



Οι Πρόσφατες Βελτιώσεις του Χρόνου στον Μαραθώνιο είναι Περισσότερο Τεχνολογικές και Όχι Φυσιολογικές

Γεράσιμος Γρίβας¹, Κωνσταντίνος Αγγελούδης², Borja Muniz-Pardos³, Shaun Sutehall⁴, Fergus M. Guppy^{5,6}, Andrew Bosch⁴, & Γιάννης Πιτσιλαδής^{2,7}

¹Τμήμα Επιστήμης Φυσικής Αγωγής & Αθλητισμού, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

²Collaborating Centre of Sports Medicine, University of Brighton

³GENUD Research Group, Department of Physiatry and Nursing, University of Zaragoza

⁴Division of Exercise Science and Sports Medicine, University of Cape Town

⁵School of Pharmacy and Biomolecular Sciences, University of Brighton

⁶Centre for Stress and Age-related Disease, University of Brighton

⁷International Federation of Sports Medicine (FIMS)

Περίληψη

Τα παγκόσμια ρεκόρ τόσο στους άνδρες όσο και στις γυναίκες από το αγώνισμα των 5 km μέχρι και τον μαραθώνιο δρόμο έχουν καταρριφθεί μετά την εισαγωγή στην παραγωγή του παπουτσιού με την πλάκα του άνθρακα (CFP) το 2016. Αυτή η σταδιακή βελτίωση της επίδοσης, συμπίπτει με τις πρόσφατες εξελίξεις στην τεχνολογία παπουτσιών που αυξάνουν τις ελαστικές ιδιότητες του παπουτσιού μειώνοντας έτσι το ενεργειακό κόστος τρεξίματος. Τα τελευταία CFP παπούτσια είναι γνωστό ότι αυξάνουν τη δρομική οικονομία περισσότερο από 4%, που αντιστοιχεί σε βελτίωση της επίδοσης μεγαλύτερη από 2%. Οι πρόσφατα τροποποιημένοι κανονισμοί σχετικά με τα αγωνιστικά παπούτσια για ελίτ αθλητές, που ανακοινώθηκαν από τη Διεθνή Ομοσπονδία Κλασικού Αθλητισμού (World Athletics) αναφέρουν ότι το πάχος της σόλας δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 40 mm και δεν πρέπει να περιέχουν περισσότερες από μία άκαμπτες ενσωματωμένες πλάκες. Όλα αυτά είναι αντίθετα με την αληθινή ουσία και αξία του αθλητισμού, καθώς η τεχνολογία αυτή με σκοπό τη βελτίωση των επιδόσεων δεν θα είναι προσβάσιμη από όλους τους ελίτ αθλητές. Αυτό είναι ένα ιδιαίτερο πρόβλημα σε αθλήματα όπως ο κλασικός αθλητισμός όπου ο κύριος χορηγός του αθλητή είναι πολύ συχνά μια εταιρεία κατασκευής παπουτσιών. Σκοπός της παρούσας ανασκόπησης ήταν να γίνει κατανοητό ότι οι πρόσφατες βελτιώσεις του χρόνου στον μαραθώνιο οφείλονται περισσότερο στην εξέλιξη της τεχνολογίας και λιγότερο σε φυσιολογικούς και προπονητικούς παράγοντες. Συμπερασματικά, μια απλή και πρακτική εφαρμογή για την επίλυση αυτού του προβλήματος είναι η πιθανή μείωση του πάχους της σόλας στα 20 mm. Αυτή η πρακτική λύση θα εμπόδιζε την τεχνολογία παπουτσιών να έχει πολύ μεγάλη επίδραση στο ενεργειακό κόστος τρεξίματος και επομένως, να δραματίζει πρωταρχικό ρόλο στις επιδόσεις των αθλητών.

Λέξεις κλειδιά: πλάκα άνθρακα, παπούτσια, μεγάλες αποστάσεις, τεχνολογία

Review

Recent Improvements in Marathon Run Times are Likely Technological, not Physiological

Gerasimos Grivas¹, Konstantinos Angeloudis², Borja Muniz-Pardos³, Shaun Sutehall⁴, Fergus M. Guppy^{5,6}, Andrew Bosch⁴, & Yannis Pitsiladis^{2,7}

¹Department of Physical Education and Sports Sciences, University of Thessaly

²Collaborating Centre of Sports Medicine, University of Brighton

³GENUD Research Group, Department of Physiatry and Nursing, University of Zaragoza

⁴Division of Exercise Science and Sports Medicine, University of Cape Town

⁵School of Pharmacy and Biomolecular Sciences, University of Brighton

⁶Centre for Stress and Age-related Disease, University of Brighton

⁷International Federation of Sports Medicine (FIMS)

Abstract

Every women's and men's world record from 5 km to the marathon has been broken since the introduction of carbon fibre plate (CFP) shoes in 2016. This stepwise increase in performance coincides with recent advancements in shoe technology that increase the elastic properties of the shoe thereby reducing the energy cost of running. The latest CFP shoes are acknowledged to increase running economy by more than 4%, corresponding to a greater than 2% improvement in performance/run time. The recently modified rules governing competition shoes for elite athletes, announced by World Athletics, that includes sole thickness must not exceed 40 mm and must not contain more than one rigid embedded plate, appear contrary to the true essence and credibility of sport as access to this performance-defining technology becomes the primary differentiator of sporting performance in elite athletes. This is a particular problem in sports such as athletics where the primary sponsor of the athlete is very often a footwear manufacturing company. The purpose of this review was to understand that the recent improvements in marathon run times are likely technological and not physiological. In conclusion, a potential solution to solve this issue can involve the reduction of the stack height of a shoe to 20 mm. This simple and practical solution would prevent shoe technology from having too large an impact on the energy cost of running and, therefore, determining the performance outcome.

Keywords: *carbon fibre plate, shoes, distance running, technology*

Εισαγωγή

Ιστορικά στοιχεία

Στις 12 Οκτωβρίου 2019, ο Κενυάτης αθλητής Eliud Kipchoge διένυσε τα 42,2 km (μαραθώνιο) σε 1:59:40 h:min:sec φορώντας παπούτσια με πλάκα άνθρακα «Carbon Fiber Plate» (CFP), τα Nike Alphafly, σε έναν ανεπίσημο αγώνα μαραθωνίου στη Βιέννη (INEOS 1:59 Challenge, 2020). Την επόμενη ημέρα, η Κενυάτισσα αθλήτρια Brigid Kosgei έτρεξε στον μαραθώνιο του Σικάγο σημειώνοντας χρόνο 2:14:04 h:min:sec, φορώντας τα παπούτσια της Nike CFP, καταρρίπτοντας το παγκόσμιο ρεκόρ, περισσότερο από 1 min, που κατείχε η Paula Radcliffe για 16 χρόνια (Ingle, 2019). Οι προηγούμενες καλύτερες επιδόσεις της Kosgei ήταν 2:18:35 h:min:sec και 2:18:20 h:min:sec από τους μαραθωνίους του Σικάγο και του Λονδίνου το 2018 και 2019, αντίστοιχα (Magra, 2019; NBC Chicago, 2018). Από την ημέρα της κυκλοφορίας των CFP παπουτσιών της Nike το 2016, τα παγκόσμια ρεκόρ τόσο στους άνδρες, όσο και στις γυναίκες στις μεγάλες αποστάσεις (από τα 5 km μέχρι τον μαραθώνιο) καταρρίφθηκαν από αθλητές που χρησιμοποιούσαν CFP παπούτσια (Πίνακας 1), ενισχύοντας έτσι τις υποψίες ότι η κυκλοφορία της νέας τεχνολογίας οδηγεί σε ένα μη φυσιολογικό πλεονέκτημα. Συγκεκριμένα, τα πρώτα παπούτσια στίβου με καρφιά (spikes) που περιείχαν πλήρους μήκους άκαμπτη πλάκα μέσα στην ενδιάμεση σόλα παρουσιάστηκαν από την Nike το 2020 στο Diamond League του Μονακό (14 Αυγούστου 2020) και η επίδρασή τους στην επίδοση των αθλητών φάνηκε αμέσως (World Athletics, 2020). Από τους 65 αθλητές που αγωνίστηκαν από τα 800 m μέχρι και τα 5000 m, οι 50 φορούσαν παπούτσια spikes της Nike και από αυτούς τους 50 αθλητές οι 40 φορούσαν τα καινούργια παπούτσια spikes της Nike με CFP (Kelly, 2020). Κατά τη διάρκεια του Diamond League, καταρρίφθηκε το παγκόσμιο ρεκόρ των ανδρών στα 5000 m από αθλητή ο οποίος φορούσε τα καινούργια spikes και αξίζει να σημειωθεί ότι το μέχρι πρότινος ρεκόρ ήταν ακατάρριπτο για 16 χρόνια (McElwee, 2020). Δύο μήνες αργότερα κατά τη διάρκεια ενός αγώνα στη Βαλένθια, ο ίδιος αθλητής κατέρριψε το παγκόσμιο ρεκόρ στους άνδρες στα 10.000 m, το οποίο ήταν ακατάρριπτο εδώ και 15 χρόνια, φορώντας τα ίδια παπούτσια spikes (Πίνακας 1; Minshull, 2020). Στον ίδιο αγώνα στη Βαλένθια η αθλήτρια της Αιθιοπίας Letesenbet Gidey κατέρριψε το παγκόσμιο ρεκόρ στα 5000 m των γυναικών, το οποίο ήταν ακατάρριπτο για 12 χρόνια (Πίνακας 1; Minshull, 2020). Αυτή η κατάσταση οδήγησε μερικούς αθλητές να λάβουν δραστηκά μέτρα, για παράδειγμα γνωστός Ισπανός μαραθωνοδρόμος κάτοχος της τρίτης καλύτερης επίδοσης στο αγώνισμα του μαραθωνίου στην Ισπανία με χρόνο 2:07:27 h:min:sec, επέλεξε να τερματίσει το συμβόλαιο που είχε με την Adidas χρησιμοποιώντας τα παπούτσια της Nike CFP και στη συνέχεια προκρίθηκε για τους Ολυμπιακούς αγώνες του Τόκιο το 2020 (Sanchez, 2020). Σε απάντηση αυτού του πλεονεκτήματος στην επίδοση που αποκτούν οι αθλητές φορώντας τα παπούτσια της Nike CFP, άλλες εταιρείες σχεδίασαν αντίστοιχα παπούτσια με CFP έτσι ώστε να γίνουν ανταγωνιστικές (μοντέλα παπουτσιών αναφέρονται στον Πίνακα 2). Σύμφωνα με τα παραπάνω, σκοπός της παρούσας ανασκοπικής έρευνας ήταν να γίνει κατανοητό ότι οι πρόσφατες βελτιώσεις του χρόνου στον μαραθώνιο οφείλονται περισσότερο στην εξέλιξη της τεχνολογίας και λιγότερο σε φυσιολογικούς και προπονητικούς παράγοντες.

Πίνακας 1. Παγκόσμια ρεκόρ ανδρών και γυναικών στις μεγάλες αποστάσεις (η συλλογή των δεδομένων πραγματοποιήθηκε στις 3 Δεκέμβρη) (Muniz-Bardos, Sutehall, Angeloudis, Guppy, Bosch, & Pitsiladis, 2021).

Αγώνας	Επίδοση	Αθλητές	Ημερομηνία	Παπούτσια που χρησιμοποιήθηκαν
Ανδρες				
5 km	12:51	Joshua Cheptegei	16/02/2020	Nike ZoomX Vaporly Next%
5000 m (στάδιο)	12:35.36	Joshua Cheptegei	14/08/2020	Nike ZoomX Dragonly
10 km	26:24	Rhonex Kipruto	12/01/2020	Adidas Adizero Takumi Sen 5
10.000 km (στάδιο)	26:11.00	Joshua Cheptegei	07/10/2020	Nike ZoomX Dragonly
15 km	41:05	Joshua Cheptegei	18/11/2018	Nike ZoomX Vaporly Next%
Ημιμαραθώνιος	58:01	Geofrey Kamworor	15/09/2019	Nike ZoomX Vaporly Next%
1 h	21.330 m	Mohamed Farah	04/09/2020	Nike ZoomX Dragonly
Μαραθώνιος	2:01:39	Eliud Kipchoge	16/09/2018	Nike Zoom Vaporly 4%

Γυναίκες

5 km (Γ)	14:44	Sifan Hassan	17/02/2019	Nike ZoomX Vaporly Next%
5000 m (στάδιο)	14:06.62	Letesenbet Gidey	07/10/2020	Nike ZoomX Dragonly
10 km (Γ+A)	29:43	Joyciline Jepkosgei	09/09/2017	Adidas Adizero Takumi Sen 5
15 km (Γ+A)	44:21	Letesenbet Gidey	17/11/2019	Nike ZoomX Vaporly Next%
Ημιμαραθώνιος (Γ+A)	01:04:02	Ruth Chepng'etich	04/04/2021	Nike Air Zoom Alphafly Nexr%
Ημιμαραθώνιος (Γ)	01:05:34	Peres Jepchirchir	05/09/2020	Adidas Adizero Adios Pro
1 h (Γ)	18.930 m	Sifan Hassan	04/09/2020	Nike ZoomX Dragonly
Μαραθώνιος (Γ+A)	2:14:04	Brigid Kosgei	13/10/2019	Nike ZoomX Vaporly Next%
Μαραθώνιος (Γ)	2:17:01	Mary Keitany	23/04/2017	Adidas Adizero Takumi Sen 5

Όπου Γ: συμμετοχή μόνο γυναικών στον αγώνα, Γ+A: συμμετοχή ανδρών και γυναικών στον αγώνα.

Πίνακας 2. Τεχνικά χαρακτηριστικά των παπουτσιών που περιέχουν μια άκαμπτη πλάκα εντός της ενδιάμεσης σόλας (μοντέλα που διατίθενται σήμερα προς πώληση).

Παπούτσια μαραθωνίου	Άκαμπτη πλάκα	Τύπος αφρού	Βάρος για νούμερο 44 (g)	Μέγιστο πάχος σόλας (mm)	Πτώση (mm)
Adidas Adizero Adios Pro	Δυο μέρη: μπροστινό + μετατάρσιο	EVA	266	39	8.5
Nike Zoom Alphafly Next%	Όλο το μήκος	PEBAx + μονάδα αέρα στο μπροστινό μέρος	230	40	4
Nike ZoomX Vaporfly Next%	Όλο το μήκος	PEBAx	200	40	8
Nike ZoomX Dragonfly ^a	Όλο το μήκος	PEBAx	124	25	ΔΑ
Nike Air Zoom Victory ^a	Όλο το μήκος	PEBAx + μονάδα αέρα	130	ΔΑ	ΔΑ
Saucony Endorphin Pro	Όλο το μήκος	PEBA	232	35,5	8
ASICS MetaRacer	Μόνο στην περιοχή του μεταταρσίου	Solyte + spEVA	206	24	9
Skechers GORun Speed Elite	Ενίσχυση στη φτέρνα από ανθρακονήματα	CO ₂ + Άζωτο + EVA αφρού	170	23	4
Brooks Hyperion Elite	Όλο το μήκος	DNA zero (χαμηλή πυκνότητα EVA)	196	33	8
Brooks Hyperion Elite 2	Όλο το μήκος	DNA Flash (εγχυμένο άζωτο)	223	35	8
New Balance FuelCell RC Elite	Όλο το μήκος	TPU/EVA	213	32	10
ON Cloudboom	Όλο το μήκος	Καουτσούκ/EVA	225	20	9

Hoka One One Carbon X	Όλο το μήκος	Καουτσούκ/EVA	247	32	5
-----------------------	--------------	---------------	-----	----	---

Όπου EVA: αιθυλένιο οξικό βινύλιο, PEBA: πολυαιθέρας μπλοκ αμιδίου, ΔΑ: δεν αναφέρεται, TPU: θερμοπλαστική πολυουρεθάνη, a: παπούτσια spikes.

Ανασκόπηση σχετικών ερευνών

Παπούτσια με πλάκα άνθρακα και επιδόσεις στο τρέξιμο

Παρόλο που ο πραγματικός αντίκτυπος των παπουτσιών CFP στην επίδοση στο τρέξιμο εξακολουθεί να δοκιμάζεται και να αξιολογείται στην πράξη, υπάρχουν ενδείξεις ότι οι πρόσφατες βελτιώσεις στους χρόνους των μεγάλων αποστάσεων είναι απίθανο να εξηγούνται βιολογικά. Τρεις κύριες στρατηγικές έχουν προταθεί για να μειωθεί η μηχανική ενέργεια κατά τη διάρκεια της άσκησης και να αυξηθεί η απόδοση: α) να βελτιστοποιηθεί το μυοσκελετικό σύστημα, β) να μεγιστοποιηθεί η επιστροφόμενη ενέργεια και γ) να ελαχιστοποιηθεί η ενέργεια που χάνεται (Nigg & Segesser, 1992; Nigg, Stefanyshyn & Denoth, 2000). Προηγούμενες μελέτες (Stefanyshyn & Fusco, 2004; Stefanyshyn & Nigg, 1997) έχουν εξηγήσει ότι η κάμψη του μπροστινού μέρους του ποδιού ή της μεταταρσοφαλαγγικής άρθρωσης κατά τη διάρκεια του τρεξιματος προκαλεί μεγαλύτερη δαπάνη ενέργειας. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μειώνεται το ενεργειακό κόστος στο τρέξιμο και στα άλματα όταν αυξάνεται η διαμήκης σκληρότητα κάμψης της ενδιάμεσης σόλας του παπουτσιού και να μειώνεται το εύρος κίνησης της μεταταρσοφαλαγγικής άρθρωσης. Η παρούσα τεχνολογία των παπουτσιών περιλαμβάνει τόσο τις CFP όσο και τις παχιές αλλά ελαφριές ενδιάμεσες σόλες (ειδικά εκείνες που αποτελούνται από πολυαιθέρα μπλοκ αμιδίου) (Burns & Tam, 2019), οι οποίες είναι σχεδιασμένες για να αυξάνουν την επιστροφόμενη ενέργεια (Hoogkamer, Kirr, Frank, Farina, Luo & Kram, 2018; Wang, Hong & Li, 2012) που προκαλείται από τη δράση της παθητικής ελαστικής ανάκρουσης, απαιτώντας λιγότερη ενέργεια ανά βήμα (Weyand, 2020). Για να σχηματιστεί μια πιο πλήρης εικόνα, η ομάδα του εργαστηρίου μας πραγματοποίησε αξονική τομογραφία στα παπούτσια CFP τα οποία χρησιμοποιήθηκαν από τον αθλητή για να κερδίσει στο μαραθώνιο του Βερολίνου το 2016. Η επιτυχία των παπουτσιών CFP αντικατοπτρίζεται στις αναφορές διαφόρων αγώνων και στις καταγραφές παπουτσιών μέσω της εφαρμογής «Strava». Η συγκεκριμένη εφαρμογή, περιλαμβάνει εκατοντάδες χιλιάδες επιδόσεις μαραθωνίου, δείχνοντας ότι τα CFP παπούτσια παρέχουν ένα πλεονέκτημα 3-4% στην επίδοση σε σχέση με τα υπόλοιπα παπούτσια (Kealy & Katz, 2018). Στην έρευνα των Guinness, Bhattacharya, Chen, Chen και Loh (2020), παρατηρήθηκε σε 578 ελίτ μαραθωνοδρόμους (308 άνδρες και 270 γυναίκες) ότι η αλλαγή παπουτσιών σε CFP παπούτσια βελτίωσε την επίδοση των ανδρών κατά 75%, που αυτό σημαίνει 1,5-2,9% πιο γρήγορα (από 2-4 min) και 71% των γυναικών, που αυτό σημαίνει 0,8-2,4% πιο γρήγορα (από 1-4 min) κατά τη διάρκεια ενός αγώνα μαραθωνίου. Αυτά τα αποτελέσματα συμφωνούν με τα ευρήματα του εργαστηρίου μας, σύμφωνα με τα οποία πραγματοποιήθηκε μια μελέτη παρατήρησης για τον προσδιορισμό της φθοράς των παπουτσιών CFP (Vaporfly NEXT%) σε σύγκριση με τα «παραδοσιακά» αγωνιστικά παπούτσια της ίδιας εταιρείας. Μια αθλήτρια αγωνιστικών επιδόσεων πραγματοποίησε δοκιμασία 10 km. Πιο αναλυτικά, η αθλήτρια πραγματοποίησε συνολικά 6 αγώνες των 10 km (στους 3 αγώνες φόραγε τα «παραδοσιακά» παπούτσια και στους άλλους 3 τα παπούτσια Nike NEXT%, με τυχαία σειρά), το διάστημα που μεσολαβούσε μεταξύ των αγώνων ήταν 2 εβδομάδες. Αξίζει να σημειωθεί ότι η αθλήτρια διατηρούσε τον ίδιο όγκο και την ίδια ένταση προπόνησης όλο αυτό το διάστημα. Οι διαδρομές των αγώνων ήταν επίπεδες, στο επίπεδο της θαλάσσης και το παπούτσι CFP προκάλεσε βελτίωση στον χρόνο επίδοσης κατά 2,3%, σε σχέση με το «παραδοσιακό» αγωνιστικό παπούτσι το οποίο δεν περιείχε CFP (ο μέσος όρος των επιδόσεων στα 10 km ήταν: 39:04 min:sec vs. 40:03 min:sec, αντίστοιχα). Επίσης, ο αριθμός των διασκελισμών ήταν παρόμοιος (195 βήματα/min), αλλά το μήκος διασκελισμού ήταν 5 cm μεγαλύτερο στα παπούτσια CFP.

Οι μελέτες στο εργαστήριο έχουν δείξει βελτίωση κατά 4% στη δρομική οικονομία «Running Economy» (RE) με τη χρησιμοποίηση παπουτσιών CFP σε υπομέγιστη ένταση (συνήθως μεταξύ 14 και 18 km/h) κατά τη διάρκεια μιας πεντάλεπτης περίπου δοκιμασίας (Barnes & Kilding, 2019; Hoogkamer et al., 2018; Hunter, McLeod, Valentine, Low, Ward & Hager, 2019). Συγκεκριμένα, έχουν παρατηρηθεί μεγάλες διαφορές ανάμεσα στους αθλητές οι οποίοι φόρεσαν τα παπούτσια CFP. Σε μερικούς αθλητές δεν παρατηρήθηκε βελτίωση της RE, ενώ σε άλλους αθλητές παρατηρήθηκε βελτίωση κατά 6,4% (Hunter et al., 2019). Η διαφορά αυτή στη RE που παρατηρήθηκε μεταξύ των αθλητών φαίνεται να επηρεάζεται από τον τρόπο πατήματος του ποδιού στο έδαφος και από τη διαφορετική σκληρότητα των παπουτσιών (https://www.youtube.com/watch?v=qyrLyfe-b_A). Αυτές οι

διαφορές που παρατηρήθηκαν μεταξύ των αθλητών, αναφορικά με τα CFP παπούτσια αποτελούν αντικείμενο μελλοντικής έρευνας. Στο εργαστήριό μας, αξιολογήθηκε η RE ενός Ολυμπιονίκη και κατόχου παγκόσμιου ρεκόρ φορώντας τα CFP παπούτσια. Πιο αναλυτικά, ο αθλητής έτρεξε στο διάδρομο στα 21 km/h για 3 min και παρατηρήθηκε βελτίωση της RE κατά 2,6% σε σχέση με τα «παραδοσιακά» αγωνιστικά παπούτσια. Συγκεκριμένα, η καλύτερη επίδοση του αθλητή στον μαραθώνιο βελτιώθηκε κατά 2,7% μέσα σε 4 χρόνια από τότε που φόρεσε τα CFP παπούτσια.

Η RE επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τις ανατομικές και βιομηχανικές διαφορές (Raichlen, Armstrong & Lieberman, 2011), για παράδειγμα ένα αυξημένο μήκος των κάτω άκρων λόγω μεγαλύτερου πάχους της σόλας ενός παπουτσιού τρεξίματος μπορεί να βελτιώσει τη RE, όταν η σωματική μάζα παραμένει σταθερή (Steudel-Numbers, Weaver & Wall-Scheffler, 2007). Αν και οι ακριβείς μηχανισμοί δεν είναι ακόμη σαφείς (Lucia et al., 2006), τα μακρύτερα και πιο αδύνατα πόδια φαίνεται να συμβάλουν σε μεγαλύτερη στιγμή αδράνειας και συνεπώς σε μειωμένη απαίτηση μυϊκής ενέργειας για την κίνηση των ποδιών προς τα εμπρός (Mooses, Mooses, Haile, Durussel, Kaasik & Pitsiladis, 2015). Ενώ, η αύξηση του μήκους διασκελισμού έχει παρατηρηθεί ότι είναι πιο αποτελεσματική από την αύξηση της συχνότητας διασκελισμού, δαπανώντας λιγότερη ενέργεια κατά την επιτάχυνση (Mooses et al., 2015). Έχει παρατηρηθεί ότι αθλητές με μακρύτερα πόδια παρουσιάζουν μεγαλύτερο μήκος διασκελισμού και αυτό οδηγεί σε καλύτερη RE (Mooses et al., 2015; Sleivett & Rowlands, 1996). Εκτός όμως από τη συσχέτιση μακρύτερων ποδιών και RE, ένα μεγαλύτερο πάχος της σόλας παρέχει αυξημένο χώρο στο ελατήριο μέσα στο παπούτσι για περισσότερη ελαστική ενέργεια που αρχικά αποθηκεύεται και στη συνέχεια απελευθερώνεται με κάθε πάτημα του ποδιού στο έδαφος. Για παράδειγμα, τα 8 mm (από 23 στα 31 mm) αυξάνουν το αποτελεσματικό μήκος ποδιού στα παπούτσια Vaporfly 4% σε σχέση με τα προηγούμενα μοντέλα (Nike Streak) και αυτό μπορεί να εξηγήσει κατά 25% περίπου τη βελτίωση στις επιδόσεις που προκαλείται από τα Vaporfly 4% (Burns & Tam, 2019). Αυτό βασίζεται σε ένα βιομηχανικό μοντέλο (το μοντέλο LiMb) που συνδέει το μήκος των κάτω άκρων με τη δαπάνη ενέργειας για μετακίνηση στα ζώα (Pontzer, 2005; Pontzer, 2007). Στο τρέξιμο, αυτό το μοντέλο προέρχεται από το ρυθμό παραγωγής μυϊκής δύναμης κατά τη διάρκεια του τρεξίματος, από το αποτελεσματικό μήκος των κάτω άκρων, τη γωνία του ισχίου κατά τη διάρκεια της φάσης στήριξης και το ενεργειακό κόστος κατά την ταλάντωση του άκρου (Sun, Lam, Zhang, Wang & Fu, 2020). Παρόλο που το πάχος της σόλας είναι κλιμακωτό σύμφωνα με το μέγεθος του παπουτσιού, αυτό δεν είναι γραμμικό και παρέχει στους κοντότερους αθλητές μια δυσανάλογα μεγαλύτερη αύξηση του μήκους των κάτω άκρων, το οποίο έχει παρατηρηθεί ότι προκαλεί αύξηση της RE (Lucia et al., 2006). Το καινούργιο μοντέλο της Nike που κυκλοφόρησε πρόσφατα (Alphafly) προσφέρει επιπλέον 9 mm στο μήκος ποδιού και πάχος σόλας (40 mm) και αναμένεται να βελτιώσει τη RE περισσότερο από 4%. Το ενεργειακό πλεονέκτημα των παπουτσιών CFP είναι μη φυσιολογικό, καθώς είναι αποτέλεσμα χρήσης μίας μη βιολογικής κατασκευής/επέκτασης των ανθρωπίνων ποδιών που περισσότερο συμβαδίζει με τα οφέλη που προέρχονται από εξωσκελετούς, ελάσματα και πρόσθετα άκρα. Παρόλο που τα παπούτσια CFP βελτιώνουν την επίδοση στο τρέξιμο, δεν υπάρχουν έρευνες που να υποστηρίζουν τον αυξημένο κίνδυνο τραυματισμού που μπορεί να προκληθεί από μια άκαμπτη και σκληρή σόλα (Sun et al., 2020). Ωστόσο, ένας έμπειρος μαραθωνοδρόμος, ο οποίος έχει τη δεύτερη καλύτερη επίδοση όλων των εποχών στον μαραθώνιο, αναγκάστηκε να εγκαταλείψει στον μαραθώνιο του Λονδίνου το 2020 ισχυριζόμενος ότι η χρησιμοποίηση των CFP παπουτσιών του προκάλεσε αρκετούς τραυματισμούς λόγω της έλλειψης σταθερότητας των ποδιών (BBC sport, 2020). Οι μελλοντικές έρευνες πρέπει να επικεντρωθούν στη μελέτη των κινδύνων τραυματισμού που μπορεί να προκληθούν από τη χρήση του CFP παπουτσιού, αναπτύσσοντας πρωτόκολλα αξιολόγησης για τον προσδιορισμό της σκληρότητας και σταθερότητας στο μπροστινό μέρος του ποδιού. Για να πραγματοποιηθεί κάτι τέτοιο θα πρέπει να ληφθεί υπόψη το αγωνιστικό επίπεδο των αθλητών, τα ανατομικά χαρακτηριστικά των ποδιών του κάθε αθλητή και οι αποστάσεις που διανύει κάθε αθλητής. Επιπρόσθετα, για την ασφαλέστερη εξαγωγή συμπερασμάτων θα ήταν ιδιαίτερα επωφελές να συνοψολογίζεται ο παράγοντας των χαρακτηριστικών των υλικών που χρησιμοποιούνται για το εκάστοτε υπόδημα και ο σκοπός χρήσης τους. Τέλος, τα συμπεράσματα της παρούσας ανασκόπησης θα πρέπει να συμπεριληφθούν στους κανονισμούς των παπουτσιών.

Τα τελευταία 30 χρόνια οι βελτιώσεις του χρόνου στον μαραθώνιο είναι πάνω από 5 min για τους άνδρες και 7 min για τις γυναίκες (4-5%). Οι σημαντικότεροι φυσιολογικοί παράγοντες που είναι υπεύθυνοι για τη βελτίωση των επιδόσεων στους δρόμους αντοχής γενικά, αλλά και στον μαραθώνιο ειδικότερα είναι: 1) η VO_{2max} , 2) το ποσοστό της $\%VO_{2max}$ που μπορεί να διατηρήσει ένας αθλητής για μεγάλο χρονικό διάστημα και 3) η RE (Joyner, Hunter, Lucia & Jones, 2020). Αν και δεν έχουν γίνει γνωστές οι ακριβείς τιμές της VO_{2max} του Eliud Kipchoge και της Brigid Kosgei, οι οποίοι είναι οι κάτοχοι του παγκόσμιου ρεκόρ στον μαραθώνιο ανδρών και γυναικών αντίστοιχα, αναφέρεται ότι οι τιμές αυτές είναι πολύ υψηλές, αλλά δεν έχουν πολύ μεγάλη διαφορά

σε σχέση με τις τιμές των ελίτ δρομέων αντοχής των δεκαετιών του 1960 και 1970 (Pate, Sparling, Wilson, Cureton & Miller, 1987; Pollock, 1977). Στο πλαίσιο αυτό, υπάρχουν δεδομένα από έναν δρομέα ο οποίος συμμετείχε στο εγχείρημα για το σπιάσιμο του φράγματος των 2 h στον μαραθώνιο το 2017 (project “Breaking2”). Αυτός ο δρομέας είχε τιμή $\dot{V}O_{2max}$ $83 \text{ mL min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ (Lucia, Olivian, Bravo, Gonzalez-Freire & Foster, 2008). Δεδομένα που συλλέχθηκαν στο εργαστήριο κόπωσης του Harvard τη δεκαετία του 1930 για αθλητές μεσαίων και μεγάλων αποστάσεων, έδειξαν ότι αυτοί οι αθλητές είχαν τιμές $\dot{V}O_{2max}$ από $75\text{-}80 \text{ mL min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ (Robinson, Edwards & Dill, 1937). Όπως φαίνεται, οι τιμές αυτές δεν διαφέρουν συγκριτικά με τις τιμές των σημερινών ελίτ αθλητών. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι άλλοι παράγοντες εκτός της $\dot{V}O_{2max}$ είναι υπεύθυνοι για την μεγάλη βελτίωση των επιδόσεων στον μαραθώνιο. Επίσης, οι τιμές του γαλακτικού κατωφλιού πιθανόν να διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη βελτίωση των επιδόσεων. Έχει παρατηρηθεί ότι ο Kirchoge και η Kosgei έχουν τιμές γαλακτικού κατωφλιού περίπου στο $80\text{-}85\% \dot{V}O_{2max}$. Όμως, μια πρόσφατη έρευνα έδειξε ότι αυτές οι τιμές δεν είναι οι υψηλότερες, καθώς υπάρχουν και αθλητές με μεγαλύτερες τιμές γαλακτικού κατωφλιού (Joyner et al., 2020). Ένας άλλος παράγοντας που διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη βελτίωση των επιδόσεων στον μαραθώνιο είναι η RE. Έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές έρευνες οι οποίες αναφέρουν ότι οι ελίτ Αφρικανοί δρομείς αντοχής έχουν καλύτερη RE σε σχέση με τους δρομείς των άλλων χωρών (Lucia et al., 2006; Saltin et al., 1995; Weston, Mbambo & Myburg, 2000; Wilber & Pitsiladis, 2012). Αυτό σημαίνει ότι οι Αφρικανοί δρομείς έχουν μικρότερο ενεργειακό κόστος κατά τη διάρκεια του τρέξιματος (Larsen, 2003). Η RE θεωρείται μια από τις σημαντικότερες παραμέτρους και είναι υπεύθυνη για τη βελτίωση των επιδόσεων όχι μόνο στον μαραθώνιο, αλλά και γενικά τους δρόμους αντοχής. Αυτό φαίνεται και από την έρευνα του Pollock (1977), στην οποία παρατηρήθηκε ότι δύο από τους κορυφαίους δρομείς της δεκαετίας του 1960 και 1970, ο Frank Shorter και ο Derek Clayton, είχαν τιμές $\dot{V}O_{2max}$ περίπου $70\text{-}71 \text{ mL min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ (οι οποίες για ελίτ αθλητές θεωρούνται καλές αλλά όχι εξαιρετικές) και εξαιρετική RE. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω τα παπούτσια της Nike με CFP προκαλούν σημαντική βελτίωση στη RE (περίπου 4%) και αυτός είναι ο κυριότερος λόγος που παρατηρείται τόσο μεγάλη βελτίωση στην επίδοση του μαραθωνίου δρόμου. Όσον αφορά τις προπονητικές μεθόδους, δεν φαίνεται να έχουν εξελιχθεί τόσο πολύ έτσι ώστε να εξηγείται η τόσο μεγάλη βελτίωση του χρόνου στον μαραθώνιο. Για την προπόνηση της Kosgei δεν υπάρχουν αρκετές πληροφορίες, αλλά για τον Kirchoge είναι γνωστό ότι η προπόνηση του περιλαμβάνει πάνω από 200 km/εβδομάδα σε μεγάλο υψόμετρο. Πιο αναλυτικά, εφαρμόζει διαλειμματική προπόνηση όπως 10X1 km ή 30X1 min σε υψηλή ένταση με διάλειμμα 1 min χαλαρό τρέξιμο. Εκτός από τη διαλειμματική προπόνηση υψηλής έντασης, εφαρμόζει και tempo run (συνεχόμενο τρέξιμο μέτριας έντασης) 30 km και κάποιες φορές 40 km ξεκινώντας με χαμηλή ένταση, αυξάνοντας σταδιακά ρυθμό και φτάνοντας στα τελευταία km να τρέχει στον ρυθμό του αγώνα στόχου του μαραθωνίου (Hearps, 2019). Αξίζει όμως να σημειωθεί ότι, οι προπονητικές αυτές μέθοδοι (διαλειμματική και συνεχόμενο τρέξιμο μέτριας έντασης) δεν είναι καινούργιες, αλλά εφαρμόζονται από τους αθλητές αντοχής εδώ και πολλά χρόνια και συγκεκριμένα από τις δεκαετίες του 1950 και 1960 (Joyner et al., 2020).

Ζητήματα με τον ισχύοντα κανονισμό

Το μέγεθος της βελτίωσης των επιδόσεων από τους αθλητές οι οποίοι χρησιμοποιούν τα CFP παπούτσια είναι ανάλογοι μεγέθους με τις βελτιώσεις που προκαλούνται από τη χρήση διαφόρων απαγορευμένων ουσιών, οι οποίες περιλαμβάνονται στη λίστα του Παγκόσμιου Οργανισμού Αντιντόπινγκ (WADA), όπως είναι η ερυθροποιητίνη η οποία έχει βρεθεί ότι αυξάνει την απόδοση των αθλητών κατά 4-6% (Durussel et al., 2013; Haile et al., 2019). Στις 31 Ιανουαρίου 2020, η Διεθνής Ομοσπονδία Κλασικού Αθλητισμού (World Athletics) αντέδρασε σε αυτή τη νέα τεχνολογία των παπουτσιών ανακοινώνοντας νέους κανονισμούς, σύμφωνα με τους οποίους το πάχος της σόλας των παπουτσιών μαραθωνίου δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα 40 mm (25 mm για παπούτσια spikes) και ότι θα πρέπει να έχουν κυκλοφορήσει στην αγορά προς πώληση τουλάχιστον 4 μήνες πριν τη χρησιμοποίησή τους από τους αθλητές στους αγώνες (World Athletics, 2020). Λίγο αργότερα, η Nike παρουσίασε το καινούργιο μοντέλο της το οποίο ονομάζεται Alphafly με το πάχος της σόλας του παπουτσιού να είναι 40 mm, με CFP και με προσθήκη λοβών αέρα στην περιοχή του μετατόριου (<https://www.nike.com/running/alphafly>). Το μικρό χρονικό διάστημα που μεσολάβησε από τη στιγμή της ανακοίνωσης των νέων κανονισμών για τα παπούτσια και της κυκλοφορίας του καινούργιου μοντέλου της Nike Alphafly προκάλεσε ανησυχίες ότι οι νέοι κανονισμοί συντάχθηκαν για να νομιμοποιήσουν τη σειρά των παπουτσιών CFP της Nike, ως απάντησή της για τις κατηγορίες περί τεχνολογικού ντόπινγκ (Kelland, 2020), αδιαφορώντας έτσι για την προστασία της αρχής της δικαιοσύνης στον ανταγωνισμό που επικρατεί μεταξύ των αθλητών. Πιο πρόσφατα, η Διεθνής Ομοσπονδία Κλασικού Αθλητισμού (World Athletics) πραγματοποίησε μια

αλλαγή στους κανονισμούς που διέπουν τον σχεδιασμό πρωτότυπων παπουτσιών μετά από αιτήματα των μεγάλων κατασκευαστικών εταιρειών και της Παγκόσμιας Αθλητικής Βιομηχανίας (World Athletics, 2020). Αυτή η τροπολογία επιτρέπει στα καινούργια παπούτσια να χρησιμοποιούνται σε διεθνείς αγώνες, πριν κυκλοφορήσουν στο εμπόριο και φορευθούν από τους υπόλοιπους αθλητές, μετά την έγκριση όμως της Διεθνούς Ομοσπονδίας Κλασικού Αθλητισμού (World Athletics, 2020). Αυτοί οι νέοι κανονισμοί είχαν ως αποτέλεσμα να ξεκινήσει ένας αγώνας των εταιρειών με σκοπό την κατασκευή CFP παπουτσιών (Πίνακας 2). Αυτό έρχεται σε αντίθεση με μια άλλη αρχή που διέπει τη δικαιοσύνη του αθλητισμού, την αρχή της παγκοσμιοποίησης, κατά την οποία τα νέα τεχνολογικά ευρήματα που προκύπτουν θα πρέπει να είναι διαθέσιμα προς όλους τους αθλητές (World Athletics, 2020). Τα συγκεκριμένα παπούτσια λόγω του υψηλού κόστους τους (Πίνακας 2) δεν θα είναι διαθέσιμα σε αρκετούς αθλητές, κυρίως των υποανάπτυκτων χωρών, αποξενώνοντας πολλές Ανατολικές Αφρικανικές χώρες με μεγάλη παράδοση στις μεγάλες αποστάσεις εδώ και 50 χρόνια.

Συζήτηση – Συμπεράσματα

Μια λύση για την ισότητα και τη δικαιοσύνη στον αθλητισμό

Οι ξαφνικές βελτιώσεις των επιδόσεων που παρατηρήθηκαν μετά την εμφάνιση των CFP παπουτσιών το 2016 φαίνονται τεχνολογικά όχι φυσιολογικές, όπως παρατηρήθηκε πρόσφατα (Joyner et al., 2020). Ο Joyner και οι συνεργάτες του (2020) σε μια έρευνα τους ανέλυσαν διάφορους παράγοντες που πιθανόν να διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη βελτίωση των επιδόσεων στον μαραθώνιο τα τελευταία χρόνια (Joyner et al., 2020). Εκτός από την τεχνολογία των παπουτσιών και την χρησιμοποίηση αθλητών για βοήθεια στους αγώνες (λαγοί), οι φυσιολογικοί και προπονητικοί παράγοντες διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στις γρήγορες επίσημες ή ανεπίσημες επιδόσεις που παρατηρήθηκαν στους μαραθωνίους (Μόντσα και Βιέννη). Ωστόσο, η απότομη κατάρριψη των παγκόσμιων ρεκόρ σε όλες τις αποστάσεις μετά την χρησιμοποίηση των CFP παπουτσιών, υποδηλώνει ότι η τεχνολογία των παπουτσιών ίσως να διαδραματίζει τον σημαντικότερο ρόλο από όλους τους υπόλοιπους παράγοντες που αναφέρθηκαν προηγουμένως (από το 2017, οι προπονητικές μέθοδοι και οι φυσιολογικοί παράγοντες είναι απίθανο να έχουν βελτιωθεί τόσο πολύ έτσι ώστε να πραγματοποιηθούν τόσο γρήγοροι χρόνοι στον μαραθώνιο). Η χρησιμοποίηση «λαγών» (ο δρομέας «λαγός» είναι ο αθλητής εκείνος που αναλαμβάνει να οδηγήσει την κούρσα του αγώνα σε γρήγορο ρυθμό, έτσι ώστε να επιτευχθούν γρήγορες επιδόσεις) στους αγώνες είναι αναμφίβολα ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει το ενεργειακό κόστος στο τρέξιμο, αν και αυτή η στρατηγική εφαρμόζεται στους αγώνες πολύ νωρίτερα από το 2017. Γι' αυτό το λόγο η χρησιμοποίηση «λαγών» δεν μπορεί να εξηγήσει την κατάρριψη πολλών παγκόσμιων ρεκόρ τα τελευταία 3 χρόνια. Η Διεθνής Ολυμπιακή Επιτροπή ανακοίνωσε πρόσφατα τη ματαίωση των Ολυμπιακών αγώνων του Τόκιο το 2020 εξαιτίας της πανδημίας COVID-19 (Tokyo, 2020). Λόγω αυτής της ματαίωσης, η Διεθνής Ομοσπονδία Κλασικού Αθλητισμού (World Athletics) έχει την ευκαιρία να εκδώσει μια ανασκόπηση η οποία να επικεντρώνεται στις τεχνολογικές εξελίξεις και στη δικαιοσύνη έτσι ώστε να αξιολογήσει τις επιδράσεις της τεχνολογίας στην ουσία και στην ακεραιότητα του αθλητικού ανταγωνισμού. Αυτή η διαμάχη που έχει ξεσπάσει τον τελευταίο καιρό σχετικά με τη νομιμότητα και την ηθική των CFP παπουτσιών δεν είναι πρωτοφανής. Το 2009, η Διεθνής Ομοσπονδία Κολύμβησης (FINA) υποχρεώθηκε να τροποποιήσει τους κανονισμούς και να απαγορεύσει την χρησιμοποίηση των ολόσωμων μαγιό ως απάντηση στις πολλές καταρρίψεις των παγκόσμιων ρεκόρ που πραγματοποιήθηκαν από αθλητές οι οποίοι φορούσαν αυτού του είδους το μαγιό (McNight, 2009). Παρομοίως, η Παγκόσμια Ομοσπονδία Στίβου (τώρα ονομάζεται World Athletics) αντιμετώπισε ένα ζήτημα σχετικά με τον σχεδιασμό παπουτσιών τη δεκαετία του 1960. Στην τελευταία περίπτωση, τόσο στα 200 m όσο και στα 400 m το παγκόσμιο ρεκόρ καταρρίφθηκε μέσα σε διάστημα 2 εβδομάδων το 1968, με τους δύο αθλητές να φοράνε τα τότε πρόσφατα σχεδιασμένα παπούτσια της νέας τεχνολογίας (Wong, 2019). Τα συγκεκριμένα παπούτσια περιείχαν 68 μικρά καρφιά, σε σχέση με τα «παραδοσιακά» παπούτσια των 4 ή 6 καρφιών (spikes) και με αυτό τον τρόπο βελτιώνονταν η πρόσφυση και η σταθερότητα των αθλητών κατά τη διάρκεια του αγώνα ή της προπόνησης. Το πλεονέκτημα αυτής της τεχνολογίας επιβεβαιώθηκε αργότερα σε μια μελέτη που ανέφερε βελτιώσεις στις επιδόσεις στους 5 από τους 6 αθλητές που αξιολογήθηκαν (Wood, 1972). Η κατάρριψη των δυο παγκόσμιων ρεκόρ σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα οδήγησε στην απαγόρευση αυτής της νέας τεχνολογικής μεθόδου από την αθλητική ομοσπονδία και τα παγκόσμια ρεκόρ ακυρώθηκαν και δεν καταγράφηκαν στις λίστες (Wong, 2019). Η απόφαση που λήφθηκε έτσι ώστε να επιτρέπεται οι αθλητές να χρησιμοποιούν τα CFP παπούτσια σε όλα τα αθλήματα του στίβου (συμπεριλαμβανομένων και των αγωνισμάτων στίβου εντός σταδίου) είναι αντίθετη με τις προηγούμενες αποφά-

σεις που είχε λάβει το ίδιο διοικητικό όργανο, αναφορικά με τις νέες τεχνολογίες των παπουτσιών. Αυτή η απόφαση θα πρέπει να επανεξεταστεί επειγόντως και προσεκτικά. Μια πιθανή λύση αυτού του τόσο σοβαρού ζητήματος είναι η μείωση του πάχους της σόλας των παπουτσιών στα 20 mm. Αυτή η απλή και πρακτική λύση θα εμπόδιζε την τεχνολογία των παπουτσιών να έχει τόσο μεγάλη επίδραση στο ενεργειακό κόστος κατά τη διάρκεια του τρεξιματος και επομένως δεν θα βελτιωνόταν τόσο απότομα οι επιδόσεις. Οι αθλητικές εταιρείες θα μπορούσαν να βελτιώσουν την τεχνολογία τους αλλά η τεχνολογία των παπουτσιών δεν θα αποτελούσε τον σημαντικότερο παράγοντα στη βελτίωση των επιδόσεων των ελίτ αθλητών.

Σημασία για τον Αγωνιστικό Αθλητισμό

Τα τελευταία 3 χρόνια έχουν βελτιωθεί πολύ οι επιδόσεις στους δρόμους μεγάλων αποστάσεων. Οι βελτιώσεις αυτές κυρίως οφείλονται σε τεχνολογικούς και λιγότερο σε φυσιολογικούς ή προπονητικούς παράγοντες. Η εργοφυσιολογία και η προπονητική έχουν εξελιχθεί τα τελευταία χρόνια, αλλά όχι σε τέτοιο βαθμό που να εξηγούν την τόσο μεγάλη βελτίωση στις επιδόσεις των μεγάλων αποστάσεων. Από την άλλη μεριά, η τεχνολογία μέσω της κατασκευής καινούργιων μοντέλων παπουτσιών έχει παρουσιάσει ραγδαία ανάπτυξη. Τα καινούργια μοντέλα παπουτσιών που περιέχουν CFP φαίνεται ότι μειώνουν σημαντικά το ενεργειακό κόστος κατά τη διάρκεια της άσκησης. Δεν είναι τυχαίο ότι όλοι οι αθλητές οι οποίοι χρησιμοποίησαν CFP παπούτσια κατέρριψαν τα τελευταία 3 χρόνια τα παγκόσμια ρεκόρ στα 5000 m, στα 10.000 m και στον μαραθώνιο. Οι ισχύοντες κανονισμοί δεν προστατεύουν την ουσία και την ακεραιότητα του αθλητικού ιδεώδους, γι' αυτό το λόγο προτείνεται η μείωση του πάχους της σόλας του παπουτσιού στα 20 mm.

Βιβλιογραφία

- Alphaly NEXT%. Nike.com. (2020). Ανακτήθηκε 10 Νοέμβρη, 2020, από <https://www.nike.com/running/alphafly>.
- Barnes, K. R., & Kilding, A. E. (2019). A randomized crossover study investigating the running economy of highly-trained male and female distance runners in marathon racing shoes versus track spikes. *Sports Medicine*, 49(2), 331-342.
- Brigid Kosgei Wins 2018 Bank of America Chicago Marathon Women's Race. *NBC Chicago*. Ανακτήθηκε 10 Νοεμβρίου, 2020, από <https://www.nbcchicago.com/news/sports/chicago-marathon/chicago-marathon-2018-womens-winner-kosgei-dereje/49990/>.
- Burns, G. T., & Tam, N. (2019). Is it the shoes? A simple proposal for regulating footwear in road running. *British Journal of Sport Medicine*, 54(8), 439-440.
- Durussel, J., Daskalaki, E., Anderson, M., Chatterji, T., Wondimu, D. H., Padmanabhan, N., et al. (2013). Haemoglobin mass and running time trial performance after recombinant human erythropoietin administration in trained men. *PLoS One*, 8(2), e56151.
- Guinness, J., Bhattacharya, D., Chen, J., Chen, M., & Loh, A. (2020). An observational study of the effect of Nike Vaporfly shoes on marathon performance.
- Haile, D.W., Durussel, J., Mekonen, W., Ongaro, N., Anjila, E., Mooses, M., et al., (2019). Effects of EPO on blood parameters and running performance in Kenyan Athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 51(2), 299-307.
- Hearps T. Eliud Kipchoge-A Typical Week of Training-Preparing for a Sub 2 Hour Marathon. *SweatElite*. Ανακτήθηκε 23 Απριλίου, 2021, από <https://www.sweatelite.co/eliud-kipchoge-a-typical-week-of-training-preparing-for-a-sub-2-hour-marathon/>.
- Hoogkamer, W., Kipp, S., Frank, J. H., Farina, E. M., Luo, G., & Kram, R. (2018). A comparison of the energetic cost of running in marathon racing shoes. *Sports Medicine*, 48(4), 1009-1019.
- Hunter, I., McLeod, A., Valentine, D., Low, T., Ward, J., & Hager, R (2019). Running economy, mechanics, and marathon racing shoes. *Journal of Sport Sciences*, 37(20), 2367-2373.
- INEOS 1:59 Challenge. Ανακτήθηκε 10 Νοεμβρίου, 2020, από <https://www.ineos159challenge.com/>.
- Ingle, S. (2019). I can go quicker, says Brigid Kosgei after smashing Paula Radcliffe's world record. *The Guardian*. Ανακτήθηκε 10 Νοεμβρίου, 2020, από <https://www.theguardian.com/sport/2019/oct/13/brigid-kosgei-world-marathon-record-paula-radcliffe-chicago>.

Γρίβας κ.α. / Αναζητήσεις στη Φ.Α. & τον Αθλητισμό, 19 (2021), 58 – 68

- Joshua Cheptegei's 12:35 5,000 Meter World Record shoes are impossibly Good. (2020). Nike ZoomX Dragonfly. *YouTube*. Ανακτήθηκε 3 Δεκεμβρίου, 2020, από https://www.youtube.com/watch?v=qyrLyfe-b_A.
- Joyner, M.J., Hunter, S.K., Lucia, A., & Jones, A.M. (2020). Physiology and fast marathons. *Journal of Applied Physiology*, 128(4):1065-1068.
- Kealy, K., & Katz, J. (2018). Nike Says Its \$250 Running Shoes Will Make You Run Much Faster. What if That's Actually True? *New York Times*. <https://www.nytimes.com/section/upshot>.
- Kelland, K. (2020). Nike Vaporflys: World Athletics set to clamp down on 'technological doping'. *The Independent*. Ανακτήθηκε 2 Απριλίου, 2020, από <https://www.independent.co.uk/sport/general/athletics/nike-vaporflys-world-athletics-record-rules-soles-latest-news-a9299951.html>.
- Kelly, M. (2020). Everything we know about Nike's newly-released plated spikes. *Canadian Running Magazine*. Ανακτήθηκε 10 Νοεμβρίου, 2020, από <https://runningmagazine.ca/sections/gear/everything-we-know-about-nikes-newly-released-plated-spikes/>.
- Larsen, H. B. (2003). Kenyan dominance in distance running. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 136(1), 161-170.
- London Marathon: Kenenisa Bekele to miss race because of injury. (2020). *BBC Sport*. Ανακτήθηκε 3 Οκτώβρη, 2020, από <https://www.bbc.com/sport/athletics/54386018>.
- Lucia, A., Esteve-Lanao, J., Oliván, J., Gómez-Gallego, F., San Juan, A. F., Santiago, C., et al. (2006). Physiological characteristics of the best Eritrean runners-exceptional running economy. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabism*, 31(5), 530-540.
- Lucia, A., Oliván, J., Bravo, J., Gonzalez-Freire, M., & Foster, C. (2008). The key to top-level endurance running performance: a unique example. *British Journal of Sports Medicine*, 42(3): 172-174.
- Magra, I. (2019). London Marathon 2019: Eliud Kipchoge and Brigid Kosgei Dominate. *The New York Times*. Ανακτήθηκε 10 Νοεμβρίου, 2020, από <https://www.nytimes.com/2019/04/28/sports/london-marathon-2019.html>.
- McElwee, M. (2020). Joshua Cheptegei breaks 16-year 5,000m world record at Diamond League. *The Telegraph*. Ανακτήθηκε 10 Νοεμβρίου, 2020, από <https://www.telegraph.co.uk/athletics/2020/08/14/joshua-cheptegei-breaks-16-year-5000m-world-record-diamond-league/>.
- McNight, M. (2009). Full Body Swimsuit Now Banned for Professional Swimmers. *ABC News*. Ανακτήθηκε 10 Νοέμβρη, 2020, από <https://abcnews.go.com/Politics/full-body-swimsuit-now-banned-professionalswimmers/story?id=9437780>.
- Minshull, P. (2020). Cheptegei and Gidey break world records in Valencia. *World Athletics*. Ανακτήθηκε 10 Νοεμβρίου, 2020 από <https://www.worldathletics.org/news/report/cheptegei-gidey-valencia-world-records>.
- Mooses, M., Mooses, K., Haile, D. W., Durussel, J., Kaasik, P., & Pitsiladis, Y.P (2015). Dissociation between running economy and running performance in elite Kenyan distance runners. *Journal of Sport Sciences*, 33(2), 136-144.
- Muniz-Pardos, B., Sutehall, S., Angeloudis, K., Guppy F. M., Bosch, A., & Pitsiladis, Y. (2021). Recent Improvements in Marathon Run Times Are Likely Technological, Not Physiological. *Sports Medicine*, 51(3), 371-378.
- Nigg, B. M., & Segesser, B. (1992). Orthopedic and biomechanical concepts of sports shoe construction. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24(5), 595-602.
- Nigg, B. M., Stefanyshyn, D., & Denoth, J. (2000). Mechanical considerations of work and energy, In: B.M. Nigg, B.R. MacIntosh and J. Mester, eds. *Biomechanics and biology of movement*. Champaign, IL, USA: Human Kinetics, 5-18.
- Olympic Games postponed to 2021. (2020). *TOKYO 2020*. Ανακτήθηκε 10 Νοέμβρη, 2020, από <https://tokyo2020.org/en/news/joint-statement-from-international-olympic-committee-and-tokyo2020>.
- Pate, R. R., Sparling, P. B., Wilson, G. E., Cureton, K. J., & Miller, B. J. (1987). Cardiorespiratory and metabolic responses to submaximal and maximal exercise in elite women distance runners. *International Journal of Sports Medicine*, 8(2), 91-95.
- Pollock, M. L. (1977). Submaximal and maximal working capacity of elite distance runners. Part I: Cardiorespiratory aspects. *Annals of the New York Academy of Science*, 301, 310-322.
- Pontzer, H. (2005). A new model predicting locomotor cost from limb length via force production. *The Journal of Experimental Biology*, 208(8), 1513-1524.

- Pontzer, H. (2007). Predicting the energy cost of terrestrial locomotion: a test of the LiMb model in humans and quadrupeds. *The Journal of Experimental Biology*, 210(3), 484-494.
- Raichlen, D. A., Armstrong, H., & Lieberman, D. E. (2011). Calcaneus length determines running economy: implications for endurance running performance in modern humans and Neandertals. *Journal of Human Evolution*, 60(3), 299-308.
- Results: 2020 Herculis Monaco Diamond League. Watch Athletics. Ανακτήθηκε 10 Νοεμβρίου, 2020, από <https://www.watchathletics.com/article/11192/results-2020-herculis-monaco-diamond-league>.
- Robinson, S., Edwards, H. T., & Dill, D. B. (1937). New records in human power. *Science*, 85, 409-410.
- Saltin, B., Kim, C. K., Terrados, N., Larsen, H., Svedenhag, J., & Rolf, C. J. (1995). Morphology, enzyme activities and buffer capacity in leg muscles of Kenyan and Scandinavian runners. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 5(4), 222-230.
- Sanchez, J. (2020). The great success of Javi Guerra, the marathoner who broke up with Adidas to run with the “magic” Vaporly. *Teller Report*. Ανακτήθηκε 10 Νοεμβρίου, 2020, από <https://www.tellerreport.com/sports/2020-02-23---the-great-success-of-javi-guerra--the-marathoner-who-broke-up-with-adidas-to-run-with-the--magic-vaporlly.rkjorDeV8.html>.
- Sleivert, G. G., & Rowlands, D. S. (1996). Physical and physiological factors associated with success in the triathlon. *Sports Medicine*, 22(1), 8-18.
- Stefanyshyn, D., & Fusco, C. (2004). Increased shoe bending stiffness increases sprint performance. *Sport Biomechanics*, 3(1), 55-66.
- Stefanyshyn, D. J., & Nigg, B. M. (1997). Mechanical energy contribution of the metatarsophalangeal joint to running and sprinting. *Journal of Biomechanics*, 30(11-12), 1081-1085.
- Studel-Numbers, K. L., Weaver, T. D., & Wall-Scheler, C. M. (2007). The evolution of human running: effects of changes in lower-limb length on locomotor economy. *Journal of Human Evolution*, 53(2), 191-196.
- Sun, X., Lam, W. K., Zhang, X., Wang, J., & Fu, W. (2020). Systematic review of the role of footwear constructions in running biomechanics: implications for running-related injury and performance. *Journal of Sport Science and Medicine*, 19(1), 20-37.
- Wang, L., Hong, Y., & Li, J. X. (2012). Durability of running shoes with ethylene vinyl acetate or polyurethane midsoles. *Journal of Sports Science*, 30(16), 1787-1792.
- Weston, A. R., Mbambo, Z., & Myburgh, K. H. (2000). Running economy of African and Caucasian distance runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(6), 1130-1134.
- Weyand, P. G. (2020). Now A foot: engineered running economy. *Journal of Applied Physiology*, 128(4), 1083.
- Wilber, R. L., & Pitsiladis, Y. P. (2012). Kenyan and Ethiopian distance runners: what makes them so good?. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 7(2), 92-102.
- Wood, D. W. (1972). An experimental test of the Puma Model Number 296 Brush Spike Shoe and the Mexico Puma Model Number 295 Standard Four Spike shoe as to their effect on sprint running. Ohio University.
- Wong, K. (2019). The Puma shoe that upended the 1968 Olympics and threatened Adidas. *Sports Illustrated*. Ανακτήθηκε 24 Σεπτεμβρίου, 2020, από <https://www.si.com/track-and-field/2019/11/15/puma-shoe-upended-1968-olympics>.
- World Athletics. Amendment to development shoe rules in international competitions. Ανακτήθηκε 31 Δεκεμβρίου, 2020, από <https://www.worldathletics.org/news/press-releases/amendment-to-development-shoe-rules-in-international-competitions>.
- World Athletics. World Athletics modifies rules governing competition shoes for elite athletes. Ανακτήθηκε 17 Φλεβάρη, 2020, από <https://www.worldathletics.org/news/press-release/modified-rules-shoes>.

Υπεύθυνος έκδοσης: Ελληνική Ακαδημία Φυσικής Αγωγής. **Υπεύθυνη συντακτικής επιτροπής:** Όλγα Κούλη. **Επιμελητές έκδοσης:** Θεοδωράκης Γιάννης, Βάσω Ζήση, Βασίλης Γεροδήμος, Αντώνης Χατζηγεωργιάδης, Θανάσης Τσιόκανος, Αθανάσιος Τζιμαμούρτας, Γιώργος Τζέτζης, Θωμάς Κουρτέσης, Ευάγγελος Αλμπανιδής, Κων/να Δίπλα. **Διαχείριση-επιμέλεια-στοιχειοθεσία:** Ευάγγελος Γαλάνης, Χαράλαμπος Κρομμύδας, Βασίλης Μπούγλας.

Editor -in- Chief: Hellenic Academy of Physical Education. **Head of the editorial board:** Olga Kouli. **Editorial Board:** Theodorakis Giannis, Vaso Zissi, Vasilis Gerodimos, Antonis Chatzigeorgiadis, Thanassis Tsiokanos, Athanasios Jamurtas, Giorgos Tzetzis, Thomas Kourtessis, Evangelos Albanidis, Konstantina Dipla. **Editorial management:** Evangelos Galanis, Haralampos Krommidas, Vasilis Bouglas.