

## STATO ATTUALE DELLE ACQUISIZIONI DI BIOMECCANICA

MARCO MARCHETTI

Istituto di Fisiologia Umana dell'Università di Roma

Allorché ho accolto, con vivo piacere, l'invito rivoltomi dagli organizzatori di questo Convegno ad esporre quale configurazione abbia assunto recentemente la Biomeccanica e quali prospettive essa abbia per il futuro, ho ritenuto che i miei compiti fossero i seguenti. Presentare la disciplina nei suoi aspetti generali, si da offrire una specie di introduzione alla trattazione, ben più specialistica e finalizzata che farà seguito. Allo stesso tempo, però, non discostarmi troppo da quegli aspetti che abbiano un qualche riferimento con le attività sportive.

Una Biomeccanica dell'uomo, dunque, ed inoltre soltanto quella che riguardi lo studio del movimento dell'apparato muscolo-scheletrico. Suo compito è di interpretare, secondo i principi ed il linguaggio propri della Meccanica, tale movimento. L'ottimizzazione di questo e la prevenzione dei danni che ne possono derivare alle strutture corporee costituiscono le principali finalità applicative di tale studio.

La possibilità che mi si è offerta in questa occasione per soffermarmi a riflettere su questo argomento mi è stata particolarmente gradita. Si avverte infatti che la disciplina in questione attraversa attualmente una fase di profonda transizione. Essa è in rapida espansione a motivo dell'interesse sempre più vasto che suscita negli ambienti più diversi, dall'Ortopedia all'Ergonomia, dalla Medicina riabilitativa a quella preventiva, ed anche a causa degli enormi progressi tecnologici che ne rendono sempre più agevole lo studio. Di ciò testimonia il numero di società scientifiche che si sono venute formando nell'ultimo decennio, e che afferiscono in gran parte alla Società internazionale di Biomeccanica, anch'essa di recente istituzione, nonché la quantità e qualità delle manifestazioni congressuali che durante tale periodo si sono succedute.

Ma proprio tale accrescimento, da cui non è esente qualche nota di disturbo, direi, da età evolutiva, rende doveroso un attento esame della situazione, al fine di orientare in modo ancor più mirato la futura politica di sviluppo.

Precedentemente mi riferivo al progresso tecnologico, come causa di espansione della disciplina e questo aspetto merita di essere vagliato accuratamente perché esso ha determinato modificazioni non solo quantitative, ma anche qualitative. Mi riferisco non tanto al perfezionamento delle tecniche di misura, che pure c'è stato ed importante, quanto al progresso delle tecniche di elaborazione dei dati. In passato questa fase della ricerca costituiva il punto dolente e, direi, il fattore limitante per questi studi. Per comprendere ciò bisogna considerare che, in buona parte dei casi, la misura delle grandezze più direttamente pertinenti, come velocità, accelerazione, potenza, etc., può essere ottenuta solo indirettamente, per calcolo, impiegando modelli matematici delle strutture muscolo-scheletriche considerate. Dato il numero, sovente assai elevato delle equazioni implicate, tale procedimento è sempre assai complesso ed anche l'impiego dei calcolatori delle prime generazioni non ha del tutto sollevato il « povero biomeccanico » da un lavoro tanto lungo quanto tedioso. Per citare un esempio, nel Laboratorio di Biomeccanica di cui faccio parte, per descrivere un solo doppio passo della deambulazione umana, tra leggere le registrazioni fotografiche, tradurre i dati in forma accessibile al calcolatore, trascrivere l'elaborato di questo in forma graficamente perspicua, se ne vanno qualcosa come una cinquantina di ore lavoro/operatore.

Solo la più recente evoluzione delle nuove generazioni di calcolatori, legata all'adozione di microcomputer, ha rivoluzionato sostanzialmente lo stato dell'arte. Si rendono adesso disponibili calcolatori a prezzi relativamente accessibili che possono essere introdotti direttamente nei laboratori e resi capaci di una acquisizione automatica o semiautomatica dei dati. Tali strumenti possono operare una elaborazione in linea e una presentazione grafica degli elaborati nelle forme più sofisticate. Le loro possibilità di colloquio con l'operatore sono state tanto perfezionate da non richiedersi più speciali qualificazioni per la programmazione. Inoltre è possibile prevedere una loro interazione con la strumentazione del laboratorio, sì che il calcolatore stesso gestisca direttamente le modalità di esecuzione delle misure, rendendo queste molto più agevoli ed affidabili. Con tale strumentazione, per tornare all'esempio di prima, 50 ore di lavoro umano si traducono in qualche minuto di attività della macchina.

L'ipotesi dunque di centri organizzati, che svolgono attività di ricerca e/o di servizio ai fini della riabilitazione motoria, per esempio, documentando nei termini rigorosi ed obiettivi della Biomeccanica il recupero funzionale di una larga popolazione di pazienti, o che eseguano attività, ai fini della Scienza dello Sport, studiando l'apprendimento motorio di atleti in corso di allenamento, non appartiene più alla fantascienza. E' invece in parte realtà già operante ed in parte qualche cosa che si sta allestendo e che diverrà realtà in un prossimo futuro anche in ambito nazionale. E' chiaro che mi sono riferito solo a due delle possibili applicazioni: queste potrebbero essere tante quante discipline possano avvalersi della descrizione biomeccanica a scopo di ricerca o di diagnosi.

Sulla base di queste nuove possibilità, acquista valore l'esortazione

che uno dei più giovani, ma anche dei più brillanti, adepti alla disciplina, Peter Cavanagh, pone al termine di una sua rassegna sugli attuali sviluppi tecnologici (1), e che qui riporto, traducendola un po' liberamente. « E' ora che ci si renda conto che questa relativamente giovane scienza è entrata nell'età adulta... Se il lavoro che si profonde nella Biomeccanica ha da tornare utile, questo deve trovare una più ampia applicazione che non lo studio condotto su uno o due soggetti o qualche ulteriore raffinamento di tecnica ». E, come esempio di questa più vasta attività doverosa, indica l'opera che nel laboratorio di Murray si sta svolgendo sulla deambulazione di pazienti in corso di riabilitazione.

Non vorrei su questo punto essere frainteso. Non è certo il caso di considerare destituite di dignità ricerche anche recenti, solo perché condotte su di un numero relativamente limitato di soggetti. E' evidente che c'è tutta una sfera di indagini per cui, a motivo delle finalità proposte per lo studio e, vorrei aggiungere, grazie alla genialità degli studiosi, non si avverte il bisogno di molti dati di misura per avanzare ipotesi eleganti e per suffragarle sperimentalmente.

E' il caso, ad esempio, dello studio condotto da Paul sulla entità delle forze scambiate all'articolazione dell'anca. L'autore si proponeva di fornire le necessarie indicazioni per la progettazione di endoprotesi e si comprende bene che anche i dati misura condotti su pochi soggetti sono stati sufficienti a tale scopo (3). Voglio citare un altro esempio, ancor più significativo e che mi fa particolarmente piacere di menzionare perché riguarda ricercatori italiani appartenenti ad una Scuola — quella di Margaria — da tanti anni benemerita anche per la disciplina di cui mi occupo. Mi riferisco alle ricerche di Cavagna e collaboratori (4) che valsero ad indicare che il muscolo umano, durante certi atti motori come la corsa, ad esempio, è capace di immagazzinare in forma potenziale l'energia cinetica cedutagli dal corpo, per restituirla successivamente, consentendo così elevati risparmi nell'impegno di energia desunta dall'ossidazione degli alimenti. Tali ricerche, per cui la Biomeccanica è risultata validissimo strumento per esplorare le proprietà fisiologiche del muscolo umano, hanno trovato largo consenso in sede internazionale.

Credo che tanto basti per dimostrare che certo tipo di attività sperimentale è stato fruttuoso in passato e continuerà ad esserlo per l'avvenire. Rimane però il fatto che molti indirizzi di ricerca, mirati a descrivere il comportamento motorio medio di una certa categoria di soggetti o a studiare le modalità di apprendimento motorio, non possono essere sviluppati senza un'abbondante raccolta di osservazioni. Viene spontaneo di ricordare in proposito l'opera veramente pionieristica svolta da Bernstein e dalla sua Scuola; tanto più ammirevole, in quanto condotta senza l'ausilio della moderna tecnologia, e che così ampio contributo ha dato sulle conoscenze in tema di apprendimento motorio nell'età evolutiva e nell'uomo adulto impegnato a particolari compiti operativi. Certamente è in gran parte a questi studi che si deve lo sviluppo così prestigioso che la Biomeccanica ha assunto di recente nell'URSS e, più in generale, nei paesi orientali.

Nel campo delle Scienze dello Sport un impiego delle odierne

possibilità tecnologiche per uno studio dettagliato degli stili esibiti dagli atleti più qualificati, allo scopo di dare una norma, in termini di cinematica e di dinamica, per l'esecuzione di determinati esercizi, è un'opera che si impone e che fortunatamente ha già iniziato a svolgersi.

Desidero però, proprio a questo riguardo, far rimarcare un inconveniente che si ravvisa nella ricerca contemporanea e che più grave ancora potrebbe risultare in futuro, ove non vi si ponga rimedio, programmando più opportunamente parte della nostra attività. Mi riferisco al pericolo che in questa opera di descrizione ci si sperda in un'analisi dal particolare e contingente tragga le leggi generali ed universali della motricità umana. Già tre anni fa circa, nel discorso di chiusura del penultimo Congresso Internazionale di Biomeccanica, Paavo Komi, che di quel Congresso era l'organizzatore, lamentava che troppe ricerche erano dedicate alla sola descrizione del movimento e che troppo poco si fosse fatto per giungere ad un'interpretazione scientifica di questo. Mi pare che analogo appunto si possa rivolgere per una parte almeno delle ricerche presentate all'ultimo Congresso Internazionale svoltosi a Copenaghen nel luglio scorso.

Ho già affermato l'importanza che anche la semplice descrizione dell'atto motorio può assumere, ad esempio, nel campo sportivo. Ma se si vuole che la Biomeccanica assuma piena dignità scientifica è necessario non limitarsi a questa ma sforzarsi di interpretare la strategia che la macchina corporea adotta allorché, per restare nell'esempio, sia spinta alla massimizzazione di un qualche aspetto delle sue capacità motorie. Non basta, in altri termini descrivere come l'uomo si muove, ma bisogna comprendere anche perché si muove in quel modo.

Il metodo di indagine cui si allude è quello che si sforza di interpretare le varie formule motorie umane come un processo di ottimizzazione, già di fatto attuantesi, come nei movimenti più comuni della nostra specie, od in via d'attuazione, come nell'attività atletica. Si tratta di valutare come una certa grandezza possa essere massimizzata o minimizzata allorché si assegni il ruolo di vincolo a certi parametri. Questi possono riguardare ad esempio i motori muscolari, che più che una certa potenza non possono erogare, e che per tanti altri aspetti sono dei motori affatto singolari. O possono consistere nei limiti di capacità di controllo del sistema nervoso. O in altri ancora, come la possibilità di impegno energetico complessivo, o gli effetti del progressivo affaticamento etc. La scelta delle funzioni parametriche da prendere in considerazione dipende in sostanza dalla situazione che si vuole interpretare, e lo stesso vale per la gerarchia che si voglia ad essi assegnare. Come si vede la ricerca affronta in tale procedimento anche aspetti che esulano da considerazioni puramente meccaniche; nota Asmussen in proposito (6) che è proprio nel dover sussumere l'importato culturale di altre scienze biologiche che la Biomeccanica assume la sua piena configurazione.

Così, per esempio, la deambulazione a velocità naturale dell'uomo è stata considerata come il quadro motorio ottimale al fine di minimizzare la spesa energetica per chilometro. Recentemente noi abbiamo

avanzato l'ipotesi che sotto le condizioni di minimizzazione figurino anche altre grandezze, quali le forze impulsive agenti sulla struttura scheletrica, in particolare a livello del capo, ed è su questa ipotesi che stiamo attualmente lavorando.

Lo studio delle condizioni di ottimizzazione è in effetti quanto mai congeniale per la Biomeccanica, e particolarmente per l'applicazione di questa allo studio dello Sport. In primo luogo perché il linguaggio eminentemente matematico della disciplina è immediatamente utilizzabile per la formulazione esatta che a tal fine si richiede. Poi perché le scienze dell'Ingegneria, ad essa più affini, hanno sviluppato tecniche quanto mai versatili e convenienti per la definizione di queste considerazioni. Né va dimenticato che ottenere un'ottimizzazione è l'obiettivo principale della Scienza dello Sport.

Mi pare opportuno concludere pertanto questa rassegna con l'esposizione di una delle più pregevoli ricerche che a questo proposito siano state recentemente condotte e che dovrebbe valere ad illustrare convenientemente quanto sopra ho detto. Nel considerare un atto motorio assai semplice — in sostanza quello di calciare un oggetto — Hatze ha formulato un modello matematico, in cui figurano anche equazioni che descrivono le proprietà fisiologiche dei muscoli e le caratteristiche del controllo nervoso. Ottenuta da questo la soluzione per cui la velocità venga massimizzata, l'autore è passato al controllo sperimentale, chiedendo a dei soggetti di addestrarsi di fatto nel compito previsto. La prova ha avuto pieno successo: non solo si è riscontrato che il comportamento motorio, man mano che l'addestramento progrediva, veniva sempre più uniformandosi alle previsioni teoriche, ma che un'istruzione in base a queste si rendeva necessaria se si voleva ottenere un pieno successo in questa attività. Anche per quanto riguarda il controllo nervoso la previsione teorica risultava pienamente confermata: il quadro elettromiografico dei cinque gruppi muscolari considerati veniva a corrispondere perfettamente a quanto ci si attendeva (7).

E' inutile insistere molto sul significato di questa ricerca. In primo luogo essa dimostra che la soluzione di un problema di ottimizzazione può essere realmente ottenuta. E poi documenta quale significato possa avere questo modo di procedere per verificare ipotesi che riguardano la Fisiologia dell'apparato muscolare o del sistema nervoso.

Traendo spunto da questo esempio, così indicativo delle future possibilità di sviluppo della Biomeccanica vorrei terminare con una frase del già citato Cavanagh, che mi pare si attagli perfettamente al caso. I nostri maggiori fecero così tanto con tanto poco. L'autore si riferiva alla semplicità strumentale delle ricerche di Galileo, ma io vorrei ricordare anche le condizioni dei fondatori della Biomeccanica: Leonardo Da Vinci e Alfonso Borelli. Al cospetto di ciò, e della ricchezza di strumenti tecnici e culturali che ci si offrono, è una sfida per noi fare con così tanto qualche cosa.

## BIBLIOGRAFIA

- 1) CAVANAGH P.; Recent advances in instrumentation and methodology of biomechanical studies. Biomechanics V-B, P.V. Komi ed., University Park press, Baltimore 1976, 399-411.
- 2) MURRAY M.P., BREVER B.J., GORE D.R. e ZEUGER R.C.; Kinesiology after Mc Kee Farrar total hip replacement. J. Bone Joint Surg., 1975, 57, 337-342.
- 3) PAUL J.P.; Forces trasmitted by joints in the human body. Proc. Inst. Mech. Engrs., 1967, 181, 8.
- 4) CAVAGNA G.A. e KANEKO M.; Mechanical work and efficiency in level walking and running. J. Physiol. (London), in stampa.
- 5) BERNSTEIN N.; The co-ordination and regulation of movements. Pergamon Press, Oxford 1967.
- 6) ASMUSSEN E.; Movement of man and study of man in motion: a scanning review of the development of biomechanics. Biomechanics V-A, P.V. Komi ed., University Park Press, Baltimora 1976, 23-40.
- 7) CAPPOZZO A., FIGURA F., LEO T. e MARCHETTI M.; Movements and mechanical energy changes of the upper part of the human body during walking. 6<sup>th</sup> International Congress of Biomechanics, Copenhagen, Danmark 1977, in stampa.
- 8) HATZE H.; Biomechanical aspects of a successful motion optimization. Biomechanics V-B, P.V. Komi ed., University Park Press, Baltimora 1976, 5-12.