



## Biomeccanica del gesto atletico nell'arto superiore: una review narrativa

*Biomechanics of upper limbs in athletes: a narrative review*

**Rocco de Vitis**

Fondazione Policlinico "A. Gemelli" IRCCS, Roma

### Riassunto

La biomeccanica applicata all'esercizio fisico e allo sport ha due obiettivi: il miglioramento delle prestazioni e la prevenzione degli infortuni. Il miglioramento delle prestazioni e della tecnica dell'atleta avviene attraverso metodi qualitativi o metodi quantitativi di analisi biomeccanica. La biomeccanica ha permesso di diagnosticare nuove condizioni patologiche e comprendere i meccanismi patogenetici alla base di molte patologie tipiche degli atleti. In questo lavoro viene eseguita una revisione narrativa sul concetto, la misurazione e l'applicazione clinica della biomeccanica dell'arto superiore negli atleti.

**Parole chiave:** Biomeccanica, arto superiore, catena cinematica, carrying angle, atleti

### Summary

*Biomechanics applied to exercise and sport has two objectives: the improvement of performance and the prevention of injury. Improvement of the athlete's performance and technique takes place through qualitative methods or quantitative methods of biomechanical analysis. Biomechanics has made it possible to diagnose new pathological conditions and understand the pathogenic mechanisms underlying many pathologies typical of athletes. In this work is performed a narrative review about concept, measurement and clinical application of upper limb's biomechanics in athletes.*

**Key words:** Biomechanics, upper limb, kinematic chain, carrying angle, athletes

### Corrispondenza

Rocco de Vitis

E-mail: [roccodevitis@yahoo.com](mailto:roccodevitis@yahoo.com)

### Conflitto di interessi

L'Autore dichiara di non avere alcun conflitto di interesse con l'argomento trattato nell'articolo.

**Come citare questo articolo:** de Vitis R. Biomeccanica del gesto atletico nell'arto superiore: una review narrativa. Rivista Italiana di Chirurgia della Mano 2021;58:58-62. <https://doi.org/10.53239/2784-9651-2021-10>

© Copyright by Pacini Editore Srl



OPEN ACCESS

L'articolo è OPEN ACCESS e divulgato sulla base della licenza CCBY-NC-ND (Creative Commons Attribuzione - Non commerciale - Non opere derivate 4.0 Internazionale). L'articolo può essere usato indicando la menzione di paternità adeguata e la licenza; solo a scopi non commerciali; solo in originale. Per ulteriori informazioni: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.it>

## Introduzione

La Biomeccanica applicata all'esercizio e allo sport ha due obiettivi: il miglioramento della performance e la prevenzione dell'infortunio, che sono strettamente legati perché un atleta che non subisce infortuni e avrà inevitabilmente una prestazione migliore di un atleta che ha subito un infortunio.

In biomeccanica non si può prescindere da concetti generici e datati come la definizione di leva, né da concetti di più recente acquisizione come quello di catena cinematica <sup>1</sup>.

La leva è una macchina semplice costituita da un'asta rigida vincolata ad un punto fisso detto fulcro. Una leva si dice svantaggiosa quando il braccio della Potenza è minore del braccio della resistenza, perciò è necessaria una potenza maggiore per controbilanciare la resistenza.

Una leva si dice vantaggiosa quando il braccio della Potenza è maggiore del braccio della resistenza perciò è necessaria una potenza inferiore per controbilanciare la resistenza.

Una leva si dice indifferente quando il braccio della Potenza è uguale al braccio della resistenza.

La maggior parte dei muscoli del nostro corpo agisce tramite delle leve ossee mentre i muscoli pellicciai, della lingua, degli organi interni, degli sfinteri, delle arterie, che non agiscono tramite leve non intervengono nei movimenti del corpo.

La catena cinematica è l'unione di più membri ottenuta con coppie cinematiche, in modo che, fissata la velocità relativa di un membro ad un altro qualsiasi, risultino univocamente determinate le velocità relative di tutti gli altri membri, cioè fissato uno dei membri, il sistema ha un solo grado di libertà.

Una catena cinematica può essere semplice se ogni membro risulta accoppiato ad un solo membro o al più a due membri contigui, invece se è presente almeno un membro accoppiato con tre o più altri membri la catena cinematica è composta. Una catena cinematica può essere aperta se esiste un membro con un solo accoppiamento oppure chiusa se viceversa ogni membro è accoppiato ad ambo le parti.

In biomeccanica si parla di catena cinematica chiusa quando gli esercizi coinvolgono segmenti articolari collegati interdipendentemente tra loro, ad esempio: panca piana, squat, squat a una gamba.

Si parla invece di catena cinematica aperta quando è possibile muovere un'articolazione senza che il movimento venga trasmesso alle altre, ad esempio: croci su panca, *leg extension*.

## Metodiche di analisi biomeccanica

Il miglioramento della prestazione e della tecnica dell'atleta avviene tramite metodi qualitativi o metodi quantitativi di analisi biomeccanica.

Nel metodo qualitativo gli insegnanti e allenatori possono utilizzare la loro conoscenza per correggere uno studente o un'atleta per migliorare l'esecuzione di una tecnica.

Ad esempio, nel nuoto, la ricerca condotta da Ronald Brown e James "Doc" Counsilman (1971) mostrò che le forze di portanza che agiscono sulla mano mentre si muove dentro l'acqua erano molto più importanti nella propulsione del nuotatore attraverso l'acqua di quanto si pensasse in precedenza. Questa ricerca indicò che più che tirare la mano lungo una linea retta all'indietro attraverso l'acqua per produrre una forza propulsiva di avanzamento, il nuotatore avrebbe dovu-

to muovere lateralmente con un'azione spazzolante (tramite quindi remate laterali) durante la trazione dentro l'acqua in maniera tale da produrre forze propulsive di avanzamento e di portanza. Questa tecnica è attualmente insegnata dagli insegnamenti e dagli allenatori di nuoto in tutto il mondo.

Altro esempio, nel lancio del giavellotto, nel 1956, Felix Erasquin, prima dei giochi olimpici estivi a Melbourne, sperimentò un modo non convenzionale di lanciare il giavellotto, per cui, piuttosto che lanciarlo sopra la spalla con una mano dopo una corsa, ruotava come un lanciatore di martello e teneva il giavellotto con entrambe le mani al fine di guidare l'attrezzo fino all'ultimo istante. Il giavellotto, inoltre, era inzuppato in una soluzione saponosa per renderlo scivoloso e quindi ridurre le forze di attrito. Erasquin con questa tecnica fece diversi lanci ben al di là del record mondiale esistente. La Associazione Internazionale delle Federazioni di Atletica si allarmò a tal punto che modificò le regole per l'evento e questa tecnica non convenzionale divenne illegale.

Nel metodo quantitativo i ricercatori biomeccanici possono scoprire una nuova e più efficace tecnica per compiere un esercizio sportivo mediante l'analisi in laboratorio del gesto atletico.

Tale metodica ha subito, negli anni, diversi cambiamenti, da un lato per il miglioramento della tecnologia, dall'altro per l'approfondimento nello studio dei gesti atletici passando da una analisi articolazione-relata ad una analisi sport-relata ad una analisi delle sequenze all'interno del gesto atletico specifico (ad esempio il servizio del tennis, il lancio, etc) e all'interno del quadro della catena cinematica<sup>2,3</sup>.

La *British Association of Sport and Exercise Sciences* (Bases) ha stilato delle linee guida sulla valutazione biomeccanica del movimento e dell'esercizio fisico nelle quali si dichiara fondamentale l'analisi di 4 elementi: il movimento tramite video, la misurazione della forza e della pressione, la elettromiografia di superficie e la dinamometria isocinetica<sup>4</sup>. Vengono distinti i formati VHS, VHS-C e 8 mm che offrono ciascuno circa 240-260 linee orizzontali; i video S-VHS, S-VHS-C e Hi-8 che forniscono circa 400 linee orizzontali; i Digital 8 e miniDV che forniscono almeno 500 linee orizzontali e il video ad alta definizione (HD) che fornisce 720 o 1.080 linee orizzontali (con 1.280 o 1.920 pixel per linea).

Vengono dettate le regole della acquisizione video che deve seguire una cadenzata procedura che consiste nei seguenti gesti: montare la fotocamera su un treppiede stabile ed evitare la panoramica, massimizzare la distanza da telecamera a soggetto, massimizzare le dimensioni dell'immagine, mettere a fuoco la fotocamera manualmente, allineare l'asse ottico della fotocamera perpendicolare al piano di movimento, registrare un riferimento verticale, registrare un oggetto di ridimensionamento, selezionare una velocità e un'apertura dell'otturatore appropriate, garantire la corretta illuminazione dell'esecutore.

Quindi bisogna selezionare una frequenza fotogrammi appropriata allo sport analizzato:

- 25-50 Hz: passeggiate, nuoto, arrampicata sulle scale;
- 50-100 Hz: corsa, tiro a giro, salto in alto;
- 100-200 Hz: sprint, lancio di giavellotto, calcio calcistico;
- 200-500 Hz: servizio tennis, golf swing, parry nella scherma.

Bisogna poi procedere alla preparazione dei partecipanti e prove di registrazione, smussare e trasformare le coordinate, procedere al calcolo delle variabili cinematiche e all'analisi e presentazione di dati derivati da video, digitalizzazione video, elaborazione, analisi e rendicontazione dei dati <sup>4</sup>.

## Concetti di biomeccanica del gesto atletico

In principio furono concetti legati alla articolazione e alla sua implicazione nel gesto atletico.

In letteratura è stata molto discussa la rotazione della spalla, dando una notevole importanza ai movimenti di extrarotazione e giungendo alla elaborazione di un algoritmo di sovraccarico nel qual la rotazione potenzialmente patologica è la risultante della sottrazione della massima extrarotazione e della massima intrarotazione diviso per due <sup>5,6</sup>.

Nel gomito, partendo dal concetto che il valgismo fisiologico del gomito è al massimo di 15° e passando dalla massima flessione alla massima estensione l'asse del gomito varia passando dal suo massimo varismo al suo massimo valgismo si concepì il concetto biomeccanico di *carrying angle*.

Il *carrying angle* è il particolare offset formato tra l'asse longitudinale dell'avambraccio e l'asse lungo del braccio e lo studio del gesto atletico nel rispetto del *carrying angle* è stato preso in considerazione per non sovraccaricare l'arto per produrre una significativa equa distribuzione del carico durante i movimenti e avere un'azione importante nel migliorare la fase di presa garantendo un'ottimizzazione dell'angolo di applicazione <sup>7-9</sup>.

Nel polso, la posizione *T-shaped* è stata considerata una posizione di sicurezza e le tecniche con articolazione in posizione parallela e inversa possono aumentare il rischio di potenziali lesioni al gomito e al polso nei giovani ginnasti rispetto alla tecnica *T-shaped* <sup>10</sup>. Negli studi biomeccanici sulla mano, per la maggior parte condotti sugli scalatori, i parametri caratteristici della elite degli scalatori erano il volume dell'avambraccio (trofismo e forza dei flessori) e la forza di presa a mano intera e la resistenza. In un primo studio di relazione tra le articolazioni, condotto sui cestisti, si giunse alla conclusione che, per evitare sovraccarichi, la spalla, il gomito, il polso, le dita e la palla dovrebbero essere sullo stesso piano quando la palla viene lanciata verso il canestro e i giocatori dovrebbero usare le dita per controllare la palla. La letteratura corrente ha settorializzato l'analisi del ge-

sto atletico e i lavori più recenti vertono sull'analisi dei vari *throwing, pitching, striking, bowling, swing* contestualizzati altresì nei concetti di *gait, posture, kinematic chain*, per il qual motivo si analizza la sequenza di: passo, rotazione pelvi, rotazione tronco, flesso-estensione gomito, rotazione spalla e flesso-estensione polso <sup>5,11-13</sup>.

Ad esempio è stata molto studiata la biomeccanica del lancio (*throwing*) che è stata codificata in 2 fasi (caricamento del braccio ed accelerazione) e 4 momenti (raccolgimento, caricamento, accelerazione, accompagnamento). È stato verificato come, in relazione alla torsione del tronco, la spalla passi dalla massima extrarotazione alla massima intrarotazione e dalla estensione alla flessione contestualmente alla variazione del gomito che passa invece dalla flessione alla estensione e del polso che passa dalla posizione neutra alla massima estensione. Tali variazioni espongono la spalla, il gomito e il polso ad accelerazioni e decelerazioni elevate con microtraumi ripetuti delle strutture capsulo-legamentose.

Altro esempio è rappresentato dalla valutazione biomeccanica del gesto atletico di servizio nel tennis e della schiacciata nel volley <sup>5</sup>.

In questo gesto atletico la velocità nei movimenti è l'elemento fondamentale nell'attacco. Ai massimi livelli i giocatori si scagliano sulla palla con velocità da sprinter usando delle tecniche nei loro movimenti. L'impulso prodotto dalla somma di queste tecniche si trasferisce alla palla ed appunto la velocità impartita alla palla deriva dai seguenti fattori:

- la velocità lineare dell'attaccante nella direzione d'attacco;
- la rotazione del busto dell'attaccante;
- la velocità del braccio;
- la velocità di frustata del polso;
- la velocità di caduta dell'attaccante;
- la dimensione della mano;
- la rigidità della mano;
- la percentuale di forza applicata sul centro della palla.

La valutazione del gesto atletico ha portato anche alla possibilità di quantificare la trasmissione sequenziale delle forze da una articolazione all'altra e la sequenzialità di attivazione e disattivazione dei diversi gruppi muscolari.

## Discussione

L'analisi biomeccanica dell'arto superiore nel gesto atletico sempre più precisa e sempre più contestualizzata nella catena cinematica è divenuta nel corso degli anni un argomento sempre più discusso e di grande interesse nella letteratura internazionale.

La sua importanza risiede nel migliorare le prestazioni degli sportivi e nel prevenire gli infortuni.

Questi studi, sempre più tecnologici e raffinati nell'acquisizione dei dati, hanno portato alla variazione delle posture

e delle movenze ad esempio come nel lancio del peso, nel quale inizialmente a dare la spinta al peso era il solo arto superiore mentre modernamente la spinta è generata dalla catena cinematica che parte dalla flessione e rotazione del tronco e si trasmette poi all'arto superiore oppure come nelle varianti di impugnatura della racchetta nel caso del tennis finalizzate ad imprimere una sempre maggiore potenza alla palla correlata ad una variazione da un gioco di sottorete e volee ad un gioco da fondo campo e di potenza.

Si è giunti così al miglioramento continuo delle performance degli atleti e al superamento di record che anche solo 30 anni fa risultavano insuperabili.

Inoltre, si è giunti a riconoscere e catalogare le lesioni tipiche degli sportivi, distinguendole per articolazione e in lesioni dell'atleta adolescente e dell'atleta adulto, o addirittura a distinguerle per ogni singola articolazioni in lesioni *sport-relate*<sup>14-21</sup>.

Si è giunti a descrivere e diagnosticare nuove condizioni patologiche come la *snapping triceps syndrome* e la *valgus extension overload syndrome* e a comprenderne i meccanismi patogenetici<sup>17</sup>.

Si è giunti a comprendere i meccanismi patogenetici alla base di alcune patologie tipiche degli sportivi, come ad esempio l'epicondilite o gomito del tennista e, grazie alla variazione delle posture nel gesto atletico, ad osservarne la netta riduzione nella popolazione sportiva e osservarne la maggiore incidenza in popolazione non sportiva<sup>16,19-21</sup>.

## Conclusioni

Il movimento sportivo amatoriale e agonistico è in continua evoluzione.

Ci sono sport "di moda" e sport "per sempre" e si è passati da gesti atletici "artigianali" a gesti atletici sempre più studiati e "costruiti" in laboratorio.

Il gesto atletico peculiare di ogni sport va studiato per comprendere gli eventuali "errori" causa di sovraccarichi e, quindi, per prevenire gli infortuni degli sportivi sia agonisti sia amatoriali, ma anche per migliorare le prestazioni degli sportivi agonisti sempre alla ricerca di nuovi record.

I concetti di biomeccanica e le patologie sport-relate sono oggetto di grande interesse nella letteratura scientifica e i concetti correlati variano molto rapidamente, ma non per un susseguirsi di idee, bensì per la continua variazione dei gesti atletici alla ricerca della perfezione della performance sportiva. La biomeccanica applicata al gesto atletico, perciò, sta diventando sempre più fondamentale e merita un posto di rilievo negli insegnamenti riservati in primo luogo agli allenatori, ma anche agli atleti, nonché merita un posto di rilievo nel bagaglio culturale del personale medico e paramedico che si occupa degli atleti stessi.

## Bibliografia

- 1 Kapandji AI. Fisiologia articolare. Monduzzi editore 1994.
- 2 McGinnis PM. Biomechanics and sport exercise. Third edition. Humankinetics ed. 2013.
- 3 Hood S, McBain T, Portas M, et al. Measurement in sports biomechanics. Measurement and Control 2012;45:182-186.
- 4 Payton CJ, Bartlett RM. Biomechanical evaluation of movement in sport and exercises. The British Association of Sport and Exercise Sciences Guideline. Routledge 2018.
- 5 Reeser JC, Fleisig GS, Bolt B, et al. Upper limb biomechanics during the volleyball serve and spike. Sports Health 2010;2:368-374. <https://doi.org/10.1177/1941738110374624>
- 6 da Silva RT. Sports injuries of the upper limbs. Rev Bras Ortop 2015;45:122-131. [https://doi.org/10.1016/S2255-4971\(15\)30280-9](https://doi.org/10.1016/S2255-4971(15)30280-9)
- 7 Sharma K, Mansur DI, Khanal K, et al. Variation of carrying angle with age, sex, height and special reference to side. Kathmandu Univ Med J 2013;11:315-318. <https://doi.org/10.3126/kumj.v11i4.12540>
- 8 Kumar B, Pai S, Ray B, et al. Radiographic study of carrying angle and morphometry of skeletal elements of human elbow. Rom J Morphol Embryol 2010;51:521-526.
- 9 Chappleau J, Canet F, Petit Y, et al. Validity of goniometric elbow measurements: comparative study with a radiographic method. Clin Orthop Relat Res 2011;469:3134-3140. <https://doi.org/10.1007/s11999-011-1986-8>
- 10 Farana R, Irwin G, Jandacka D, et al. Joint variability for different hand positions of the round off in gymnastics. Hum Mov Sci 2015;39:88-100. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2014.11.001>
- 11 Middleton KJ, Alderson JA, Elliott BC, et al. The influence of elbow joint kinematics on wrist speed in cricket fast bowling. J Sports Sci 2015;33:1622-1631. <https://doi.org/10.1080/02640414.2014.1003586>
- 12 Wang LH, Kuo LC, Shih SW, et al. Comparison of dominant hand range of motion among throwing types in baseball pitchers. Hum Mov Sci 2013;32:719-729. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2013.01.003>
- 13 Loftice J, Fleisig GS, Zheng N, et al. Biomechanics of the elbow in sports. Clin Sports Med 2004;23:519-530. <https://doi.org/10.1016/j.csm.2004.06.003>
- 14 Frostick SP, Mohammad M, Ritchie DA, et al. Sport injuries of the elbow. Br J Sports Med 1999;33:301-311. <https://doi.org/10.1136/bjism.33.5.301>
- 15 Field LD, Savoie FH. Common elbow injuries in sport. Injury Clin 1998;26:193-205.
- 16 Eygendaal D, Rahussen FT, Diercks RL. Biomechanics of the elbow joint in tennis players and relation to pathology. Br J Sports Med 2007;41:820-823. <https://doi.org/10.1136/bjism.2007.038307>
- 17 Dugas JR. Valgus extension overload: diagnosis and treatment. Clin Sport Med 2018;29:645-654. <https://doi.org/10.1016/j.csm.2010.07.001>

- <sup>18</sup> Dines JS, Bedi A, Williams PN, et al. Tennis injuries: epidemiology, pathophysiology, and treatment. *J Am Acad Orthop Surg* 2015;23:181-189. <https://doi.org/10.5435/JAAOS-D-13-00148>
- <sup>19</sup> Fan ZJ, Bao S, Silverstein BA, et al. Predicting work-related incidence of lateral and medial epicondylitis using the strain index. *Am J Ind Med* 2014;57:1319-1330. <https://doi.org/10.1002/ajim.22383>
- <sup>20</sup> Tajika T, Kobayashi T, Yamamoto A, et al. Prevalence and risk factors of lateral epicondylitis in a mountain village in Japan. *J Orthop Surg (Hong Kong)* 2014;22:240-243. <https://doi.org/10.1177/230949901402200227>
- <sup>21</sup> Sanders TL Jr, Kremers HM, Bryan AJ, et al. The epidemiology and health care burden of tennis elbow: a population-based study. *Am J Sports Med* 2015;43:1066-1071. <https://doi.org/10.1177/0363546514568087>