ΠΡΑΚΤΙΚΑ 4ου ΜΑΚΕΔΟΝΙΚΟΥ ΣΥΝΕΔΡΙΟΥ ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ & ΔΙΑΙΤΟΛΟΓΙΑΣ
«Διατροφή – Γενετική μηχανική & υγεία», 28-29 Μαΐου 1999 ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
σελ. 219-225

ΑΝΘΡΩΠΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΟΛΙΚΕΣ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΠΡΟΠΟΝΗΣΗΣ ΣΕ ΑΓΟΡΙΑ ΠΡΟΕΦΗΒΙΚΗΣ ΚΑΙ ΕΦΗΒΙΚΗΣ ΗΛΙΚΙΑΣ

Απόστολος Ντάνης, Βασίλης Κλεισούρας

Εργαστήριο Εργοφυσιολογίας, ΤΕΦΑΑ Αθηνών

Περίληψη

Η φάση της εφηβικής ανάπτυξης σηματοδοτεί έντονες μεταβολές στη διαφοροποίηση των διαστάσεων και της σύστασης του σώματος. Με δεδομένη την αυξανόμενη πρόσληψη θερμίδων, λόγω της ανάπτυξης, η συμμετοχή σε αθλητικές δραστηριότητες φαίνεται να παίζει ένα ισορροπιστικό ρόλο στον μεταβολισμό και τη σύσταση του σώματος.

Σε μια διαχρονική μελέτη με μονοζυγωτικούς διδύμους ηλικίας 11 – 14 χρονών, από τους οποίους ο ένας αδελφός μόνο συμμετείχε σε ένα πρόγραμμα προπόνησης 6 μηνών (δρομικές ασκήσεις, 3 φορές/βδομάδα) διαπιστώθηκαν τα εξής: α) Η προπόνηση δεν επηρέασε καθόλου το ρυθμό της σκελετικής ανάπτυξης. β) Η προπόνηση μείωσε σημαντικά ($p<.01$) την ποσοστιαία αναλογία σωματικού λίπους, προκαλώντας μικρότερη αύξηση στο σωματικό βάρος και διαφοροποιώντας το σωματότυπο. γ) Η προπόνηση βελτίωσε σημαντικά ($p<.01$) το αναερόβιο κατώφλι και την σχετική τιμή της VO2 max, ενώ δεν επέφερε καμιά σημαντική βελτίωση στην απόλυτη τιμή της VO2 max. Οι προσαρμογές αυτές δείχνουν μια θετική επίδραση της προπόνησης στα παιδιά της ηλικίας αυτής, που εντοπίζεται στη βελτίωση της οξειδωτικής τους ικανότητας κατά την άσκηση και στον περιορισμό της αύξησης του σωματικού λίπους. Η συστηματική άθληση στη φάση αυτή της ανάπτυξης μπορεί να θεωρηθεί παράγοντας πρόληψης της παχυσαρκίας.

Εισαγωγή

Η φάση της εφηβείας, παράλληλα με την ωρίμανση του φύλου, προκαλεί έντονες μεταβολές στο ρυθμό ανάπτυξης του σώματος. Σε σχέση με την προεφηβική ανάπτυξη, ο ρυθμός αύξησης του αναστήματος στην κορύφωση της εφηβικής ανάπτυξης (αλματική ανάπτυξη της εφηβείας – adolescent growth spurt) διπλασιάζεται φθάνοντας περίπου τα 10 cm/χρόνο στα αγόρια και περίπου τα 8 cm/χρόνο στα κορίτσια (Tanner 1962). Η αλματική αύξηση του βάρους έπεται περίπου κατά 6 μήνες και οφείλεται κυρίως στην αύξηση της μυϊκής και οστικής μάζας και λιγότερο στην αύξηση του σωματικού λίπους. Η αύξηση του σωματικού λίπους είναι εμφανής στα 2/3 περίπου των παιδιών και αρχίζει 1 χρόνο περίπου πριν την αλματική αύξηση του αναστήματος. Η αύξηση του σωματικού λίπους κατά την εφηβική ανάπτυξη φαίνεται να προέρχεται κυρίως από αύξηση του αριθμού και λιγότερο από υπερτροφία των λιποκυττάρων (Oscai 1973, Knittle et al. 1977, Holmann and Hetinger 1980).

Η επιτάχυνση της σωματικής ανάπτυξης συνδυάζεται με αύξηση της ορέξεως και σαφή αύξηση της πρόσληψης θερμίδων μέσω της διατροφής, Η συμμετοχή σε αθλητικές δραστηριότητες φαίνεται να παίζει έναν ισορροπιστικό ρόλο στον μεταβολισμό και την σύσταση του σώματος. Όπως έδειξαν συγκριτικές μελέτες σε συστηματικά αθλούμενα και μη αθλούμενα παιδιά (Wells et al. 1963, Parizkova 1970, parizkova and Spynarova 1975)

η συστηματική άσκηση (προπόνηση) προκαλεί μια μείωση του σωματικού λίπους και αύξηση της άλιπης σωματικής μάζας. Σε αναπτυσσόμενα παιδιά ωστόσο είναι πάντα δύσκολο να διαχωριστεί το αποτέλεσμα της ανάπτυξης και της γενετικής τάσης από το αποτέλεσμα της άσκησης.

Μέθοδος

Από 9 ζευγάρια μονοζυγωτικών διδύμων (ηλικίας 11-14 ετών), ο ένας μόνο αδελφός συμμετείχε σ' ένα πρόγραμμα προπόνησης διάρκειας 6 μηνών με δρομικές επιβαρύνσεις έντασης 85-120 % του αναερόβιου κατωφλιού (ΑΚ), διάρκειας 1-1.5 ώρας κάθε φορά, επί 3 φορές τη βδομάδα. Ο έλεγχος του ζυγωτισμού βασίσθηκε στη μορφολογική, δερματογλυφική και αιματολογική ομοιότητα των διδύμων (βλ. Ντάνης 1997). Η βιολογική ωρίμανσή τους ελέγχθηκε σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά των 5 σταδίων ωρίμανσης του φύλου κατά Tanner (1962). Τρία από τα 9 ζευγάρια των διδύμων βρισκόταν στο στάδιο 1 βιολογικής ωρίμανσης (προεφηβεία) και τα υπόλοιπα στα στάδια 2-5 (εφηβεία).

Ανθρωπομετρήσεις που περιελάμβαναν το σωματικό βάρος, σωματικά μήκη, εύρη και περιφέρειες, καθώς επίσης και το πάχος 5 δερματοπτυχών (τρικεφάλου, δικεφάλου, υποωμοπλατιαίας, υπερλαγόνιας και κνημιαίας) πραγματοποιήθηκαν πριν, ενδιάμεσα και μετά την προπόνηση. Το σωματικό λίπος υπολογίσθηκε σύμφωνα με την εξίσωση των Durnin and Rahaman (1967) για αγόρια ηλικίας 12.7 –15.7 ετών και ο σωματότυπος κατά τους Heath and Carter (1967). Σε βαθμιαία αυξανόμενη επιβάρυνση στο δαπεδοεργόμετρο μετρήθηκε η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου (VO2 max) και από τις συγκεντρώσεις γαλακτικού οξέος στο αίμα (από κάθε βαθμίδα επιβάρυνσης) προσδιορίσθηκε το γαλακτικό αναερόβιο κατώφλι των 4 mmol/l.

Αποτελέσματα

Ο πίνακας Ι παρουσιάζει τα ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά των διδύμων της πειραματικής ομάδας και της ομάδας ελέγχου, πριν και μετά τους 6 μήνες της προπόνησης, καθώς και τη μέση μεταβολή τους. Καμιά στατιστικά σημαντική διαφορά δεν παρατηρήθηκε στη σκελετική ανάπτυξη (σωματικά μήκη και εύρη) ανάμεσα στις δύο ομάδες. Με εξαίρεση το εύρος των λαγονίων όλες οι άλλες παράμετροι παρουσίασαν μια στατιστικά σημαντική αύξηση ($p<.05$) στο διάστημα των 6 μηνών. Σε σχέση με τα στάδια βιολογικής ωρίμανσης του Tanner μεγαλύτερη διαφοροποίηση στη σκελετική ανάπτυξη παρατηρήθηκε στους διδύμους του σταδίου 3 και 4 (σχήμα 1).

Στις σωματικές περιφέρειες δεν διαπιστώθηκε καμιά διαφορά ανάμεσα στους διδύμους της πειραματικής και της ομάδας ελέγχου. Ωστόσο μια τάση μεγαλύτερης αύξησης διακρίνεται στους διδύμους της ομάδας ελέγχου στις περιφέρειες του βραχίονα, του στήθους και του μηρού (πίνακας Ι).

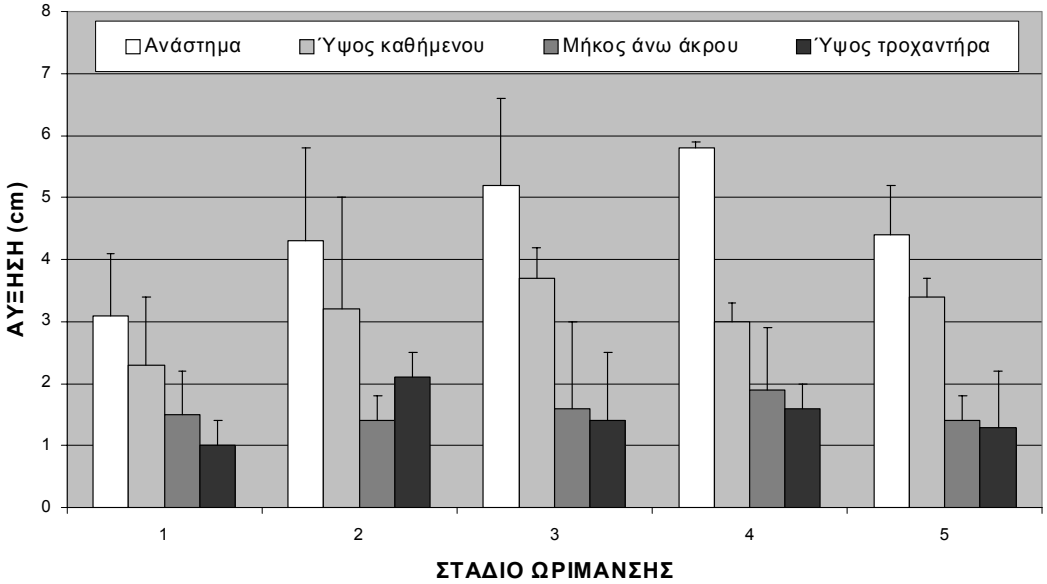
Μια μικρότερη (αριθμητικά) αύξηση του σωματικού βάρους παρατηρήθηκε στους διδύμους της της πειραματικής ομάδος ($p<.05$) σε σχέση με τους αδελφούς τους της ομάδος ελέγχου ($p<.01$). Δεν σημειώθηκε όμως καμιά στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στις ομάδες. Το άλιπο σωματικό βάρος αυξήθηκε σημαντικά και στις δύο ομάδες χωρίς στατιστική και ουσιαστική διαφορά ανάμεσα στις ομάδες. Αντίθετα η ποσοστιαία αναλογία του σωματικού λίπους μειώθηκε σημαντικά στους διδύμους της πειραματικής ομάδες ($p<.01$), ενώ δεν διαφοροποιήθηκε στους απροπόνητους αδελφούς τους. Η ίδια διαφοροποίηση παρατηρήθηκε και στο άθροισμα των 5 δερματοπτυχών. Η ποσοστιαία

ΠΡΑΚΤΙΚΑ 4ου ΜΑΚΕΔΟΝΙΚΟΥ ΣΥΝΕΔΡΙΟΥ ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ & ΔΙΑΙΤΟΛΟΓΙΑΣ
«Διατροφή – Γενετική μηχανική & υγεία», 28-29 Μαΐου 1999 ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
σελ. 219-225

ΠΙΝΑΚΑΣ Ι. Ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά των διδύμων της πειραματικής και της ομάδος ελέγχου πριν και μετά την προπόνηση (Π: πειραματική ομάδα, Ε: ομάδα ελέγχου).

		Πριν		Μετά		Μεταβολή		
Μεταβλητές		**x**	**ς**	**x**	**ς**	**x**	**ς**	**p**
Σωματικά μήκη (cm)								
Ανάστημα	Π	147,7	7,6	151,9	8,3	4,1	1,4	*
	Ε	147,4	8,0	151,7	8,9	4,3	1,4	*
Ύψος ακρωμίου	Π	121,5	7,4	125,2	7,7	3,7	1,5	*
	Ε	120,9	7,6	124,5	8,3	3,6	1,2	*
Μήκος άνω άκρου	Π	66,4	4,1	67,5	4,6	1,2	1,3	*
	Ε	66,2	5,5	67,8	5,5	1,6	0,4	*
Ύψος τροχαντήρα	Π	76,5	4,8	77,9	4,9	1,2	0,7	*
	Ε	76,3	4,6	77,9	4,9	1,6	0,7	*
Ύψος κνήμης	Π	39,4	2,8	40,3	2,8	1,0	0,5	*
	Ε	39,1	2,6	40,1	2,6	1,0	0,8	*
Ύψος καθήμενου	Π	77,3	4,3	80,2	5,0	3,0	1,0	*
	Ε	77,0	4,4	79,9	4,9	3,0	1,3	*
Σωματικά εύρη (cm)								
Εύρος ακρωμίων	Π	30,5	2,2	31,6	2,7	1,1	1,4	*
	Ε	30,4	2,5	31,5	3,0	1,1	1,4	*
Εύρος λαγονίων	Π	22,5	2,6	22,5	1,6	0,0	1,8	ns
	Ε	22,2	2,1	22,6	1,5	0,5	1,7	ns
Σωμ. περιφέρειες (cm)								
Περιφέρεια στήθους	Π	77,8	8,6	79,3	9,0	1,4	1,6	*
σε εισπνοή	Ε	76,8	7,4	79,5	8,4	2,6	1,5	*
Περιφέρεια στήθους	Π	71,7	8,4	71,7	7,4	-0,1	2,1	ns
σε εκπνοή	Ε	71,0	8,1	71,7	7,8	0,7	1,7	ns
Περιφέρεια μηρού	Π	42,3	5,6	43,0	5,1	0,7	1,3	ns
	Ε	42,0	5,2	43,1	5,2	1,1	0,8	*
Περιφέρεια κνήμης	Π	30,2	3,7	31,1	3,5	1,0	0,6	*
	Ε	29,8	3,4	30,8	3,6	1,0	0,7	*
Περιφέρεια βραχίονα	Π	24,0	3,6	24,0	3,3	0,0	0,4	ns
σε σύσπαση	Ε	23,5	3,3	24,2	3,3	0,7	0,8	*
Σωματικά βάρη (kg)								*
Σωματικό βάρος	Π	40,2	10,4	41,8	10,1	1,6	1,9	*
	Ε	39,2	9,3	42,2	10,1	3,0	2,0	**
Άλιπο σωματικό βάρος	Π	32,8	7,3	34,9	7,8	2,1	1,3	**
	Ε	32,5	7,1	35,1	7,9	2,6	1,2	**
Λίπος								
Σωματικό λίπος (%)	Π	17,8	4,1	16,2	3,7	-1,6	1,4	**
	Ε	16,8	2,8	16,6	2,8	-0,1	1,6	ns
Άθροισμα δερματοπτυχών	Π	44,5	15,6	39,9	12,7	-4,6	5,9	*
(mm)	Ε	39,9	9,8	40,6	10,4	0,7	6,3	ns
Σωματότυπος								
Ενδομορφία	Π	2,66	1,05	2,23	0,83	-0,42	0,36	**
	Ε	2,34	0,64	2,28	0,62	-0,06	0,35	ns
Μεσομορφία	Π	4,79	1,11	4,61	1,03	-0,17	0,20	*
	Ε	4,78	0,98	4,69	0,94	-0,08	0,15	ns
Εξωμορφία	Π	3,31	1,27	3,74	1,09	0,43	0,40	**
	Ε	3,44	0,98	3,59	0,98	0,15	0,36	ns

* : p<.05, ** : p<.01, ns : p>.05



Σχήμα 1. Σκελετικές μεταβολές των διδύμων σε κάθε στάδιο ωρίμανσης στη διάρκεια των 6 μηνών προπόνησης.

μεταβολή του πάχους των 5 δερματοπτυχών στην πειραματική ομάδα (-9.2 %) ήταν στατιστικά μεγαλύτερη (ρ<.05) από την αντίστοιχη της ομάδος ελέγχου (+2,2 %). Η ποσοστιαία μείωση της αναλογίας του σωματικού λίπους ήταν 8.9 % στην πειραματική ομάδα (ρ<.01), ενώ σχεδόν μηδενική (0.6 %) ήταν στην ομάδα ελέγχου.

Ο σωματότυπος της ομάδος ελέγχου δεν διαφοποιήθηκε στατιστικά στην ομάδα ελέγχου. Αντίθετα στην πειραματική ομάδα μειώθηκε σημαντικά η ενδομορφία (ρ<.01) και η μεσομορφία (ρ<.05), ενώ αυξήθηκε η εξωμορφία (ρ<.01).

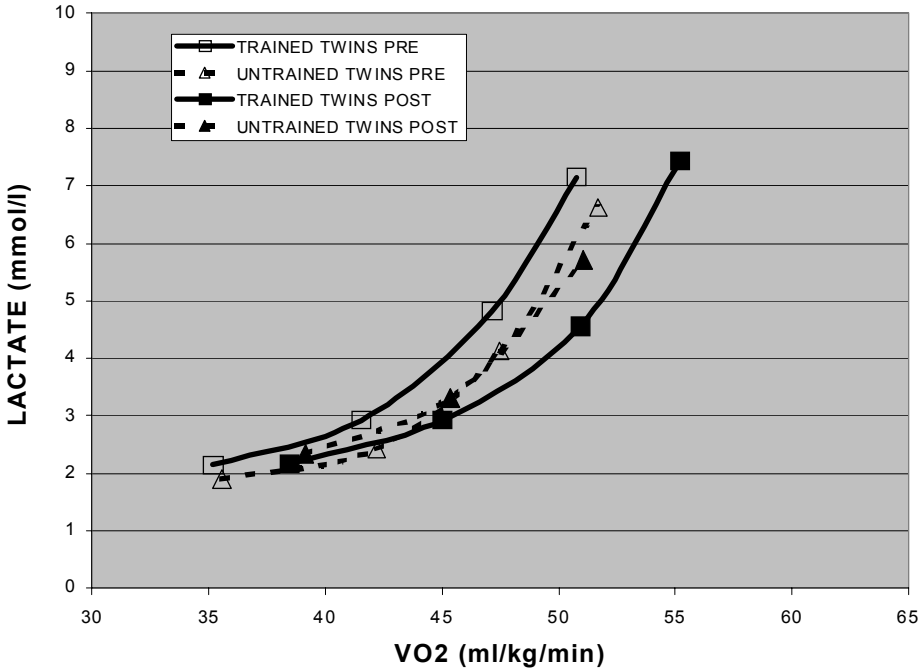
Ο πίνακας ΙΙ παρουσιάζει τα μεταβολικά χαρακτηριστικά των διδύμων της πειραματικής και της ομάδος ελέγχου πριν και μετά την προπόνηση, καθώς επίσης και την μέση ποσοστιαία διαφοροποίησή τους στο διάστημα των 6 μηνών της προπόνησης.

Μια στατιστικά σημαντική βελτίωση (ρ<.01) της VO2 max (l/min) παρατηρήθηκε μετά την προπόνηση τόσο στους προπονημένους διδύμους (14.9 %) όσο και στους απροπόνητους αδελφούς τους (10.5 %). Ούτε η απόλυτη ούτε η ποσοστιαία μεταβολή των

ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΙ. Μεταβολικά χαρακτηριστικά των διδύμων της πειραματικής (Π) και της ομάδος ελέγχου (Ε) πριν και μετά την προπόνηση.

		Πριν		Μετά		Μεταβολή (%)		
Μεταβλητές		**x**	**ς**	**x**	**ς**	**x**	**ς**	**p**
VO2 max								
i/min	Π	2,076	0,434	2,369	0,446	14,9	7,8	**
	Ε	2,098	0,411	2,317	0,473	10,5	6,6	**
ml/kg/min	Π	52,07	3,56	57,49	3,63	10,6	5,6	**
	Ε	54,02	3,85	55,38	3,27	2,7	5,3	ns
Αναερόβιο κατώφλι 4 mmol/l								
Δρομική ταχύτητα (km/h)	Π	11,39	1,32	13,37	1,09	18,2	10,1	**
	Ε	11,90	0,93	12,67	1,06	6,8	10,1	ns
VO2 (ml/kg/min)	Π	45,48	3,69	49,28	4,03	8,7	8,6	**
	Ε	47,14	3,71	47,27	4,30	0,7	9,1	ns

** : p<.01, ns: p>.05



Σχήμα 2. Καμπύλες του γαλακτικού οξέος σε σχέση με την πρόσληψη οξυγόνου στους διδύμους της πειραματικής ομάδος (συνεχόμενη γραμμή) και στους αδελφούς τους της ομάδος ελέγχου (διακεκομμένη γραμμή) πριν και μετά την προπόνηση.

δύο ομάδων διέφερε στατιστικά. Ωστόσο η σχετική τιμή της VO2 max (ανά κιλό σωματικού βάρους) βελτιώθηκε μόνο στους διδύμους της πειραματικής ομάδος (10.6 %, $p<.01$).

Στατιστικά σημαντικές μεταβολές ($p<.01$) σημειώθηκαν τόσο στη δρομική ταχύτητα όσο και στη VO2 που αντιστοιχεί στο αναερόβιο κατώφλι, μόνο όμως στους διδύμους της πειραματικής ομάδος. Η δρομική ταχύτητα βελτιώθηκε κατά 18.2 % και η VO2 κατά 8.7 %. Στους διδύμους της ομάδος ελέγχου παρατηρήθηκε μια αυξητική τάση στη δρομική ταχύτητα ($p>.05$), ενώ η VO2 δε διαφοροποιήθηκε.

Το σχήμα 2 δείχνει τη μετατόπιση της καμπύλης του γαλακτικού οξέος των δύο ομάδων πριν και μετά την προπόνηση. Οι προπονημένοι δίδυμοι είχαν μια φανερή μετατόπιση της καμπύλης τους προς τα δεξιά, ενώ οι απροπόνητοι αδελφοί δεν παρουσίασαν καμιά μετατόπιση.

Συζήτηση

Όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα των ανθρωπομετρικών διαφοροποιήσεων αυτής της μελέτης, η προπόνηση και γενικά η φυσική δραστηριότητα δεν έχει καμιά απολύτως επίδραση στη σκελετική ανάπτυξη των παιδιών της προεφηβικής και εφηβικής ηλικίας. Τόσο ο ρυθμός όσο και το μέγεθος της σκελετικής ανάπτυξης στις διάφορες αναπτυξιακές φάσεις φαίνεται να πραγματοποιείται κάτω από αυστηρό χρονογενετικό έλεγχο, εφόσον βέβαια δεν παρεμβάλλονται ισχυρές αναστολές στον αναβολισμό (από ασθένειες ή ελλιπή διατροφή). Παρόμοιες διαπιστώσεις σε ότι αφορά τη σκελετική ανάπτυξη έκαναν και οι Parizkova (1970), Reznickova et al. (1981), Wanne and Valimaki (1983) συγκρίνοντας την ανάπτυξη αθλουμένων και μη αθλουμένων παιδιών για ένα μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

Η επίδραση της φυσικής άσκησης με δρομικές επιβαρύνσεις εντοπίζεται στην διαμόρφωση της περιεκτικότητας του σωματικού λίπους και κατ' επέκταση (έμμεσα) στη

διαμόρφωση του σωματικού βάρους. Η ποσοστιαία αναλογία του σωματικού λίπους μειώθηκε στους προπονημένους διδύμους σαν αποτέλεσμα της μείωσης του υποδόριου λίπους σ' ολόκληρο το σώμα (και όχι μόνο τοπικά), όπως φάνηκε από την μειωτική τάση και στις 5 δερματοπτυχές που μετρήθηκαν (τρικεφάλου, υποωμοπλατιαία, δικεφάλου, υπερλαγόνια και κνημιαία). Οι ελαφρά μεγαλύτερες αυξήσεις των απροπόνητων διδύμων στις σωματικές περιφέρειες οφείλονται προφανώς σε αύξηση του υποδόριου λίπους, αφού η άλιπη σωματική μάζα αυξήθηκε στο ίδιο μέγεθος και στις δύο ομάδες.

Σχετικά με την αύξηση του άλιπου σωματικού βάρους τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης δεν συμφωνούν με τις παρατηρήσεις των Parizkova (1970), Parizkova and Spynarova (1975), Reznickova et al. (1981), ότι οι φυσικές δραστηριότητες στα αναπτυσσόμενα άτομα προκαλούν μια μεγαλύτερη αύξηση της άλιπης σωματικής μάζας, ενώ συμφωνούν ως προς την επίδραση στο σωματικό λίπος και βάρος. Η μέθοδος των διδύμων που χρησιμοποιήθηκε εδώ έχει το πλεονέκτημα του σωστού ελέγχου της φυσιολογικής ανάπτυξης, καθώς επίσης και της γενετικής ομοιότητας στις μεταβολές της ανάπτυξης στους προπονημένους και απροπόνητους αδελφούς. Είναι πιθανό λοιπόν η άλιπη σωματική μάζα, τουλάχιστον στη φάση της προεφηβικής-εφηβικής ανάπτυξης (όπου απουσιάζει η αυξημένη έκκριση της τεστοστερόνης), να καθορίζεται από το ρυθμό της ανάπτυξης και από τη δράση των γονιδίων, χωρίς να επηρεάζεται ουσιαστικά από τη σωματική άσκηση.

Η μεταβολή του σωματότυπου στους προπονημένους διδύμους δείχνει την γενική επίδραση της προπόνησης στη διαμόρφωση της σύστασης του σώματος. Η μείωση της ενδομορφίας δηλώνει τη μείωση του σωματικού λίπους και η αύξηση της εξωμορφίας την αύξηση της ισχνότητας του σώματος.

Μια ανάλυση της σχετικής ισχύος της προπόνησης και της κληρονομικότητας με ανάλυση διασποράς στις μεταβολές των προπονημένων και απροπόνητων διδύμων (βλ. Ντάνης 1997), έδειξε ότι οι μεταβολές της σύστασης του σώματος κάτω από την επίδραση της ανάπτυξης και της προπόνησης οφειλόταν κατά 70-75 % στην κληρονομικότητα και μόνο κατά 15-20 % στην προπόνηση. Περίπου σ' ένα ποσοστό 10 % οι μεταβολές οφειλόταν στην αλληλοεπίδραση κληρονομικότητας και προπόνησης. Έτσι, παρ' όλο που επιβεβαιώνεται η ισχύ των γενετικών παραγόντων στη διαμόρφωση της σύστασης του σώματος στα αναπτυσσόμενα άτομα, διαφαίνεται ο σημαντικός ρόλος της προπόνησης, ο οποίος μπορεί να περιορίσει την αύξηση του σωματικού λίπους με ποσοστό δράσης15-30 %.

Η περιορισμένη αύξηση του σωματικού βάρους στους διδύμους της πειραματικής ομάδος φανέρωσε το θετικό αποτέλεσμα της προπόνησης στην VO2 max. Η σχετική τιμή της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου ανά κιλό σωματικού βάρους βελτιώθηκε σημαντικά (κατά 10.6 %), ενώ δεν διαφοροποιήθηκε στους απροπόνητους διδύμους. Η απόλυτη τιμή της VO2 max, παρά τη μεγαλύτερη ποσοστιαία βελτίωσή της στους προπονημένους διδύμους (14.9 %), δεν διέφερε στατιστικά από την επίσης σημαντική αύξησή της (λόγω της ανάπτυξης) στους απροπόνητους αδελφούς τους (10.5 %). Τόσο η σχετικά μεγάλη βελτίωση της απόλυτης τιμής της VO2 max, όσο και η στασιμότητα της σχετική της τιμή στους διδύμους της ομάδος ελέγχου συμφωνούν με τις αναφορές της βιβλιογραφίας, για την φάση αυτή της ανάπτυξης των αγοριών (Hermansen and Oseid 1971, Andersen et al. 1978, Bailey et al. 1978, Kobayashi et al. 1978, Krahenbuhl et al. 1985). Από την άλλη πλευρά, παρόμοια ποσοστά βελτίωσης παρατήρησαν και άλλοι συγγραφείς εφαρμόζοντας προπόνηση σε αγόρια προεφηβικής-εφηβικής ηλικίας (Ekblom 1969, Eriksson 1972, Massicotte and MacNab 1974, Weber et al. 1976, Lussier and Buskirk 1977, Vaccaro and Clarce 1978, Rotstein et al. 1986, Mahon and Vaccaro 1989). Έτσι το αποτέλεσμα της

προπόνησης στην απόλυτη τιμή της VO2 max κατά την προεφηβική-εφηβική φάση της ανάπτυξης δείχνει να ξεπερνά λίγο το αποτέλεσμα της ανάπτυξης, όταν εξετάζονται «μικτές» ομάδες παιδιών προεφηβικής και εφηβικής ανάπτυξης. Αν όμως εξετασθούν άτομα εφηβικής ανάπτυξης (στάδια ωρίμανσης 2-5) τότε το αποτέλεσμα της προπόνησης είναι ίδιο με το αποτέλεσμα της ανάπτυξης, δηλαδή μηδενικό (Ντάνης 1997). Αν ωστόσο το ενδιαφέρον στρέφεται στον μεταβολισμό των παιδιών και τη δαπάνη ενέργειας μέσω των δυνατοτήτων της πρόσληψης οξυγόνου, τότε μεγαλύτερη αξία έχει η σχετική VO2 max, η οποία βελτιώνεται έμμεσα με τον περιορισμό της αύξησης του σωματικού λίπους που αποτελεί αδρανή μάζα του σώματος.

Το αναερόβιο κατώφλι, σαν ένας δείκτης της οξειδωτικής ικανότητας των μιτοχονδρίων χωρίς «υπερπαραγωγή» γαλακτικού οξέος, έχει ιδιαίτερη αξία στην αξιολόγηση της βασικής αερόβιας ικανότητας του ατόμου. Το αναερόβιο κατώφλι μπορεί να βελτιώνεται και χωρίς να μεταβάλλεται η VO2 max, μετατοπίζοντας σε ψηλότερη ένταση προσπάθειας την παραγωγή ενέργειας με «έλλειμμα» πυροσταφυλικού οξέος, το οποίο καλύπτεται από το μεταβολισμό των λιπών (Mader and Heck 1986, Mader 1991). Ένα «έλλειμμα» πυροσταφυλικού οξέος σε ψηλότερη ένταση προσπάθειας είναι φυσικά μεγαλύτερο και συνεπώς μεγαλύτερη είναι η συμμετοχή της οξείδωσης των λιπών.

Στην παρούσα μελέτη οι προπονημένοι δίδυμοι παρουσίασαν μια βελτίωση στο αναερόβιο κατώφλι, κατά 18.2 % σε δρομική ταχύτητα και κατά 8.7 % σε πρόσληψη οξυγόνου. Στο ίδιο χρονικό διάστημα οι απροπόνητοι αδελφοί τους έδειξαν μια αυξητική τάση στην δρομική ταχύτητα του ΑΚ (6.8 %, ρ>.05) και ουσιαστικά καμιά διαφοροποίηση στην VO2 του ΑΚ. Η επίδραση της προπόνησης στο αναερόβιο κατώφλι κατά την προεφηβική-εφηβική ηλικία είναι λοιπόν περισσότερο ξεκάθαρη (σε σχέση με την επίδρασή της στη VO2 max) και σαφώς ψηλότερη από την τάση της ανάπτυξης. Το θετικό αποτέλεσμα της προπόνησης στο αναερόβιο κατώφλι των παιδιών διαπιστώθηκε και σε άλλες έρευνες (Gaisl and Buchberger 1982, Becker and Vaccaro 1983, Rotstein et al. 1986, Mahon and Vaccaro 1989). Σε πρόσφατη έρευνα του συγγραφέα, πάλι σε αγόρια προεφηβικής και εφηβικής ηλικίας, διαπιστώθηκε ξανά η θετική επίδραση της προπόνησης 4 μηνών στο αναερόβιο κατώφλι και τη σύσταση του σώματος, όχι όμως στη VO2 max (Ντάνης και συνεργ.).

Η σημαντική επίδραση λοιπόν της προπόνησης και κατ' επέκταση της άθλησης στα αγόρια της προεφηβική-εφηβική ανάπτυξης είναι ο περιορισμός της αύξησης του σωματικού λίπους και η βελτίωση της οξειδωτικής ικανότητας κυρίως σε υπομέγιστο έργο (συμπεριλαμβανόμενου του μεταβολισμού των λιπών). Κατά τους Booth et al. (1974), Oskai et al. (1974), Askew and Hecker (1976) η δράση της μείωσης του λίπους από φυσική προπόνηση είναι αποτέλεσμα μείωσης του όγκου των λιποκυττάρων. Με βάση τις σχέσεις αντιστοιχίας όγκου και πολλαπλασιασμού των λιποκυττάρων θα μπορούσαμε να υποθέσουμε ότι μια μείωση του όγκου των λιποκυττάρων κατά την προεφηβική-εφηβική ανάπτυξη θα καθυστερούσε ή και θα ανέστειλε την ανάπτυξη (δημιουργία νέων) λιποκυττάρων (Malina 1979). Η άθληση και η προπόνηση συνεπώς κατά την προφηβική και εφηβική ηλικία είναι παράγοντας πρόληψης της παχυσαρκίας που μπορεί να εμφανισθεί κατά την εφηβική ή τη μετεφηβική ανάπτυξη.

Βιβλιογραφία

Askew, E. W. and A. L. Hecker : Adipose tissue cell size and lipolysis in the rat: response to exercise intensity and food restriction. *J. Nutrition.* 106: 1351-1360, 1976.

Bailey, D.A., W.D. Ross, R.L. Mirwald, and C. Weese : Size association of maximal aerobic power during growth in boys. In: Borms, J. and M. Hebbelinck (eds): *Medicine and Sport*: Pediatric work physiology, Basel, Karger, pp. 52-55, 1978.

Becker, D.M. and P. Vaccaro : Anaerobic threshold alterations caused by endurance training in young children. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 23: 445-449, 1983.

Booth, M. A., M. J. Booth and A. W. Taylor : Rat fat cell size and number with exercise training, detraining and weight loss. *Federation Proceedings.* 33: 1959-1963, 1974.

Durnin, J.V.G.A. and M.M Rahaman : The assessment of the amount of fat in the human body from measurements of skinfold thickness. *Br. J. Nutr.* 21: 681-689, 1967.

Ekblom, B. : Effect of physical training in adolescent boys. *J. Appl. Physiol.* 27, 3: 350-355, 1969.

Eriksson, B.O. : Physical training, oxygen supply and muscle metabolism in 11-13-year old boys. *Acta Physiol. Scand., Suppl.* 384, 1972.

Gaisl, G. und J. Buchberger : Veraenderungen des aerob-anaeroben Uebergangs bei 13- bis 14jaehrigen Sportschuelern nach 3 Jahren Training. *Leistungssport* 12, 1: 62-65, 1982.

Heath, B.H. and J.E.L. Carter : A modified somatotype method. *Am. J. Anthrop.* 27: 57-74, 1967.

Hermansen, L. and S. Oseid : Direct and idirect estimation of oxygen uptake in pre-pubertal boys. *Acta Paediat. Scand. Suppl.* 217: 18- 23, 1971.

Hollmann, W. und Th. Hettinger : Sportmedizin - Arbeits- und Trainings- grundlagen. F. K. Schattauer Verlag, Stuttgart, 1980.

Knittle, J. B., F. Ginsberg-Fellner and R. E. Brown : Adipose tissue development in man. *Am. J. Clin. Nutrition.* 30: 762-766, 1977

Kobayashi, K., K. Kitamura, M. Miura, H. Sodeyama, Y. Murase, M. Miyashita, and H. Matsui : Aerobic power as related to body growth and training in Japanese boys: a longitudinal study. *J. Appl. Physiol.* 44, 5: 666-672, 1978.

Krahenbuhl, G.S., J.S. Skinner, and W.M. Kohrt : Developmental Aspects of maximal aerobic power in children. *Exerc. Sport Sci. Reviews* 13: 503-538, 1985.

Lussier, L. and E.R. Buskirk : Effects of an endurance training regimen on assessment of work capacity in prepubertal children. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 301: 734-741, 1977.

Mader, A. and H. Heck: A theory of the metabolic origin of “anaerobic threshold”. *Int. J. Sports Med.* 7 (suppl.): 45-63, 1986.

Mader, A. : Evaluation of the endurance performance of marathon runners and theoretical analysis of test results. *J. Sports Med. Phys. Fitness.* 31, 1: 1-19, 1991.

Mahon, A.D. and P. Vaccaro : Ventilatory threshold and VO_2 max changes in children following endurance training. *Med. Sci. Sports Exerc.* 21, 4: 425-431, 1989.

Malina, R.M. : The effects of exercise on specific tissues, dimensions, and functions during growth. *Studies Phys. Anthropol.* 5: 21-52, 1979.

Massicotte, D.R. and R.B.J. MacNab : Cardiorespiratory adaptations to training at specified intensities in children. *Med. Sci. Sports* 6, 4: 242-246, 1974.

Ντάνης, Α. : Βιολογικές προσαρμογές στην προεφηβική και εφηβική ηλικία: κληρονομικότητα και προπόνηση.*Διδακτορική διατριβή,* ΤΕΦΑΑ αθηνών, 1997.

Ντάνης, Α., , Μ. Καραμούζης, Ι. Καλογερόπουλος, Ν. Κουτλιάνος, Ν. Γαλάνης και Α. Δεληγιάννης : Η ανταπόκριση των HGH, TSH, T_3 και T_4 σε μέγιστη επιβάρυνση, πριν και μετά την προπόνηση σε αγόρια προεφηβικής και εφηβικής ηλικίας. *7ο Διεθνές Συνέδριο Φυσικής Αγωγής & Αθλητισμού, Κομοτηνή,* Μάιος 1999.

Oscai, L..B. : The role of exercise in weight control. *Exerc. Sport Sci. Reviews* 1: 103-123, 1973.

Oscai, L.. B., S. P. Babirak, J. A. McGarr and C. N. Spirakis : Effect of exercise on adipose tissue cellularity. *Federation Proceedings.* 33: 1956-1958, 1974.

Parizkova, J. : Longitudinal study of developmental changes in length, breadth and circumferential measures in adolescent boys with various physical activity. *Antropologie* 8, 1: 73-79, 1970.

Parizkova, J. and S. Spynarova : Longitudinal study of the changes in body composition, body build and aerobic capacity in boys of different physical activity from 11 to 15 years. In: Mellerowicz, H., E. Jokl and G. Hansen (Eds): Ergebnisse der Ergometrie. Perimed mbH, Erlangen, 1975.

Rotstein, A., R. Dotan, O. Bar-Or and G. Tenenbaum : Effect of training on anaerobic threshold, maximal aerobic power and anaerobic performance of preadolescent boys. *Int. J. Sports Med.* 7: 281- 286, 1986.

Reznickova, M., J. Kotulan und Z. Placheta : Intensive Bewegungsaktivitaet und Koerperentwicklung. *Med. u. Sport* 21, 2: 58-62, 1981.

Tanner, J.M. : Wachstum und Reifung des Menschen. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1962.

Vaccaro, P. and D.H. Clarke : Cardiorespiratory alterations in 9 to 11 year old children following a season of competitive swimming. *Med. Sci. Sports* 10, 3: 204-207, 1978.

Wanne, O. and I. Valimaki : The influence of sports training on growth in school children. *Scand. J. Sports Sci.* 5, 2: 41-44, 1983.

Weber, G., W. Kartodihardjo, and V. Klissouras : Growth and physical training with reference to heredity. *J. Appl. Physiol.* 40, 2: 211-215, 1976.

Wells, J. B., J. Parizkova, J. Bohaman and E. Jokl : Growth, body composition and physical efficiency. *J. Assoc. Phys. Mental Rehabilitation,* 17: 37-40, 1963.