



Ρυθμός Εφαρμογής της Δύναμης: Αλλαγές Μετά Από Μακροχρόνια Προπόνηση και Συσχέτιση με την Αγωνιστική Επίδοση σε Αθλητές και Αθλήτριες της Άρσης Βαρών

Ζάρας Νικόλαος

Επίκουρος Καθηγητής, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Τμήμα Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο ρυθμός εφαρμογής της δύναμης (ΡΕΔ) αποτελεί μια παράμετρο που αξιολογεί τη δύναμη που μπορεί να παραχθεί στην αρχική φάση της μυϊκής συστολής και σε χρόνους από 0 μέχρι 250 milliseconds. Ο ΡΕΔ είναι σημαντικός σε αγωνίσματα στα οποία οι μυϊκές προσπάθειες είναι χρονικά μικρές και στηρίζονται στην παραγωγή υψηλής μυϊκής ισχύος, όπως η άρση βαρών. Η άρση βαρών αποτελείται από δύο αγωνιστικές κινήσεις, το Αρασέ και το Επολέ Ζετέ. Οι αθλητές/τριες προσπαθούν να σηκώσουν τα φορτία με μέγιστη ταχύτητα, παράγοντας υψηλές τιμές ισχύος, χωρίς ωστόσο να είναι ξεκάθαρος ο ρόλος του ΡΕΔ κατά την απόδοση. Σκοπός της ανασκόπησης είναι να διερευνηθεί η αλλαγή που προκύπτει στον ΡΕΔ μετά από μακροχρόνια προπόνηση άρσης βαρών, καθώς και να αξιολογηθεί η συσχέτιση του ΡΕΔ με την επίδοση στην άρση βαρών. Στην ανασκόπηση συμπεριλήφθηκαν 9 εργασίες με τη συμμετοχή μόνο αθλητών και αθλητριών της άρσης βαρών. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο ΡΕΔ και η επίδοση αυξάνονται ως αποτέλεσμα της προπόνησης, ενώ οι συντελεστές συσχέτισης ανάμεσα σε ΡΕΔ και επίδοση είναι μέτριοι προς μεγάλοι. Ο ΡΕΔ μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης αξιολόγησης των νευρομυϊκών προσαρμογών των αθλητών/τριών, ωστόσο, άλλοι παράγοντες, όπως η δύναμη και η ισχύς, φαίνεται να συνεισφέρουν περισσότερο στην αγωνιστική επίδοση.

Λέξεις κλειδιά: Μυϊκή ισχύς, καμπύλη δύναμης-χρόνου, σύντομη παραγωγή δύναμης

Εισαγωγή

Η άρση βαρών είναι ένα αγώνισμα ισχύος που αποτελείται από δύο βασικές κινήσεις: το Αρασέ και το Επολέ Ζετέ. Η επίδοση στην άρση βαρών στηρίζεται σε πολλούς παράγοντες. Συγκεκριμένα, η υψηλή παραγωγή μυϊκής ισχύος (Zaras et al., 2022), αλλά και ο συνδυασμός υψηλής δύναμης με αποτελεσματική τεχνική (Storey & Smith, 2012), είναι βασικοί προσδιοριστές της επίδοσης. Μολονότι η μυϊκή ισχύς (Carlock et al., 2004) και η μέγιστη δύναμη (Stone et al., 2005), είναι βασικοί

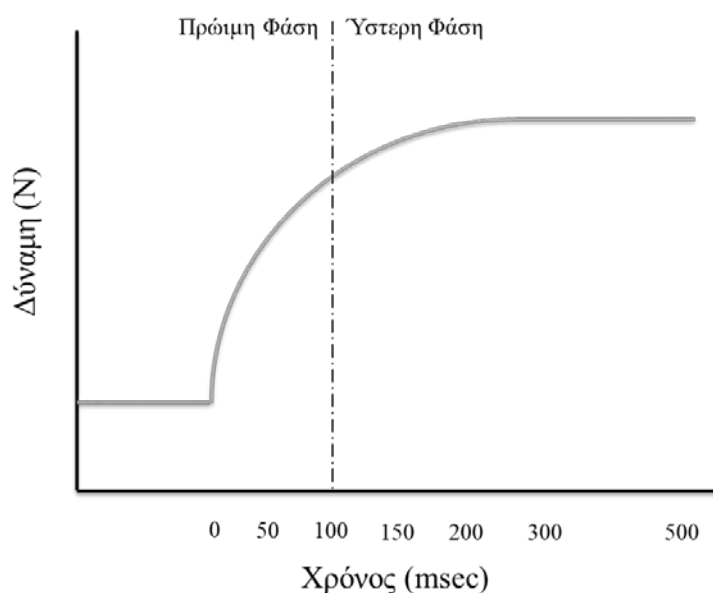
Διεύθυνση αλληλογραφίας:

Ζάρας Νικόλαος
Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης
Τμήμα Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού
Πανεπιστημιούπολη, 69100 Κομοτηνή
nzaras@phyed.duth.gr

E-mail:

παράγοντες που επηρεάζουν την επίδοση, ο ρόλος του ρυθμού εφαρμογής της δύναμης (ΡΕΔ) στην άρση βαρών έχει δεχτεί μικρότερο ερευνητικό ενδιαφέρον.

Ο ΡΕΔ είναι μια παράμετρος που αξιολογεί τη δύναμη που μπορεί να παράγει ένας αθλητής κατά την έναρξη της μυϊκής προσπάθειας, σε χρονικές περιόδους από 0 μέχρι 250 milliseconds (msec) και υπολογίζεται από την καμπύλη δύναμης-χρόνου (Aagaard et al., 2002) (Σχήμα 1). Σε τόσο μικρά χρονικά διαστήματα είναι αδύνατο για έναν αθλητή/τρια να εφαρμόσει την μέγιστη δύναμή του. Άρα θεωρητικά, όσο μεγαλύτερο μέρος της δύναμης εφαρμόζεται, τόσο υψηλότερη θα είναι και η επίδοση. Από πλευράς μηχανικής, ο ΡΕΔ μπορεί να αξιολογηθεί με δυναμικές και ισομετρικές δοκιμασίες. Η πιο γνωστή δοκιμασία αξιολόγησης του ΡΕΔ σε αθλητές της άρσης βαρών είναι οι ισομετρικές έλξεις μπάρας από τους μηρούς (Haff et al., 2008). Πρόκειται για μια δοκιμασία που προσομοιάζει την κίνηση του τραβήγματος της μπάρας στην άρση βαρών. Στην βιβλιογραφία υπάρχουν κι άλλες δοκιμασίες που αξιολογούν τον ΡΕΔ σε αθλητές/τριες της άρσης βαρών, όπως οι ισομετρικές και δυναμικές εκτάσεις του τετρακέφαλου σε ισοκινητικό μηχάνημα (Ince & Ulupinar, 2020), καθώς και οι ισομετρικές ωθήσεις κάτω άκρων από εδραία θέση (Zaras et al., 2020, Kelekian et al., 2022). Ωστόσο, οι αθλητές/τριες της άρσης βαρών είναι περισσότερο εξοικειωμένοι με πολυαρθρικές ασκήσεις (π.χ. έλξης μπάρας από τους μηρούς), οπότε οι μονοαρθρικές δοκιμασίες του ΡΕΔ (π.χ. έκταση τετρακέφαλου στο ισοκινητικό), ίσως να μην είναι αντιπροσωπευτικές δοκιμασίες. Σε όλες όμως τις δοκιμασίες, γίνεται αξιολόγηση του νευρομυϊκού συστήματος για την εκτίμηση των προπονητικών προσαρμογών και της ετοιμότητας των αθλητών/τριών για αγώνα.



Σχήμα 1. Ενδεικτική καμπύλη δύναμης-χρόνου, όπου υπολογίζεται ο ρυθμός εφαρμογής της δύναμης. Η καμπύλη μπορεί να χωριστεί σε δύο φάσεις, την πρώιμη φάση (0-100msec) κι την ύστερη φάση (100-250msec).

Ο ΡΕΔ καθορίζεται και από πολλούς βιολογικούς παράγοντες. Πιο συγκεκριμένα, η καμπύλη του ΡΕΔ μπορεί να χωριστεί σε δύο φάσεις: την πρώιμη (0-100msec) και την ύστερη φάση (100-250msec) (Maffiuletti et al., 2016). Στην πρώιμη φάση σημαντικό ρόλο φαίνεται να έχουν η νευρική ενεργοποίηση και οι τύπου ΙΙx μυϊκές ίνες (Methenitis et al., 2019), ενώ στην ύστερη φάση σημαντικό ρόλο φαίνεται να έχουν το μέγεθος της μυϊκής μάζας και η μέγιστη δύναμη (Methenitis et al., 2019, Zaras et al., 2016). Η μακροχρόνια προπόνηση της άρσης βαρών φαίνεται να προκαλεί σημαντικές

αλλαγές σε αυτές τις παραμέτρους, ωστόσο, τα δεδομένα είναι ελάχιστα για τις αλλαγές που προκαλούνται στον ΡΕΔ μετά από μακροχρόνια προπόνηση σε αθλητές και αθλήτριες άρσης βαρών. Επιπρόσθετα, στο αγώνισμα της άρσης βαρών ο ΡΕΔ έχει ιδιαίτερο ρόλο στο δεύτερο τράβηγμα της μπάρας, που εντοπίζεται όταν η μπάρα βρεθεί στην κορυφή των επιγονατίδων μέχρι το ανώτερο ύψος των ισχίων, όπου τελειώνει το δεύτερο τράβηγμα (Storey & Smith, 2012). Σε αυτή τη φάση της άρσης, παρατηρούνται οι υψηλότερες τιμές ισχύος σε σύγκριση με όλα τα αθλήματα (Garhammer, 1980), ενώ η διάρκειά της κυμαίνεται από 150 μέχρι 200 msec (Campos et al., 2006, Isaka et al., 1996). Πρακτικά, ο ΡΕΔ φαίνεται να έχει σημαντικό ρόλο στην επίδοση της άρσης βαρών, ωστόσο, ελάχιστες είναι οι μελέτες που έχουν διερευνήσει τις αλλαγές μετά από μακροχρόνια προπόνηση και την συσχέτιση του ΡΕΔ με την επίδοση.

Σκοπός της ανασκόπησης είναι να συγκεντρώσει τις μελέτες που έχουν διερευνήσει τις αλλαγές στον ΡΕΔ μετά από μακροχρόνια προπόνηση και να παρουσιάσει τις συσχετίσεις ανάμεσα στον ΡΕΔ με την επίδοση σε αθλητές και αθλήτριες της άρσης βαρών. Η σημαντικότητα της ανασκόπησης έγκειται στον προσδιορισμό των αλλαγών στον ΡΕΔ που συνοδεύουν την επίδοση καθώς και την πιθανή χρήση του ΡΕΔ ως εργαλείο πρόβλεψης της επίδοσης στην άρση βαρών.

Μέθοδος

Συμμετέχοντες

Βασικό κριτήριο της ανασκόπησης ήταν η συμμετοχή αθλητών και αθλητριών της άρσης βαρών με προπονητική και αγωνιστική εμπειρία. Άρα, όπως αναφέρεται και στα κριτήρια επιλογής άρθρων στις διαδικασίες, στη μελέτη συμμετείχαν αθλητές και αθλήτριες διαφόρων επιπέδων, από κολεγιακού επιπέδου (Suarez et al., 2019), μέχρι και αθλητές των Εθνικών ομάδων (Häkkinen et al., 1987). Στη μελέτη συμμετείχαν αθλητές και αθλήτριες χωρίς περιορισμό ηλικίας.

Διαδικασία

Η συγκέντρωση και ανασκόπηση των δημοσιευμένων άρθρων ξεκίνησε τον Μάιο του 2024 και ολοκληρώθηκε τον Ιούνιο του 2024. Η αναζήτηση των άρθρων έγινε στις επιστημονικές βάσεις του Google Scholar, PubMed και Scopus. Οι λέξεις κλειδιά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ο όρος “weightlifting” σε συνδυασμό με “Olympic Games”, “rate of force development”, “long-term training”, “post-activation potentiation”, “training” και “athletes”. Τα κριτήρια της εισδοχής των άρθρων στην ανασκόπηση ήταν: α) άρθρα από διεθνή περιοδικά, β) γραμμένα στην Αγγλική γλώσσα, και γ) να συμμετέχουν αθλητές και αθλήτριες της άρσης βαρών με αγωνιστική εμπειρία. Επιπρόσθετα, μελέτες προπόνησης και συσχέτισης συμπεριλήφθησαν στην ανασκόπηση.

Αποτελέσματα

Η ανασκόπηση της βιβλιογραφίας κατέληξε στον εντοπισμό συνολικά 9 ερευνών (Anastasiou et al., 2023; Beckham et al., 2013; Haff et al., 2005; Haff et al., 2008; Häkkinen et al., 1987; Hornsby et al., 2017; Suarez et al., 2019; Zaras et al., 2020; Kelekian et al., 2022). Στις έρευνες αυτές συμμετείχαν αθλητές και αθλήτριες διαφόρων επιπέδων με σημαντική προπονητική και αγωνιστική εμπειρία στην άρση βαρών. Στην ανασκόπηση συμπεριλήφθησαν και μελέτες με μεικτά δείγματα (αθλητές και αθλήτριες). Για τη διερεύνηση της επίδρασης της μακροχρόνιας προπόνησης της άρσης βαρών στον ΡΕΔ, εντοπίστηκαν αποτελέσματα από 5 σχετικές εργασίες. Στον Πίνακα 1

παρουσιάζονται αναλυτικά οι συμμετέχοντες, η διάρκεια προπόνησης, οι αλλαγές σε επίδοση και ΡΕΔ καθώς και περιληπτικά τα κύρια ευρήματα. Αντίστοιχα, για τη διερεύνηση της συσχέτισης του ΡΕΔ με την επίδοση στην άρση βαρών εντοπίστηκαν δεδομένα από 6 ερευνητικές εργασίες. Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται αναλυτικά οι συμμετέχοντες, η μέθοδος αξιολόγησης του ΡΕΔ καθώς και περιληπτικά τα κύρια ευρήματα των μελετών.

Πίνακας 1. Μελέτες που διερεύνησαν τις αλλαγές στην επίδοση και στον ρυθμό εφαρμογής της δύναμης έπειτα από μακροχρόνια προπόνηση.

Μελέτη	Αθλητές/τριες και Επίδοση (Mean $\pm$ Sd)	Διάρκεια Προπόνησης	Αλλαγές στην Επίδοση	Αλλαγές στον ΡΕΔ
Häkkinen et al. (1987)	13 Κορυφαίοι Αθλητές Α.: 120.0 $\pm$ 18.1kg Ε.Ζ.: 147.5 $\pm$ 20.1kg	12 Μήνες	Μικρές μη στατιστικά σημαντικές αλλαγές στην επίδοση στο αρασέ: από 120.0 $\pm$ 18.1kg σε 121.4 $\pm$ 14.6kg και στο επολέ ζετέ: από 147.5 $\pm$ 20.1kg σε 150.0 $\pm$ 20.3kg.	Μικρές αλλαγές παρατηρήθηκαν στον ΡΕΔ στην περίοδο πριν από αγώνες, ωστόσο, δεν βρέθηκε καμία στατιστικά σημαντική διαφορά.
Haff et al. (2008)	6 Κορυφαίες Αθλήτριες Α.: 90.8 $\pm$ 8.0kg Ε.Ζ.: 111.7 $\pm$ 12.7kg Σ.: 202.5 $\pm$ 20.1kg	11 Εβδομάδες	Δεν αναφέρεται.	Ο ισομετρικός ΡΕΔ παρέμεινε αμετάβλητος έπειτα από την προπονητική περίοδο. Ωστόσο, ο ΡΕΔ όπως υπολογίστηκε στο φορτίο των 100kg μειώθηκε σημαντικά από την εβδομάδα 1 στην εβδομάδα 5 (-4.4%) ενώ την εβδομάδα 3 ήταν υψηλότερος από την εβδομάδα 5 (-3.4%).
Hornsby et al. (2017)	3 Αθλητές Α.: 106.5 $\pm$ 31.8kg Ε.Ζ.: 132.0 $\pm$ 31.8kg 4 Αθλήτριες Α.: 55.3 $\pm$ 6.4kg Ε.Ζ.: 69.0 $\pm$ 8.5kg	20 Εβδομάδες	Η επίδοση αυξήθηκε σε αθλητές και αθλήτριες, ωστόσο, δεν αναφέρεται το μέγεθος της αύξησης.	Βρέθηκε στατιστική τάση να αυξάνεται ο ΡΕΔ μετά το φορμάρισμα για τους αθλητές κατά 9,25% και για τις αθλήτριες κατά 5,88%. Ωστόσο, ο ΡΕΔ μειώθηκε για όλους τους συμμετέχοντες στο τέλος του προπονητικού προγράμματος.
Suarez et al. (2019)	5 Αθλητές Α.: 117.6 $\pm$ 8.2kg Ε.Ζ.: 147.8 $\pm$ 13.6kg 4 Αθλήτριες Α.: 69.3 $\pm$ 8.0kg Ε.Ζ.: 90.8 $\pm$ 10.1kg	11 Εβδομάδες	Δεν αναφέρεται.	Καμία σημαντική μεταβολή δεν βρέθηκε για τον ΡΕΔ. Ωστόσο, βρέθηκαν υψηλά effect sizes για τον ΡΕΔ _{50msec} (d= 0.87), για τον ΡΕΔ _{100msec} (d= 0.69) και μικρότερες πιθανές αλλαγές για τον ΡΕΔ _{150msec} (d= 0.40).
Zaras et al. (2020)	6 Κορυφαίοι Αθλητές Α.: 146.7 $\pm$ 15.4kg Ε.Ζ.: 179.4 $\pm$ 22.1kg Σ.: 326.1 $\pm$ 37.1kg	16 Εβδομάδες	Η επίδοση αυξήθηκε για το αρασέ κατά 4.7 $\pm$ 3.1%, για το επολέ ζετέ κατά 4.3 $\pm$ 3.9% και για το σύνολο κατά 4.4 $\pm$ 3.4%.	Ο ΡΕΔ παρέμεινε αμετάβλητος για τα χρονικά παράθυρα από 0-30msec έως 0-150msec. Ωστόσο, αυξήθηκε σημαντικά στα χρονικά παράθυρα από 0-200msec (από 15197 $\pm$ 3890 σε 16598 $\pm$ 4580 N·s ⁻¹) και 0-250msec (από 12894 $\pm$ 3150 σε 14162 $\pm$ 3805 N·s ⁻¹).
Περιγραφή συντομογραφιών: Mean $\pm$ SD = Μέση τιμή και τυπική απόκλιση, ΡΕΔ = Ρυθμός εφαρμογής της δύναμης, Α. = Αρασέ, Ε.Ζ. = Επολέ Ζετέ, Σ. = Σύνολο, d = Cohen's d effect size.				

Πίνακας 2. Αποτελέσματα μελετών που διερεύνησαν την συσχέτιση ανάμεσα στον ρυθμό εφαρμογής της δύναμης με την επίδοση στην άρση βαρών.

Μελέτη	Αθλητές/τριες και Επίδοση στην Άρση Βαρών (Mean ± Sd)	Μέθοδος Αξιολόγησης ΡΕΔ	Κύρια Ευρήματα
Haff et al. (2005)	5 Κορυφαίες Αθλήτριες A.: 90.8 ± 8.0kg E.Z.: 111.7 ± 12.7kg	Ισομετρικές Έλξεις Μπάρας Από τους Μηρούς	Η μελέτη έδειξε σημαντικές συσχετίσεις ανάμεσα στον ΡΕΔ με το αρασέ ($r = 0.79$), το επολέ ζετέ ($r = 0.69$) και το σύνολο ($r = 0.80$). Υψηλές συσχετίσεις βρέθηκαν ανάμεσα στον κορυφαίο ΡΕΔ κατά την έλξη μπάρας με σταθερό φορτίο 100kg, με το αρασέ ($r = 0.82$), το επολέ ζετέ ($r = 0.51$) και το σύνολο ($r = 0.69$).
Beckham et al. (2013)	10 Αθλητές A.: 97.3 ± 17.2kg E.Z.: 125.3 ± 20.8kg Σ.: 222.6 ± 37kg 2 Αθλήτριες A.: 53.0 ± 7.1kg E.Z.: 65.0 ± 14.1kg Σ.: 118.0 ± 21.2kg	Ισομετρικές Έλξεις Μπάρας Από τους Μηρούς	Η μελέτη έδειξε ότι ο κορυφαίος ΡΕΔ είχε μέτριες συσχετίσεις με το αρασέ ($r = 0.426$), το επολέ ζετέ ($r = 0.360$) και το σύνολο ($r = 0.390$). Παρόμοια, μέτριες συσχετίσεις βρέθηκαν ανάμεσα στον ΡΕΔ _{0-100msec} με την επίδοση (εύρος r από 0.376 σε 0.542), ανάμεσα στον ΡΕΔ _{0-150msec} με την επίδοση (εύρος r από 0.405 σε 0.536) και ανάμεσα στον ΡΕΔ _{0-200msec} με την επίδοση στο αρασέ ($r = 0.645$) και στο σύνολο ($r = 0.603$).
Hornsby et al. (2017)	3 Αθλητές A.: 106.5 ± 31.8kg E.Z.: 132.0 ± 31.8kg 4 Αθλήτριες A.: 55.3 ± 6.4kg E.Z.: 69.0 ± 8.5kg	Ισομετρικές Έλξεις Μπάρας Από τους Μηρούς	Η μελέτη έδειξε σημαντικές συσχετίσεις σε όλες τις περιόδους μέτρησης της επίδοσης με τον ΡΕΔ, που κυμαίνονταν από 0.62 μέχρι 0.76.
Kelekian et al. (2022)	8 Αθλήτριες A.: 57.9 ± 11.7kg E.Z.: 73.3 ± 15.2kg Σ.: 131.1 ± 26.9kg	Ισομετρικές Πιέσεις Από Εδραία Θέση	Η μελέτη διερεύνησε τη σχέση ανάμεσα σε ΡΕΔ (σε διαφορετικά χρονικά παράθυρα) με την επίδοση στο επολέ έπειτα από τρεις διαφορετικές παρεμβάσεις. Βρέθηκαν μέτριες προς μεγάλες συσχετίσεις ανάμεσα σε ΡΕΔ και επίδοση που κυμαίνονταν από 0.446 μέχρι 0.655, σε όλες τις παρεμβάσεις.
Zaras et al. (2020)	6 Κορυφαίοι Αθλητές A.: 146.7 ± 15.4kg E.Z.: 179.4 ± 22.1kg Σ.: 326.1 ± 37.1kg	Ισομετρικές Πιέσεις Από Εδραία Θέση	Η μελέτη έδειξε χαμηλές προς μεγάλες συσχετίσεις ανάμεσα σε ΡΕΔ (σε διαφορετικά χρονικά παράθυρα), με την επίδοση στο αρασέ (πριν: 0.245 έως 0.614, μετά: 0.612 έως 0.698), με το επολέ ζετέ (πριν: 0.396 έως 0.740, μετά: 0.693 έως 0.758) και με το σύνολο (πριν: 0.335 to 0.690, μετά: 0.660 έως 0.733).
Anastasiou et al. (2023)	7 Αθλητές A.: 100.1 ± 11.2kg E.Z.: 124.0 ± 16.0kg Σ.: 242.1 ± 26.1kg	Εκτάσεις Τετρακέφαλου σε Ισοκινητικό	Η μελέτη έδειξε μικρές προς μεγάλες συσχετίσεις ανάμεσα τον ΡΕΔ (σε διαφορετικά χρονικά παράθυρα) με το αρασέ (εύρος από 0.315 έως 0.766), με το επολέ ζετέ (εύρος από 0.349 έως 0.735) και με το σύνολο (εύρος από 0.352 έως 0.735).
Περιγραφή συντομογραφιών: Mean ± SD = Μέση τιμή και τυπική απόκλιση, ΡΕΔ = Ρυθμός εφαρμογής της δύναμης, A. = Αρασέ, E.Z. = Επολέ Ζετέ, Σ. = Σύνολο, r = Συντελεστής συσχέτισης r -Pearson.			

Συζήτηση

Ο ΡΕΔ είναι μια παράμετρος που αξιολογεί την ικανότητα του/της αθλητή/τριας να εφαρμόσει μεγάλο μέρος της δύναμής του στην αρχική φάση της μυϊκής συστολής. Ωστόσο, τα ερευνητικά δεδομένα αναφορικά με τις προπονητικές προσαρμογές που προκαλούνται στον ΡΕΔ αλλά και τις πιθανές συσχετίσεις με την επίδοση στην άρση βαρών είναι ελάχιστα. Η ανασκόπηση της βιβλιογραφίας εντόπισε 9 συνολικά εργασίες, εκ των οποίων οι 5 διερεύνησαν τις αλλαγές του ΡΕΔ μετά από μακροχρόνια προπόνηση και οι 6 τη συσχέτιση του ΡΕΔ με την επίδοση στις αγωνιστικές κινήσεις. Τα κύρια ευρήματα της ανασκόπησης είναι: α) ο ΡΕΔ φαίνεται να μεταβάλλεται κυρίως στην ύστερη φάση ($> 100\text{msec}$) και ειδικά πλησιάζοντας τους αγώνες, και β) οι συσχετίσεις ανάμεσα στον ΡΕΔ και στην αγωνιστική επίδοση είναι μέτριες προς μεγάλες είτε για αθλητές είτε για αθλήτριες. Τα αποτελέσματα αυτά προτείνουν ότι ο ΡΕΔ μπορεί να ενισχυθεί λίγο πριν από αγώνες με αλλαγές στα συστατικά της προπόνησης (κυρίως με αύξηση στην προπονητική ένταση), ενώ μπορεί να αποτελέσει ένα καλό δείκτη αξιολόγησης της νευρομυϊκής κατάστασης των αθλητών αλλά μέτριο δείκτη για την πρόβλεψη της αγωνιστικής επίδοσης.

Η μακροχρόνια προπόνηση προκαλεί σημαντικές αλλαγές στη δύναμη και κατά συνέπεια στην αθλητική επίδοση στην άρση βαρών. Το σύνολο των ερευνών έδειξε ότι η επίδοση στις αγωνιστικές κινήσεις αυξάνεται σημαντικά έπειτα από μακροχρόνια προπόνηση. Ωστόσο, μία μελέτη σε κορυφαίους αθλητές εθνικών ομάδων φαίνεται να έχει διφορούμενα αποτελέσματα. Μελέτη προπόνησης διάρκειας 1 έτους, προκάλεσε μόνο μικρές αλλαγές (μη στατιστικά σημαντικές) στην επίδοση. Στη μελέτη αυτή συμμετείχαν αθλητές εθνικής ομάδας με ήδη αρκετά υψηλή επίδοση (Häkkinen et al., 1987). Σε αντίθεση, μελέτη σε κορυφαίους Έλληνες αθλητές της εθνικής ομάδας έδειξε ότι 16 εβδομάδες προπόνησης μπορούν να αυξήσουν σημαντικά την επίδοση των αθλητών (Zaras et al., 2020), ενώ σε αθλήτριες υψηλού επιπέδου δεν αναφέρθηκε η αλλαγή στην επίδοση (Haff et al., 2008), δημιουργώντας ένα σημαντικό κενό στη βιβλιογραφία αναφορικά με την επίδραση της μακροχρόνιας προπόνησης στην επίδοση σε γυναίκες αθλήτριες. Οι πιο καλά γυμνασμένοι αθλητές/τριες είναι πιο δύσκολο να βελτιωθούν μετά από μακροχρόνια προπόνηση, ειδικά στο άθλημα της άρσης βαρών όπου οι κατηγορίες σωματικής μάζας και η μονοτονία της προπόνησης περιορίζουν την περαιτέρω ανάπτυξη της άλιπης μάζας που φαίνεται να συνδέεται άμεσα με την παραγωγή υψηλής δύναμης (Zaras et al., 2020; Tromaras et al., 2024). Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια η χρήση νέων προπονητικών μεθόδων, με την πλειομετρική προπόνηση και τους μικρούς δρόμους ταχύτητας να παίρνουν σημαντικό ρόλο στην προπόνηση, σε συνδυασμό με την αποτελεσματικότερη χρήση της περιοδικότητας της προπόνησης (Stone et al., 2021), μπορούν να προκαλέσουν υψηλότερες προσαρμογές στην επίδοση είτε σε μέτριου επιπέδου αθλητές (Hornsby et al., 2017), είτε ακόμη και σε αθλητές εθνικών ομάδων (Zaras et al., 2020). Πρακτικά, οι προπονητές πρέπει να σχεδιάζουν τα προπονητικά προγράμματα με τις αρχές του περιοδισμού, με χρήση ποικίλων μεθόδων προπόνησης (π.χ. έκκεντρη άσκηση, πλειομετρική, προπόνηση υπερτροφίας κ.α.) και να αυξάνουν προοδευτικά την επιβάρυνση, ειδικά στο άθλημα της άρσης βαρών όπου η προπονητική μονοτονία είναι αρκετά υψηλή.

Ένα σημαντικό εύρημα της ανασκόπησης ήταν οι θετικές μεταβολές του ΡΕΔ ειδικά όταν πλησιάζουν οι αγώνες. Ένας βασικός προπονητικός χειρισμός κατά την περίοδο των αγώνων είναι η μείωση του προπονητικού όγκου, η συντήρηση της έντασης σε υψηλά επίπεδα μέχρι περίπου 6 ημέρες πριν τον αγώνα και έπειτα η προοδευτική μείωση όλων των συστατικών της προπόνησης

μέχρι τον αγώνα (Winwood et al., 2023). Αυτοί οι χειρισμοί προκαλούν σημαντικές μειώσεις στην κόπωση και στο προπονητικό στρες των αθλητών/τριών με αποτέλεσμα να προκαλείται αυξημένη ετοιμότητα πριν τον αγώνα. Η αξιολόγηση του ΡΕΔ στις μελέτες που βρέθηκαν, έγινε με δοκιμασίες έκτασης τετρακέφαλου σε ισοκινητικό μηχάνημα, με δυναμικές και ισομετρικές έλξεις μπάρας στους μηρούς και με ισομετρικές πιέσεις κάτω άκρων από εδραία θέση. Αυτές οι δοκιμασίες έχουν υψηλή εγκυρότητα και αξιοπιστία, όμως πέρα από τις ισομετρικές και δυναμικές έλξεις μπάρας στους μηρούς οι υπόλοιπες δεν εξασκούνται αρκετά από τους αθλητές/τριες της άρσης βαρών. Έτσι, μολονότι στην κλασική μελέτη των Häkkinen και συν. (1987), δεν βρέθηκε στατιστικά σημαντική αύξηση στον ΡΕΔ, αξίζει να σημειωθεί ότι οι συγγραφείς αναφέρουν μια ελαφριά θετική μετατόπιση της καμπύλης δύναμης-χρόνου όταν η προπονητική ένταση αυξήθηκε πριν από αγώνες. Η απουσία αλλαγών στον ΡΕΔ ίσως να είναι αποτέλεσμα και της μεθόδου αξιολόγησης που έγινε μέσω ισομετρικής έκτασης τετρακέφαλου σε ισοκινητικό μηχάνημα. Αυτή η άσκηση είναι μονοαρθρική και δεν εκφράζει απόλυτα το κινητικό πρότυπο που εκτελούν οι αθλητές στην προπόνηση και στους αγώνες (Anastasiou et al., 2032). Σε κορυφαίους αθλητές οι αλλαγές στον ΡΕΔ έγιναν πιο ξεκάθαρες όταν μερικές ημέρες μετά το Πανελλήνιο πρωτάθλημα ο ΡΕΔ ήταν ενισχυμένος σε χρονικά παράθυρα 0-200 και 0-250msec που αντιστοιχούν περίπου στη χρονική διάρκεια του δεύτερου τραβήγματος (Zaras et al., 2020). Τα δεδομένα αυτά επαληθεύονται και σε κορυφαίες αθλήτριες, όπου 11 εβδομάδες προπόνησης με στόχο τη συμμετοχή των αθλητριών στους Παναμερικανικούς αγώνες, οδήγησαν σε σημαντικές αυξήσεις του ΡΕΔ ειδικά με ένα υψηλό φορτίο (100kg), που αντιστοιχεί περισσότερο και στην αθλητική πρακτική (Haff et al., 2008). Αντίστοιχα δεδομένα προκύπτουν και από αθλητές/τριες χαμηλότερου επιπέδου όπου λίγο πριν το μπλοκ των αγώνων, ο ΡΕΔ αυξήθηκε σημαντικά (Hornsby et al., 2017). Σε αυτές τις μελέτες ο ΡΕΔ αξιολογήθηκε μέσω πολυαρθρικών δοκιμασιών που φαίνεται να συνδέονται καλύτερα με την επίδοση. Από τα παραπάνω είναι σαφές ότι ο ΡΕΔ αντικατοπτρίζει τις αλλαγές στην προπονητική ένταση ειδικά πριν τους αγώνες. Οπότε, για την ενίσχυση του ΡΕΔ και την αυξημένη ετοιμότητα των αθλητών/τριών πριν από αγώνες, προτείνεται η αύξηση στην προπονητική ένταση και η μείωση του προπονητικού όγκου.

Ο ΡΕΔ φάνηκε να μην συνδέεται πολύ υψηλά με την αγωνιστική επίδοση στην άρση βαρών. Οι υψηλότερες συσχετίσεις βρέθηκαν με τις πολυαρθρικές ασκήσεις (ισομετρικές ωθήσεις κάτω άκρων και έλξεις μπάρας από τους μηρούς), σε σύγκριση με την μονοαρθρική άσκηση των ισομετρικών εκτάσεων τετρακέφαλου στο ισοκινητικό μηχάνημα. Στην αρχική μελέτη των Haff και συν. (2005), όπου διερευνήθηκε για πρώτη φορά η σύνδεση ανάμεσα σε ΡΕΔ και άρση βαρών, βρέθηκαν σημαντικά υψηλές συσχετίσεις σε κορυφαίες αθλήτριες. Αυτή η μελέτη λόγω του μικρού αριθμού των αθλητριών ίσως να μην έδωσε ασφαλή συμπεράσματα καθώς οι συσχετίσεις που έχουν δοθεί είναι οι υψηλότερες σε σύγκριση με τις υπόλοιπες μελέτες. Οπότε, σε μελέτη με μεγαλύτερο δείγμα αθλητών/τριών, αλλά χαμηλότερου επιπέδου επίδοσης, βρέθηκαν πιο χαμηλές συσχετίσεις, μέτριες προς μεγάλες, τονίζοντας ότι το επίπεδο των αθλητών/τριών ίσως να έχει σημαντικό ρόλο στο επίπεδο των συσχετίσεων ανάμεσα σε ΡΕΔ και επίδοση (Beckham et al., 2013). Αντίστοιχα, σε αθλητές/τριες που ακολούθησαν μακροχρόνια προπόνηση, βρέθηκε ότι ο ΡΕΔ συνδέεται σημαντικά με την επίδοση, όμως ακόμη και αυτές οι συσχετίσεις ήταν μέτριες προς μεγάλες (Hornsby et al., 2017). Οι παραπάνω μελέτες αξιολόγησαν τον ΡΕΔ μέσω της δοκιμασίας έλξεων μπάρας στους μηρούς. Όμως, σε μια πιο εύκολη δοκιμασία αξιολόγησης του ΡΕΔ όπως οι ισομετρικές πιέσεις κάτω άκρων, βρέθηκαν παρόμοιες συσχετίσεις. Σε μελέτη που συμμετείχαν αθλήτριες της άρσης βαρών,

βρέθηκαν μέτριες συσχετίσεις ανάμεσα στον ΡΕΔ και στην επίδοση (Kelekian et al., 2022). Αυτή είναι μόλις η δεύτερη εργασία σε αθλήτριες της άρσης βαρών, οπότε τα ευρήματα πρέπει να κριθούν με προσοχή, ενώ το ερευνητικό κενό είναι μεγάλο αναφορικά με τη συσχέτιση του ΡΕΔ με την επίδοση σε αθλήτριες της άρσης βαρών.

Σε μια μελέτη όπου συμμετείχαν κορυφαίοι Έλληνες αθλητές της άρσης βαρών, αξιολογήθηκε η συσχέτιση του ΡΕΔ με την επίδοση πριν και μετά από 16 εβδομάδες προπόνησης. Αξίζει να σημειωθεί ότι η μέτρηση της αγωνιστικής επίδοσης έγινε κατά τη διάρκεια των Πανελληνίων αγώνων, ενώ η εκτίμηση του ΡΕΔ έγινε την εβδομάδα μετά τους αγώνες. Η μελέτη έδειξε σημαντικές συσχετίσεις ανάμεσα σε ΡΕΔ και επίδοση στην άρση βαρών, οι οποίες φάνηκε να είναι πιο ενισχυμένες (μεγάλες αντί για μέτριες) ειδικά κατά τη διάρκεια των αγώνων (Zaras et al., 2020). Οπότε, ο ΡΕΔ ίσως αποτελεί ένα καλό δείκτη εκτίμησης της αγωνιστικής απόδοσης των αθλητών λίγο πριν τους αγώνες. Παρόλο που στη μελέτη συμμετείχαν κορυφαίοι αθλητές, ο αριθμός τους ήταν ιδιαίτερα μικρός. Άρα, περισσότερη έρευνα χρειάζεται για να αντληθούν ασφαλή συμπεράσματα. Τέλος, σε μια πρόσφατη ερευνητική εργασία σε Κύπριους αθλητές της άρσης βαρών, αξιολογήθηκε ο ΡΕΔ σε ισοκινητικό μηχάνημα έκτασης τετρακέφαλου και η επίδοση στην άρση βαρών κατά τη διάρκεια προετοιμασίας για αγώνες. Η μελέτη έδειξε μέτριες προς μεγάλες συσχετίσεις ανάμεσα στον ΡΕΔ με την επίδοση, με τα χρονικά παράθυρα 0-200 και 0-250msec να έχουν τις υψηλότερες συσχετίσεις (Anastasiou et al., 2023). Και πάλι, ο μικρός αριθμός των αθλητών και η μονοαρθρική δοκιμασία αξιολόγησης του ΡΕΔ ίσως περιορίζουν την γενίκευση των δεδομένων σε αθλήτριες ή σε κορυφαίους αθλητές της άρσης βαρών. Ωστόσο, η δοκιμασία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση των προπονητικών προσαρμογών των αθλητών/τριών πριν από αγώνες (Häkkinen et al., 1987).

Από την παραπάνω ανάλυση είναι ξεκάθαρο ότι οι μελέτες που έχουν διερευνήσει τις αλλαγές στον ΡΕΔ μετά από προπόνηση αλλά και τη σύνδεση του ΡΕΔ με την επίδοση, είναι λίγες και το συγκεκριμένο ερώτημα χρειάζεται περισσότερη διερεύνηση. Επίσης, η έρευνα είναι ελάχιστη σε αθλήτριες της άρσης βαρών, ενώ στις λιγιστές μελέτες οι συμμετέχουσες είναι λίγες σε αριθμό. Άρα, περισσότερη έρευνα θα πρέπει να πραγματοποιηθεί σε αθλήτριες. Τέλος, πολλές μελέτες έχουν συγκεντρώσει το ενδιαφέρον τους στον κορυφαίο ΡΕΔ και όχι σε συγκεκριμένα χρονικά παράθυρα της καμπύλης δύναμης-χρόνου. Περισσότερη έρευνα χρειάζεται ώστε να διερευνηθεί η σύνδεση του ΡΕΔ με την επίδοση σε διαφορετικά χρονικά παράθυρα της καμπύλης δύναμης-χρόνου.

Συμπεράσματα

Ο ΡΕΔ αποτελεί μια σημαντική παράμετρο αξιολόγησης των νευρομυϊκών προσαρμογών των αθλητών/τριών μετά από μακροχρόνια προπόνηση. Πράγματι, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι ο ΡΕΔ μπορεί να αυξηθεί με την αύξηση της προπονητικής έντασης και μάλιστα στην προπονητική περίοδο της κορύφωσης της επίδοσης. Αυτές οι αυξήσεις συνοδεύουν την αύξηση της επίδοσης. Άρα, ο ΡΕΔ μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο εκτίμησης της επίδοσης λίγο πριν από αγώνες. Ωστόσο, σε διαφορετικές προπονητικές περιόδους ο ΡΕΔ συνδέεται μέτρια προς υψηλά με την επίδοση, κάτι που δείχνει ότι άλλοι παράγοντες όπως η δύναμη και η ισχύς συνεισφέρουν σημαντικά στην επίδοση.

Βιβλιογραφία

- Anastasiou, G., Hadjicharalambous, M., Terzis, G., & Zaras, N. (2023). Reactive Strength Index, Rate of Torque Development, and Performance in Well-Trained Weightlifters: A Pilot Study. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 8, 161.
- Aagaard, P., Simonsen, E. B., Andersen, J. L., Magnusson, P., & Dyhre-Poulsen, P. (2002). Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *Journal of Applied Physiology*, 93, 1318–1326.
- Beckham, G., Mizuguchi, S., Carter, C., Sato, K., Ramsey, M., Lamont, H., et al. (2013). Relationships of isometric mid-thigh pull variables to weightlifting performance. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 53(5), 573–581.
- Campos, J., Poletaev, P., Cuesta, A., Pablos, C., & Carratalà, V. (2006). Kinematical analysis of the snatch in elite male junior weightlifters of different weight categories. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(4), 843–850.
- Carlock, J. M., Smith, S. L., Hartman, M. J., Morris, R. T., Ciroslan, D. A., Pierce, K. C., et al. (2004). The relationship between vertical jump power estimates and weightlifting ability: a field-test approach. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(3), 534–539.
- Garhammer, J. (1980). Power production by Olympic weightlifters. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 12(1), 54–60.
- Haff, G. G., Carlock, J. M., Hartman, M. J., Kilgore, J. L., Kawamori, N., Jackson, J. R., et al. (2005). Force-time curve characteristics of dynamic and isometric muscle actions of elite women olympic weightlifters. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(4), 741–748.
- Haff, G. G., Jackson, J. R., Kawamori, N., Carlock, J. M., Hartman, M. J., Kilgore, J. L., et al. (2008). Force-time curve characteristics and hormonal alterations during an eleven-week training period in elite women weightlifters. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(2), 433–446.
- Häkkinen, K., Komi, P. V., Alén, M., & Kauhanen, H. (1987). EMG, muscle fibre and force production characteristics during a 1 year training period in elite weight-lifters. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 56, 419–427.
- Hornsby, W. G., Gentles, J. A., MacDonald, C. J., Mizuguchi, S., Ramsey, M. W., & Stone, M. H. (2017). Maximum strength, rate of force development, jump height, and peak power alterations in weightlifters across five months of training. *Sports*, 5(4), 78.
- Ince, I., and Ulupinar, S. (2020). Prediction of competition performance via selected strength-power tests in junior weightlifters. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 60(2), 236–243.
- Isaka, T., Okada, J., & Funato, K. (1996). Kinematic analysis of the barbell during the snatch movement of elite Asian weight lifters. *Journal of applied biomechanics*, 12(4), 508–516.
- Kelekian, G. K., Zaras, N., Stasinaki, A. N., Spiliopoulou, P., Karampatsos, G., Bogdanis, G., & Terzis, G. (2022). Preconditioning strategies before maximum clean performance in female weightlifters. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 36(8), 2318–2321.
- Maffiuletti, N. A., Aagaard, P., Blazevich, A. J., Folland, J., Tillin, N., & Duchateau, J. (2016). Rate of force development: physiological and methodological considerations. *European journal of applied physiology*, 116, 1091–1116.

- Methenitis, S., Spengos, K., Zaras, N., Stasinaki, A. N., Papadimas, G., Karampatsos, G., ... & Terzis, G. (2019). Fiber type composition and rate of force development in endurance-and resistance-trained individuals. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(9), 2388-2397.
- Stone, M. H., Sands, W. A., Pierce, K. C., Carlock, J. O. N., Cardinale, M., & Newton, R. U. (2005). Relationship of maximum strength to weightlifting performance. *Medicine and science in sports & exercise*, 37(6), 1037-1043.
- Stone, M. H., Hornsby, W. G., Haff, G. G., Fry, A. C., Suarez, D. G., Liu, J., ... & Pierce, K. C. (2021). Periodization and block periodization in sports: emphasis on strength-power training—a provocative and challenging narrative. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 35(8), 2351-2371.
- Storey, A., & Smith, H. K. (2012). Unique aspects of competitive weightlifting: performance, training and physiology. *Sports medicine*, 42, 769-790.
- Suarez, D. G., Mizuguchi, S., Hornsby, W. G., Cunanan, A. J., Marsh, D. J., & Stone, M. H. (2019). Phase-specific changes in rate of force development and muscle morphology throughout a block periodized training cycle in weightlifters. *Sports*, 7(6), 129.
- Tromaras, K., Zaras, N., Stasinaki, A. N., Mpampoulis, T., & Terzis, G. (2024). Lean Body Mass, Muscle Architecture and Powerlifting Performance during Preseason and in Competition. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 9(2), 89.
- Winwood, P. W., Keogh, J. W., Travis, S. K., & Pritchard, H. J. (2023). The tapering practices of competitive weightlifters. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 37(4), 829-839.
- Zaras, N., Methenitis, S., Stasinaki, A. N., Spiliopoulou, P., Anousaki, E., Karampatsos, G., et al. (2022). Differences in rate of force development, muscle morphology and maximum strength between weightlifters and track and field throwers. *Applied Sciences*, 12(16), 8031.
- Zaras, N. D., Stasinaki, A. N. E., Methenitis, S. K., Krase, A. A., Karampatsos, G. P., Georgiadis, G. V., et al. (2016). Rate of force development, muscle architecture, and performance in young competitive track and field throwers. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(1), 81-92.
- Zaras, N., Stasinaki, A. N., Spiliopoulou, P., Arnaoutis, G., Hadjicharalambous, M., & Terzis, G. (2020). Rate of force development, muscle architecture, and performance in elite weightlifters. *International journal of sports physiology and performance*, 16(2), 216-223.



Rate of force development: Changes following long-term training and correlations with performance in weightlifting athletes

Zaras Nikolaos

Assistant Professor, Democritus University of Thrace, Department of Physical Education and Sport Science

ABSTRACT

The rate of force development (RFD) evaluates the force that can be produced in short-time periods ranging from 0 to 250 milliseconds. The RFD is an important factor for several power sports, where performance depends on fast and high-power muscle contractions, like the Olympic weightlifting. Olympic weightlifting includes the snatch and the clean and jerk and the main goal of the athletes is lifting the barbell as fast as possible, producing enormous amounts of power. However, the role of RFD on weightlifting performance remains unclear. Therefore, the purpose of this review was to investigate the changes on RFD and weightlifting performance following long-term training and to evaluate the correlation between RFD and weightlifting performance in athletes. The review found 9 studies with the participation of male and female athletes. The results showed that RFD and weightlifting performance increased as a result of long-term training while the correlation coefficients between RFD and weightlifting performance were medium to large. These results suggest that RFD may be used as a tool to evaluate the neuromuscular adaptations of athletes following long-term training, although, other factors like muscle strength and power may have a stronger contribution to weightlifting performance.

Key words: Muscle power, force-time curve, rapid force production

Corresponding address:

Zaras Nikolaos
Democritus University of Thrace
Department of Physical Education and Sport Sciences
University Campus, 69100 Komotini
E-mail: nzaras@phyed.duth.gr