
**Εμβιομηχανική Προσέγγιση του Ελληνικού Παραδοσιακού Χορού:
Τεχνικές και Τεχνολογίες**

Ν. Αγγελούσης

Τ.Ε.Φ.Α.Α., Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης

Εισαγωγή

Η εμβιομηχανική είναι η επιστήμη που ασχολείται με τη μελέτη των εσωτερικών και εξωτερικών δυνάμεων που ενεργούν στο ανθρώπινο σώμα και με τη μελέτη των αποτελεσμάτων της επίδρασης αυτών των δυνάμεων στη διάρκεια των κινήσεων. Οι βασικοί στόχοι της εμβιομηχανικής είναι: η βελτίωση της επίδοσης της κίνησης, η πρόληψη τραυματισμών κατά την εκτέλεση της κίνησης και η αποκατάσταση τους. Οι παραπάνω στόχοι είναι αλληλένδετοι και αλληλοεξαρτώμενοι, με αποτέλεσμα μέσα από την προσπάθεια επίτευξης του ενός στόχου να επιτυγχάνονται σε μεγάλο βαθμό και οι υπόλοιποι.

Η συμβολή της εμβιομηχανικής στην προσπάθεια για την επίτευξη των παραπάνω στόχων έχει δύο κύριες προσεγγίσεις: τη βελτίωση των κινητικών προτύπων (τεχνικής της κίνησης) και τη βελτίωση του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται για την κίνηση. Για τη βελτίωση των κινητικών προτύπων είναι απαραίτητη η μελέτη και βελτιστοποίηση όλων των μηχανικών παραμέτρων της κίνησης, ως αποτέλεσμα της μελέτης και βελτιστοποίησης της ενεργοποίησης και του συγχρονισμού των εμπλεκόμενων μυϊκών ομάδων. Για τη βελτίωση του εξοπλισμού είναι απαραίτητες μελέτες των μηχανικών ιδιοτήτων των υλικών και της συμπεριφοράς αυτών των υλικών κατά τη φόρτιση τους στη διάρκεια της κίνησης.

Ο χορός από εμβιομηχανική άποψη είναι μια σύνθετη κίνηση που περιλαμβάνει πολλές απλές διακριτές κινήσεις οι οποίες εκτελούνται διαδοχικά και εναλλασσόμενα με αρμονία και σύμπτωση με τις επιταγές του ρυθμού και της μουσικής.

Στο μοντέρνο χορό, η συνολική επίδοση, στο βαθμό που εκφράζεται από την επίδοση κάθε επιμέρους διακριτής κίνησης, μπορεί να βελτιωθεί σε μεγάλο βαθμό μέσω εμβιομηχανικών προσεγγίσεων καθώς η ύπαρξη ενός σαφούς και ορισμένου κινητικού προτύπου για κάθε επιμέρους κίνηση, ορίζει ευκρινώς το στόχο της εμβιομηχανικής παρέμβασης. Για το λόγο αυτό οι εμβιομηχανικές μελέτες του μοντέρνου χορού εμφανίζονται ήδη από τα μέσα του 1960 (Kneeland, 1966) και εντείνονται ιδιαίτερα μετά το 1970 (Krasnow, Wilmerding, Stecyk, Wyon & Koutedakis, 2011) αξιοποιώντας τις εξελίξεις της τεχνολογίας στην εμβιομηχανική έρευνα. Οι εμβιομηχανικές μελέτες του μοντέρνου χορού διαπραγματεύονται θέματα που σχετίζονται με την εκτέλεση των χορευτικών κινήσεων, όπως η ευθυγράμμιση των μελών (Wilmerding, Gurney & Torres, 2003), οι κινήσεις *Plié* (Couillandre, Lewton-Brai & Portero, 2008), *Relevé* (Lin, Su & Wu, 2005), *Passé* (Bronner & Ojofeitimi, 2006), *Degagé* (Wieczorek, Casebolt, Lambert & Kwon, 2007), *Développé* (Torres-Zavala, Henriksson & Henriksson, 2005), οι κινήσεις των χεριών (Kuno-Mizumura, Seta & Mizumura, 2004), οι στροφές (Sugano & Laws, 2002).

Νεώτερες μελέτες του μοντέρνου χορού εστίασαν παράλληλα σε άλλα θέματα όπως η πλευρική κυριαρχία (Golomer & Féry, 2001), η σχέση δύναμης και μυϊκής ενεργοποίησης (Harley, Gibson, Harley, Lambert, Vaughan & Noakes, 2002), η συμμετρία των δυνάμεων αντίδρασης του εδάφους (Martin, Kulas & Schmitz, 2005), τις μυοσκελετικές επιβαρύνσεις (Mayers, Agraharasamakulam, Ojofeitimi & Bronner, 2005). Σύμφωνα με τους Krasnow, Wilmerding, Stecyk, Wyon & Koutedakis (2011) το 78% των εμβιομηχανικών μελετών που εξέτασαν χρησιμοποίησαν παλαιότερες ή νεότερες τεχνολογίες ανάλυσης κίνησης (κινηματογράφιση, βιντεοσκόπηση, οπτοηλεκτρονική καταγραφή), το 23.6% εφάρμοσαν τη μέθοδο της ηλεκτρομυογραφίας, το 24.7% χρησιμοποίησε δυναμοπλατφόρμες για τη δυναμογράφιση των χορευτικών κινήσεων και ένα 10.1% κάποιες άλλες τεχνολογίες για τις εμβιομηχανικές μετρήσεις που πραγματοποίησαν.

Ο ελληνικός παραδοσιακός χορός αποτελεί δραστηριότητα με βιολογικές και μηχανικές απαιτήσεις με το μοντέρνο χορό (δύναμη, ισορροπία, συγχρονισμό, κ.λπ.) παρόμοιες με αυτές του μοντέρνου χορού. Ειδικότερα, οι βασικές κινήσεις στον ελληνικό παραδοσιακό

χορό, ως κινητική φόρμες, εμφανίζουν μια ιδιαίτερη πλοκή και συνθετότητα με έμφαση σε συνδυασμούς μονόπλευρων και αμφίπλευρων κινήσεων των κάτω άκρων (στηρίξεις στο ένα ή στα δύο πόδια, αναπηδήσεις ή στροφές στο ένα ή στα δύο πόδια, αιωρήσεις και ταλαντώσεις στο ένα ή στα δύο πόδια, καθίσματα διαφορετικού βάθους στο ένα ή στα δύο πόδια, κ.λπ.) (Πίτση, Σμήλιος, Τοκμακίδης, Σερμπέζης & Γουλιμάρης, 2008). Παρόλα αυτά οι εμβιομηχανικές μελέτες του ελληνικού παραδοσιακού χορού απουσιάζουν πλήρως από την ελληνική και τη διεθνή βιβλιογραφία.

Πιθανές αιτίες για αυτό ίσως είναι η διαδεδομένη πλην εσφαλμένη ταύτιση της εμβιομηχανικής με κινήσεις που απαιτούν μέγιστη απόδοση, ιδιαίτερα αθλητικές κινήσεις, η έλλειψη ενημέρωσης των ανθρώπων που ασχολούνται με το χορό σχετικά με τις δυνατότητες των εμβιομηχανικών μεθόδων έρευνας για την απάντηση των ερωτημάτων που αφορούν στον παραδοσιακό χορό, η απουσία χορευτών από την ομάδα των ανθρώπων που χαρακτηρίζονται ως ειδικοί της εμβιομηχανικής αλλά και η απουσία επικοινωνίας μεταξύ των ειδικών του παραδοσιακού χορού και των ειδικών της εμβιομηχανικής. Προϋπόθεση όμως για την ανάπτυξη μιας καλύτερης επικοινωνίας είναι η κοινή γλώσσα και ορολογία μεταξύ των διαφορετικών ειδικών και ειδικοτήτων. Ειδικότερα για την επικοινωνία των ειδικών του παραδοσιακού χορού με τους ειδικούς της εμβιομηχανικής που βασίζονται σε πολύ μεγάλο βαθμό στη χρήση σύγχρονων τεχνολογικών και πληροφοριακών συστημάτων, απαιτείται η γνώση και η κατανόηση των βασικών στοιχείων των εμβιομηχανικών μεθόδων μελέτης των κινήσεων. Σκοπός λοιπόν του παρόντος άρθρου είναι η παρουσίαση των σύγχρονων τεχνικών και της σχετικής τεχνολογίας που χρησιμοποιούνται για την εμβιομηχανική μελέτη των κινήσεων των επιμέρους μελών αλλά και ολόκληρου του σώματος, καθώς και των πληροφοριών που μπορούν να εξαχθούν από αυτή.

Εμβιομηχανικές τεχνικές και τεχνολογικά μέσα

Η εμβιομηχανική μελετά τη λειτουργία όλων των συνιστωσών του νευρομυοσκελετικού συστήματος σε συνθήκες επιβάρυνσης κατά τη στάση ή την κίνηση, με στόχο τη βελτιστοποίηση των επιμέρους λειτουργικών ώστε ο επιθυμητός κινητικός στόχος να επιτυγχάνεται με τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια, την ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας και την ελάχιστη πιθανότητα τραυματισμού. Για την υλοποίηση αυτής της ολιστικής προσέγγισης του κινητικού μηχανισμού απαιτήθηκε να αναπτυχθούν προηγμένα τεχνολογικά συστήματα για την καταγραφή των απαραίτητων δεδομένων και σύνθετες μαθητικές

μέθοδοι επεξεργασίας και ανάλυσης τους προκειμένου να είναι δυνατή η εξαγωγή συμπερασμάτων σε πραγματικές συνθήκες.

Τα συστήματα της εμβιομηχανικής μελέτης διακρίνονται κατά βάση σε: α) συστήματα κινηματικής ανάλυσης, β) συστήματα κινητικής (δυναμική) ανάλυσης, γ) συστήματα ηλεκτρομυογραφίας. Κάθε κατηγορία συστημάτων έχει τα δικά της πρωτόκολλα καταγραφής, επεξεργασίας και ανάλυσης δεδομένων, αλλά για την τελική εξαγωγή αξιόπιστων συμπερασμάτων είναι απαραίτητη η σύνθεση των τελικών δεδομένων κάθε κατηγορίας συστημάτων με χρήση σύνθετων μαθηματικών αλγορίθμων μέσω εξειδικευμένων εμβιομηχανικών λογισμικών.

Συστήματα κινηματικής ανάλυσης

Τα συστήματα κινηματικής ανάλυσης διακρίνονται στα συστήματα καταγραφής βασικών χωρο-χρονικών παραμέτρων, στα συστήματα άμεσης μέτρησης των κινηματικών παραμέτρων και στα συστήματα ανάλυσης της κίνησης με κάμερες.

ι) Τα συστήματα καταγραφής βασικών χωρο-χρονικών παραμέτρων περιλαμβάνουν τα συστήματα ηλεκτρονικής χρονομέτρησης και τα συστήματα χωρικής καταγραφής.

α) Τα συστήματα ηλεκτρονικής χρονομέτρησης περιλαμβάνουν αισθητήρες φωτός, συνήθως σε μορφή ζεύγους φωτοκυττάρου-ανακλαστήρα, οι οποίοι συνδέονται ενσύρματα ή ασύρματα με ένα σύστημα καταγραφής που μπορεί να είναι ένα ηλεκτρονικό χρονόμετρο ή ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής, ο οποίος ενσωματώνει λογισμικό υπολογισμού των χρονικών παραμέτρων μιας κίνησης. Μεταξύ των φωτοκυττάρων και των ανακλαστήρων σχηματίζεται μια υπέρυθρη ακτίνα, η διακοπή της οποίας ενεργοποιεί ή σταματά το χρονόμετρο. Έτσι, τοποθετώντας τα ζεύγη των φωτοκυττάρων-ανακλαστήρων σε συγκεκριμένες θέσεις κατά μήκος της διεύθυνσης της κίνησης μπορούμε να καταγράψουμε το χρόνο στον οποίο ενεργοποιείται ο αισθητήρας (διακόπτεται η υπέρυθρη ακτίνα) και επομένως να γνωρίζουμε σε ποια χρονική στιγμή βρίσκεται ο εκτελεστής σε κάθε θέση. Στη συνέχεια μπορεί να υπολογιστεί η χρονική διάρκεια μεταξύ δύο διαδοχικών ή μη θέσεων αλλά και η μέση ταχύτητα της κίνησης από τη μία θέση στην άλλη, αν διαιρεθεί η απόσταση μεταξύ των δύο θέσεων με τον αντίστοιχο χρόνο. Σε δραστηριότητες όπως ο χορός τα παραπάνω συστήματα μπορούν επιπλέον να χρησιμοποιηθούν συνδεδεμένα με πιεζοηλεκτρικούς ή χωρητικούς διακόπτες

μεγάλων διαστάσεων, τοποθετημένους στο δάπεδο ώστε να καταγράφονται οι χρονικές στιγμές της πίεσης και της απελευθέρωσης του κάθε διακόπτη, ως χρονική στιγμή προσγείωσης και απογείωσης του πέλματος από το έδαφος αντίστοιχα. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατή η καταγραφή του αριθμού των πατημάτων στο χρόνο, παράμετρος που αντιπροσωπεύει τη συχνότητα ή το ρυθμό της κίνησης (Craik, 1995).

β) Τα συστήματα χωρικής καταγραφής είναι συνήθως τάπητες με ενσωματωμένους διακόπτες (χωρητικούς συνήθως) διαστάσεων περίπου $1.5-2\beta\text{cm}^2$ ο καθένας, τοποθετημένους σε επιμήκειες και εγκάρσιες γραμμές του τάπητα, έτσι ώστε να σχηματίζεται ένα πλέγμα διακοπών ενσωματωμένων στον τάπητα. Οι έξοδοι του πλέγματος των διακοπών συνδέονται με ηλεκτρονικό υπολογιστή εφοδιασμένου με ειδικό λογισμικό. Κάθε φορά που το πέλμα ενός ποδιού πατάει στον τάπητα, πιέζονται κάποιοι διακόπτες. Το λογισμικό στον Η/Υ εντοπίζει ποιοι διακόπτες πιέζονται κάθε φορά από το κάθε πέλμα δημιουργώντας στην οθόνη του Η/Υ το ψηφιακό αποτύπωμα του κάθε πέλματος. Εφόσον η θέση του κάθε διακόπτη στον τάπητα είναι γνωστή, τα συστήματα χωρικής καταγραφής μπορούν να υπολογίσουν χωρικές παραμέτρους όπως η απόσταση μεταξύ των φτερνών των δύο πελμάτων στον επιμήκη άξονα (μήκος βήματος) και στον εγκάρσιο (πλάτος βήματος), οι επιμήκειες και εγκάρσιες αποστάσεις μεταξύ των δαχτύλων των δύο πελμάτων, μεταξύ των δαχτύλων του ενός πέλματος και της φτέρνας του άλλου αλλά και μεταξύ οποιωνδήποτε δύο σημείων των πελμάτων επιλέξει ο χρήστης. Επιπλέον, καθώς τα ηλεκτρικά σήματα από όλους τους διακόπτες καταγράφονται σε σχέση με το χρόνο, τα συστήματα χωρικής καταγραφής μπορούν επίσης να καταγράψουν και τις χρονικές στιγμές των πατημάτων των υπολογίζοντας στη συνέχεια και τις χρονικές παραμέτρους των πατημάτων και άρα τη συχνότητα ή το ρυθμό των πατημάτων, όπως αναφέρθηκε παραπάνω για τα ηλεκτρονικά συστήματα χρονομέτρησης συνδεδεμένα με αισθητήρες-διακόπτες. Για το λόγο αυτό τα σύγχρονα συστήματα μέτρησης χωρικών παραμέτρων αναφέρονται ως συστήματα μέτρησης χωρο-χρονικών παραμέτρων (Walsh, 1995).

ii) Στα συστήματα άμεσης μέτρησης των κινηματικών παραμέτρων περιλαμβάνονται κυρίως τα ηλεκτρογωνιόμετρα (electrogoniometers) και τα επιταχυνσιόμετρα (accelerometers). Και τα δύο συνδέονται ενσύρματα ή ασύρματα με φορητούς υπολογιστές με ενσωματωμένο ειδικό λογισμικό για την καταγραφή, επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων αλλά και για τον υπολογισμό των παραμέτρων που επιθυμεί ο χρήστης.

α) Τα ηλεκτρογωνιόμετρα μετρούν απευθείας τις τιμές των γωνιών των αρθρώσεων στις οποίες προσαρμόζονται. Υπάρχουν δισδιάστατα και τρισδιάστατα ηλεκτρογωνιόμετρα. Τα δισδιάστατα μετρούν τις τιμές των γωνιών σε ένα μόνο επίπεδο της κίνησης ενώ τα τρισδιάστατα μετρούν τις πραγματικές τιμές της γωνίας των αρθρώσεων σε όλα τα επίπεδα της κίνησης (γωνίες κάμψης/έκτασης, προσαγωγής/απαγωγής και έσω/έξω στροφής). Από τις τιμές των γωνιών των αρθρώσεων υπολογίζονται στη συνέχεια άμεσα τα γωνιακά χαρακτηριστικά της κίνησης (γωνιακή ταχύτητα και επιτάχυνση) της κάθε άρθρωσης. Το κύριο μειονέκτημα των ηλεκτρογωνιωμένων είναι ότι παρεμποδίζουν σε μικρό (αλλά υπαρκτό) βαθμό την κίνηση των μελών στα οποία προσαρμόζονται.

β) Τα επιταχυνσιόμετρα μετρούν απευθείας την γραμμική επιτάχυνση του σημείου του σώματος πάνω στο οποίο τοποθετούνται, σε έναν (μονοδιάστατα επιταχυνσιόμετρα), σε δύο ή και στους τρεις (τρειςδιάστατα επιταχυνσιόμετρα) άξονες του χώρου (προσθιοπίσθιος, μετωπιαίος και εγκάρσιος). Από την επιτάχυνση στη συνέχεια το λογισμικό υπολογίζει με διαδοχική ολοκλήρωση τη στιγμιαία γραμμική ταχύτητα και τη γραμμική μετατόπιση του συγκεκριμένου σημείου στο χώρο. Τα σύγχρονα επιταχυνσιόμετρα έχουν πολύ μικρό μέγεθος και βάρος, ώστε να μην παρεμποδίζουν την κίνηση του μέλους στο οποίο προσαρμόζονται. Με ειδική τοποθέτηση των επιταχυνσιόμετρων και με την κατάλληλη παραμετροποίηση του λογισμικού είναι δυνατή (αν και με κάποιο σφάλμα) η καταγραφή της γωνιακής ταχύτητας των αρθρώσεων και στη συνέχεια της γωνιακής τους μετατόπισης (εύρους κάμψης/έκτασης, προσαγωγής/απαγωγής και έσω/έξω στροφής).

iii) Στα συστήματα ανάλυσης της κίνησης με κάμερες (motion analysis) περιλαμβάνονται τα συστήματα καταγραφής και ανάλυσης της κίνησης με βιντεοκάμερες (video-based systems) και στα οπτοηλεκτρονικά συστήματα (optoelectronics).

α) Τα συστήματα ανάλυσης της κίνησης με βιντεοκάμερες χρησιμοποιούν μία ή περισσότερες ψηφιακές βιντεοκάμερες για την καταγραφή της κίνησης σε ένα ή περισσότερα, αντίστοιχα, επίπεδα της κίνησης (για κάθε επίπεδο χρειάζεται τουλάχιστον μία κάμερα). Οι κάμερες καταγράφουν την κίνηση με μεγάλη ταχύτητα λήψης, που αρχίζει από 60 και φθάνει μέχρι και τις 500 εικόνες ανά δευτερόλεπτο. Καθώς σε κάθε εικόνα αποτυπώνεται ένα μοναδικό στιγμιότυπο της κίνησης του σώματος, είναι ευνόητο ότι όσο μεγαλύτερη η ταχύτητα λήψης τόσο μεγαλύτερη η λεπτομέρεια της ανάλυσης της κίνησης. Οι εικόνες της κίνησης αποθηκεύονται στη συνέχεια απευθείας σε έναν H/Y στον οποίο θα γίνει στη συνέχεια η επεξεργασία τους είτε σε μια κάρτα μνήμης. Για να είναι εύκολος ο

εντοπισμός των αρθρώσεων του εκτελεστή στις καταγεγραμμένες εικόνες της κίνησης κατά την επεξεργασία και ανάλυση τους στη συνέχεια, πριν από την καταγραφή της κίνησης από τις κάμερες, τοποθετούνται συγκεκριμένα ανατομικά σημεία του σώματος αυτοκόλλητοι σφαιρικοί ανακλαστήρες. Οι ανακλαστήρες έχουν αμελητέο βάρος, δεν παρεμβαίνουν στις κινήσεις των μελών και τοποθετούνται σε σημεία που ορίζονται από το υπολογιστικό μοντέλο που χρησιμοποιείται για την ανάλυση της κίνησης. Συνήθως για το κάθε κάτω άκρο τοποθετούνται στην πρόσθια και οπίσθια λαγόνια άκανθα της λεκάνης, στο μέσο της έξω επιφάνειας του μηρού, στον έξω μηριαίο επικόνδυλο, στο μέσο της έξω επιφάνειας της κνήμης, στον έξω σφυρό, στην οπίσθια επιφάνεια της φτέρνας και στην κεφαλή του δεύτερου μεταταρσίου. Για το κάθε άνω άκρο συνήθως τοποθετούνται στο ακρώμιο, στο μέσο της έξω επιφάνειας του βραχίονα, στον κερκιδικό επικόνδυλο του αγκώνα, στο μέσο της έξω επιφάνειας του πήχυ, στην έξω κεφαλή της ωλένης και στην κεφαλή του δεύτερου μετακαρπίου. Για τον κορμό τοποθετούνται στο στήθος και στην έξω γωνία της δεξιάς και αριστερής ωμοπλάτης, ενώ για το κεφάλι τοποθετούνται τέσσερις ανακλαστήρες σε ελαστική υφασμάτινη ταινία που φοριέται γύρω από το κεφάλι (Craik & Oatis, 1995).

Μετά την καταγραφή της κίνησης και την αποθήκευση των σχετικών εικόνων, ακολουθεί ο προσδιορισμός των συντεταγμένων της θέσης των ανατομικών σημείων του σώματος (ανακλαστήρες), διαδικασία γνωστή ως ψηφιοποίηση. Οι θέσεις των ανακλαστήρων ψηφιοποιούνται σε κάθε εικόνα της κίνησης είτε από το χρήστη είτε αυτόματα από το λογισμικό του ηλεκτρονικού υπολογιστή του συστήματος. Για να είναι δυνατή η αυτόματα ψηφιοποίηση πρέπει να προσεχθεί ιδιαίτερα ο φωτισμός του χώρου λήψης κατά την καταγραφή της κίνησης ώστε να υπάρχει διακριτή αντίθεση του (λευκού) ανακλαστήρα στο φόντο του μέλους του σώματος. Σε διαφορετική περίπτωση η χειροκίνητη ψηφιοποίηση αποτελεί μονόδρομο και καθώς απαιτεί αρκετό χρόνο για να εκτελεστεί για όλες τις εικόνες της κίνησης, αναφέρεται ως το βασικό και κύριο μειονέκτημα της ανάλυσης της κίνησης με βιντεοκάμερες. Οι τιμές των συντεταγμένων των επιλεγμένων ανατομικών σημείων του σώματος υφίστανται στη συνέχεια επεξεργασία για την αφαίρεση των σφαλμάτων της μέτρησης και της ψηφιοποίησης με σύνθετες μαθηματικές μεθόδους, διαδικασία που καλείται εξομάλυνση (smoothing) και γίνεται μέσω του ειδικού λογισμικού του συστήματος. Από τα εξομαλυμένα δεδομένα στη συνέχεια μπορούν να υπολογιστούν όλες οι κινηματικές παράμετροι των κινήσεων των μελών και του σώματος στα τρία επίπεδα του χώρου: χρονική στιγμή της κάθε θέσης, χρονική διάρκεια της

μετάβασης από μία θέση σε μια άλλη (διάρκεια κίνησης), θέση του μέλους στο χώρο και σε σχέση με τα υπόλοιπα μέλη του σώματος, γωνία της κάθε άρθρωσης και εύρος κίνησης της άρθρωσης, ταχύτητα και επιτάχυνση της κίνησης του μέλους και της άρθρωσης, ρυθμός της κίνησης του κάθε μέλους, συγχρονισμός των κινήσεων διαφορετικών μελών, κ.λπ. (Craik & Oatis, 1995). Όπως είναι ευνόητο ο πλούτος όλων των παραπάνω πληροφοριών είναι υπεραρκετός για να καταγραφεί και να κατανοηθεί το πλήρες κινητικό μοτίβο οποιασδήποτε κίνησης στο χώρο. Για την ευκολότερη κατανόηση των κινητικών μοτίβων μάλιστα, τα λογισμικά των συστημάτων ανάλυσης της κίνησης με κάμερες δημιουργούν φυσικά ψηφιακά μοντέλα (animations) τα οποία προσαρμόζονται στα κινηματικά δεδομένα και ο χρήστης μπορεί να βλέπει π.χ. έναν ψηφιακό χορευτή να εκτελεί την κίνηση και παράλληλα τις τιμές των κινηματικών δεδομένων σε κάθε στιγμή της κίνησης του ψηφιακού χορευτή.

β) Τα οπτοηλεκτρονικά συστήματα ανάλυσης της κίνησης διαφέρουν από τα συστήματα ανάλυσης της κίνησης με βιντεοκάμερες σε ένα αλλά καίριο σημείο. Χρησιμοποιούν βιντεοκάμερες μεν, αλλά γύρω από το φακό τους υπάρχει ένας δακτύλιος από LED υπερήθρων τα οποία εκπέμπουν υπέρυθρο φως το οποίο αντανακλάται στους ανακλαστήρες των επιλεγμένων ανατομικών σημείων και καταγράφεται ως αντανάκλαση από τις κάμερες. Όλα τα υπόλοιπα σημεία του χώρου στα οποία δεν αντανακλάται το υπέρυθρο φως καταγράφονται ως σκοτεινές περιοχές. Κατά συνέπεια, στις εικόνες που καταγράφονται από τις κάμερες ενός οπτοηλεκτρονικού συστήματος εμφανίζονται λευκά σημάδια (ανακλαστήρες) σε μαύρο φόντο και φυσικά δεν διακρίνεται το σώμα του εκτελεστή. Με τον τρόπο αυτό ο αυτόματος υπολογισμός των τρισδιάστατων συνεντεταγμένων των ανακλαστήρων (αυτόματη ψηφιοποίηση) είναι τώρα μια πολύ εύκολη και ταχύτητα διαδικασία για το λογισμικό του συστήματος σε βαθμό που να μπορεί να υλοποιείται ακόμη και σε πραγματικό χρόνο (real time). Χάρη σε αυτό το αναμφισβήτητο πλεονέκτημα τους τα οπτοηλεκτρονικά συστήματα έχουν κυριαρχήσει τα τελευταία χρόνια παρά το σημαντικό υψηλότερο κόστος τους (Craik & Oatis, 1995).

Συστήματα κινητικής (δυναμικής) ανάλυσης

Τα συστήματα κινητικής ανάλυσης διακρίνονται στα συστήματα δυναμομέτρησης (ισομετρικά, ισοτονικά, ισοκινητικά) και στα συστήματα δυναμογράφησης. Για την κινητική ανάλυση της κίνησης στο χώρο κατάλληλα είναι μόνο τα συστήματα δυναμογράφησης και για το λόγο αυτό δε θα γίνει αναφορά στα συστήματα

δυναμομέτρησης, τα οποία χρησιμοποιούνται για τις κινητικές αναλύσεις σε περιορισμένες κινήσεις και υπό τυποποιημένες συνθήκες μέτρησης.

Τα συστήματα δυναμογράφησης χρησιμοποιούν πλατφόρμες δύναμης ή αλλιώς δυναμοδάπεδα (force platforms) που καταγράφουν τις τιμές των τριών συνιστωσών της δύναμης αντίδρασης του εδάφους, τις αντίστοιχες ροπές ως προς το κέντρο του δυναμοδαπέδου και τις συντεταγμένες του σημείου εφαρμογής της δύναμης αντίδρασης του εδάφους. Η δύναμη αντίδρασης του εδάφους είναι η δύναμη που ασκείται από το έδαφος στο πέλμα του ποδιού, ως αντίδραση στην δύναμη που το πέλμα ασκεί στο έδαφος κατά την κίνηση του στο έδαφος (νόμος δράσης αντίδρασης Νεύτωνα). Η δύναμη αντίδρασης του εδάφους είναι αυτή που υποστηρίζει το βάρος του σώματος και προωθεί το σώμα κατά την κίνηση. Η δύναμη αντίδρασης του εδάφους είναι ένα διάνυσμα στο χώρο και τόσο το μέγεθος όσο και η διεύθυνση της αλλάζουν διαρκώς κατά την οποιαδήποτε κίνηση.

Ανεξάρτητα από τον τύπο του κάθε δυναμοδαπέδου, η αρχή λειτουργίας τους είναι κοινή. Όλα ενσωματώνουν πιεζοηλεκτρικούς αισθητήρες ή αισθητήρες πιεζοαντίστασης, δηλαδή αισθητήρες που μετατρέπουν τη δύναμη που εφαρμόζεται πάνω τους σε ηλεκτρική τάση, οι τιμές της οποίας είναι ανάλογες της εφαρμοζόμενης δύναμης. Οι αισθητήρες μέσα στο δυναμοδάπεδο βρίσκονται σε τέτοια διάταξη που να μπορούν να μετρούν και τις τρεις συνιστώσες της δύναμης αντίδρασης του εδάφους. Έτσι, οι αισθητήρες που μετρούν την κατακόρυφη συνιστώσα τοποθετούνται κάθετα στην κατακόρυφη διεύθυνση, οι αισθητήρες για την προσθιοπίσθια τοποθετούνται κάθετα στην προσθιοπίσθια διεύθυνση και αντίστοιχα αυτοί της εγκάρσιας συνιστώσας τοποθετούνται κάθετα στην εγκάρσια διεύθυνση.

Οι τιμές της ηλεκτρικής τάσης στην οποία οι αισθητήρες μετατρέπουν την εφαρμοζόμενη δύναμη, ενισχύονται από ειδικούς ενισχυτές και μέσω μιας κάρτας μετατροπής αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (analog-to-digital converter) καταγράφονται από Η/Υ. Οι Η/Υ είναι εφοδιασμένοι με ειδικά λογισμικά για την περαιτέρω επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων της δύναμης αντίδρασης του εδάφους (Craig & Oatis, 1995). Από την ανάλυση της δύναμης αντίδρασης του εδάφους μπορούν να εξαχθούν αρκετές πληροφορίες όπως η συνολική ώθηση που αποκτά το σώμα κατά την κίνηση, η ορμή του, το ύψος στο οποίο θα ανέλθει στην κατακόρυφη διεύθυνση, η μηχανική του ενέργεια, κ.λπ. Πολύ πιο ουσιαστικές πληροφορίες όμως μπορούν να συλλεχθούν αν συνδυαστούν τα δεδομένα της δύναμης αντίδρασης του εδάφους με τα δεδομένα της κινηματικής ανάλυσης

με βιντεοκάμερες ή οπτοηλεκτρονικά συστήματα. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιείται μια σύνθετη μέθοδος που καλείται αντίστροφη δυναμική (inverse dynamics) και διεκπεραιώνεται από τα λογισμικά των συστημάτων ανάλυσης της κίνησης αλλά και από ελεύθερα λογισμικά. Ως αποτελέσματα αυτής της διαδικασίας μπορούν να υπολογιστούν οι αρθρικές ροπές που αποτελούν το αίτιο της περιστροφής των μελών στις αρθρώσεις και οι αρθρικές επιβαρύνσεις (δυνάμεις που εφαρμόζονται στις αρθρώσεις) που ευθύνονται για τους μυοσκελετικούς τραυματισμούς και τις μυοσκελετικές παθήσεις (π.χ. οστεοαρθρίτιδα). Οι πληροφορίες για αυτές τις σύνθετες κινητικές παραμέτρους είναι πολύ σημαντικές καθώς η οποιαδήποτε βελτίωση των κινήσεων δε μπορεί να έρθει παρά μόνο μέσα από τη βελτίωση των αιτιών των κινήσεων, δηλαδή των αρθρικών ροπών. Επιπλέον, καθώς το βασικό κριτήριο της ποιοτικής κίνησης είναι η επίτευξη του κινητικού στόχου με την ελάχιστη δυνατή δαπάνη ενέργειας, η δυνατότητα μέτρησης των αρθρικών ροπών που αναπτύσσονται στη διάρκεια της κίνησης επιτρέπει την ταχύτερη επίτευξη της ποιότητας στην εν λόγω κίνηση μέσα η οποία θα μπορεί να επιδιωχθεί μέσα από μείωση των αρθρικών ροπών.

Συστήματα ηλεκτρομυογραφίας

Ηλεκτρομυογραφία ονομάζεται η ανίχνευση και καταγραφή της ηλεκτρικής δραστηριότητας που αναπτύσσεται στους μύες, καθώς και η επεξεργασία και ανάλυση αυτής της δραστηριότητας προκειμένου να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με τη δράση των διαφόρων μυϊκών ομάδων. Γενικά, συνίσταται στην τοποθέτηση επιφανειακών ηλεκτροδίων πάνω στους υπό εξέταση μύες, τα οποία ανιχνεύουν την ηλεκτρική τους δραστηριότητα ως αποτέλεσμα των νευρικών εντολών, η οποία καλείται ηλεκτρομυογράφημα. Τα ηλεκτρόδια συνδέονται ενσύρματα ή ασύρματα με έναν ειδικό διαφορικό ενισχυτή και στη συνέχεια με έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή που πρέπει να διαθέτει ειδικό λογισμικό για την καταγραφή, επεξεργασία και ανάλυση των ηλεκτρομυογραφημάτων.

Η δυνατότητα της ασύρματης ηλεκτρομυογραφίας που εμφανίστηκε την τελευταία πενταετία αύξησε σημαντικά την εφαρμογή της μεθόδου σε δεξιότητες που περιλαμβάνουν περιστροφικές κινήσεις μεγάλου εύρους, οι οποίες δεν μπορούσαν να ελεγχθούν στο παρελθόν λόγω των καλωδίων. Ως εκ τούτου μπορεί πλέον να εφαρμοστεί σε όλες τις κινήσεις του ελληνικού παραδοσιακού χορού, όπως και οι άλλες εμβιομηχανικές μέθοδοι. Από την ανάλυση των ηλεκτρομυογραφημάτων των μυών

μπορούν να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα για τη λειτουργία ολόκληρου του μυϊκού υπόβαθρου οποιασδήποτε κίνησης. Ειδικότερα, μπορεί να υπολογιστεί η διάρκεια της ενεργοποίησης της κάθε μυϊκής ομάδας, το μέγεθος της ενεργοποίησης, ο συγχρονισμός των αγωνιστών με τους ανταγωνιστές μύες, ο συγχρονισμός των συναγωνιστών μυών, κ.λπ.

Ακόμη περισσότερο, αν η ηλεκτρομυογραφία συνδυαστεί με την κινηματική και την κινητική ανάλυση, μπορεί πλέον να υλοποιηθούν ολιστικές εμβιομηχανικές προσεγγίσεις του κινητικού μηχανισμού, με εξαγωγή συμπερασμάτων για τους μηχανισμούς της παραγωγής μηχανικού έργου στους μύες, το βαθμό της αξιοποίησης του για την ανάπτυξη ροπών στην αρθρώσεις του σώματος και την αποτελεσματικότητα της αλληλεπίδρασης τους με τις εξωτερικές επιβαρύνσεις προκειμένου να εκτελεστεί η επιθυμητή κίνηση. Με άλλα λόγια μπορεί να αξιολογηθεί η αρτιότητα (από μηχανική άποψη), η αποδοτικότητα και εν τέλει η ποιότητα οποιασδήποτε κίνησης των μελών ή ολόκληρου του σώματος (Basmajian & de Luca, 1985).

Επίλογος

Οι σύγχρονες μέθοδοι για την εμβιομηχανική μελέτη και ανάλυση της λειτουργίας του νευρομυοσκελετικού μηχανισμού για την εκτέλεση των κινήσεων αξιοποιούν περισσότερο από κάθε άλλη φορά τις τελευταίες τεχνολογικές εξελίξεις στον τομέα των αισθητήρων, των ψηφιακών σημάτων και της ασύρματης διαμεταφοράς δεδομένων με αποτέλεσμα να παρέχουν πληροφόρηση για σύνθετες λειτουργίες σχεδόν σε πραγματικό χρόνο. Παράλληλα, τα εξειδικευμένα λογισμικά που είναι απαραίτητα τόσο για τη λειτουργία των εμβιομηχανικών συστημάτων μέτρησης και καταγραφής, όσο και για την εφαρμογή των σύνθετων μαθηματικών και υπολογιστικών μεθόδων που είναι απαραίτητες για την επεξεργασία, ανάλυση και παρουσίαση των εμβιομηχανικών δεδομένων, έχουν γίνει πλέον περισσότερο φιλικά προς το χρήστη από ποτέ. Ως εκ τούτου, οι εφαρμογές της εμβιομηχανικής διευρύνονται ολοένα και περισσότερο, δίνοντας απαντήσεις και λύσεις που μεγιστοποιούν το επιδιωκόμενο κινητικό αποτέλεσμα στο λιγότερο δυνατό χρόνο.

Στην κατεύθυνση αυτή αποτελεί ισχυρή πεποίθηση του γράφοντος ότι ο ελληνικός παραδοσιακός χορός μπορεί να αποκομίσει σημαντικά οφέλη από τη διενέργεια εμβιομηχανικών μελετών των κινητικών μοτίβων, με στόχους: α) τη βελτιστοποίηση τους ως προς τα κριτήρια που θα θέσουν οι ειδικοί του χορού, β) την κατηγοριοποίηση των

κινητικών μοτίβων με βάση τις μηχανικές τους ομοιότητες η οποία ίσως αποτελέσει χρήσιμο εργαλείο σε λαογραφικές και ιστορικές προσεγγίσεις του ελληνικού παραδοσιακού χορού και γ) την ανάπτυξη έγκυρων και αξιόπιστων μη εργαστηριακών μεθόδων και κριτηρίων αξιολόγησης της χορευτικής απόδοσης που θα έχουν υψηλή συσχέτιση με τις εξειδικευμένες εμβιομηχανικές τεχνικές. Για την επίτευξη όλων των παραπάνω είναι απαραίτητη η συνεργασία και η κοινή προσπάθεια τόσο των ειδικών της εμβιομηχανικής όσο και των δασκάλων και χορευτών του ελληνικού παραδοσιακού χορού. Και επειδή η επικοινωνία είναι το κλειδί της συνεργασίας, το παρόν άρθρο φιλοδοξεί να αποτελέσει το ερέθισμα για την έναρξη μιας τέτοιας αμφίδρομης επικοινωνίας, όπου οι ειδικοί του χορού θέτουν τα ερωτήματα και οι ειδικοί της εμβιομηχανικής προσπαθούν να τα απαντήσουν.

Βιβλιογραφία

- Basmajian J.V. & de Luca C.J.(1985). *Muscles alive: Their functions revealed by electromyography. Fifth Edition*. Williams & Wilkins: Baltimore
- Bronner, S. & Ojofeitimi, S. (2006). Gender and limb differences in healthy elite dancers: passé kinematics. *J Mot Behav*, 38, 1, 71-79.
- Couillandre, A., Lewton-Brain, P. & Portero, P. (2008). Exploring the effects of kinesiological awareness and mental imagery on movement intention in the performance of demi-plié. *J Dance Med Sci*, 12, 3, 91-98.
- Craik, R.L. & Oatis, C.A. (1995) *Gait analysis: Theory and application*. St. Louis: Mosby.
- Craik, R.L. (1995) Spatial and temporal characteristics of foot fall patterns. In R.L. Craik & C.A. Oatis (Eds) *Gait analysis: Theory and application*. St. Louis: Mosby.
- Golomer, E. & Féry, Y.A. (2001). Unilateral jump behavior in young professional female ballet dancers. *Int J Neurosci*, 381(1-2), 31-35.
- Harley, Y.X.R., Gibson, A.S., Harley, E.H., Lambert, M.I., Vaughan, C.L. & Noakes, T.D. (2002). Quadriceps strength and jumping efficiency in dancers. *J Dance Med Sci*, 6(3), 87-94.
- Kneeland, J.A. (1966). Dancer prepares. *Dance Magazine*, 4, 49-51.

- Krasnow, D., Wilmerding, M.V., Stecyk, S., Wyon, M. & Koutedakis, Y. (2011). Biomechanical research in dance: a literature review. *Med Probl Perform Art*, 26, 1, 3-23.
- Kuno-Mizumura, M., Seta, A. & Mizumura, S. (2004). Biomechanical characteristics of arm movements by skilled dancers in "Swan Lake." In Solomon R., Solomon J. (eds), *Proceedings of the 14th Annual Meeting of the International Association for Dance Medicine and Science*. San Francisco: CA, IADMS.
- Lin, C.F., Su, F.C. & Wu, H.W. (2005). Ankle biomechanics of ballet dancers in relevé en pointe dance. *Res Sports Med*, 13, 1, 23-35.
- Martin, N.M., Kulas, A.S. & Schmitz, R.J. (2005). Asymmetrical landing forces in female dancers. *J Athl Train*, 40, (2 sup), S57.
- Mayers, L., Agraharasamakulam, S., Ojofeitimi, S. & Bronner, S. (2005). Ground reaction and lower extremity joint forces produced during tap dance. In Solomon R., Solomon J. (eds), *Proceedings of the 15th Annual Meeting of the International Association for Dance Medicine and Science*. Stockholm, Sweden: IADMS.
- Πίτση, Α., Σμήλιος, Η., Τοκμακίδης, Σ., Σερμπέζης, Β. & Γουλιμάρης, Δ. (2008). Καρδιακή συχνότητα και πρόσληψη οξυγόνου ατόμων μέσης ηλικίας κατά την εκτέλεση ελληνικών παραδοσιακών χορών. *Αναζητήσεις στη Φυσική Αγωγή & τον Αθλητισμό*, 6, 3, 329-339.
- Sugano, A. & Laws, K. (2002). Physical analysis as a foundation for pirouette training. *Med Probl Perform Art*, 17, 1, 29-32.
- Torres-Zavala, C., Henriksson, J. & Henriksson, M. (2005). The influence of the barre on movement pattern during performance of développé. In Solomon R, Solomon J (eds), *Proceedings of the 15th Annual Meeting of the International Association for Dance Medicine and Science*. Stockholm, Sweden: IADMS.
- Walsh, J.P. (1995) Foot fall measurement technology. In R.L. Craik & C.A. Oatis (Eds) *Gait analysis: Theory and application*. St. Louis: Mosby.
- Wieczorek, N., Casebolt, J.B., Lambert, C.R. & Kwon, Y.H. (2007). Resultant joint moments during a dégagé with and without a barre. In Solomon R., Solomon J. (eds), *Proceedings of the 17th Annual Meeting of the International Association for Dance Medicine & Science*. Canberra, Australia: IADMS.

Wilmerding, M.V., Gurney, B. & Torres, V. (2003). The effect of positive heel inclination on posture in young children training in flamenco dance. *J Dance Med Sci*, 7, 3, 85-90.