί, τα κλάσματα και οι ακέραιοι αριθμοί, καθώς επίσης και πως οι

αριθμοί αυτοί αποτελούν διαφορετικές αναπαραστάσεις της ίδιας ποσότητας (Vamvakoussi & Vosniadou, 2010).

Αντίστοιχα, στον τομέα της Βιολογίας, λαμβάνουν χώρα εννοιολογικές αλλαγές στις γνώσεις που κατέχουν τα παιδιά σχετικά με τις οντολογικές διακρίσεις της βιολογίας. Ειδικότερα, συντελείται διαφοροποίηση των εννοιών *πεθαμένος* και *άψυχος*, αλλαγή στην κατάσταση του ανθρώπου ως ζώο και ένωση των *φυτών* και των *ζώων* υπό την ίδια κατηγορία των *έμβιων όντων* (Carey, 1985; Inagaki & Hatano, 2002). Οι οντολογικές αλλαγές με τη σειρά τους οδηγούν στη χρήση συμπερασμάτων βάσει περίπλοκων, ιεραρχικά οργανωμένων βιολογικών κατηγοριών όπως είναι τα θηλαστικά, τα σπονδυλωτά κ.ο.κ. (π.χ. «Η ακρίδα είναι ασπόνδυλο και τα ασπόνδυλα δεν έχουν κόκκαλα, άρα η ακρίδα δεν πρέπει να έχει κόκκαλα»), αντί βάσει της ομοιότητα των διαφόρων οντοτήτων με τον άνθρωπο (Inagaki & Hatano, 2008).

Επίσης, βασικά εννοιολογικά εργαλεία της επιστημονικής βιολογίας, όπως η κληρονομικότητα, η φωτοσύνθεση και η εξελικτική θεωρία του Δαρβίνου κατακτώνται μόνο μέσα από τη διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής.

Επιπλέον, η έκθεση στη διδασκαλία της επιστημονικής βιολογίας οδηγεί σε μία στροφή από μία βιταλιστική αιτιότητα σε μία μηχανιστική για τα βιολογικά φαινόμενα. Τα παιδιά δηλαδή πριν εκτεθούν στη σχολική γνώση έχουν αναπτύξει μία βιταλιστική βιολογία, βάσει της οποίας τα εσωτερικά όργανα λειτουργούν ανεξάρτητα με στόχο να παίρνουν *ζωτική δύναμη* ή *ενέργεια* από τον εξωτερικό κόσμο (π.χ. με την τροφή) και να τη στέλνουν παντού στο σώμα για να διατηρηθεί υψηλή λειτουργικότητα. Η χρήση της μηχανιστικής αιτιότητας απαιτεί θεμελιώδη αναδιάρθρωση της βιολογικής γνώσης, καθώς η «ζωτική δύναμη» από μία ακαθόριστη ουσία αρχίζει να ορίζεται ως ένα σύνολο μηχανισμών (Inagaki & Hatano,

2008). Υπό αυτό το πρίσμα, κάθε όργανο δεν είναι ένας ανεξάρτητος *agent*, αλλά το σώμα είναι ένα βιολογικό *σύστημα* του οποίου τα μέρη δουλεύουν από κοινού για τη διατήρηση της ζωής (Slaughter et al., 1999).

Τέλος, στον τομέα της Επιστημολογίας, τα παιδιά αρχικά αντιλαμβάνονται έννοιες σχετικές με την επιστήμη, όπως ο επιστήμονας και το πείραμα, σαν παρατηρήσιμες και συγκεκριμένες δράσεις. Στη συνέχεια όμως, μετά την έκθεσή τους στη σχολική διδασκαλία, η απόκτηση της γνώσης και η δραστηριότητα της επιστήμης συνδέεται με μη-παρατηρήσιμες νοητικές δράσεις, όπως ο έλεγχος των υποθέσεων (Carey & Smith, 1993; Smith et al., 2000; Kyriakopoulou & Vosniadou, 2013).

2. Εκτελεστικές Λειτουργίες

Από τα παραπάνω μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η εννοιολογική κατανόηση απαιτεί κάτι παραπάνω από τον απλό εμπλουτισμό των γνώσεων. Απαιτεί ανώτερες νοητικές λειτουργίες, οι οποίες καθιστούν τα παιδιά ικανά να εμπλακούν σε εννοιολογική αναδιοργάνωση, να αναθεωρήσουν τις αρχικές τους πεποιθήσεις και θεωρίες, να διαμορφώσουν νέες οντολογικές κατηγορίες και αναπαραστάσεις, να διαμορφώσουν ρητές εξηγήσεις φαινομένων, να μάθουν πώς να ερμηνεύουν και να αξιολογούν δεδομένα, να παρατηρούν τις ασυνέπειες στη σκέψη τους και να επιλύουν αντιφάσεις μεταξύ των αφελών πεποιθήσεων τους και των επιστημονικών εξηγήσεων (Vosniadou et al., 2014a).

Πρόσφατα, σχετικά με τους μηχανισμούς που διέπουν την εννοιολογική αλλαγή, το ερευνητικό ενδιαφέρον έχει στραφεί σε μία ομάδα ανώτερων γνωστικών λειτουργιών, υπεύθυνες για τη ρύθμιση και τον έλεγχο περίπλοκων γνωστικών έργων, γνωστές ως εκτελεστικές λειτουργίες (ΕΛ).

2.1. Ορισμός

Οι εκτελεστικές λειτουργίες αποτελούν περίπλοκες νοητικές λειτουργίες καθοριστικής σημασίας για την εκδήλωση προσαρμοστικής ανθρώπινης συμπεριφοράς. Επιτρέπουν στον άνθρωπο, σε ένα συνεχώς μεταβαλλόμενο περιβάλλον, να αλλάξει τη νοητική του κατάσταση άμεσα και να προσαρμοστεί σε διαφορετικές συνθήκες, αναστέλλοντας ταυτόχρονα ακατάλληλες συμπεριφορές. Τον καθιστούν ικανό να δημιουργήσει ένα σχέδιο, να αναλάβει δράση και να επιμείνει σε αυτό μέχρι την ολοκλήρωσή του. Συνεπώς, οι εκτελεστικές λειτουργίες σχετίζονται με την αυτορρύθμιση και την αυτο-οργάνωση προς την επίτευξη ενός στόχου και, ως εκ τούτου, είναι απαραίτητες για την επιτυχία στο σχολείο, στην εργασία, καθώς και στην καθημερινή ζωή (Jurado, 2007).

Σύμφωνα με τον Miyake et al. (2000), οι εκτελεστικές λειτουργίες είναι μία ομάδα ανώτερων γνωστικών λειτουργιών υπεύθυνες για τη ρύθμιση και τον έλεγχο περίπλοκων γνωστικών έργων τα οποία απαιτούν εμπρόθετο σχεδιασμό, έλεγχο των παρορμήσεων, στοχοκατευθυνόμενη συμπεριφορά και ευελιξία στη χρήση στρατηγικών. Οι εκτελεστικές λειτουργίες εμπλέκονται επίσης στη διαμόρφωση αφηρημένων αναπαραστάσεων οι οποίες συμβάλλουν στην ευελιξία στη συλλογιστική και στην υιοθέτηση κανόνων (Kharitonova & Munakata, 2011; Snyder & Munakata, 2010), καθώς επίσης και στον ιεραρχικό έλεγχο της σκέψης (Zelazo & Frye, 1997). Η έννοια της ηθικής συμπεριφοράς, επίσης, αναπαριστά μία εκτελεστική λειτουργία (Ardila & Surloff, 2004). Ο Lezak πρόσθεσε ότι οι εκτελεστικές λειτουργίες είναι απαραίτητες για την κοινωνική υπεύθυνη συμπεριφορά καθώς και για την αυτο-εξυπηρέτηση, έτσι ώστε αν οι εκτελεστικές λειτουργίες παραμένουν άθικτες, ένα άτομο με σημαντική γνωστική απώλεια μπορεί να είναι ανεξάρτητο και παραγωγικό (Lezak et al. 2004).

Ωστόσο, όπως φαίνεται από την πληθώρα ορισμών και πιθανών επιμέρους λειτουργιών που τις αποτελούν, η έννοια των εκτελεστικών λειτουργιών παραμένει ακόμη ασαφής, χωρίς έναν επίσημο, λειτουργικό ορισμό. Οι προσπάθειες ορισμού σκοντάφτουν στα αντιφατικά αποτελέσματα των ερευνών σχετικά με τη φύση τους.

2.2. Ιστορική αναδρομή

Ιστορικά, η έρευνα πάνω στις εκτελεστικές λειτουργίες εδράζεται στις πρώιμες παρατηρήσεις ασθενών με βλάβη στο μετωπιαίο λοβό (Stuss and Benson 1986). Οι ασθενείς αυτοί, συμπεριλαμβανομένου του πασίγνωστου ασθενή Phineas Gage, ενώ εμφανίζουν ανέπαφη επίδοση σε διάφορα καλά ορισμένα γνωστικά έργα και τεστ νοημοσύνης (e.g., Damasio, 1994; Shallice & Burgess, 1991), αντιμετωπίζουν σοβαρά προβλήματα στον έλεγχο και τη ρύθμιση της συμπεριφοράς τους, καθώς και μειωμένη επίδοση σε έργα εκτελεστικού ελέγχου (Jurado, 2007; Miyake et al., 2000). Ο Luria (1973) αναγνώρισε τους μετωπιαίους λοβούς ως την περιοχή, η οποία είναι υπεύθυνη για τον προγραμματισμό και τον έλεγχο της διανοητικής δράσης, δηλαδή για αυτό που σήμερα αναφέρεται ως εκτελεστικές λειτουργίες.

Ουσιαστικά, οι εκτελεστικές λειτουργίες αρχικά περιγράφηκαν ως «κεντρικός εκτελεστής» από τους Baddeley and Hitch (1974) και αργότερα από τον Lezak (1983) ως τη διάσταση της ανθρώπινης συμπεριφοράς που καθορίζει το «πώς» εκφράζεται η συμπεριφορά. Η ικανότητα για θέσπιση στόχων, σχεδιασμό, στοχοκατευθυνόμενη δράση και αποτελεσματική επίδοση θεωρήθηκαν τα συστατικά των εκτελεστικών λειτουργιών.

2.3. Θεωρητικά μοντέλα και Εγκεφαλική οργάνωση

Σχετικά με τις εκτελεστικές λειτουργίες, έχουν διατυπωθεί κάποια ιεραρχικά γνωστικά μοντέλα, τα οποία υποστηρίζουν την ύπαρξη ενός κεντρικού επιτελικού ελέγχου. Αυτός ασχολείται με περιπλοκότερα επίπεδα λειτουργικότητας και το νευροφυσιολογικό του υπόστρωμα εντοπίζεται στο προμετωπιαίο φλοιό (Jurado, 2007).

Για παράδειγμα, ένα από τα πιο διακεκριμένα γνωστικά θεωρητικά πλαίσια είναι το μοντέλο του Baddeley (1986) για τη μνήμη εργασίας. Το μοντέλο αυτό περιλαμβάνει τρία συστατικά, εκ των οποίων τα δύο ειδικεύονται στη διατήρηση φωνολογικής πληροφορίας (φωνολογικός βρόχος) και οπτικοχωρικής (οπτικοχωρικό σημειωματάριο) αντίστοιχα. Επιπλέον, εκτός από αυτά τα δύο συστήματα «σκλάβους» το μοντέλο περιλαμβάνει μία κεντρική δομή ελέγχου, τον κεντρικό εκτελεστή, ο οποίος ευθύνεται για τον έλεγχο και τη ρύθμιση των γνωστικών διαδικασιών (δηλ. εκτελεστικές λειτουργίες) και συνδέεται με δραστηριότητα των μετωπιαίων λοβών (Miyake et al., 2000).

Ομοίως, το μοντέλο των Norman and Shallice (1986) περιλαμβάνει ένα Εποπτικό Σύστημα Προσοχής (Supervisory Attentional System, SAS) απαραίτητο για το σχεδιασμό μελλοντικών δράσεων, τη λήψη αποφάσεων και την εργασία με νέα ερεθίσματα. Η ιδιαιτερότητα αυτού του μοντέλου είναι η διάκριση των διαδικασιών σε αυτόματες (ρουτίνες) και ελεγχόμενες (μη-ρουτίνες). Οι ελεγχόμενες διαδικασίες απαιτούν την εμπλοκή ενός εποπτικού συστήματος το οποίο τοποθετείται στο προμετωπιαίο φλοιό (Shallice 2002).

Άλλα μοντέλα, όπως ο κύκλος αντίληψης-δράσης του Fuster, αντιλαμβάνονται την εκτελεστική λειτουργία όχι με το ρόλο του εκτελεστικού

διερμηνέα, αλλά με αυτό της χρονικής ενσωμάτωσης ξεχωριστών μονάδων αντίληψης, δράσης και νόησης σε μία ακολουθία προς ένα στόχο. Για να το επιτύχει αυτό ο προμετωπιαίος φλοιός συνεργάζεται με υποφλοιώδεις δομές και το νεοφλοιό (Fuster, 2002).

Επιπλέον, άλλοι όπως ο Zelazo et al. (1997) απορρίπτουν την μοναδικότητα του μετωπιαίου λοβού στον έλεγχο των εκτελεστικών λειτουργιών. Ορίζουν την εκτελεστική λειτουργία ως μία σύνθετη λειτουργία, ή μακροδομή, με εκτελεστικές υπολειτουργίες, οι οποίες εργάζονται μαζί για να επιτύχουν την ανώτερης-τάξης λειτουργία της επίλυσης προβλημάτων.

2.4. Φύση

Ένα σημαντικό ερευνητικό ερώτημα σχετικά με τη φύση των εκτελεστικών λειτουργιών το οποίο παραμένει αναπάντητο είναι το κατά πόσο οι διαφορετικές λειτουργίες που αποδίδονται στους μετωπιαίους φλοιούς ή στον κεντρικό επεξεργαστή (ή SAS) αντανακλούν τη λειτουργία του ίδιου υποκείμενου μηχανισμού ή ικανότητας (theory of unity), ή αν πρόκειται για σχετιζόμενες, μεν, αλλά διακριτές διεργασίες (non-unity). Υπάρχουν στοιχεία που υποστηρίζουν τόσο την ενιαία όσο και τη μη-ενιαία φύση των εκτελεστικών λειτουργιών.

Τόσο τα μοντέλα του κεντρικού επεξεργαστή και του SAS που είδαμε παραπάνω, όσο και νεότεροι ορισμοί των εκτελεστικών λειτουργιών αναγνωρίζουν μία υποκείμενη κοινή βάση (e.g., Duncan, Emslie, Williams, Johnson, & Freer, 1996; Duncan et al., 1997; Engle, Kane, & Tuholski, 1999a; Kimberg & Farah, 1993).

Από την άλλη, υπάρχουν ευρήματα που δείχνουν ότι κάποιιο ασθενείς μπορεί να αποτυγχάνουν σε ένα έργο εκτελεστικού ελέγχου αλλά όχι σε κάποιο άλλο (e.g.,

Godefroy, Cabaret, Petit-Chenal, Pruvo, & Rousseaux, 1999; Shallice, 1988). Επίσης, άλλα ευρήματα ερευνών ατομικών διαφορών οι οποίες χρησιμοποιούν συστοιχία έργων εκτελεστικού ελέγχου βρίσκουν χαμηλή συσχέτιση (συνήθως $r = .40$ ή λιγότερο) και συχνά στατιστικά ασήμαντη μεταξύ των διαφορετικών έργων, καθώς επίσης από την παραγοντική ανάλυση αναδύονται πολλοί ξεχωριστοί παράγοντες αντί για έναν μοναδικό παράγοντα.

Η απάντηση ίσως να βρίσκεται κάπου στη μέση. Σε μία πρόσφατη έρευνα ο Miyake et al. (2000) στην οποία μελέτησε τρεις απαραίτητες πλευρές της εκτελεστικής λειτουργίας (εναλλαγή πλαισίου, ανανέωση μνήμης και αναστολή) κατέληξε ότι οι εκτελεστικές λειτουργίες είναι ξεχωριστές αλλά μετρίως συσχετιζόμενες δομές, υποστηρίζοντας έτσι και την ενιαία και την μη-ενιαία προσέγγιση για τη φύση των εκτελεστικών λειτουργιών.

2.5. Τρεις εκτελεστικές λειτουργίες: Αναστολή, Εναλλαγή πλαισίου, Ανανέωση μνήμης

Παρακάτω περιγράφονται οι εκτελεστικές λειτουργίες α) της αναστολής κυρίαρχων ή επικρατέστερων αποκρίσεων, β) της εναλλαγής μεταξύ έργων ή νοητικών πλαισίων και γ) της ανανέωσης και παρακολούθησης των αναπαράστεων της μνήμης εργασίας. Πρόκειται για τις πιο συχνά προτεινόμενες και μελετημένες εκτελεστικές λειτουργίες (e.g., Baddeley, 1996; Logan, 1985; Lyon & Krasnegor, 1996; Rabbitt, 1997a; Smith & Jonides, 1999), οι οποίες:

- είναι σαφώς περιγεγραμμένες και συνεπώς δύναται να οριστούν λειτουργικά με σχετική ακρίβεια
- στη βιβλιογραφία απαντώνται πολλά γνωστικά έργα που έχουν σχεδιαστεί για τη μέτρησή τους, και,

- φαίνεται να εμπλέκονται στα πιο περίπλοκα, κλασικά έργα εκτελεστικών λειτουργιών (Miyake et al., 2000).

Η αναστολή (inhibition) αναφέρεται στην ικανότητα της σκόπιμης αναστολής κυρίαρχων, αυτόματων ή ανταγωνιστικών αποκρίσεων όταν χρειάζεται. Ένα πρότυπο έργο αναστολής είναι το Stroop, στο οποίο κάποιος βλέπει λέξεις χρωμάτων, γραμμένες με διαφορετικό μελάνι (π.χ. **κίτρινο**) και πρέπει να ονομάσει το χρώμα με το οποίο είναι γραμμένη η λέξη. Έτσι, ουσιαστικά, ο συμμετέχων χρειάζεται να αναστείλει ή να ξεπεράσει την κυρίαρχη, αυτόματη τάση του να ονομάσει το χρώμα που λέει η λέξη. Αξίζει να σημειώσουμε ότι σημαντικό χαρακτηριστικό της έννοιας της αναστολής είναι το στοιχείο της εμπρόθετης, ελεγχόμενης καταστολής κυρίαρχων αποκρίσεων προς αποφυγή σύγχυσης της με άλλες έννοιες του όρου (Miyake et al., 2000).

Η εναλλαγή πλαισίου (shifting) αναφέρεται στην ικανότητα μετατόπισης μπρος-πίσω μεταξύ πολλαπλών έργων, νοητικών λειτουργιών, ή νοητικών πλαισίων (Monsell, 1996). Συνεπώς, αναφέρεται στην ικανότητα ευέλικτης εναλλαγής μεταξύ διαφορετικών στρατηγικών και πηγών πληροφόρησης. Συναντάται επίσης με τους όρους “αλλαγή προσοχής” ή “αλλαγή έργου”. Μέχρι τώρα υπάρχει η άποψη ότι η διαδικασία της εναλλαγής περιλαμβάνει την απεμπλοκή από πληροφορίες άσχετες με το έργο και την επακόλουθη ενεργή εμπλοκή με τις σχετικές με το έργο πληροφορίες. Μία πιο πρόσφατη έρευνα (Allport & Wylie, 2000), ωστόσο, υποστηρίζει ότι οι ατομικές διαφορές στην ικανότητα εναλλαγής δεν αντανακλούν απλώς την ικανότητα εμπλοκής και απεμπλοκής από το κατάλληλο πλαίσιο του έργου, αλλά επιπλέον (ή εναλλακτικά) την ικανότητα να εκτελέσει κάποιος μία νέα διαδικασία υπό τη δράση ενεργής παρεμβολής ή αρνητικής προέγερσης εξαιτίας

προηγούμενης διαφορετικής διεργασίας με τον ίδιο τύπο ερεθισμάτων (π.χ αφαιρώ 3 από μία λίστα αριθμών και μετά προσθέτω 3 στην ίδια λίστα αριθμών).

Η ανανέωση και παρακολούθηση της μνήμης εργασίας (updating) αναφέρεται στην ικανότητα παρακολούθησης και κωδικοποίησης των εισερχόμενων πληροφοριών των σχετικών με το έργο και στη συνέχεια στην ανανέωση του περιεχομένου της μνήμης εργασίας, αντικαθιστώντας τις παλιές με νέες πιο σχετικές με το έργο πληροφορίες (Morris & Jones, 1990). Οι Jonides and Smith (1997) προτείνουν ότι η λειτουργία της ανανέωσης ίσως περιλαμβάνει ‘‘χρονική ετικετοποίηση’’ για να παρακολουθεί το σύστημα ποιές πληροφορίες είναι παλιές, και μη σχετικές πλέον. Η ανανέωση είναι κάτι παραπάνω από την απλή, παθητική διατήρηση πληροφορίας καθώς απαιτεί το δυναμικό, ενεργητικό χειρισμό των περιεχομένων της μνήμης (Lehto, 1996; Morris & Jones, 1990). Κατά αντιστοιχία, οι νευραπεικονιστικές μελέτες δείχνουν ότι ενώ η απλή αποθήκευση και διατήρηση πληροφορίας σχετίζεται με ενεργοποίηση στις προκινητικές περιοχές του μετωπιαίου φλοιού και στους βρεγματικούς λοβούς, η λειτουργία της ανανέωσης, όπως μετρήθηκε από το περίπλοκο N-πίσω έργο, σχετίζεται με τον ραχιαιοπλευρικό προμετωπιαίο φλοιό (Jonides & Smith, 1997).

2.6. Μέτρηση

Η μέτρηση των εκτελεστικών λειτουργιών βασίζεται σε περίπλοκα γνωστικά έργα στα οποία οι ασθενείς με βλάβη στο μετωπιαίο φλοιό υπολειτουργούν. Παρότι τα έργα αυτά χρησιμοποιούνται ευρέως, η εγκυρότητά τους βασίζεται στο γεγονός ότι είναι ευαίσθητα στη μετωπιαία βλάβη, χωρίς να έχει γίνει γνωστή η ακριβής φύση των διαδικασιών που απαιτούνται για την επιτυχή ολοκλήρωσή τους. Επομένως, τα

έργα αυτά έχουν πρόβλημα εννοιολογικής εγκυρότητας (Phillips, 1997; Rabbitt, 1997b; Reitan & Wolfson, 1994) και δεν είναι ακόμη ξεκάθαρο τι ακριβώς μετρούν.

Επίσης, εμφανίζουν χαμηλή εσωτερική αξιοπιστία (Denckla, 1996; Rabbitt, 1997b). Ένας πιθανός λόγος για αυτό σύμφωνα με τον Miyake et al. (2000) είναι ότι τα άτομα υιοθετούν διαφορετικές στρατηγικές ανάλογα με την περίσταση όταν εκτελούν τα έργα. Επίσης, σύμφωνα με τον Rabbitt (1997b) ο εκτελεστικός έλεγχος είναι πιο απαραίτητος σε καινούρια ερεθίσματα, το οποίο σημαίνει ότι η τριβή με ένα έργο μειώνει την ικανότητά του να μετρήσει την εκτελεστική λειτουργία την οποία κατασκευάστηκε να μετρήσει.

Ένα άλλο πρόβλημα της μέτρησης των εκτελεστικών λειτουργιών είναι ότι τα έργα που χρησιμοποιούνται εμπλέκουν αναγκαστικά κι άλλες γνωστικές λειτουργίες άσχετες με την υπο μέτρηση γνωστική λειτουργία. Το πρόβλημα αυτό είναι γνωστό ως το πρόβλημα της “μη-καθαρότητας” (*task impurity problem*; Burgess, 1997) και πηγάζει από το γεγονός ότι οι εκτελεστικές λειτουργίες εκδηλώνονται μέσα από την επίδρασή τους σε άλλες γνωστικές διεργασίες. Κατά συνέπεια, τα αποτελέσματα των μετρήσεων μπορεί να οφείλονται και σε άλλες γνωστικές λειτουργίες άσχετες από τις εκτελεστικές.

2.7. Ανάπτυξη

Όσο αφορά στην ανάπτυξη των εκτελεστικών λειτουργιών φαίνεται ότι αυτή δεν ακολουθεί μία γραμμική πορεία, αλλά εμφανίζει περιόδους ραγδαίας ανάπτυξης. Επίσης, φαίνεται ότι ο κάθε εκτελεστικός τομέας ακολουθεί τη δική του αναπτυξιακή τροχιά (Anderson, 2010).

Συγκεκριμένα, στον τομέα του ελέγχου της προσοχής, κατά τη βρεφική και πρώιμη παιδική ηλικία σημειώνεται σημαντική ανάπτυξη, και η σχετική ωρίμανση του αυτο-ελέγχου και της αυτορρύθμισης σημειώνεται κατά τη μέση παιδική ηλικία. Ομοίως, παρά κάποιες μικρές διαφορές, η επεξεργασία πληροφοριών, η γνωστική ευελιξία και ο καθορισμός στόχων ωριμάζουν μέχρι την ηλικία των 12 ετών, αν και αρκετές εκτελεστικές λειτουργίες δεν παγιώνονται πλήρως μέχρι τη μέση εφηβεία ή την πρώιμη ενηλικίωση (Anderson, 2010).

Κατά την ανάπτυξη σημειώνονται αναπτυξιακές παλινδρομήσεις μεταξύ 11 και 13 ετών, ειδικά στις περιοχές της αυτορρύθμισης και της στρατηγικής λήψης αποφάσεων (Anderson et al., 1996, 2001). Αυτή η παλινρόμηση ίσως σχετίζεται με τις μεταβατικές περιόδους μεταξύ των αναπτυξιακών φάσεων (Kirk, 1985), οι οποίες οδηγούν σε σύγκρουση μεταξύ των αναπτυσσόμενων γνωστικών λειτουργιών (Anderson, 2010).

Η ανάπτυξη των εκτελεστικών λειτουργιών αντιστοιχίζεται με τη νευροφυσιολογική ανάπτυξη του προμετωπιαίου φλοιού, και ειδικά τη συναπτογέννεση και τη μυελίνωση (Anderson, 2010).

3. Σχέση Εννοιολογικής Αλλαγής και Εκτελεστικών Λειτουργιών

Από την παραπάνω ανασκόπηση των εκτελεστικών λειτουργιών έχει γίνει σαφής η συμβολή των εκτελεστικών λειτουργιών στη μάθηση και στην ακαδημαϊκή επιτυχία. Πιο συγκεκριμένα, μελέτες έχουν δείξει ότι οι ΕΛ συσχετίζονται με τη σχολική ετοιμότητα πιο πολύ απ' ό τι ο δείκτης νοημοσύνης (ΔN) και προβλέπουν τη μαθηματική και αναγνωστική ικανότητα σε κάθε τάξη (Blair et al., 2007; Diamond et al., 2007; cf. Van de Sluis et al., 2007).

Στο χώρο της εννοιολογικής αλλαγής η σχέση μεταξύ ΕΛ και ΕΑ δεν έχει ερευνηθεί συστηματικά με εξαίρεση το πεδίο της Θεωρίας του Νου (ΘτΝ). Η ΘτΝ αφορά στην ικανότητα κάποιου να αποδίδει νοητικές καταστάσεις –πεποιθήσεις, προθέσεις, επιθυμίες κ.λ.π.- στον εαυτό του και στους άλλους και να κατανοεί πως οι άλλοι μπορεί να έχουν διαφορετικές πεποιθήσεις, προθέσεις κ.λ.π. από τις δικές του. Η αποτυχία των μικρών παιδιών να κατανοήσουν πως οι άλλοι έχουν μία διαφορετική πεποίθηση από αυτή που γνωρίζουν τα ίδια ότι είναι αληθινή έχει αποδοθεί στην έλλειψη ανασταλτικού ελέγχου (Hughes, 1998).

Η ΘτΝ μετριέται με τα λεγόμενα *έργα λανθασμένης πεποίθησης (false belief tasks)*. Στην πιο κοινή εκδοχή των έργων αυτών (συχνά αποκαλούμενη «Σάλυ-Άννα τεστ»), το παιδί παρακολουθεί μία ιστορία με δύο χαρακτήρες, π.χ. τη Σάλυ και την Άννα, οι οποίες έχουν ένα καλάθι και ένα κουτί αντίστοιχα. Η Σάλυ κρύβει ένα βόλο στο καλάθι της και έπειτα αποχωρεί από το δωμάτιο. Όσο είναι απύσχα, η Άννα παίρνει το βόλο από το καλάθι και τον τοποθετεί στο κουτί της και έπειτα αποχωρεί από το δωμάτιο. Όταν επιστρέφει η Σάλυ το παιδί ρωτάται πού θα ψάξει το βόλο της. Το παιδί περνάει το τεστ αν απαντήσει ότι θα τον ψάξει στο καλάθι της, εκεί που τοποθέτησε το βόλο και αποτυγχάνει αν απαντήσει ότι θα τον ψάξει στο κουτί, εκεί που το παιδί γνωρίζει ότι είναι κρυμμένος αλλά η Σάλυ δε μπορεί να το γνωρίζει.

Έρευνες έχουν δείξει ότι οι εκτελεστικές λειτουργίες σχετίζονται με την ανάπτυξη της θεωρίας του νου σε παιδιά προσχολικής ηλικίας, ακόμη κι όταν η ηλικία και η λεκτική νοημοσύνη εξαιρούνται από την ανάλυση (e.g., Carlson & Moses, 2001; Sabbagh, Xu, Carlson, Moses, & Lee, 2006).

Πιο πρόσφατα οι Zaitchik, Igbal and Carey (2013) διερεύνησαν τη σχέση ΕΛ και ΕΑ στον τομέα της Βιολογίας. Η εν λόγω μελέτη εξέτασε την υπόθεση ότι η

διακύμανση που παρατηρείται στην ηλικία κατά την οποία τα παιδιά δομούν για πρώτη φορά μία ρητή βιολογική θεωρία οφείλεται, τουλάχιστον εν μέρει, στις ατομικές τους διαφορές στις ικανότητες εκτελεστικού ελέγχου. Στην έρευνα συμμετείχαν 79 παιδιά, ηλικίας 5-7 ετών, και έπρεπε να απαντήσουν σε μία συστοιχία έργων βιολογίας και μία συστοιχία έργων εκτελεστικού ελέγχου. Τα έργα βιολογίας εξέτασαν την κατανόηση των εννοιών της ζωής, του θανάτου και των σωματικών λειτουργιών, ενώ τα έργα εκτελεστικού ελέγχου εξέτασαν τη μνήμη εργασίας, την αναστολή και την εναλλαγή. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα σκορς στα έργα ΕΛ προέβλεψαν τα σκορς στα έργα της βιολογίας ακόμη κι όταν ελέγχθηκαν η ηλικία και η λεκτική νοημοσύνη.

Αυτές οι έρευνες μελέτησαν τη σχέση μεταξύ ΕΛ και εννοιολογικών αλλαγών οι οποίες λαμβάνουν χώρα νωρίς στην παιδική ηλικία, προτού τα παιδιά εκτεθούν στη συστηματική σχολική εκπαίδευση. Ωστόσο, η έκθεση στη διδασκαλία της επιστήμης έχει ως αποτέλεσμα ακόμα πιο ραγδαίες εννοιολογικές αλλαγές να λάβουν χώρα. Σε μία πρόσφατη μελέτη μας (Vosniadou et al., 2014a) εξετάσαμε την υπόθεση ότι σημαντικές εννοιολογικές αλλαγές στην επιστήμη και τα μαθηματικά που λαμβάνουν χώρα αργότερα, αφού τα παιδιά εκτεθούν στη σχολική γνώση, εμπλέκουν εκτελεστικές λειτουργίες.

Χρησιμοποιήσαμε 2 έργα ΕΑ, ένα εξήγησης φαινομένων (Vosniadou, Lepenioti, Chountala & Eikospentaki, 2014b) και ένα έργο κατηγοριοποίησης εννοιών (Vosniadou, Chountala, Lepenioti & Eikospentaki, under review), το οποίο χρησιμοποιείται και στην παρούσα έρευνα. Το έργο κατηγοριοποίησης βασίστηκε στην ιδέα ότι η μάθηση της επιστήμης απαιτεί το σχηματισμό νέων οντολογικών κατηγοριών, ενώ το έργο εξήγησης φαινομένων αξιολογεί τις αλλαγές που συμβαίνουν στις εξηγήσεις των φαινομένων και των σχετικών αναπαραστάσεών τους.

Για τη μέτρηση των ΕΛ χρησιμοποιήθηκε ένα έργο αναστολής και ένα εναλλαγής τύπου Stroop σε 3 εκδοχές για την εξέταση των ΕΛ σε τρία συμβολικά συστήματα, το λεκτικό, το αριθμητικό και το χωρικό.

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε σε 69 παιδιά 10 εως 12 ετών και βρήκε υψηλές συσχετίσεις μεταξύ των έργων ΕΑ και ΕΛ ακόμα κι όταν ελέγχθηκαν η ηλικία και η διανοητική ικανότητα.

Μέχρι τώρα τα δεδομένα για τη σχέση μεταξύ ΕΑ και ΕΛ προέρχονται από συσχετιστικές μελέτες. Οι συσχετιστικές μελέτες είναι πολύ χρήσιμες γιατί καταδεικνύουν σαφώς την ύπαρξη σχέσης μεταξύ των ΕΛ και της ΕΑ. Ωστόσο, παρουσιάζουν το μειονέκτημα ότι αδυνατούν να διερευνήσουν περαιτέρω τη φύση αυτής της σχέσης. Κατά πόσο, δηλαδή, υπάρχει αιτιακή σχέση και προς ποιά κατεύθυνση.

Πρόσφατα επιχειρήθηκε μία πειραματική διερεύνηση της εν λόγω σχέσης στον τομέα της ΘτΝ (Powell, Carey, & Hall, 2013). Το παράδειγμα αυτό υιοθετήθηκε από πειράματα σε ενήλικες, τα οποία δείχνουν ότι οι ανώτερες γνωστικές λειτουργίες δεν είναι ανεξάντλητες και η χρήση τους οδηγεί σε εξάντληση και αδυναμία περαιτέρω χρήσης τους μέχρι να επανέλθουν. Πάνω σε αυτό το παράδειγμα βασίζεται και η παρούσα έρευνα, οπότε περιγράφεται αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο. Περιληπτικά, το πειραματικό παράδειγμα του φαινομένου *εξάντλησης του εγώ (ego-depletion)*, όπως αποκαλείται, περιλαμβάνει την εξάντληση των εκτελεστικών πόρων και στη συνέχεια την εκτέλεση ενός γνωστικού έργου που απαιτεί εκτελεστικές λειτουργίες. Παρατηρείται, λοιπόν, μείωση της επίδοσης στο δεύτερο έργο λόγω μη διαθεσιμότητας των εκτελεστικών πόρων, οι οποίοι εξαντλήθηκαν κατά το πρώτο έργο (Hagger et al., 2010).

Οι Powell, Carey, & Hall (2013) επέκτειναν αυτό το παράδειγμα σε παιδιά προσχολικής ηλικίας. Στα πειράματα 1 & 2 της έρευνας τους προκειμένου να εξαντλήσουν τους εκτελεστικούς πόρους των παιδιών τοποθέτησαν μπροστά τους μία μεγάλη τσάντα με πολλά παχνίδια και τα παιδιά έπρεπε να περιμένουν 5 λεπτά προτού επιλέξουν ένα από αυτά. Τα παιδιά της ομάδας ελέγχου μπορούσαν να επιλέξουν απευθείας ένα παιχνίδι της αρεσκείας τους και να παίξουν με αυτό για 5 λεπτά. Ο χειρισμός αυτός είχε ως αποτέλεσμα τα παιδιά της ομάδας εξάντλησης να σημειώσουν χαμηλότερη επίδοση σε ένα έργο αναστολής (πείραμα 1) αλλά και σε ένα έργο λανθασμένης πεποίθησης (πείραμα 2) σε σχέση με τα παιδιά της ομάδας ελέγχου.

Στο πείραμα 3 που πραγματοποίησαν, για την εξάντληση του εκτελεστικού ελέγχου χρησιμοποίησαν ένα Go No-Go task, κατά το οποίο τα παιδιά έβλεπαν ένα μπλε τετράγωνο ή ένα κόκκινο κύκλο και έπρεπε να αποκριθούν στο μπλε τετράγωνο πατώντας ένα κουμπί μπλε τετράγωνο στα δεξιά τους και να αποφύγουν να αποκριθούν στον κόκκινο κύκλο, αγνοώντας και το κουμπί μπλε τετράγωνο αλλά και το κουμπί κόκκινο κύκλο στα αριστερά τους. Η ομάδα ελέγχου έβλεπε μόνο μπλε τετράγωνα είτε στα δεξιά είτε στα αριστερά της οθόνης και έπρεπε να αποκριθεί πατώντας αντίστοιχα το δεξί ή το αριστερό κουμπί ανάλογα με τη θέση που εμφανιζόταν το τετράγωνο στην οθόνη. Ο χειρισμός αυτός και εδώ μείωσε την επίδοση των παιδιών της πειραματικής ομάδας σε σχέση με την ομάδα ελέγχου σε μία παραλλαγή ενός έργου λανθασμένης πεποίθησης, το οποίο εξέταζε την ικανότητα των παιδιών να εξηγήσουν τη συμπεριφορά κάποιου βάσει των λανθασμένων πεποιθήσεων που διατηρεί, καταδεικνύοντας τη σχέση μεταξύ ΕΛ και ΘτΝ.

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί επιχειρείται μία συνοπτική παρουσίαση της θεωρίας για την εξάντληση του εγώ καθώς και της μεθοδολογίας που εφαρμόζεται για τη μελέτη της.

4. Εξάντληση του Εγώ (*Ego Depletion*)

Εύκολα θα μπορούσε κάποιος να υποθέσει ότι η ικανότητα για αυτο-έλεγχο επιδέχεται μεν μακρόχρονης εκπαίδευσης, αλλά είναι σχετικά σταθερή και δεν μπορεί να αλλάξει από στιγμή σε στιγμή. Ωστόσο, οι Baumeister και συν. (Baumeister, Bratslavsky, Muraven, & Tice, 1998; Baumeister & Heatherton, 1996; Baumeister, Vohs, & Tice, 2007; Muraven & Baumeister, 2000; Vohs & Heatherton, 2000) χρησιμοποίησαν τον όρο *εξάντληση του εγώ (ego depletion)* για να περιγράψουν την κατάσταση κατά την οποία οι πόροι για αυτο-έλεγχο μετά από παρατεταμένη χρήση τους εξαντλούνται και δύναται να επαναχρησιμοποιηθούν μόνο αφού επανέλθουν.

4.1. Ορισμός

Σύμφωνα με το *μοντέλο δύναμης (strength model)* του αυτο-ελέγχου, οι δραστηριότητες που απαιτούν αυτο-έλεγχο αντλούν πόρους από μία ενιαία, κοινή πηγή. Οι πόροι αυτοί είναι περιορισμένοι και συνεπώς εξαντλούνται με την πάροδο του χρόνου. Ως αποτέλεσμα, μετά από την εκτέλεση μιας δραστηριότητας που απαιτεί εκτελεστικούς πόρους, η ικανότητα για περαιτέρω χρήση τους μειώνεται οδηγώντας σε μειωμένη απόδοση σε επακόλουθες δραστηριότητες που απαιτούν εκτελεστικό έλεγχο (Baumeister et al., 2007). Ο Baumeister και συν. ονόμασαν την κατάσταση της εξαντλημένης ‘δύναμης’ του αυτο-ελέγχου *εξάντληση του εγώ*. Αυτή η κατάσταση της εξάντλησης των εκτελεστικών πόρων συνοδεύεται επίσης από αυξημένη υποκειμενική και σωματική προσπάθεια, κούραση και αντίληψη του έργου ως δύσκολο. Σύμφωνα με το μοντέλο, οι πόροι αναπληρώνονται με την ξεκούραση ή

την χαλάρωση (Tyler & Burns, 2008), είτε με τη λήψη γλυκόζης (Gailliot, Baumeister et al., 2007).

Στο μοντέλο, ο αυτο-έλεγχος είναι ανάλογος ενός μυ. Όπως ένας μυς χρειάζεται δύναμη και ενέργεια για να ασκήσει δύναμη, έτσι και οι δραστηριότητες με υψηλές απαιτήσεις αυτο-ελέγχου απαιτούν δύναμη και ενέργεια για να πραγματοποιηθούν. Επίσης, όπως οι μύες κουράζονται μετά από παρατεταμένη έντονη άσκηση και μειώνεται η ικανότητά τους για περαιτέρω άσκηση δύναμης, έτσι και η ικανότητα για αυτο-έλεγχο μειώνεται μόλις εξαντληθούν οι πόροι μετά από παρατεταμένη χρήση.

Βάσει της μεταφοράς του μυ έχουν γίνει και κάποιες άλλες υποθέσεις. Για παράδειγμα, η διατήρηση ενέργειας για μετέπειτα χρήση, η τακτική εξάσκηση και η ξεκούραση για την επαναφορά των πόρων αποτελούν στρατηγικές για την καταπολέμηση της εξάντλησης, όπως ακριβώς και ένας αθλητής διατηρεί την ενέργεια των μυών του εν αναμονή προσεχών απαιτήσεων (Muraven, Shmueli, & Burkley, 2006), ασκεί τους μύες του για να τους ενδυναμώσει (Gailliot, Plant, Butz, & Baumeister, 2007; Muraven, Baumeister, & Tice, 1999; Oaten & Cheng, 2006a, 2006b, 2007) και τους ξεκουράζει για να επανέλθουν (Muraven & Baumeister, 2000; Tyler & Burns, 2008).

4.2. Πειραματικό Παράδειγμα

Όπως αναφέρεται από τον Hagger και συν. (2010), η πειραματική διαδικασία για τη μελέτη του φαινομένου, γνωστή ως *παράδειγμα διπλού-έργου (dual-task paradigm)* (Baumeister et al., 1998; Finkel et al., 2006; Muraven, Tice, & Baumeister, 1998), περιλαμβάνει δύο μη σχετιζόμενα έργα αυτο-ελέγχου. Η πειραματική ομάδα εξάντλησης-εγώ συμμετέχει σε δύο διαδοχικά έργα που απαιτούν εκτελεστικό έλεγχο.

Η ομάδα ελέγχου επίσης συμμετέχει σε δύο διαδοχικά έργα, αλλά μόνο το δεύτερο έργο απαιτεί εκτελεστικό έλεγχο. Από το μοντέλο προβλέπεται ότι η επίδοση της πειραματικής ομάδας στο δεύτερο έργο θα είναι χαμηλότερη από την επίδοση της ομάδας ελέγχου, καθώς το πρώτο έργο εξάντλησε τους εκτελεστικούς πόρους με αποτέλεσμα να μην είναι διαθέσιμοι κατά το δεύτερο έργο (Baumeister et al., 2007).

Οι Baumeister και οι συνεργάτες του (Baumeister et al., 1998; Muraven et al., 1998) παρείχαν την πρώτη εμπειρική τεκμηρίωση για την εξάντληση του εγώ. Σε μία έρευνά τους οι συμμετέχοντες της ομάδας εξάντλησης έπρεπε να καταπιέσουν και να μην εκφράσουν τα συναισθήματά τους, ενώ παρακολουθούσαν ένα συναισθηματικό βίντεο. Η ομάδα ελέγχου από την άλλη δεν είχε καμία τέτοια οδηγία. Στη συνέχεια όλοι οι συμμετέχοντες έπρεπε να κρατήσουν σφιχτά μία χειρολαβή-ελατήριο όσο περισσότερο μπορούσαν. Η ομάδα εξάντλησης σημείωσε χαμηλότερη επίδοση στο κράτημα της χειρολαβής από την ομάδα ελέγχου (Muraven et al., 1998).

Σε μία άλλη έρευνα, η ομάδα εξάντλησης έπρεπε να φάει ραπανάκια και να αντισταθεί στον πειρασμό να φάει σοκολάτες, ενώ η ομάδα ελέγχου το αντίθετο. Το αποτέλεσμα ήταν η ομάδα ελέγχου να δείξει περισσότερη επιμονή από την πειραματική στην μετέπειτα επίλυση άλυτων γεωμετρικών παζλ (Baumeister et al., 1998).

Στα παραπάνω πειράματα η καταπίεση των συναισθημάτων και η αντίσταση στο ελκυστικό φαγητό απαιτεί εκτελεστικό έλεγχο και γι' αυτό οδήγησε στην εξάντληση των πόρων. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα η επίδοση σε επακόλουθα εκτελεστικά έργα να μειωθεί χωρίς διαθέσιμους εκτελεστικούς πόρους. Τα ευρήματα αυτά έχουν επαληθευτεί σε μεταγενέστερες έρευνες από τους Baumeister και συν. (για ανασκοπ. βλέπε Baumeister & Vohs, 2007; Baumeister et al., 2007), αλλά και

από άλλους ερευνητές (π.χ., Martijn et al., 2007; Tyler, 2008; Wright, Martin, & Bland, 2003) και, μάλιστα, είναι σχετικά σταθερά μεταξύ των διαφορετικών τομέων εξάντλησης. Αυτό σημαίνει πως το αποτέλεσμα δεν οφείλεται στον συγκεκριμένο τομέα εξάντλησης, αλλά αποτελεί ένδειξη για μία γενική πηγή πόρων εκτελεστικού ελέγχου (Hagger et al., 2010).

Ωστόσο, μία μειοψηφία ερευνών οι οποίες υιοθέτησαν την εν λόγω μεθοδολογία αναφέρουν μη-σημαντικές επιδράσεις της εξάντλησης του εγώ (π.χ., Stillman, Tice, Fincham, & Lambert, 2009; Wright et al., 2007; Wright, Stewart, & Barnett, 2008).

4.3. Τομείς εξάντλησης του εγώ

Βάσει μίας πρόσφατης ανασκόπησης των Hagger και συν. (2010) τα έργα που χρησιμοποιούνται πειραματικά για εξάντληση του εγώ και ως εξαρτημένα έργα μέτρησης της επίδρασης της εξάντλησης του εγώ μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με δύο τρόπους ανάλογα με τη σφαίρα ή τον τομέα εξάντλησης. Πιο συγκεκριμένα, ο Baumeister et al. (2007) πρότειναν τους εξής τομείς εξάντλησης:

- i. έλεγχος προσοχής
- ii. έλεγχος συναισθημάτων
- iii. έλεγχος παρορμήσεων
- iv. έλεγχος σκέψεων
- v. γνωστική επεξεργασία
- vi. επιλογή και βούληση
- vii. κοινωνική επεξεργασία

Τα έργα ελέγχου προσοχής απαιτούν την εστίαση της προσοχής κάπου και την αγνόηση διασπαστικών παραγόντων, όπως για παράδειγμα η παρακολούθηση μίας κεντρικής φιγούρας σε ένα βίντεο και η αγνόηση των λέξεων που προβάλλονται στη γωνία της οθόνης (π.χ., Fischer et al., 2008, Study 1; Schmeichel & Vohs, 2009, Study 2).

Τα έργα ελέγχου συναισθημάτων απαιτούν την ενεργή καταστολή των συναισθηματικών αντιδράσεων, όπως όταν οι συμμετέχοντες δεν πρέπει να εκφράσουν συναίσθημα κατά την παρακολούθηση ενός συναισθηματικού ή απωθητικού βίντεο (π.χ., Baumeister et al., 1998, Study 3; Hofmann, Rauch, & Gawronski, 2007).

Τα έργα ελέγχου παρορμήσεων απαιτούν από τους συμμετέχοντες να αντισταθούν σε ενισχυτικές δράσεις ή να παρακάμψουν καλά μαθημένες συμπεριφορές, όπως να αντισταθούν σε δελεαστικά φαγητά (e.g., DeWall et al., 2007, Study 1; Geeraert & Yzerbyt, 2007, Study 1b), ή να αναστείλουν την παρόρμηση να ονομάσουν τη λέξη-στόχο αντί το χρώμα της γραμματοσειράς στο έργο Stroop (π.χ., Bray, Ginis, Hicks, & Woodgate, 2008; Webb & Sheeran, 2003, Study 1).

Τα έργα ελέγχου σκέψεων απαιτούν την καταστολή ανεπιθύμητων σκέψεων, όπως στο παράδειγμα του Wegner's (1987) στο οποίο οι συμμετέχοντες δεν πρέπει να σκεφτούν μία "άσπρη αρκούδα" (π.χ., Burkley, 2008, Studies 3 & 4; Tyler, 2008, Study 4).

Τα έργα επιλογής ή βούλησης απαιτούν από τους συμμετέχοντες να επιλέξουν ή να αποφασίσουν ανάμεσα σε διαφορετικές επιλογές σε διάφορα πλαίσια, όπως οι καταναλωτικές επιλογές ή η επιλογή να γράψουν ένα κείμενο σε ένα αναγκαστικής-

επιλογής παράδειγμα (π.χ., Baumeister et al., 1998, Study 2; Bruyneel, Dewitte, Vohs, & Warlop, 2006, Studies 1, 2 & 3).

Τα έργα γνωστικής επεξεργασίας απαιτούν έναν υψηλό βαθμό εκτελεστικής λειτουργίας ή επεξεργασίας πληροφοριών, όπως οι αναγραμματισμοί και τα έργα μνήμης και μέτρησης (π.χ., Park et al., 2008; Schmeichel, 2007, Study 3; Wright et al., 2007, Studies 1 & 2).

Τα έργα κοινωνικής επεξεργασίας περιλαμβάνουν λειτουργίες όπως καταστολή στερεοτύπων, αντίσταση στην πειθώ ή τη συμμετοχή σε υψηλών απαιτήσεων κοινωνικές αλληλεπιδράσεις (π.χ., Burkley, 2008, Study 1; Finkel et al., 2006; Gordijn et al., 2004, Studies 2 & 4; Richeson & Shelton, 2003).

Εναλλακτικά, τα έργα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε πιο γενικές κατηγορίες ανάλογα με το αν απαιτούν γνωστική ή συναισθηματική επεξεργασία ή το συνδυασμό τους. Τα έργα ελέγχου συναισθημάτων και παρορμήσεων κατηγοριοποιούνται ως συναισθηματικά. Ως γνωστικά κατηγοριοποιούνται τα έργα ελέγχου προσοχής και σκέψης, επιλογής και βούλησης καθώς και τα έργα γνωστικής επεξεργασίας. Τα έργα κοινωνικής επεξεργασίας κατηγοριοποιούνται ως ο συνδυασμός συναισθηματικής και γνωστικής επεξεργασίας.

4.4. Δημοφιλή Έργα

Στην ίδια ανασκόπηση των Hagger και συν. (2010) οι συγγραφείς διέκριναν μία κατηγορία έργων ως συχνά-χρησιμοποιούμενα έργα, τα οποία είχαν μία συχνότητα πάνω από 10 στο δείγμα των ερευνών που μελέτησαν. Τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα έργα για εξάντληση ήταν η ρύθμιση συναισθήματος κατά την παρακολούθηση βίντεο, ο έλεγχος προσοχής κατά την παρακολούθηση βίντεο, η

διαγραφή γραμμάτων σε κείμενο, το τροποποιημένο Stroop (1935) και η “άσπρη αρκούδα” του Wegner και συν. (1987). Τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα έργα μέτρησης της επίδρασης της εξάντλησης ήταν το κράτημα της χειρολαβής, οι αναγραμματισμοί, τεστ φαγητού, η αριθμητική και το τροποποιημένο Stroop (1935).

Από τα παραπάνω έργα δεν έχει γίνει μέχρι τώρα αναφορά στην διαγραφή των γραμμάτων και το τεστ φαγητού. Η λογική που χρησιμοποιείται στο πρώτο είναι οι συμμετέχοντες να εγκαταστήσουν μία συνήθεια και μετά να την αναστείλουν. Έτσι, η ομάδα εξάντλησης αρχικά πρέπει να διαγράψει ένα γράμμα, π.χ. το ‘α’, από ένα κείμενο και στη συνέχεια να διαγράψει το ‘α’ βάσει όμως κάποιων κανόνων που απαιτούν να παραβλέπει τη μαθημένη συνήθεια να διαγράψει το ‘α’, όπως π.χ. να μην διαγράψει το ‘α’ όταν ακολουθεί φωνήεν. Τέλος, στο τεστ φαγητού μετρείται η ποσότητα κατανάλωσης νόστιμου φαγητού. Σε αυτή την περίπτωση κάποιος χρειάζεται αυτο-έλεγχο για να αναστείλει την επιθυμία να καταναλώσει μεγάλες ποσότητες φαγητού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΑΡΟΥΣΑ ΕΡΕΥΝΑ

1. Πείραμα 1

Η παρούσα εργασία ενδιαφέρθηκε να μελετήσει τη σχέση μεταξύ ΕΛ και ΕΑ. Η εννοιολογική αλλαγή απαιτεί τη συνεχή παρακολούθηση και αξιολόγηση του γνωστικού συστήματος, διεργασίες οι οποίες εξαρτώνται από τις εκτελεστικές λειτουργίες. Απαιτούνται, δηλαδή, ικανότητες όπως η *παρακολούθηση* και ο *εντοπισμός* εννοιολογικών προβλημάτων, η *αναστολή* των αρχικών πεποιθήσεων και θεωριών, η *μνήμη εργασίας* για την διατήρηση όλων των απαραίτητων πληροφοριών και η *εναλλαγή* για την κατάλληλη συλλογιστική ανάλογα με το πλαίσιο (Vosniadou et al., 2014a; Zaitchik et al., 2013).

Μέχρι τώρα είδαμε ότι οι προηγούμενες μελέτες, οι οποίες υποστηρίζουν την ύπαρξη σχέσης μεταξύ ΕΛ και ΕΑ προέρχονται κυρίως από το χώρο της ΘτΝ αλλά, και πιο πρόσφατα, από το χώρο της Βιολογίας. Οι έρευνες αυτές αφορούν παιδιά προσχολικής ηλικίας. Ωστόσο, όταν τα παιδιά εκτεθούν στη διδασκαλία των επιστημονικών εννοιών, η οποία είναι συστηματική και ρητή, το εννοιολογικό τους σύστημα υφίσταται ακόμα πιο ραγδαίες και μείζονες αλλαγές. Τότε είναι που έρχονται αντιμέτωπα με συγκρούσεις μεταξύ της επιστημονικής θεωρίας και της δικής τους αρχικής, αφελούς θεωρίας και στην προσπάθεια συμβιβασμού αυτών των δύο δημιουργούνται παρανοήσεις. Αυτή η υπόθεση ότι σημαντικές εννοιολογικές αλλαγές στην επιστήμη και τα μαθηματικά που λαμβάνουν χώρα αργότερα, αφού τα παιδιά εκτεθούν στη σχολική γνώση, εμπλέκουν εκτελεστικές λειτουργίες είδαμε ότι έχει διερευνηθεί μόνο από μία πολύ πρόσφατη έρευνά μας (Vosniadou et al., 2014a).

Έτσι, η παρούσα έρευνα θέλησε να διερευνήσει τη σχέση μεταξύ ΕΛ και ΕΑ αφενός, σε μεγαλύτερα παιδιά και αφετέρου, σε περισσότερους ακαδημαϊκούς τομείς.

Επίσης, θέλησε να εφαρμόσει μία μεθοδολογία η οποία να επιτρέπει την πειραματική διερεύνηση της σχέσης αυτής πέρα από τη συσχετιστική. Η μεθοδολογία αυτή, όπως είδαμε, προέρχεται από τα πειράματα σε ενήλικες για την εξέταση της 'εξάντλησης του εγώ', μίας θεωρίας για τον αυτο-έλεγχο, η οποία πρόσφατα εφαρμόστηκε και σε παιδιά προσχολικής ηλικίας.

Συνεπώς, **στόχος** της παρούσας έρευνας ήταν να εξετάσει τις σχέσεις μεταξύ εννοιολογικής αλλαγής και εκτελεστικών λειτουργιών μέσω του πειραματικού παραδείγματος της εξάντλησης σε μεγαλύτερα παιδιά σχολικής ηλικίας και σε ευρύτερο χώρο γνωστικών πεδίων. Αν η εννοιολογική αλλαγή εμπλέκει εκτελεστικές λειτουργίες, όπως υποθέτουμε, η εξάντληση αυτών και η μη δυνατότητα περαιτέρω χρήσης τους θα πρέπει να οδηγήσει σε μειωμένη επίδοση στο έργο εννοιολογικής αλλαγής.

Για τη μέτρηση της εννοιολογικής αλλαγής χρησιμοποιήθηκε το έργο κατηγοριοποίησης των Vosniadou et al. (under review). Το έργο της κατηγοριοποίησης βασίστηκε στην ιδέα ότι η εννοιολογική αλλαγή περιλαμβάνει αλλαγές στις κατηγοριοποιήσεις των εννοιών, όπως για παράδειγμα η δημιουργία νέων οντολογικών κατηγοριών (Chi, 1992; Carey, 1991) ή οι οντολογικές επανακατηγοριοποιήσεις, οι οποίες απαιτούν τη μετακίνηση μίας έννοιας από μία οντολογική κατηγορία σε μία άλλη (Thagard, 1992; Carey, 1991; Chi, Slotta & de Leeuw, 1994; Vosniadou et al., 2008).

Το έργο περιελάμβανε *αρχικές κατηγοριοποιήσεις*, στις οποίες ο συμμετέχων έπρεπε να κατηγοριοποιήσει την έννοια στην αρχική, διαισθητική της κατηγορία και *επιστημονικές*, κατά τις οποίες ο συμμετέχων έπρεπε να επανακατηγοριοποιήσει την έννοια από την αρχική, διαισθητική στην επιστημονική, αντιδιαισθητική της

κατηγορία. Η κατασκευή των κατηγοριών στηρίχθηκε στις έρευνες της γνωστικής ανάπτυξης και της διδακτικής των επιστημών σχετικά με την φύση των εννοιολογικών αλλαγών που συμβαίνουν σε κάθε γνωστικό τομέα και αναπτύχθηκαν συνοπτικά στο κεφάλαιο της εννοιολογικής αλλαγής.

Για την εξάντληση των εκτελεστικών λειτουργιών χρησιμοποιήθηκε ένα γνωστικό έργο ανανέωσης της βραχύχρονης μνήμης. Τα έργα γνωστικής επεξεργασίας απαιτούν επίπονη προσπάθεια για να διατηρηθεί υψηλό επίπεδο εκτελεστικών λειτουργιών ή επεξεργασίας πληροφοριών και έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως για την εξάντληση των γνωστικών πόρων (e.g., Park et al., 2008; Schmeichel, 2007, Study 3; Wright et al., 2007, Studies 1 & 2).

Βάσει μίας μεγάλης μετα-ανάλυσης των Hagger et al. (2010) το μέγεθος επίδρασης της εξάντλησης δεν φάνηκε να διαφοροποιείται σημαντικά ανάλογα με τον τομέα του έργου εξάντλησης, με εξαίρεση τα έργα ελέγχου παρορμήσεων που βρέθηκαν να εμφανίζουν μικρότερο μέγεθος επίδρασης. Επίσης, στην ίδια μετα-ανάλυση βρέθηκε ότι τα έργα γνωστικής επεξεργασίας είχαν μεγαλύτερο μέγεθος επίδρασης σε σχέση με τα έργα συναισθηματικής επεξεργασίας, αν και η διαφορά δεν ήταν στατιστικώς σημαντική.

Υποθέσαμε, λοιπόν, ότι η εξάντληση του εκτελεστικού ελέγχου θα οδηγήσει σε μειωμένη επίδοση στο έργο κατηγοριοποίησης, αλλά μόνο στις επιστημονικές κατηγοριοποιήσεις. Οι επιστημονικές κατηγοριοποιήσεις είναι αυτές που απαιτούν εκτελεστικό έλεγχο, προκειμένου ο συμμετέχων να αναστείλει τις αρχικές, διαισθητικές πεποιθήσεις, να εναλλαχθεί μεταξύ διαισθητικού και επιστημονικού πλαισίου και φυσικά να συγκρατήσει πληροφορίες και να τις ανανεώσει όταν δεν είναι πια οι κατάλληλες. Επίσης, η εξάντληση του εκτελεστικού ελέγχου υποθέσαμε

ότι δεν θα πρέπει να επηρεάσει την επίδοση στις αρχικές κατηγοριοποιήσεις εφόσον, όπως υποθέσαμε, δεν απαιτούν εκτελεστικό έλεγχο.

1.1. Μέθοδος

1.1.1. Συμμετέχοντες

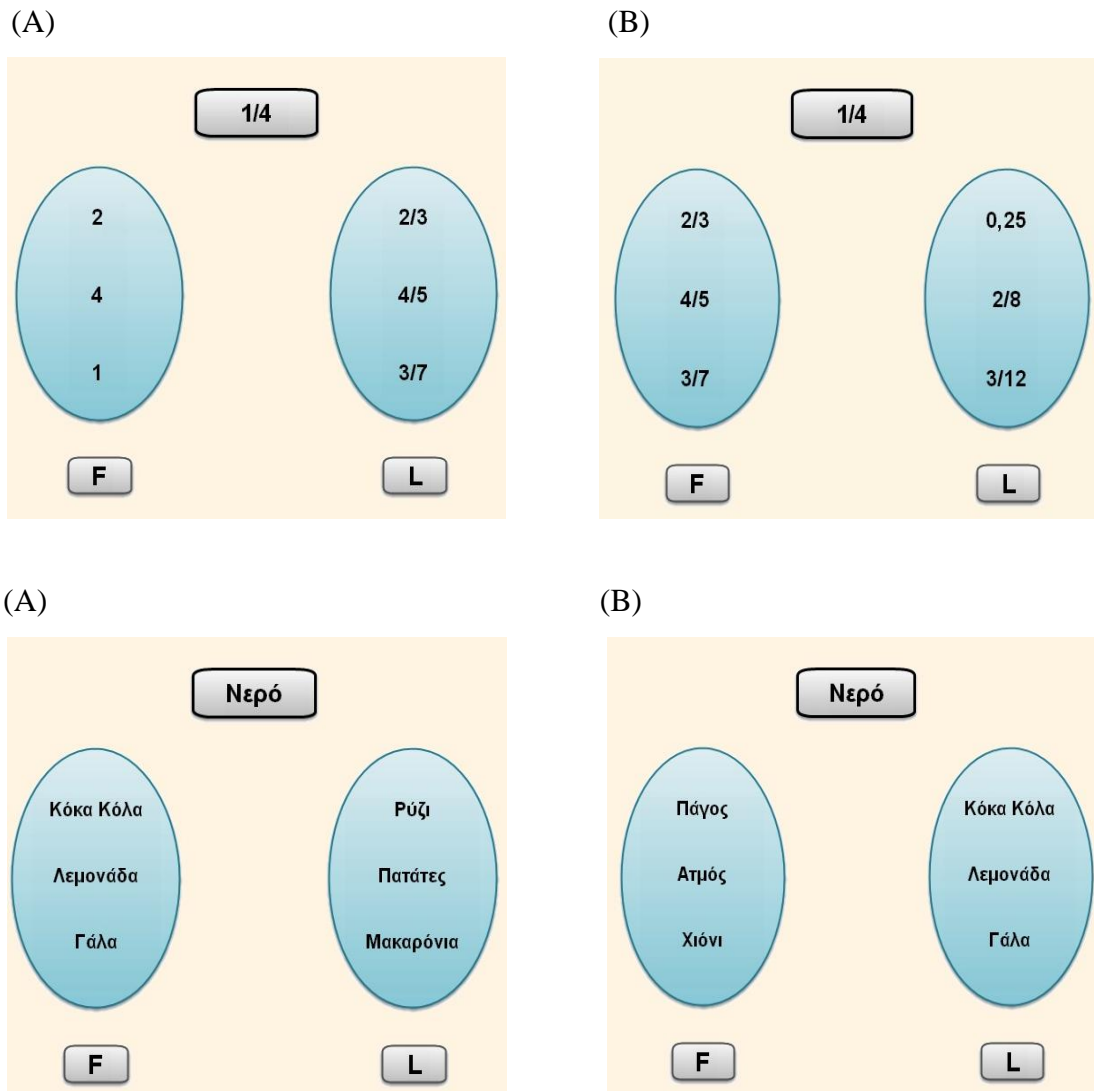
Ενενήντα τρία παιδιά, 52 αγόρια και 41 κορίτσια, της ΄ΣΤ δημοτικού (ΜΟ ηλικίας: 11,6) συμμετείχαν στην έρευνα. Όλα τα παιδιά παρακολουθούσαν ένα δημοτικό σχολείο από την περιοχή της Αθήνας, μεσαίου κοινωνικοοικονομικού επιπέδου.

1.1.2. Υλικό

Έργο κατηγοριοποίησης. Δόθηκε το έργο κατηγοριοποίησης των Vosniadou et al. (under review). Οι συμμετέχοντες έβλεπαν στην οθόνη ενός υπολογιστή μία λέξη/έννοια και έπρεπε να αποφασίσουν σε ποιά από 2 κατηγορίες που έβλεπαν ανήκει. Κάθε κατηγορία αποτελούνταν από 3 αντιπροσωπευτικά μέλη. Κάθε λέξη/έννοια παρουσιαζόταν 2 φορές σε δύο πειραματικές συνθήκες: Στην *Αρχική συνθήκη* οι συμμετέχοντες είχαν να διαλέξουν ανάμεσα σε μία αρχική κατηγορία και μία ανώμαλη. Στην *Επιστημονική συνθήκη* οι συμμετέχοντες είχαν να διαλέξουν ανάμεσα στην ίδια αρχική κατηγορία και την επιστημονική. Το έργο περιελάμβανε 37 λέξεις/ έννοιες από 4 επιστημονικούς τομείς: 14 από τη φυσική, 13 από τη βιολογία, 5 από την επιστημολογία και 5 από τα μαθηματικά. Οι έννοιες παρουσιάστηκαν 2 φορές, οπότε συνολικά παρουσιάστηκαν 74 λέξεις/έννοιες.

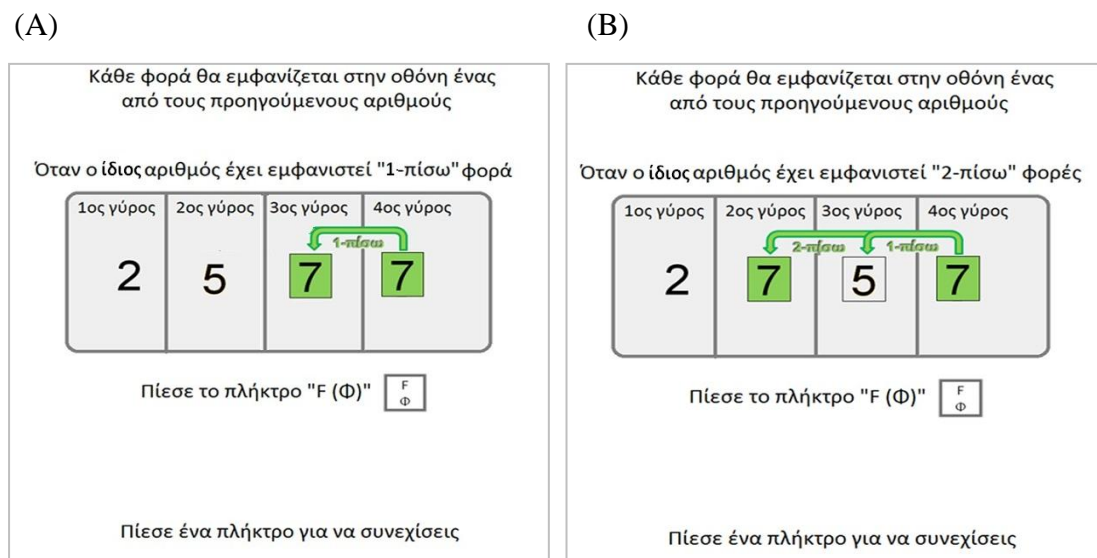
Οι συμμετέχοντες έβλεπαν αρχικά έναν σταυρό εστίασης για 500 ms και στη συνέχεια εμφανιζόταν η λέξη με τις δύο κατηγορίες από κάτω. Οι συμμετέχοντες έπρεπε να αποκριθούν πατώντας το κουμπί που βρισκόταν κάτω από την κατηγορία της επιλογής τους (είτε το «F» είτε το «L»). Οι απαντήσεις σταθμίστηκαν για τις δεξιά και αριστερά αποκρίσεις. Προηγήθηκαν 4 δοκιμές – 2 από την αρχική συνθήκη

και 2 από την επιστημονική – με ανατροφοδότηση. Καταχωρήθηκαν η ακρίβεια και ο χρόνος απόκρισης (ms) (βλέπε Σχήμα 1 για παραδείγματα).



Σχήμα 1. Παραδείγματα από το έργο Κατηγοριοποίησης στην αρχική (A) και στην επιστημονική (B) συνθήκη.

Έργο ανανέωσης μνήμης εργασίας. Χρησιμοποιήθηκε μία εκδοχή του κλασικού έργου *n*-πίσω (N-back). Σε αυτό το έργο οι συμμετέχοντες έπρεπε να παρακολουθούν μία σειρά από αριθμούς (2, 5, 7, 8) και να αποκρίνονται πατώντας το πλήκτρο «F» κάθε φορά που ο τρέχων αριθμός ήταν ίδιος με τον αριθμό που παρουσιάστηκε *n*-πίσω φορές. Οι αριθμοί παρουσιάστηκαν σε μαύρη γραμματοσειρά σε λευκό φόντο για 500 ms με διάστημα μεταξύ των ερεθισμάτων 2400 ms. Η ομάδα ελέγχου εξετάστηκε στη 1-πίσω εκδοχή ενώ η πειραματική στην 2-πίσω (Σχήμα 2). Συνολικά παρουσιάστηκαν 60 δοκιμές, από τις οποίες οι 20 ήταν στόχος. Προηγήθηκε δοκιμή. Καταχωρήθηκαν τα σωστά αλλά και τα λάθος πατήματα.



Σχήμα 2. Παραδείγματα από το έργο N-πίσω στη 1-πίσω (A) και στη 2-πίσω (B) εκδοχή του.

1.1.3. Διαδικασία

Τα παιδιά εξετάστηκαν ανα 6 στο εργαστήριο πληροφορικής του σχολείου μετά τη γραπτή συναίνεση των γονέων για τη συμμετοχή τους στο πείραμα. Τα έργα παρουσιάστηκαν με το λογισμικό E-prime. Αρχικά τα παιδιά εκτέλεσαν το έργο ανανέωσης μνήμης εργασίας και στη συνέχεια το έργο κατηγοριοποίησης χωρίς διάλειμμα. Τα μισά παιδιά εκτέλεσαν την πιο απαιτητική 2-πίσω εκδοχή του έργου μνήμης εργασίας και τα άλλα μισά την ευκολότερη εκδοχή 1-πίσω φορά. Η διαδικασία συνολικά διήρκεσε 20-25 λεπτά.

1.1.4. Ανάλυση δεδομένων

Για το έργο ανανέωσης μνήμης εργασίας υπολογίστηκε ένα σκορ_ME για τον κάθε συμμετέχοντα από τον αριθμό των σωστών πατημάτων αφαιρώντας τον αριθμό των λανθασμένων πατημάτων. Επομένως, το σκορ μπορούσε να διακυμανθεί από -20, στην περίπτωση που ο συμμετέχων πάτησε το πλήκτρο σε όλες τις δοκιμές, έως 20, στην περίπτωση που ο συμμετέχων πάτησε το πλήκτρο μόνο όταν χρειαζόταν η ανανέωση. Τα σκορ με ακραίες τιμές κάτω από 3 τυπικές αποκλίσεις από το μέσο όρο, τα οποία αφορούσαν σε τέσσερις συμμετέχοντες από την ομάδα ελέγχου, εξαιρέθηκαν από τις αναλύσεις. Μία τόσο χαμηλή επίδοση στο έργο ανανέωσης μνήμης εργασίας της ομάδας ελέγχου δεν δικαιολογείται από τη φύση του έργου παρά μόνο από το ενδεχόμενο οι συμμετέχοντες να μην εκτέλεσαν το έργο σωστά.

Για το έργο της κατηγοριοποίησης οι σωστές απαντήσεις πήραν 1 βαθμό και οι λανθασμένες 0. Αρχικά, οι απαντήσεις οι οποίες δόθηκαν σε χρόνο κάτω από 1000 ms (το 0.5% των συνολικών δοκιμασιών) υπολογίστηκαν ως λανθασμένες. Έπειτα, για τον κάθε συμμετέχοντα υπολογίστηκε ένα σκορ από το άθροισμα των σωστών απαντήσεων για τις *αρχικές κατηγοριοποιήσεις* και ένα σκορ για τις *επιστημονικές*

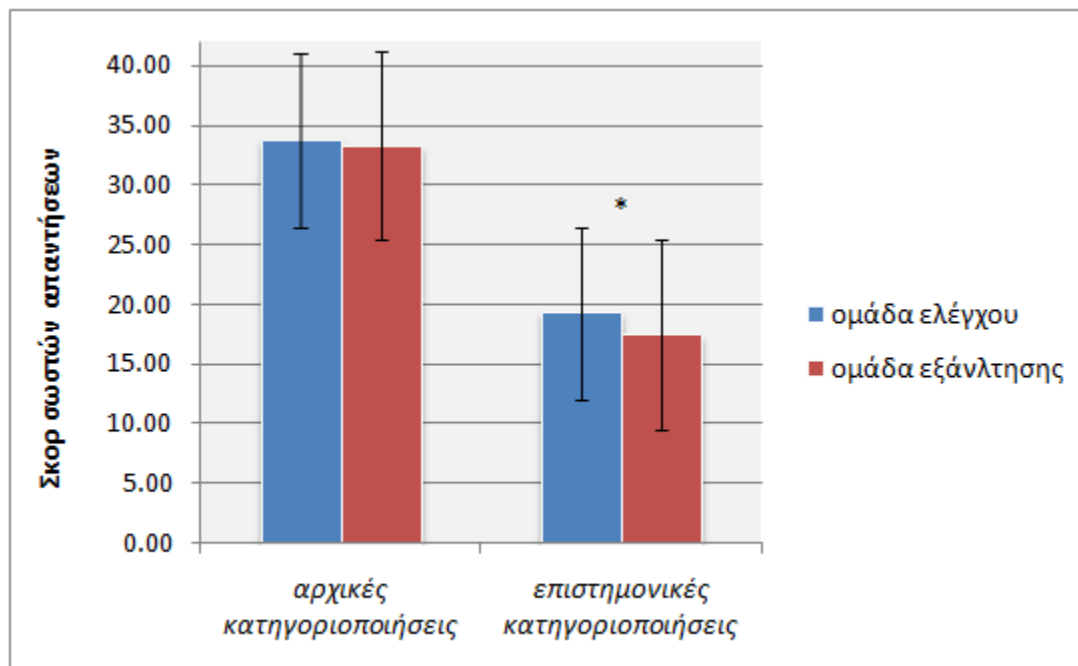
κατηγοριοποιήσεις. Έτσι, το σκορ και στις δύο περιπτώσεις μπορούσε να πάρει τιμές από 0 έως 37. Τέσσερις συμμετέχοντες από την ομάδα εξάντλησης οι οποίοι σημείωσαν ακραίες τιμές κάτω των 3 τυπικών αποκλίσεων από το μέσο όρο στις αρχικές κατηγοριοποιήσεις εξαιρέθηκαν από τις αναλύσεις. Οι αρχικές κατηγοριοποιήσεις όπως έχει ήδη αναφερθεί είναι αρκετά εύκολες και λειτουργούν ως άλλος ένας χειρισμός ελέγχου, επόμενος μία τόσο χαμηλή επίδοση και πάλι δικαιολογείται μόνο από το γεγονός οι συμμετέχοντες να μην εκτέλεσαν σωστά το έργο. Επίσης, για τον κάθε συμμετέχοντα υπολογίστηκε ο μέσος χρόνος απόκρισης των σωστών απαντήσεων στις αρχικές κατηγοριοποιήσεις καθώς και στις επιστημονικές κατηγοριοποιήσεις.

1.2. Αποτελέσματα

Έλεγχος πειραματικού χειρισμού. Για να επαληθεύσουμε ότι υπήρχε διαφορετικός βαθμός δυσκολίας ανάμεσα στη 1-πίσω εκδοχή του έργου της ομάδας ελέγχου και στη 2-πίσω της ομάδας εξάντλησης, πραγματοποιήσαμε t-test. Πράγματι, η ομάδα ελέγχου σημείωσε πολύ υψηλότερη επίδοση από την ομάδα εξάντλησης, $t(55)=13.10$, $p=.000$ ($M=16.26$, $TA=2.66$ έναντι $M=0.37$, $TA=7.79$ αντίστοιχα), δείχνοντας την εξαιρετική δυσκολία του 2-πίσω έργου και τη σχετική ευκολία του 1-πίσω έργου.

Ακρίβεια. Για τον έλεγχο της υπόθεσης ότι η εξάντληση των γνωστικών πόρων θα μειώσει την επίδοση στο έργο της κατηγοριοποίησης και κυρίως στις επιστημονικές κατηγοριοποιήσεις, πραγματοποιήσαμε μία repeated-measures ANOVA 2×2 (Συνθήκη [ελέγχου, εξάντλησης] \times Είδος κατηγοριοποίησης [αρχικές, επιστημονικές κατηγοριοποιήσεις]) στην ακρίβεια. Η ανάλυση έδειξε κύρια επίδραση της συνθήκης, $F(1, 91)=9.2$, $p=.003$, $\eta^2_p=.092$., επιβεβαιώνοντας ότι η ομάδα

εξάντλησης σημείωσε χαμηλότερη επίδοση ($M= 25$) από την ομάδα ελέγχου ($M= 26$). Επίσης, έδειξε κύρια επίδραση του είδους κατηγοριοποίησης $F(1000, 91.000)= 2411.351, p= .000, \eta^2_p= .96$, επαληθεύοντας τα προηγούμενα ευρήματα ότι οι επιστημονικές κατηγοριοποιήσεις σημειώνουν χαμηλότερη ακρίβεια σε σχέση με τις αρχικές. Κυρίως, όμως, η αλληλεπίδραση Είδος κατηγοριοποίησης \times Συνθήκη βρέθηκε στατιστικώς σημαντική $F(1.000, 91.000)= 4.856, p= .03, \eta^2_p= .05$. Η εξέταση των μέσων τιμών αποκάλυψε ότι ενώ η ακρίβεια της ομάδας ελέγχου και της ομάδας εξάντλησης δεν διέφερε στις αρχικές κατηγοριοποιήσεις, $t(91)=1,481, ns$ ($M=33.74, TA=1.63$ έναντι $M=33.26, TA=1.51$ αντίστοιχα), στις επιστημονικές κατηγοριοποιήσεις η ομάδα εξάντλησης σημείωσε χαμηλότερη ακρίβεια από την ομάδα ελέγχου $t(91)=2.999, p= .003$ ($M=17.45, TA=3.03$ έναντι $M=19.29, TA=2.89$ αντίστοιχα), επιβεβαιώνοντας ότι η εξάντληση των γνωστικών πόρων συνέβαλλε στη μείωση της επίδοσης στις επιστημονικές κατηγοριοποιήσεις. Η αλληλεπίδραση απεικονίζεται στο Σχήμα 3.



Σχήμα 3. Επίδραση της συνθήκης στην ακρίβεια στις αρχικές και επιστημονικές κατηγοριοποιήσεις.

Χρόνος απόκρισης. Για να εξετάσουμε την επίδραση της εξάντλησης των γνωστικών πόρων στους χρόνους απόκρισης στο έργο της κατηγοριοποίησης διεξάγαμε μία 2×2 (Συνθήκη [ελέγχου, εξάντλησης] \times Είδος κατηγοριοποίησης [αρχικές, επιστημονικές κατηγοριοποιήσεις]) repeated-measures ANOVA. Βρέθηκε κύρια επίδραση του είδους κατηγοριοποίησης $F(1000, 91.000)=89.093, p= .000, \eta^2_p=.50$, επαληθεύοντας τα προηγούμενα ευρήματα ότι οι επιστημονικές κατηγοριοποιήσεις παίρνουν περισσότερο χρόνο από τις αρχικές. Η κύρια επίδραση της συνθήκης και η αλληλεπίδραση Είδος κατηγοριοποίησης \times Συνθήκη δεν ήταν στατιστικώς σημαντικές, δείχνοντας ότι η εξάντληση των γνωστικών πόρων δεν επηρέασε τους χρόνους απόκρισης των συμμετεχόντων. Στον Πίνακα 1 απεικονίζονται οι μέσοι χρόνοι στις αρχικές και επιστημονικές κατηγοριοποιήσεις ανα συνθήκη.

Πίνακας 1

Χρόνος Απόκρισης (ms) στις Αρχικές και Επιστημονικές Κατηγοριοποιήσεις ανα Συνθήκη

	Συνθήκη	ΜΟ	ΤΑ
Αρχικές κατηγοριοποιήσεις	ελέγχου	4294.5	1180.88
	εξάντλησης	4324.44	1323.82
Επιστημονικές κατηγοριοποιήσεις	ελέγχου	5364.54	1425.38
	εξάντλησης	5122.98	1756.49

1.3. Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η ομάδα εξάντλησης σημείωσε χαμηλότερη επίδοση στις επιστημονικές κατηγοριοποιήσεις από την ομάδα ελέγχου, ενώ η επίδοση των δύο ομάδων δεν διέφερε στις αρχικές κατηγοριοποιήσεις. Το εύρημα αυτό υποστηρίζει την αρχική μας υπόθεσή και αποτελεί ένδειξη ότι η επίδοση στις επιστημονικές κατηγοριοποιήσεις απαιτεί εκτελεστικές λειτουργίες. Οι επιστημονικές κατηγοριοποιήσεις, επίσης, σημείωσαν χαμηλότερη ακρίβεια και απαίτησαν περισσότερο χρόνο από τις αρχικές, ένα εύρημα το οποίο επαληθεύει τα ευρήματα προηγούμενων ερευνών με το έργο της κατηγοριοποίησης (Vosniadou et al., under review; Vosniadou et al., 2014a).

Τα αποτελέσματα, επίσης, έδειξαν ότι η εξάντληση δεν είχε καμία επίδραση στους χρόνους απόκρισης, το οποίο έρχεται σε συμφωνία με ευρήματα που υποστηρίζουν ότι οι χρόνοι απόκρισης φαίνεται να είναι αναξιόπιστοι στα παιδιά σε έργα εκτελεστικού ελέγχου (Diamond & Kirkham, 2005; Diamond et al., 2007; Davidson et al., 2006). Για παράδειγμα, οι Davidson et al. (2006) βρήκαν ότι οι επιδράσεις οι οποίες εκδηλώθηκαν στους χρόνους απόκρισης στους ενήλικες, στα παιδιά εκδηλώθηκαν στην ακρίβεια. Οι ενήλικες επιβράδυναν στις δύσκολες δοκιμές προς χάριν της ακρίβειας, αλλά τα νεαρά παιδιά ήταν παρορμητικά. Οι χρόνοι τους παρέμειναν σταθεροί αλλά με κόστος την ακρίβεια στις δύσκολες δοκιμές.

2. Πείραμα 2

Σκοπός του πειράματος 2 ήταν να μελετήσει την επίδραση της εξάντλησης στους χρόνους απόκρισης, διεξάγοντας το πείραμα 1 αλλά αυτή τη φορά σε ενήλικες. **Υποθέσαμε** ότι, σε συμφωνία με το πείραμα 1, η ομάδα εξάντλησης θα έχει χαμηλότερη επίδοση από την ομάδα ελέγχου, αλλά μόνο στις επιστημονικές

κατηγοριοποιήσεις. Υποθέσαμε επιπλέον ότι η ομάδα εξάντλησης θα πάρει περισσότερο χρόνο να απαντήσει από την ομάδα ελέγχου αλλά μόνο στις επιστημονικές κατηγοριοποιήσεις.

2.1. Μέθοδος

2.1.1. Συμμετέχοντες

Στην έρευνα συμμετείχαν 53 φοιτητές ανθρωπιστικών επιστημών, 17 αγόρια και 36 κορίτσια (*ΜΟ* ηλικίας: 21.8).

2.1.2. Υλικό και διαδικασία

Δόθηκαν τα ίδια έργα με το πείραμα 1 και ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία, με τη διαφορά ότι οι συμμετέχοντες εξετάστηκαν ανα 2 στο εργαστήριό μας.

2.1.3. Ανάλυση δεδομένων

Παρομοίως, υπολογίστηκε ένα σκορ_ΜΕ για το έργο ανανέωσης μνήμης εργασίας για τον κάθε συμμετέχοντα. Ένας συμμετέχων από την ομάδα ελέγχου με ακραία τιμή κάτω από 3 τυπικές αποκλίσεις από το μέσο όρο εξαιρέθηκε από τις αναλύσεις.

Αντίστοιχα, για το έργο της κατηγοριοποίησης οι απαντήσεις οι οποίες δόθηκαν σε χρόνο κάτω από 1000 ms (το 0.22% των συνολικών δοκιμασιών) βαθμολογήθηκαν ως λανθασμένες. Έπειτα, για τον κάθε συμμετέχοντα υπολογίστηκε ένα σκορ από το άθροισμα των σωστών απαντήσεων για τις *αρχικές κατηγοριοποιήσεις* και ένα σκορ για τις *επιστημονικές κατηγοριοποιήσεις*. Ένας συμμετέχων με τιμή κάτω από 3 τυπικές αποκλίσεις στις *αρχικές κατηγοριοποιήσεις* εξαιρέθηκε από τις αναλύσεις. Επίσης, και εδώ για τον κάθε συμμετέχοντα

υπολογίστηκε ο μέσος χρόνος απόκρισης των σωστών απαντήσεων στις *αρχικές κατηγοριοποιήσεις* καθώς και στις *επιστημονικές κατηγοριοποιήσεις*.

2.2. Αποτελέσματα

Έλεγχος πειραματικού χειρισμού. Αρχικά, και σε αυτήν την περίπτωση ελέγξαμε με t-test αν ο βαθμός δυσκολίας μεταξύ της 1-πίσω και της 2-πίσω εκδοχής του έργου ανανέωσης μνήμης εργασίας διέφερε. Πράγματι, το σκορ_ME της ομάδας ελέγχου ($M= 17.44$ $TA= 1.73$) ήταν σημαντικά υψηλότερο από το σκορ της ομάδας εξάντλησης ($M= 12.93$, $TA= 3.54$), $t(40)=5.99$, $p= .000$, το οποίο δείχνει ότι οι συμμετέχοντες της ομάδας εξάντλησης δυσκολεύτηκαν περισσότερο από την ομάδα ελέγχου.

Ακρίβεια. Στη συνέχεια ελέγξαμε την επίδραση της συνθήκης στην επίδοση των συμμετεχόντων στο έργο της κατηγοριοποίησης με μία repeated-measures ANOVA 2×2 (Συνθήκη [ελέγχου, εξάντλησης] \times Είδος κατηγοριοποίησης [αρχικές, επιστημονικές κατηγοριοποιήσεις]). Η ανάλυση έδειξε, όπως αναμενόταν από προηγούμενα ευρήματα, κύρια επίδραση του είδους κατηγοριοποίησης $F(1000, 51.000)=589.927$, $p= .000$, $\eta^2_p= .92$. Ωστόσο, δεν βρέθηκε κύρια επίδραση της συνθήκης, ούτε και αλληλεπίδραση μεταξύ συνθήκης και είδους κατηγοριοποίησης. Η ακρίβεια στις αρχικές και επιστημονικές κατηγοριοποιήσεις ανα συνθήκη παρουσιάζεται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2

Ακρίβεια στις Αρχικές και Επιστημονικές Κατηγοριοποιήσεις ανα Συνθήκη

	Συνθήκη	ΜΟ	ΤΑ
<i>Αρχικές κατηγοριοποιήσεις</i>	ελέγχου	35.20	1.22
	εξάντλησης	35.43	1.40
<i>Επιστημονικές κατηγοριοποιήσεις</i>	ελέγχου	22.52	4.76
	εξάντλησης	22.82	3.66

Χρόνος απόκρισης. Επίσης, για την διερεύνηση της επίδρασης της εξάντλησης των εκτελεστικών πόρων στους χρόνους απόκρισης στο έργο της κατηγοριοποίησης πραγματοποιήσαμε μία 2×2 (Συνθήκη [ελέγχου, εξάντλησης] \times Είδος κατηγοριοποίησης [αρχικές, επιστημονικές κατηγοριοποιήσεις]) repeated-measures ANOVA. Βρέθηκε κύρια επίδραση του είδους κατηγοριοποίησης $F(1000, 51.000) = 77.978, p = .000, \eta^2_p = .61$. Ωστόσο, ούτε και στην περίπτωση των φοιτητών η κύρια επίδραση της συνθήκης και η αλληλεπίδραση μεταξύ μεταξύ συνθήκης και είδους κατηγοριοποίησης δεν ήταν στατιστικώς σημαντικές. Στον Πίνακα 3 συνοψίζονται οι μέσοι χρόνοι στις αρχικές και επιστημονικές κατηγοριοποιήσεις ανα συνθήκη.

Πίνακας 3

Χρόνος Απόκρισης (ms) στις Αρχικές και Επιστημονικές Κατηγοριοποιήσεις ανα Συνθήκη

	Συνθήκη	ΜΟ	ΤΑ
<i>Αρχικές κατηγοριοποιήσεις</i>	ελέγχου	3467.33	735.02
	εξάντλησης	3611.94	1060.67
<i>Επιστημονικές κατηγοριοποιήσεις</i>	ελέγχου	4581.43	1316.26
	εξάντλησης	4318.29	1321.58

2.3. Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα του πειράματος 2 έδειξαν ότι η εξάντληση των εκτελεστικών λειτουργιών δεν επηρέασε την επίδοση των φοιτητών στο έργο κατηγοριοποίησης. Τόσο στις αρχικές όσο και στις επιστημονικές κατηγοριοποιήσεις η ομάδα εξάντλησης και η ομάδα ελέγχου σημείωσαν την ίδια ακρίβεια. Το εύρημα αυτό έρχεται σε αντίθεση με την αρχική μας υπόθεση.

Επίσης, ο χειρισμός της εξάντλησης δεν βρέθηκε να επηρεάσει ούτε τους χρόνους απόκρισης των ενηλίκων, καθώς η ομάδα εξάντλησης σημείωσε τον ίδιο χρόνο απόκρισης με την ομάδα ελέγχου και στις αρχικές και στις επιστημονικές κατηγοριοποιήσεις. Και αυτό το εύρημα δεν συμφωνεί με την αρχική μας υπόθεση.

Τα αποτελέσματα αυτά μας οδηγούν στην υπόθεση ότι η 2-πίσω εκδοχή του έργου ανανέωσης μνήμης ήταν αρκετά εύκολη για ενήλικες και, ως αποτέλεσμα, δεν έγινε εξάντληση ($M= 13$, $TA= 3.54$ στους ενήλικες έναντι $M= 0.37$, $TA= 7.79$ στα παιδιά). Συνεπώς, απαιτείται μελλοντική έρευνα με τη χρήση ενός πιο απαιτητικού έργου για τον έλεγχο των υποθέσεων μας.

3. Γενική Συζήτηση

Με την παρούσα έρευνα επιδιώξαμε να διερευνήσουμε τη σχέση εννοιολογικής αλλαγής σε ένα ευρύ πεδίο γνωστικών αντικειμένων και εκτελεστικών λειτουργιών, σε παιδιά σχολικής ηλικίας, τα οποία έχουν δεχτεί τη συστηματική διδασκαλία των επιστημονικών εννοιών.

Το πείραμα 1 υιοθέτησε τον πειραματικό χειρισμό της εξάντλησης των εκτελεστικών πόρων και βρήκε ότι η εξάντλησή τους μείωσε την επίδοση στο έργο της κατηγοριοποίησης εννοιών. Μάλιστα, η εξάντληση επέδρασε επιλεκτικά

οδηγώντας στη μείωση της επίδοσης μόνο στις επιστημονικές κατηγοριοποιήσεις, οι οποίες απαιτούν εννοιολογική αλλαγή, αφήνοντας ανεπηρέαστη την επίδοση στις αρχικές κατηγοριοποιήσεις. Το εύρημα αυτό υποστηρίζει την αρχική μας υπόθεση, συμβάλλοντας στην άποψη ότι η εννοιολογική αλλαγή εμπλέκει εκτελεστικές λειτουργίες (π.χ. Carlson & Moses, 2001; Zaitchik et al., 2013).

Στη βάση αυτής της άποψης εξηγούνται οι ατομικές διαφορές που παρατηρούνται στη σχολική επίδοση, προτείνοντας ότι κάποιοι μαθητές επωφελούνται περισσότερο από την εκπαίδευση των επιστημών και των μαθηματικών από κάποιους άλλους (Vosniadou et al., 2014a). Τέτοιου είδους ευρήματα έχουν οδηγήσει εκπαιδευτικούς και ψυχολόγους στη δημιουργία προγραμμάτων εκπαίδευσης εκτελεστικών λειτουργιών στο σχολείο (e.g. Diamond, Barnett, Thomas & Munro, 2007).

Επομένως, είναι πολύ σημαντικό να διασαφηνιστεί ο ρόλος των εκτελεστικών λειτουργιών στη μάθηση. Χρειάζεται περαιτέρω διερεύνηση για το ποιές ακριβώς εκτελεστικές λειτουργίες συσχετίζονται με τη μάθηση και αν υπάρχουν διαφοροποιήσεις ανάλογα το γνωστικό τομέα μελέτης. Για παράδειγμα, έρευνες έχουν δείξει ότι η μνήμη εργασίας και η αναστολή ανεξάρτητα προβλέπουν τη μαθηματική και αναγνωστική ικανότητα από την προσχολική ηλικία μέχρι το λύκειο (Blair & Razza, 2007; Bull & Scerif, 2001; Gathercole et al., 2005).

Μελλοντικές έρευνες με σταθμισμένα εργαλεία αξιολόγησης εννοιολογικών αλλαγών, τα οποία να καλύπτουν τα περισσότερα πεδία γνώσεων, και με μία ευρύτερη συστοιχία έργων εκτελεστικών λειτουργιών θα ήταν προς αυτή την κατεύθυνση.

Το πείραμα 1 συμβαδίζει, επίσης, με τα ευρήματα που υποστηρίζουν ότι ο εκτελεστικός έλεγχος λειτουργεί σαν μία περιορισμένη πηγή (Baumeister, Vohs, & Tice, 2007; Muraven & Baumeister, 2000; Vohs & Heatherton, 2000). Μελλοντικές έρευνες, οι οποίες θα καθορίσουν το βιοχημικό υπόστρωμα και τις εγκεφαλικές δομές που αποτελούν τη βάση αυτής της πηγής, θα στηρίξουν περαιτέρω την άποψη αυτή.

Το πείραμα 2 επεδίωξε τη διερεύνηση της επίδρασης της εξάντλησης σε μία επιπλέον εξαρτημένη μεταβλητή, τους χρόνους απόκρισης. Το πείραμα αυτή τη φορά πραγματοποιήθηκε σε ενήλικες, καθώς σύμφωνα με έρευνες (Diamond & Kirkham, 2005; Diamond et al., 2007; Davidson et al., 2006), οι χρόνοι απόκρισης αποτελούν ένα πιο ευαίσθητο μέτρο για τους ενήλικες από την ακρίβεια, καθώς φανερώνουν επιδράσεις οι οποίες δεν εκδηλώνονται στην ακρίβεια, ενώ το αντίστροφο φαίνεται να ισχύει για τα παιδιά. Ωστόσο, το πείραμα 2 δεν βρήκε επίδραση της εξάντλησης των εκτελεστικών λειτουργιών στους χρόνους απόκρισης αλλά ούτε και στην ακρίβεια σε αντίθεση με τις αρχικές μας υποθέσεις. Υποθέτουμε ότι το 2-πίσω έργο ήταν αρκετά εύκολο για ενήλικες και, ως αποτέλεσμα, δεν έγινε εξάντληση. Σκοπεύουμε να διεξάγουμε έρευνα χρησιμοποιώντας μεγαλύτερο επίπεδο δυσκολίας (3-πίσω ή 4-πίσω) για τον έλεγχο αυτής της υπόθεσης.

Τα ερωτήματα που εγείρονται από το πείραμα 2 είναι σημαντικό να απαντηθούν, καθώς συμβάλλουν στην αποσαφήνιση του ρόλου των εκτελεστικών λειτουργιών στο εννοιολογικό σύστημα των ενηλίκων. Συγκεκριμένα, όλο και περισσότερα ευρήματα δείχνουν ότι η κατάκτηση μίας επιστημονικής θεωρίας δεν συνεπάγεται την αντικατάσταση της αρχικής θεωρίας. Αντιθέτως, φαίνεται ότι οι αρχικές θεωρίες εξακολουθούν να υπάρχουν στο γνωστικό σύστημα των ενηλίκων, παρεμποδίζοντας την πρόσβαση στις επιστημονικές (Shtulman and Valcarcel, 2012; Dunbar, Fugelsang & Stein, 2007; Vamvakoussi, et al., 2012; Van Hoof et al, 2013).

Σε αυτήν την περίπτωση, ακόμα και οι καλά παγιωμένες γνώσεις απαιτούν εκτελεστικό έλεγχο προκειμένου να είναι προσβάσιμες και να μπορούν να εκφραστούν. Στη Βιολογία, για παράδειγμα, έχει βρεθεί ότι ακόμα και οι υγιείς ενήλικες κάνουν τα ίδια λάθη με τα μικρά παιδιά (π.χ. αποδίδουν ζωή στον ήλιο και τον άνεμο) κάτω από επιταχυνόμενες συνθήκες, όταν δηλαδή δεν υπάρχει χρόνος να χρησιμοποιηθούν οι εκτελεστικές λειτουργίες (Goldberg & Thompson-Schill, 2009).

Η παρούσα έρευνα, επίσης, καταδεικνύει τη χρησιμότητα του χειρισμού της εξάντλησης για τη διερεύνηση του ρόλου των ΕΛ στη μάθηση. Παραδείγματος χάριν θα μπορούσε να γίνει μία έρευνα με εκπαίδευση σε συνθήκες εξάντλησης για να δούμε αν η εξάντληση θα επηρεάσει την απόκτηση της γνώσης. Η ανάλυση των έργων μπορεί να οδηγήσει και σε λανθασμένες εκτιμήσεις σχετικά με το ρόλο των ΕΛ στη γνωστική λειτουργία. Για παράδειγμα, στο χώρο της ΘτΝ πίστευαν ότι τα έργα λανθασμένης πεποίθησης και τα έργα λανθασμένης φωτογραφίας εμπλέκουν τις ίδιες ΕΛ, μέχρι που φάνηκε ότι τα τελευταία δεν σχετίζονται με τις ΕΛ (Sabbagh, Moses et al., 2006). Συνεπώς, η εξάντληση παρέχει μία μέθοδο αξιολόγησης του ποιά έργα και ποιά συγκεκριμένα συστατικά των έργων περιλαμβάνουν ΕΛ.

Στην παρούσα έρευνα φάνηκε, επίσης, ότι οι κατηγοριοποιήσεις οι οποίες απαιτούν εννοιολογική αλλαγή είναι πιο δύσκολες, απαιτούν περισσότερο χρόνο (πείραμα 1 & 2) και εμπλέκουν ΕΛ (πείραμα 1). Τα χαρακτηριστικά αυτά προσομοιάζουν στα χαρακτηριστικά της Τύπου 2 επεξεργασίας, τα οποία υποστηρίζονται από τις θεωρίες διπλής επεξεργασίας για τη συλλογιστική και τη λήψη αποφάσεων (Evans, 2007a; Kahneman, 2011; Stanovich, 2011; Evans & Stanovich, 2013), προτείνοντας ότι οι εν λόγω θεωρίες μπορεί να είναι σχετικές και με τη μάθηση της επιστήμης.

Οι θεωρίες διπλής επεξεργασίας διακρίνουν ανάμεσα στις γνωστικές επεξεργασίες οι οποίες είναι γρήγορες, αυτόματες και άρρητες (*Τύπου 1*) και εκείνες που είναι αργές, ρητές, εμπρόθετες και απαιτούν πρόσβαση στους εκτελεστικούς πόρους της μνήμης εργασίας (*Τύπου 2*). Κατά αντιστοιχία με ότι συμβαίνει στις διαδικασίες της συλλογιστικής και της λήψης αποφάσεων, θα μπορούσε να υποτεθεί ότι οι αρχικές έννοιες διαμορφώνουν ένα σύστημα Τύπου 1 επεξεργασίας, ενώ οι επιστημονικές ένα σύστημα Τύπου 2 επεξεργασίας. Ένα τέτοιο ερώτημα απαιτεί περαιτέρω διερεύνηση.

Ενώ στην παρούσα έρευνα εξετάσαμε το ρόλο των ΕΛ στην ΕΑ, το αντίστροφο ερώτημα μένει αναπάντητο, αν, δηλαδή, η μάθηση των επιστημών και των μαθηματικών συμβάλλει στην περαιτέρω ανάπτυξη των ΕΛ. Οι Vosniadou et al. (2014a) υποστηρίζουν ότι ίσως υπάρχει μία σχέση διπλής κατεύθυνσης μεταξύ ΕΛ και ΕΑ. Από τη μία, οι ΕΛ είναι απαραίτητες για την αναστολή των καλά μαθημένων αποκρίσεων, την ευέλικτη εναλλαγή μεταξύ αφελών και επιστημονικών θεωριών και τη συγκράτηση των πληροφοριών στη μνήμη. Από την άλλη, η διαδικασία της ΕΑ, η οποία ωθεί τα παιδιά να αναθεωρήσουν με την θέληση τους τις πεποιθήσεις τους, να αξιολογήσουν τις αφελείς θεωρίες τους και να δομήσουν νέες αναπαραστάσεις μπορεί, επίσης, να συμβάλλει στην ανάπτυξη των ΕΛ.

Εν κατακλείδι, η έρευνα στο παρόν αντικείμενο έχει να προσφέρει πολλά στο χώρο της μάθησης και της γνωστικής ανάπτυξης. Η διερεύνηση του πεδίου είναι αρκετά πρώιμη. Πολλά ερωτήματα παραμένουν ανεξερευνήτα, ωστόσο τα πρώτα ευρήματα καθιστούν την έρευνα πολλά υποσχόμενη στο μέλλον.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Allport, A., & Wylie, G. (2000). Task switching, stimulus-response bindings, and negative priming. *Control of cognitive processes: Attention and performance XVIII*, 35-70.
- Anderson, P. (2002). Assessment and development of executive function (EF) during childhood. *Child neuropsychology*, 8(2), 71-82.
- Anderson, P., Anderson, V., & Garth, J. (2001). Assessment and Development of Organizational Ability: The Rey Complex Figure Organizational Strategy Score (RCF-OSS)*. *The Clinical Neuropsychologist*, 15(1), 81-94.
- Anderson, P., Anderson, V., & Lajoie, G. (1996). The tower of London test: Validation and standardization for pediatric populations. *The Clinical Neuropsychologist*, 10(1), 54-65.
- Ardila, A., & Surloff, C. (2004). Dysexecutive syndromes. Medlink Neurology. San Diego: Arbor Publishing Co.
- Baddeley, A. D. (1986). *Working memory*. New York: Oxford Univ. Press.
- Baddeley, A. D. (1996). Exploring the central executive. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 49A, 5-28.
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. (1974). Working memory. *Psychology of learning and motivation*, 8, 47-89.
- Baumeister, R. F., & Heatherton, T. F. (1996). Self-regulation failure: An overview. *Psychological Inquiry*, 7, 1-15. doi: 10.1207/s15327965pli0701_1.

- Baumeister, R. F., & Vohs, K. D. (2007). Self-regulation, ego-depletion, and motivation. *Social and Personality Psychology Compass, 1*, 115-128. doi: 10.1111/j.1751 9004.2007.00001.x.
- Baumeister, R. F., Bratslavsky, E., Muraven, M., & Tice, D. M. (1998). Ego depletion: Is the active self a limited resource? *Journal of Personality and Social Psychology, 74*, 1252- 1265. doi: 10.1037/0022-3514.74.5.1252.
- Baumeister, R. F., Vohs, K. D., & Tice, D. M. (2007). The strength model of self-control. *Current directions in psychological science, 16*(6), 351-355.
- Blair, C., & Razza, R. P. (2007). Relating effortful control, executive function, and false belief understanding to emerging math and literacy ability in kindergarten. *Child development, 78*(2), 647-663.
- Bray, S. R., Ginis, K. A. M., Hicks, A. L., & Woodgate, J. (2008). Effects of self-regulatory strength depletion on muscular performance and EMG activation. *Psychophysiology, 45*, 337-343. doi: 10.1111/j.1469-8986.2007.00625.x.
- Bruyneel, S. D., Dewitte, S., Vohs, K. D., & Warlop, L. (2006). Repeated choosing increases susceptibility to affective product features. *International Journal of Research in Marketing, 23*, 215-225. doi: 10.1016/j.ijresmar.2005.12.002.
- Bull, R., & Scerif, G. (2001). Executive functioning as a predictor of children's mathematics ability: Inhibition, switching, and working memory. *Developmental neuropsychology, 19*(3), 273-293.
- Burgess, P. W. (1997). Theory and methodology in executive function research. In P. Rabbitt (Ed.), *Methodology of frontal and executive function* (pp. 81–116). Hove, UK: Psychology Press.

- Burkley, E. (2008). The role of self-control in resistance to persuasion. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 34, 419-431. doi: 10.1177/0146167207310458.
- Carey, S. (1991). Knowledge acquisition: Enrichment or conceptual change? In S. Carey & R. Gelman (Eds.), *The epigenesis of mind: Essays on biology and cognition* (pp. 257-292). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Carey, S. (1985). *Conceptual change in childhood*. Bradford Books, MIT Press, Cambridge, MA.
- Carey, S. (2000). Science education as conceptual change. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 21, 13–19.
- Carey, S. (2009). *The origin of concepts*. New York: Oxford University Press.
- Carey, S., & Smith, C. (1993). On understanding the nature of scientific knowledge. *Educational Psychologist*, 28(3), 235-251.
- Carlson, S. M., & Moses, L. J. (2001). Individual differences in inhibitory control and children's theory of mind. *Child development*, 72(4), 1032-1053.
- Chi, M. T. H. (1992). Conceptual change within and across ontological categories: Examples from learning and discovery in science. In R. Giere (Ed.), *Cognitive models of science: Minnesota studies in the philosophy of science*, University of Minnesota Press, Minneapolis, MN pp. 129–160.
- Chi, M. T. H. (2008). Three types of conceptual change: belief revision, mental model transformation, and categorical shift. In S. Vosniadou (Ed.), *Handbook of research on conceptual change* (pp. 61-82). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

- Chi, M. T., Slotta, J. D., & De Leeuw, N. (1994). From things to processes: A theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and instruction*, 4(1), 27-43.
- Damasio, A. R. (1994). *Descartes' error: Emotion, reason, and human brain*. New York: Grosset/Putnam.
- Davidson, M. C., Amso, D., Anderson, L. C., & Diamond, A. (2006). Development of cognitive control and executive functions from 4 to 13 years: Evidence from manipulations of memory, inhibition, and task switching. *Neuropsychologia*, 44(11), 2037-2078.
- Denckla, M. B. (1996). A theory and model of executive function: A neuropsychological perspective. In G. R. Lyon & N. A. Krasnegor (Eds.), *Attention, memory, and executive function* (pp. 263–278). Baltimore, MD: Brookes.
- DeWall, C. N., Baumeister, R. F., Stillman, T. F., & Gailliot, M. T. (2007). Violence restrained: Effects of self-regulation and its depletion on aggression. *Journal of Experimental Social Psychology*, 43, 62-76. doi: 10.1016/j.jesp.2005.12.005.
- Diamond, A., & Kirkham, N. (2005). Not quite as grown-up as we like to think parallels between cognition in childhood and adulthood. *Psychological Science*, 16(4), 291-297.
- Diamond, A., Barnett, W. S., Thomas, J., & Munro, S. (2007). Preschool program improves cognitive control. *Science (New York, NY)*, 318(5855), 1387.

- Dunbar, K., Fugelsang, J., & Stein, C. (2007). Do naive theories ever go away? Using brain and behavior to understand changes in concepts. In M. Lovett & P. Shah (Eds.), *Thinking with data* (pp. 193–206). New York: Lawrence Erlbaum Associates.
- Duncan, J., Emslie, H., Williams, P., Johnson, R., & Freer, C. (1996). Intelligence and the frontal lobe: The organization of goal-directed behavior. *Cognitive Psychology*, 30, 257–303.
- Duncan, J., Johnson, R., Swales, M., & Freer, C. (1997). Frontal lobe deficits after head injury: Unity and diversity of function. *Cognitive Neuropsychology*, 14, 713–741.
- Engle, R. W., Kane, M. J., & Tuholski, S. W. (1999a). Individual differences in working memory capacity and what they tell us about controlled attention, general fluid intelligence, and functions of the prefrontal cortex. In A. Miyake & P. Shah (Eds.), *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control* (pp. 102–134). New York: Cambridge Univ. Press.
- Evans, J. St. B. T. (2007a). *Hypothetical thinking: Dual processes in reasoning and judgement*. Hove, England: Psychology Press.
- Evans, J. St. B. T., & Stanovich, K. E. (2013). Dual-Process theories of higher cognition: Advancing the debate. *Perspectives on Psychological Science*, 8(3), 223–241.
- Finkel, E. J., Dalton, A. N., Campbell, W. K., Brunell, A. B., Scarbeck, S. J., & Chartrand, T. L. (2006). High-maintenance interaction: Inefficient social

coordination impairs selfregulation. *Journal of Personality and Social Psychology*, *91*, 456-475. doi: 10.1037/0022-3514.91.3.456.

Fischer, P., Greitemeyer, T., & Frey, D. (2008). Self-regulation and selective exposure: The impact of depleted self-regulation resources on confirmatory information processing. *Journal of Personality and Social Psychology*, *94*, 382-395. doi: 10.1037/0022- 3514.94.3.382.

Fuster, J. (2002). Physiology of executive functions: The perception– action cycle. In D. T. Stuss, & R. T. Knight (Eds.) *Principles of the frontal lobe*. New York: Oxford University Press.

Gailliot, M. T., Baumeister, R. F., DeWall, C. N., Maner, J. K., Plant, E. A., Tice, D. M., Brewer, L. E., & Schmeichel, B. J. (2007). Self-control relies on glucose as a limited energy source: Willpower is more than a metaphor. *Journal of Personality and Social Psychology*, *92*, 325-336. doi: 10.1037/0022-3514.92.2.325.

Gailliot, M. T., Plant, E. A., Butz, D. A., & Baumeister, R. F. (2007). Increasing selfregulatory strength can reduce the depleting effect of suppressing stereotypes. *Personality and Social Psychology Bulletin*, *33*, 281-294. doi: 10.1177/0146167206296101

Gathercole, S. E., Tiffany, C., Briscoe, J., & Thorn, A. (2005). Developmental consequences of poor phonological short-term memory function in childhood: a longitudinal study. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, *46*(6), 598-611.

- Geeraert, N., & Yzerbyt, V. Y. (2007). How fatiguing is dispositional suppression? Disentangling the effects of procedural rebound and ego-depletion. *European Journal of Social Psychology, 37*, 216-230. doi: 10.1002/ejsp.349.
- Godefroy, O., Cabaret, M., Petit-Chenal, V., Pruvo, J. P., & Rousseaux, M. (1999). Control functions of the frontal lobes. Modularity of the central-supervisory system?. *Cortex, 35*, 1-20.
- Goldberg, R. F., & Thompson-Schill, S. L. (2009). Developmental “roots” in mature biological knowledge. *Psychological Science, 20*(4), 480-487.
- Gordijn, E. H., Hindriks, I., Koomen, W., Dijksterhuis, A., & Van Knippenberg, A. (2004). Consequences of stereotype suppression and internal suppression motivation: A self regulation approach. *Personality and Social Psychology Bulletin, 30*, 212-224. doi: 10.1177/0146167203259935.
- Hagger, M. S., Wood, C., Stiff, C., & Chatzisarantis, N. L. (2010). Ego depletion and the strength model of self-control: a meta-analysis. *Psychological bulletin, 136*(4), 495.
- Hofmann, W., Rauch, W., & Gawronski, B. (2007). And deplete us not into temptation: Automatic attitudes, dietary restraint, and self-regulatory resources as determinants of eating behavior. *Journal of Experimental Social Psychology, 43*, 497-504. doi: 10.1016/j.jesp.2006.05.004.
- Hughes, R. (1998). Considering the vignette technique and its application to a study of drug injecting and HIV risk and safer behaviour. *Sociology of Health & Illness, 20*(3), 381-400.

- Inagaki, K. and Hatano, G. (2002). *Young Children's Naive Thinking About the Biological World*. Psychology Press.
- Inagaki, K. and Hatano, G. (2008). Conceptual change in naive biology. In S. Vosniadou (Ed.), *International Handbook of Research on Conceptual change*, (pp.240-262). New York: Routledge.
- Ioannides, C., & Vosniadou, S. (2002). The Changing Meanings of force. *Cognitive Science Quarterly*, 2(1), 5-62.
- Jonides, J., & Smith, E. E. (1997). The architecture of working memory. In M. D. Rugg (Ed.), *Cognitive neuroscience* (pp. 243–276). Cambridge, MA: MIT Press.
- Jurado, M. B., & Rosselli, M. (2007). The elusive nature of executive functions: a review of our current understanding. *Neuropsychology review*, 17(3), 213-233.
- Kahneman, D. (2011). *Thinking, fast and slow*. New York, NY: Farrar, Straus and Giroux.
- Kharitonova, M., & Munakata, Y. (2011). The role of representations in executive function: investigating a developmental link between flexibility and abstraction. *Frontiers in psychology*, 2.
- Kimberg, D. Y., & Farah, M. J. (1993). A unified account of cognitive impairments following frontal lobe damage: The role of working memory in complex, organized behavior. *Journal of Experimental Psychology: General*, 122, 411–428.

- Kirk, U. (1985). Hemispheric contributions to the development of graphic skill. In C. Best (Ed.), *Hemispheric function and collaboration in the child* (pp. 193–228). Orlando, FL: Academic Press.
- Kyriakopoulou, N., & Vosniadou, S. (November, 2013), Using theory of mind to promote conceptual change in science. *Science and Education*. (DOI) 10.1007/s11191-013-9663-9.
- Lehto, J. (1996). Are executive function tests dependent on working memory capacity? *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 49A, 29–50.
- Lezak, M. D. (1983). *Neuropsychological assessment* (2nd ed.). New York: Oxford University Press.
- Lezak, M. D., Howieson, D. B., & Loring, D. W. (2004). *Neuropsychological assessment* (4th ed.). New York: Oxford University Press.
- Logan, G. D. (1985). Executive control of thought and action. *Acta Psychologica*, 60(2), 193–210.
- Luria, A. R. (1973). *The Working brain: An introduction to neuropsychology*. New York: Basic.
- Lyon, G. R., & Krasnegor, N. A. (Eds.). (1996). *Attention, memory, and executive function*. Baltimore: Brookes.
- Martijn, C., Alberts, H., Merckelbach, H., Havermans, R., Huijts, A., & De Vries, N. K. (2007). Overcoming ego depletion: The influence of exemplar priming on self-control performance. *European Journal of Social Psychology*, 37, 231–238. doi: 10.1002/ejsp.350.

- Mason, L., & Gava, M. (2007). Effects of epistemological beliefs and learning text structure on conceptual change. In S. Vosniadou, A. Baltas, & X. Vamvakoussi (Eds.), *Reframing the conceptual change approach in learning and instruction* (pp. 165-196). Oxford, UK: Elsevier.
- Mason, L., Gava, M., & Boldrin, A. (2008). On Warm Conceptual Change: The Interplay of Text, Epistemological Beliefs, and Topic Interest. *Journal of Educational Psychology*, May Vol 100(2) 291-309
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., & Howerter, A. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contribution to complex “frontal lobe” tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41, 49–100.
- Monsell, S. (1996). Control of mental processes. In V. Bruce (Ed.), *Unsolved mysteries of the mind: Tutorial essays in cognition* (pp. 93–148). Hove, UK: Erlbaum.
- Morris, N., & Jones, D. M. (1990). Memory updating in working memory: The role of the central executive. *British Journal of Psychology*, 81, 111–121.
- Muraven, M., & Baumeister, R. F. (2000). Self-regulation and depletion of limited resources: Does self-control resemble a muscle? *Psychological Bulletin*, 126, 247-259. doi: 10.1037/0033-2909.126.2.247.
- Muraven, M., Baumeister, R. F., & Tice, D. M. (1999). Longitudinal improvement of self regulation through practice: Building self-control strength through repeated exercise. *Journal of Social Psychology*, 139, 446-457. doi: 10.1080/00224549909598404.

- Muraven, M., Shmueli, D., & Burkley, E. (2006). Conserving self-control strength. *Journal of personality and social psychology*, *91*(3), 524.
- Muraven, M., Tice, D. M., & Baumeister, R. F. (1998). Self-control as a limited resource: Regulatory depletion patterns. *Journal of Personality and Social Psychology*, *74*, 774-789. doi: 10.1037/0022-3514.74.3.774.
- Ni, Y., & Zhou, Y-D. (2005). Teaching and learning fraction and rational numbers: The origins and implications of whole number bias. *Educational Psychologist*, *40*(1), 27–52.
- Norman, D. A., & Shallice, T. (1986). Attention to action: Willed and automatic control of behavior. In R. J. Davidson, G. E. Schwartz, & D. Shapiro (Eds.), *Consciousness and self-regulation: Advances in research and theory* (Vol. 4, pp. 1–18). New York: Plenum.
- Nussbaum, J. (1979). Children's conception of the earth as a cosmic body: A cross-age study. *Science Education*, *63*, pp. 83-93.
- Nussbaum, J., & Novak, J. D. (1976). An assessment of children's concepts of the earth utilizing structured interviews. *Science Education*, *60*, pp. 535–550.
- Oaten, M., & Cheng, K. (2006a). Improved self-control: The benefits of a regular program of academic study. *Basic and Applied Social Psychology*, *28*, 1-16. doi: 10.1207/s15324834basp2801_1.
- Oaten, M., & Cheng, K. (2006b). Longitudinal gains in self-regulation from regular physical exercise. *British Journal of Health Psychology*, *11*, 717-733. doi: 10.1348/135910706X96481.

- Oaten, M., & Cheng, K. (2007). Improvements in self-control from financial monitoring. *Journal of Economic Psychology, 28*, 487-501. doi: 10.1016/j.joep.2006.11.003.
- Park, S. H., Glaser, J., & Knowles, E. D. (2008). Implicit Motivation to Control Prejudice moderates the effect of cognitive depletion on unintended discrimination. *Social Cognition, 26*, 401-419. doi: 10.1521/soco.2008.26.4.401.
- Phillips, L. H. (1997). Do “frontal tests” measure executive function? Issues of assessment and evidence from fluency tests. In P. Rabbitt (Ed.), *Methodology of frontal and executive function* (pp. 191–213). Hove, UK: Psychology Press.
- Powell, L., Carey, S. (2013). Executive function depletion in children and its impact on theory of mind. *Manuscript under review*.
- Rabbitt, P. (1997b). Introduction: Methodologies and models in the study of executive function. In P. Rabbitt (Ed.), *Methodology of frontal and executive function* (pp. 1–38). Hove, UK: Psychology Press.
- Rabbitt, P. (Ed.). (1997a). *Methodology of frontal and executive function*. Hove, UK: Psychology Press.
- Reitan, R. M., & Wolfson, D. (1994). A selective and critical review of neuropsychological deficits and the frontal lobes. *Neuropsychology Review, 4*, 161–197.
- Richeson, J. A., & Shelton, J. N. (2003). When prejudice does not pay: Effects of interracial contact on executive function. *Psychological Science, 14*, 287-290. doi: 10.1111/1467- 9280.03437.

- Sabbagh, M. A., Xu, F., Carlson, S. M., Moses, L. J., & Lee, K. (2006). The development of executive functioning and theory of mind a comparison of Chinese and US preschoolers. *Psychological Science, 17*(1), 74-81.
- Sabbagh, M. A., Xu, F., Carlson, S. M., Moses, L. J., & Lee, K. (2006). The development of executive functioning and theory of mind a comparison of Chinese and US preschoolers. *Psychological Science, 17*(1), 74-81.
- Schmeichel, B. J. (2007). Attention control, memory updating, and emotion regulation temporarily reduce the capacity for executive control. *Journal of Experimental Psychology-General, 136*, 241-255. doi: 10.1037/0096-3445.136.2.241.
- Schmeichel, B. J., & Vohs, K. D. (2009). Self-affirmation and self-control: Affirming core values counteracts ego depletion. *Journal of Personality and Social Psychology, 96*, 770-782. doi: 10.1037/a0014635.
- Shallice, T. (1988). *From neuropsychology to mental structure*. New York: Cambridge Univ. Press.
- Shallice, T. (2002). Fractionation of the supervisory system. In D. T. Stuss, & T. Knight (Eds.) *Principles of frontal lobe function* (pp. 261–277). New York: Oxford University Press.
- Shallice, T., & Burgess, P. W. (1991). Deficits in strategy application following frontal lobe damage in man. *Brain, 114*, 727–741.
- Shtulman, A. & Valcarcel, J. (2012) Scientific knowledge suppresses but does not supplant earlier intuitions. *Cognition, 124*, 209-215.

- Slaughter, V., Jaakkola, K., & Carey, S. (1999). Constructing a coherent theory: Children's biological understanding of life and death. In M. Siegel & C. Peterson (Eds.), *Children's understanding of biology and health* (pp. 71–98). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Smith, C. L., Solomon, G. E., & Carey, S. (2005). Never getting to zero: Elementary school students' understanding of the infinite divisibility of number and matter. *Cognitive Psychology*, *51*(2), 101-140.
- Smith, C., Maclin, D., Houghton, C. & Hennessey, M.G. (2000) Sixth graders' epistemologies of science: The impact of school science experiences on epistemological development. *Cognition & Instruction*, *18*(3), 349-422.
- Smith, E. E., & Jonides, J. (1999). Storage and executive processes in the frontal lobes. *Science*, *283*, 1657–1661.
- Sneider, C. & Pulos, S. (1983). Children's cosmographies: Understanding the earth's shape and gravity, *Science Education*, *67*, pp. 205-221.
- Snyder, H. R., & Munakata, Y. (2010). Becoming self-directed: Abstract representations support endogenous flexibility in children. *Cognition*, *116*(2), 155-167.
- Stafylidou, S., & Vosniadou, S., (2004). The Development of Students' Understanding of the Numerical Value of Fractions. In L. Verschaffel and S. Vosniadou (Guest Editors), *Conceptual Change in Mathematics Learning and Teaching*, Special Issue of *Learning and Instruction*. *14*(5), pp. 503-518.
- Stanovich, K. E. (2011). *Rationality and the reflective mind*. New York, NY: Oxford University Press.

- Stathopoulou, C., & Vosniadou, S. (2007a). Conceptual Change in Physics and Physics-Related Epistemological Beliefs: A Relationship under Scrutiny. In S. Vosniadou, A. Baltas, & X. Vamvakoussi (Eds). (2007). *Reframing the conceptual change approach in learning and instruction*. New York: Elsevier, pp. 145-163.
- Stathopoulou, C., & Vosniadou, S. (2007b). Exploring the relationship between physics-related epistemological beliefs and physics understanding, *Contemporary Educational Psychology*, 32, 255-281.
- Stillman, T. F., Tice, D. M., Fincham, F. D., & Lambert, N. M. (2009). The psychological presence of family improves self-control. *Journal of Social and Clinical Psychology*, 28, 498-529. doi: 10.1521/jscp.2009.28.4.498.
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of experimental psychology*, 18(6), 643.
- Stuss, D. T., & Benson, D. F. (1986). *The frontal lobes*. New York: Raven Press.
- Thagard, P. (2002). *Coherence in thought and action*. MIT Press.
- Tyler, J. M. (2008). In the eyes of others: Monitoring for relational value cues. *Human Communication Research*, 34, 521-534. doi: 10.1111/j.1468-2958.2008.00331.x.
- Tyler, J. M., & Burns, K. C. (2008). After depletion: The replenishment of the self's regulatory resources. *Self and Identity*, 7, 305-321. doi: 10.1080/15298860701799997.
- Vamvakoussi, X., & Vosniadou, S. (2012). Bridging the gap between the dense and

the discrete: The number line and the “rubber line” bridging analogy. *Mathematical Thinking and Learning*, 14(4), 265–284.

Vamvakoussi, X., Van Dooren, W., Verschaffel, L. (2012). Naturally biased? In search for reaction time evidence for a natural number bias in adults. *Journal of Mathematical Behavior*, 31, 344–355.

Vamvakoussi, X. & Vosniadou, S. (2010). How Many Decimals are There between two Fractions? Aspects of Secondary School Students’ Reasoning about Rational Numbers and their Notation. *Cognition and Instruction*, 28(2), 181-209.

van der Sluis, S., de Jong, P. F., & van der Leij, A. (2007). Executive functioning in children, and its relations with reasoning, reading, and arithmetic. *Intelligence*, 35(5), 427-449.

Van Hoof, J., Lijnen, T., Verschaffel, L. & Van Dooren, W. (2013). Are secondary school students still hampered by the natural number bias? A reaction time study on fraction comparison tasks. *Research in Mathematics Education*, 15, pp. 154–164.

Vohs, K. D., & Heatherton, T. F. (2000). Self-regulatory failure: A resource-depletion approach. *Psychological Science*, 11, 249-254. doi: 10.1111/1467-9280.00250.

Vosniadou, S., Vamvakoussi, X., & Skopeliti, I. (2008). The framework theory approach to the problem of conceptual change. *International handbook of research on conceptual change*, 3-34.

- Vosniadou, S., Chountala, A., Lepenioti, D., & Eikospentaki, K. (under review).
Assessing Changes in Categorization after Exposure to Science: The Re-Cat
Task. *Cognitive Development*.
- Vosniadou, S., Eikospentaki, K., Lepenioti, D., & Chountala, A. (2014a). Learning
Science and Mathematics Requires Inhibition of Prior Knowledge.
Proceedings of the 9th International Conference on Conceptual Change, held
in Bologna, Italy, August 26-29, 2014, pp.15.
- Vosniadou, S., Lepenioti, D., Chountala, A., & Eikospentaki, K. (2014b). Assessing
Changes in Explanations of Natural Phenomena after Exposure to Science:
The Phen-Ex Task. *Proceedings of the 36th Annual Meeting of the Cognitive
Science Society*, held in Quebec, Canada, July 23-26, 2014.
- Vosniadou, S. & Brewer, W.F. (1992). Mental models of the earth: A study of
conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, 24, pp. 535-585.
- Vosniadou, S. & Brewer, W.F. (1994). Mental models of the day/night cycle.
Cognitive Science, 18, pp. 123-183.
- Vosniadou, S. & Skopeliti, I. (2005). Developmental shifts in children's
categorizations of the Earth. In B. G. Bara, L. Barsalou, & M. Bucciarelli (Eds.)
Proceedings of the XXVII Annual Conference of the Cognitive Science Society,
pp. 2325-2330). Mahaw, N. J.: Erlbaum.
- Vosniadou, S. (2013) Conceptual change in learning and instruction: The framework
theory approach. In S. Vosniadou (Ed) *The International Handbook of
Conceptual Change*, 2nd edition, New York, Routledge, pp. 11-30.

- Vosniadou, S., & Verschaffel, L., (2004). Extending the Conceptual Change Approach to Mathematics Learning and Teaching. In L., Verschaffel and S. Vosniadou (Guest Editors), *Conceptual Change in Mathematics Learning and Teaching, Special Issue of Learning and Instruction, 14(5)*, pp. 445-451.
- Webb, T. L., & Sheeran, P. (2003). Can implementation intentions help to overcome ego depletion? *Journal of Experimental Social Psychology, 39*, 279-286. doi: 10.1016/s0022-1031(02)00527-9.
- Wegner, D. M., Schneider, D. J., Carter, S. R., & White, T. L. (1987). Paradoxical effects of thought suppression. *Journal of personality and social psychology, 53(1)*, 5.
- Wiser, M., & Smith, C. (2008). Learning and teaching about matter in grades K–8: When should the atomic-molecular theory Be introduced? In S. Vosniadou (Ed.), *Handbook of research on conceptual change*, pp. 61-82. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Wright, R. A., Junious, T. R., Neal, C., Avello, A., Graham, C., Herrmann, L., Junious, S., & Walton, N. (2007). Mental fatigue influence on effort-related cardiovascular response: Difficulty effects and extension across cognitive performance domains. *Motivation and Emotion, 31*, 219-231. doi: 10.1007/s11031-007-9066-9.
- Wright, R. A., Junious, T. R., Neal, C., Avello, A., Graham, C., Herrmann, L., Junious, S., & Walton, N. (2007). Mental fatigue influence on effort-related cardiovascular response: Difficulty effects and extension across cognitive

performance domains. *Motivation and Emotion*, 31, 219-231. doi:
10.1007/s11031-007-9066-9.

Wright, R. A., Martin, R. E., & Bland, J. L. (2003). Energy resource depletion, task difficulty, and cardiovascular response to a mental arithmetic challenge. *Psychophysiology*, 40, 98-105. doi: 10.1111/1469-8986.00010.

Wright, R. A., Stewart, C. C., & Barnett, B. R. (2008). Mental fatigue influence on effort-related cardiovascular response: Extension across the regulatory (inhibitory)/nonregulatory performance dimension. *International Journal of Psychophysiology*, 69, 127-133. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2008.04.002.

Zaitchik, D., Iqbal, Y., & Carey, S. (2013). The effect of executive function on biological reasoning in young children: An individual differences study. *Child Development*, 00, 1–16.

Zelazo, P. D., & Frye, D. (1998). Cognitive complexity and control: II. The development of executive function in childhood. *Current Directions in Psychological Science*, 121-126.

Zelazo, P. D., Carter, A., Reznick, J., & Frye, D. (1997). Early development of executive functions: A problem-solving framework. *Review of General Psychology*, 1, 198–226.

