

GAIT ANALYSIS

In ambito clinico, la Gait Analysis (GA) o analisi computerizzata della deambulazione consente di registrare, quantizzare e monitorare nel tempo la deambulazione del paziente affetto da diverse patologie di interesse neurologico, ortopedico e reumatologico. E' diventato nel corso degli ultimi anni un valido strumento a disposizione del clinico come supporto alla valutazione dei disturbi del paziente e per seguire nel tempo il programma farmacologico e/o riabilitativo, coadiuvando la scelta degli eventuali aggiustamenti terapeutici. Infatti, avere la possibilità di monitorare quantitativamente il movimento del paziente porta alla possibilità di misurare con precisione gli effetti prodotti da una determinata terapia farmacologica, chirurgica e/o riabilitativa. Inoltre è possibile valutare l'uso e l'efficacia di una ortesi in maniera specifica per ogni paziente. Si propone di registrare la deambulazione attraverso l'uso di più strumenti integrati ed interfacciati tra loro, ognuno con lo scopo di indagare un diverso aspetto del movimento: ripresa video con più telecamere per ricostruire nelle tre dimensioni dello spazio lo spostamento; pedane di forza e pressione, per misurare l'energia scambiata con il suolo; elettrodi di superficie che consentono di registrare contemporaneamente l'attività elettrica dei gruppi muscolari coinvolti durante l'atto motorio. Prevede la misura di variabili cinematiche (posizione, velocità, accelerazione e forze) e dinamiche. Per la misura delle grandezze cinematiche sono disponibili diversi sistemi: gli elettrogoniometri (misure di angoli tra le articolazioni), gli accelerometri (misure di accelerazioni di segmenti corporei) e, di gran lunga i più usati, gli optoelettronici che utilizzano telecamere che registrano il movimento di marcatori posti sulla superficie corporea del soggetto.

Per acquisire un'analisi standardizzata e ripetibile nel tempo vengono utilizzati diversi protocolli (SAFLo¹, DAVIS², CAST³, ed altri); il più comune protocollo di acquisizione è il sistema DAVIS, che prevede le seguenti fasi:

1. Eseguire misure antropometriche: altezza, peso corporeo e parametri relativi ai segmenti ossei, necessari per stimare i centri articolari (per esempio la distanza tra le spine iliache anterior-superiori destra e sinistra, la distanza nel piano sagittale delle spine iliache anteriori e il gran trocantere, etc.).
2. Dopo il posizionamento dei marcatori corporei si procede ad un'acquisizione statica: il soggetto rimane in posizione eretta per circa 2-5 secondi durante i quali vengono acquisite le posizioni nello spazio dei marcatori. Queste misure, integrate con quelle antropometriche, permettono di calcolare i sistemi di riferimento associati ai segmenti ossei e la posizione dei centri articolari degli arti inferiori.

3. Infine si effettua l'acquisizione dinamica degli atti motori di interesse. Il percorso che il soggetto compie è di circa 10-15 metri, ripetuto diverse volte (solitamente 3 o 5 volte) in modo da avere un numero di passi congruo per una corretta analisi statistica. Di solito durante il percorso sono previsti passi su piattaforme di forza/pressione o più raramente su 2 o più scalini di dimensioni standard.

La strumentazione tipica è la seguente:

- Marcatori passivi: dischi o sfere del diametro di circa 1 cm² di materiale catarifrangente che vengono apposti in punti di repere standardizzati sul corpo del soggetto mediante materiale biadesivo. Per ottenere un segnale stabile, il sensore deve essere posizionato in un punto in cui sia garantita la massima visibilità; non ci sia sovrappollamento di marcatori che ostacolino l'identificazione della singola traiettoria; siano usati almeno 3 marcatori per identificare un segmento corporeo.
- Sistema di telecamere a infrarossi (in numero solitamente di 6-8: due anteriori, due posteriori e 2 o 4 laterali al percorso) in grado di registrare il segnale luminoso dei marcatori e trasdurlo in segnale digitale. Quest'ultimo viene inviato a una scheda di acquisizione, dove i diversi segnali vengono integrati e inviati al sistema informatico di elaborazione.
- Piattaforme di forza/pressione in grado di misurare le forze scambiate tra il paziente ed il suolo. Conoscendo il sistema di forze scambiate al terreno ed acquisita la cinematica mediante i sistemi optoelettronici, è quindi possibile calcolare i momenti e le potenze alle diverse articolazioni.
- Sistema di elettromiografia di superficie (sEMG): gli elettrodi di superficie (Fig. 1) adesi alla cute del paziente registrano il segnale bioelettrico dovuto alla contrazione muscolare. La registrazione raccomandata è bipolare. Per migliorare il rapporto segnale/rumore è necessario dapprima migliorare il segnale utilizzando un cavo con pre-amplificatore integrato. Inoltre, per abbassare le impedenze è necessario: a) garantire un buon contatto tra elettrodo e cute (minori artefatti, riduzione delle interferenze elettriche), b) evitare lo sbilanciamento tra le impedenze dei due elettrodi (minori disturbi di modo comune). E' quindi consigliabile rasare e detergere accuratamente la cute del soggetto nel punto in cui l'elettrodo sarà posizionato. Inoltre si raccomanda, per il fissaggio di elettrodi e cavi, di utilizzare fasce elastiche o nastro di materiale adesivo, cosicché i movimenti dell'articolazione non applichino trazione su cavi e elettrodi (riducendo gli artefatti). Fattori che influenzano la qualità della registrazione del segnale sono la presenza di giunzione neuromuscolare, di giunzioni muscolo-tendinee o di altri muscoli attivi nelle vicinanze alla

posizione prescelta (cross-talk). Per una corretta acquisizione di spostamenti di segmenti corporei bilaterali (come la deambulazione) è fondamentale applicare gli elettrodi in maniera simmetrica sui muscoli omologhi dei due lati e mantenere le stesse distanze interelettrodiche e dai punti di repere. La posizione degli elettrodi longitudinalmente al muscolo è raccomandata e preferibilmente tra il terzo prossimale ed i due terzi distali del ventre muscolare (Fig. 2). Per la registrazione di muscoli dell'arto inferiore, gli elettrodi non devono avere un diametro superiore a 10 mm perché un aumento della dimensione trasversale rispetto all'orientamento delle fibre muscolari da un lato potrebbe incrementare il volume registrato ma riduce l'accuratezza dell'acquisizione in quanto potrebbe registrare anche da muscoli contigui (cross-talk). Il segnale bioelettrico grezzo (frequenza di campionamento di almeno 1000 Hz) (Fig. 3) viene inviato wireless in tempo reale ad un sistema di acquisizione e successivamente elaborato mediante software dedicato (off-line) (Fig. 4).

- Foot-switch (Fig. 5-6): il protocollo di acquisizione prevede anche la registrazione di segnali per identificare le diverse fasi del passo attraverso l'applicazione di ulteriori elettrodi alla pianta del piede. I segnali ottenuti mostrano chiaramente l'alternanza tipica delle fasi di appoggio e delle fasi di volo del passo. Formalmente si identifica la fase iniziale del passo con l'inizio del contatto del tallone a terra. In tal modo, l'analisi del ciclo del passo permette di identificare gli intervalli nei quali ricercare le attivazioni muscolari dell'arto inferiore.
- Infine il sistema informatico con specifici software raccoglie, elabora e memorizza i segnali ottenuti dai diversi sistemi di acquisizione (telecamere, pedane, elettrodi). Dalle coordinate tridimensionali dei marcatori, tale sistema integra i segnali digitali e ricomponere un'immagine tridimensionale del soggetto. La sequenza temporale di queste immagini costituisce la riproduzione fedele della cinematica del movimento articolare e contemporaneamente è possibile analizzare l'attività elettrica muscolare e la forza/energia prodotta dai gruppi muscolari implicati in quel determinato spostamento articolare.

Da ciò si evince che il tecnico di neurofisiopatologia è parte attiva durante le fasi di acquisizione delle tracce soprattutto per le sue competenze riguardo il posizionamento degli elettrodi e per l'interpretazione del segnale ottenuto durante le varie fasi del passo. Inoltre anche nelle fasi di elaborazione dei dati ha un ruolo determinante, coadiuvando il medico nell'identificare i muscoli maggiormente deficitari o il pattern di attivazione muscolare del cammino e quindi per orientare la scelta terapeutica (tossina botulinica, ortesi, allungamento chirurgico di tendini, etc).

Conclusioni

La GA è una metodica molto interessante in ambito clinico-riabilitativo in quanto permette di misurare quantitativamente non solo gli aspetti di cinematica del movimento umano ma anche aspetti dinamici ed elettromiografici di fondamentale importanza nella valutazione complessiva del paziente. Questo porta il clinico ad una visione più dettagliata della situazione del paziente e conseguentemente all'analisi di un percorso terapeutico/riabilitativo più mirato alla esigenza del paziente. I vantaggi sono: a) è una metodica non invasiva, quindi ripetibile nel tempo, b) è "patient-oriented" ovvero il sistema può essere adattato ai disturbi del movimento del soggetto (emiparesi, distonie, polineuropatie) ed alla valutazione dell'uso d'ortesi; c) fornisce dati obiettivi e quindi confrontabili tra diverse equipe di valutazione. I possibili svantaggi sono: i costi in termini di acquisto della strumentazione; b) il personale dedicato deve possedere expertise specifica; c) è un esame "time-consuming"; d) la strumentazione potrebbe essere ingombrante.



Fig.1. Elettrodi adesivi di superficie circolari



Fig.2. Esempio di posizionamento bilaterale di elettrodi di superficie ai muscoli degli arti inferiore posteriormente ed anteriormente.

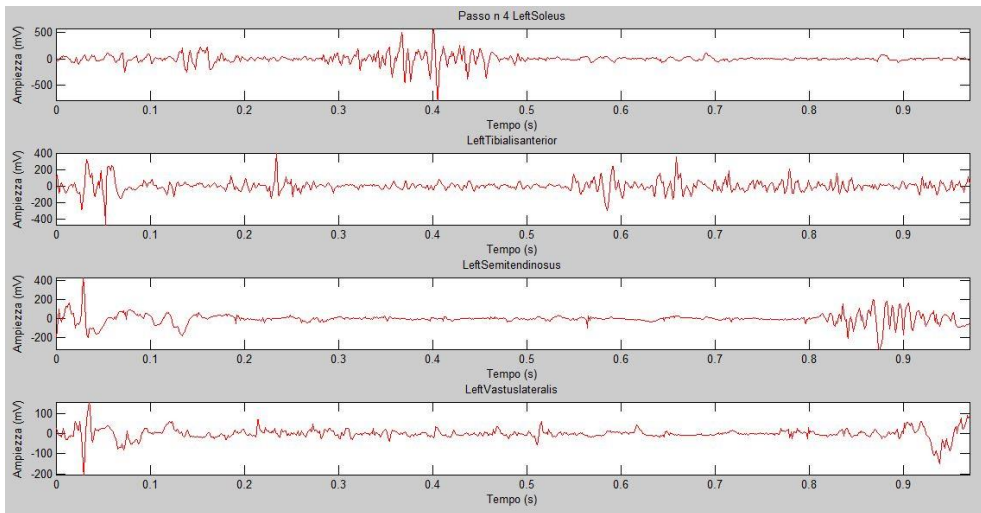


Fig. 3. Esempio di registrazione del segnale elettromiografico grezzo relativo ai muscoli dell'arto inferiore sinistro.

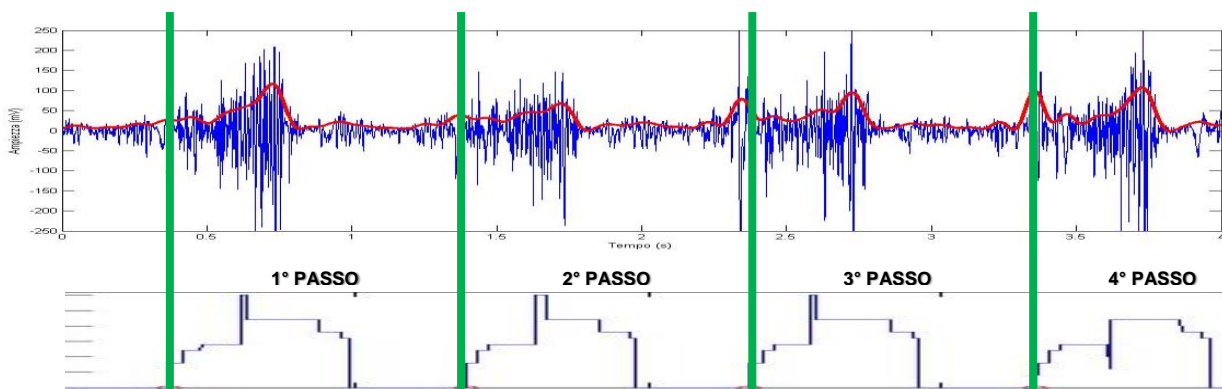


Fig. 4. Esempio di elaborazione: Involuppi risultanti, visualizzazione complessiva su una sequenza di quattro passi



Fig. 5. Esempio di posizionamento di elettrodi per l'analisi del foot switch.

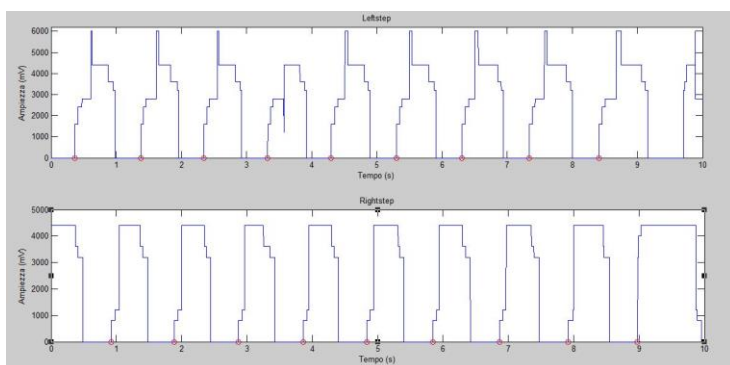


Fig.6. Segnali footswitch, sinistro e destro

Bibliografia

1. C. Frigo, M. Rabuffetti, D. C. Kerrigan, L. C. Deming, A. Pedotti. Functionally oriented and clinically feasible quantitative gait analysis method. 1998, Medical & biological engineering & computing, Vol. 36, p. 179-185.
2. R. B. Davis III, S. Ounpuu, D. Tyburski, J. R. Gage. A gait analysis data collection and reduction technique. 1991, Human movement science, Vol. 10, p. 575-587.
3. A. Cappozzo, F. Catani, U. Della Croce, A. Leardini. Position and orientation in space of bones during movement: anatomical frame definition and determination. 1995, Clinical Biomechanics, Vol. 10, p. 171-178.
4. M. Cesarelli, P. Bifulco, M. Bracale, Study of the control strategy of the quadriceps muscles in anterior knee pain. IEEE Transaction on Rehabilitation Engineering, vol.8 n°3, sett.2000, pp.330-341.

Tnfp Francesco Lullo
Servizio di Neurofisiopatologia
I.R.C.C.S. Fondazione Salvatore Maugeri
Clinica del Lavoro e della Riabilitazione
Istituto Scientifico di Telese Terme (BN)