

FISIOLOGIA E BIOMECCANICA DELLA POSTURA SEDUTA NORMALE E PATOLOGICA

Occhi Eugenio

Prima di affrontare i problemi riguardanti la postura seduta, riteniamo opportuno definire alcuni termini inerenti l'argomento postura, riconosciuti da Boccardi (2008) "una trappola semantica" per i diversi significati con cui vengono utilizzati, generando spesso equivoci e confusione.

POSTURA Tra le definizioni date al termine citiamo quelle proposte da due autorevoli Autori:

"Atteggiamento individuale assunto in un dato momento dai singoli soggetti, definito dalla disposizione nello spazio dei diversi segmenti corporei (angoli assoluti) e dai rapporti che si stabiliscono tra di loro (angoli relativi)" (S. Boccardi)

"Situazioni in cui le forze fisiche controllabili dal SNC sono in grado di opporsi alla modificazione dei rapporti reciproci tra i diversi segmenti scheletrici che le forze esterne a cui è sottoposto il corpo tentano di generare" (Scott)

Per mantenere una postura è necessario che:

- la verticale condotta dal baricentro del corpo cada all'interno della base di appoggio
- a livello di ogni articolazione la somma delle forze e dei momenti sia uguale a 0 (equilibrio statico).

Se la verticale condotta dal baricentro del corpo cade al di fuori della base d'appoggio, si ha caduta del corpo stesso per l'azione della coppia formata dalla forza di gravità assoluta (G) e dalla reazione del piano d'appoggio a tale forza (Fig.1).

Se la verticale condotta dal baricentro di un segmento corporeo, o di un insieme di segmenti, ossia linea d'azione della forza peso del segmento (o dell'insieme di segmenti) non passa per il centro dell'articolazione a cui questo è vincolato (nel qual caso il sistema è in equilibrio passivo), si genera un **momento esterno** destabilizzante, pari alla forza peso del segmento (o dell'insieme di segmenti) moltiplicato per il braccio di leva di quest'ultima rispetto all'articolazione considerata, che deve essere contrastato da un momento di uguale intensità e di verso contrario prodotto dalla tensione attiva e passiva dei muscoli antagonisti della gravità, dalla tensione passiva delle parti molli (capsula articolare, legamenti, cute), da eventuali forze esterne stabilizzanti (appoggi quali, ad esempio, schienale, braccioli, ecc. nella stazione seduta; bastoni, deambulatori, ecc. nella stazione eretta) (Fig.2; 4).

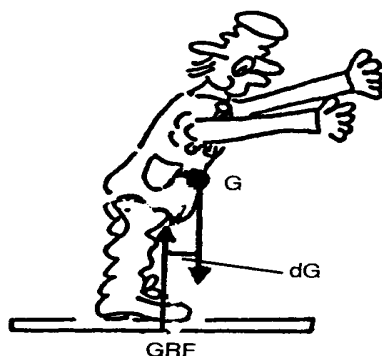


Fig.1 Se la forza di gravità assoluta (vettore G , corrispondente alla forza peso del corpo) cade al di fuori della base d'appoggio, si ha caduta del corpo per l'azione della coppia formata dalla forza di gravità assoluta (G) e dalla reazione del terreno (GRF) a tale forza. G = forza di gravità assoluta, o peso del corpo; GRF (ground reaction force) = forza di reazione del terreno alla forza G scaricata su di esso dai piedi, direzione e intensità uguale a G , verso contrario; dG (o $dGRF$) = braccio della coppia; $dG \cdot G$ = momento della coppia

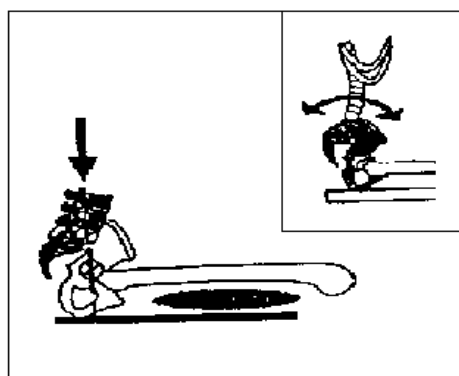


Fig.2 Equilibrio del bacino sul piano sagittale in posizione seduta. . Quando la linea di gravità relativa alla massa posta al di sopra delle anche (verticale condotta dal baricentro della massa posta al di sopra delle anche) incrocia l'asse trasverso di queste articolazioni, il bacino è in equilibrio (equilibrio instabile). Se la linea di gravità relativa si sposta in avanti, si crea un momento esterno di flessione, che deve essere contrastato dal momento generato dagli estensori delle anche (oltre che da quelli del tronco e del capo), o da un appoggio anteriore, pena la caduta in avanti del bacino, ed eventualmente del tronco e del capo nel caso in cui sia presente anche un deficit degli estensori di questi segmenti. Se la linea di gravità relativa si sposta all'indietro, si crea un momento esterno di estensione che deve essere contrastato dai flessori delle anche (oltre che da quelli del tronco e del capo), o da appoggi posteriori (schienale, poggiatesta). Disegno tratto da Engstrom B.: Ergonomics; wheelchairs and positioning. Ed. Bromme Tryck, Sweden, 1993..

TONO POSTURALE La tensione muscolare attiva necessaria a generare, insieme alle componenti passive antigraitarie, un momento interno uguale e contrario a quello della gravità, costituisce il **tono posturale**. Esso è dovuto a una contrazione statica¹ della muscolatura antigraitaria secondaria alla sua attivazione neuroelettrica, diretta o indiretta (l'attivazione

¹

In condizioni normali, una postura fissa, e quindi una contrazione muscolare isometrica finalizzata al mantenimento della stessa, non viene mai mantenuta per tempi prolungati; ciascuno di noi infatti, più o meno consapevolmente, effettua continui cambiamenti posturali per evitare l'insorgenza di disturbi legati ai sovraccarichi statici. E anche quella che ci sembra una posizione fissa è in realtà solo una posizione di riferimento attorno alla quale effettuiamo continui micromovimenti di aggiustamento.

diretta passa direttamente attraverso gli alfa motoneuroni; l'attivazione indiretta passa attraverso i gamma motoneuroni e il riflesso da stiramento).

AGGIUSTAMENTI POSTURALI L'azione intenzionale è sempre accompagnata da meccanismi di adattamento posturale, per lo più inconsci, che consentono il sostegno di base dell'azione stessa, il mantenimento dell'equilibrio del corpo e delle sue parti (mantenere e/o riportare il baricentro al di sopra della base d'appoggio; mantenere e/o recuperare l'equilibrio dei diversi segmenti corporei contro ogni perturbazione dello stesso), l'adattamento continuo delle diverse componenti della periferia motoria al contesto in cui sono chiamate ad agire. A volte questi meccanismi sono parte integrante del progetto d'azione, che anticipano o accompagnano l'azione stessa, a volte entrano in gioco a posteriori, come fattori riflessi attivati durante lo svolgimento dell'azione per aggiustarla in risposta a perturbazioni intervenute nell'ambiente esterno o interno.

Per meglio comprendere questi concetti facciamo alcuni esempi:

- Per alzarci dalla sedia dobbiamo prima portare i piedi all'indietro per creare una nuova base d'appoggio all'interno della quale dovrà cadere la linea di gravità assoluta (preadattamento posturale)
- Se abduco il braccio sinistro, fletto contemporaneamente il tronco verso destra; se, dalla posizione eretta, inclino il tronco in avanti, sposto contemporaneamente il bacino all'indietro portando le tibiotarsiche in flessione plantare; se fletto gli arti superiori, inclino il tronco all'indietro. Il tutto al fine di mantenere o riportare la proiezione del baricentro all'interno della base d'appoggio, possibilmente al centro di questa.

Nel soggetto con lesione del sistema nervoso centrale, come vedremo, è in genere presente, tra l'altro, una sregolazione della componente tonico posturale dell'azione, definita dai Bobath (1978) "meccanismo posturale riflesso", anche se in realtà molto spesso non si tratta di vero movimento riflesso, e delle reazioni di equilibrio.

LA POSTURA SEDUTA

1) LA POSTURA SEDUTA NEL SOGGETTO "NORMALE"

Sviluppo della postura seduta e suo significato. La capacità di raggiungere e mantenere la stazione seduta autonoma emerge nel bambino intorno al sesto, settimo, ottavo mese di vita come meccanismo automatico finalizzato a supportare funzioni più evolute (esplorazione visiva, coordinazione oculo manuale, manipolazione, ecc.) che risulterebbero altrimenti impossibili o alterate, o poco efficienti. Nel tempo, con l'esperienza, questa posizione, servomeccanismo di azioni coscienti e volontarie (componente posturale automatica, al servizio della componente fasica dell'azione), diventa sempre più efficiente, stabile e sicura: il bambino, scoprendo la posizione seduta come elemento facilitante l'espletamento di attività che rispondono agli interessi del momento, la esercita in continuazione in contesti diversi e la perfeziona progressivamente.

Controllo posturale. I requisiti fondamentali di una buona posizione seduta, quella che garantisce la massima economicità, comfort, sicurezza e funzionalità possibili, sono soddisfatti grazie all'interazione di meccanismi di controllo interni (sistema neuromotorio) ed esterni

(sistemi di postura). Tra i primi ricordiamo i meccanismi automatici e riflessi di controllo neuromotorio, in grado di adattare in continuazione la posizione seduta al compito motorio che l'individuo sta svolgendo, garantendo il miglior supporto posturale, la migliore stabilità e la distribuzione equilibrata degli sforzi sui muscoli e sugli altri tessuti di sostegno. Tra i secondi ricordiamo i sistemi di postura; questi, attraverso i loro diversi componenti (sedile, schienale, pedane, eventuali elementi accessori quali poggiatesta, spondine laterali, cunei, ecc.), influenzano la postura seduta direttamente (adattamento passivo alla posizione imposta) o indirettamente (adattamento attivo al sistema di postura attraverso l'evocazione di reazioni di aggiustamento posturale).

BIOMECCANICA

La postura seduta presenta caratteristiche cinematiche e cinetiche simili in tutti gli individui, con differenze dall'uno all'altro in rapporto alla conformazione fisica, alla eventuale presenza di menomazioni, al particolare sistema di postura adottato, alla personalità, a fattori socio-culturali. Poiché qualsiasi postura risulta nociva se mantenuta a lungo, quando si parla di postura ideale (quella che garantisce la massima economicità, comfort, sicurezza e funzionalità) non ci si riferisce a una postura mantenuta staticamente, bensì a una postura di riferimento attorno a cui il soggetto effettua continui movimenti di aggiustamento, cosa peraltro spesso impossibile in presenza di gravi disabilità.

Di seguito verrà analizzata la postura seduta "ideale" nella persona "normale" (assenza di menomazioni di natura essenzialmente neurologica e/o ortopedica) dal punto di vista della cinematica (disposizione dei diversi segmenti nello spazio - angoli articolari)² e dal punto di vista della cinetica (forze e momenti in gioco nel mantenimento della postura, sforzi e deformazioni a livello delle strutture biologiche). L'analisi sarà rivolta ai singoli segmenti corporei, partendo dal bacino, e alla influenza dell'assetto di ciascuno di questi sull'intero sistema.

a) BACINO

L'assetto del bacino, come vedremo più avanti, condiziona ed è condizionato da quello dei segmenti sopra e sottostanti. La stabilità di questa struttura e la sua adattabilità ai cambiamenti posturali dei vari segmenti costituisce un presupposto fondamentale per garantire l'equilibrio di tutto il sistema.

Piano sagittale In posizione seduta, l'angolo di inclinazione del bacino (angolo tra l'orizzontale e la linea tesa tra promontorio del sacro e bordo superiore della sinfisi pubica (Fig. 6) è inferiore a quello riscontrato in stazione eretta (in stazione eretta si aggira sui 60 gradi); varia inoltre in rapporto all'angolo di flessione delle ginocchia, aumentando con l'aumentare di quest'ultimo per effetto dell'allentamento progressivo degli ischiocrurali (Fig.3).

² Come vedremo più avanti, è possibile variare l'assetto posturale sia modificando i rapporti reciproci tra segmenti corporei (variazione degli angoli articolari), sia modificando la disposizione del corpo nello spazio lasciando immutati gli angoli articolari.

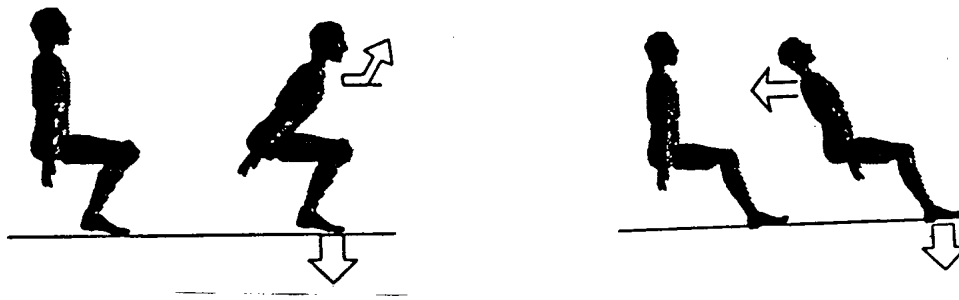


Fig.3 La flessione delle ginocchia, riducendo la tensione degli ischiocrurali, facilita l'inclinazione in avanti del bacino (aumento dell'angolo di inclinazione del bacino). L'estensione delle ginocchia, mettendo in tensione gli ischiocrurali, favorisce l'inclinazione all'indietro del bacino (riduzione dell'angolo di inclinazione del bacino (Disegno tratto da Engstrom B.: *Ergonomics; wheelchairs and positioning*. Ed. Bromme Tryck, Sweden, 1993).).

L'equilibrio del bacino sul piano sagittale è assai precario in quanto la forza peso della massa gravante sopra le anche tende a spostarsi al davanti e al di dietro dell'asse trasverso di queste articolazioni generando momenti esterni destabilizzanti; per contrastare l'effetto di questi momenti è necessario l'intervento dei muscoli ad azione sul bacino e sul tronco o, in alternativa, l'utilizzo di validi sostegni anteriori (tavolino, ad esempio, braccioli, bretellaggio) o posteriori (schienale, supporto sacrale, ecc.) (Fig.2; 4).

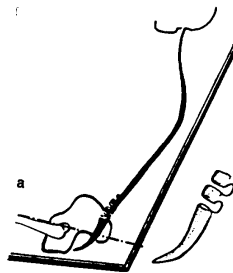


Fig. 4 Quando la linea di gravità relativa alla massa corporea posta al di sopra delle anche passa posteriormente all'asse trasverso di queste articolazioni, si crea un momento di estensione che viene contrastato dalla reazione dello schienale (da Engstrom B.: *Ergonomics; wheelchairs and positioning*. Ed. Bromme Tryck, Sweden, 1993, modificato).

Piano frontale. La linea bicrestoiliaca (tangente ai punti superiori delle due creste iliache) e la linea bisacroiliaca (linea congiungente i punti superiori delle due articolazioni sacroiliache) hanno direzione orizzontale; la verticale condotta dall'apofisi spinosa della settima vertebra cervicale (linea a piombo) passa per la linea interglutea.

L'orizzontalità del bacino (linea bicrestoiliaca e linea bisacroiliaca) è fondamentale per garantire il corretto allineamento del rachide e la distribuzione omogenea delle pressioni sulle zone in appoggio; una sua obliquità, al contrario, determina una deviazione compensatoria della colonna e un sovraccarico ischiatico.

Piano orizzontale In condizioni normali, le spine iliache si trovano sullo stesso piano frontale (assenza di rotazione pelvica).

b) RACHIDE LOMBARE

Piano sagittale. L'orientamento del rachide sul piano sagittale è innanzitutto condizionato dall'orientamento del sacro (angolo sacrale).³ A causa della riduzione della inclinazione in avanti del sacro, l'angolo di lordosi lombare in posizione seduta a tronco eretto, anche e ginocchia flesse di 90 gradi, è inferiore a quello presente in stazione eretta di circa il 40% (Fig.5). I valori di quest'angolo possono inoltre variare sensibilmente a seconda del grado di flessione delle ginocchia (aumentano con l'aumentare della flessione) e del sistema posturale adottato (forma e assetto di sedile, schienale, pedane, presenza eventuale di braccioli, tavolino e altri elementi accessori), oscillando tra i 45 e i 15 gradi circa (Adams e Hutton, 1985).

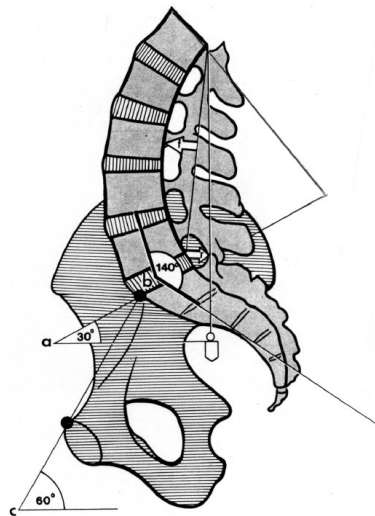


Fig.5 L'angolo di lordosi lombare è l'angolo formato dalla tangente alla faccia superiore del sacro con la tangente alla faccia superiore di L1. In stazione eretta, a tronco in posizione 0, quest'angolo si aggira intorno ai 50 gradi; si riduce in media del 40% in posizione seduta. A seconda dell'assetto assunto dal sistema bacino-colonna, spontaneamente o a seguito dell'applicazione di un sistema di postura, i valori di quest'angolo possono variare sensibilmente. L'angolo a (30 gradi) è l'angolo di inclinazione del sacro; l'angolo c (60 gradi) l'angolo di inclinazione del bacino (da Kapandji I.A.: Fisiologia articolare. Soc. Editrice Demi Roma, 1974).

Mentre nella posizione seduta con angolo di lordosi basso (inferiore a 25 gradi), definita da Adams e Hutton (1985) "flexed posture", si producono sforzi di trazione sulle parti molli posteriori (legamento longitudinale posteriore, legamento giallo, legamento sovraspinoso, legamento interspinoso, porzione posteriore dell'annulus, radici e guaine di avvolgimento) e di compressione sulle porzioni anteriori del rachide (parte anteriore dell'annulus, parte anteriore del corpo vertebrale), e il nucleo polposo di ciascun segmento di movimento viene spinto all'indietro contro le fibre dell'annulus, nella posizione seduta con angolo di lordosi superiore a 40 gradi, definita da Adams e Hutton (1985) "erect posture", aumentano i carichi di trazione sulle parti molli anteriori (legamento longitudinale anteriore, fibre anteriori dell'annulus) e di compressione sulle strutture posteriori (concentrazioni di sforzo a livello delle fibre posteriori dell'annulus e delle faccette articolari), si riduce il diametro del canale spinale (Lyang, 1989) e si riduce il rifornimento nutritivo del disco; il nucleo polposo assume una forma a cuneo a base anteriore e viene spinto verso l'avanti contro le fibre dell'annulus.

³ L'angolo sacrale (inclinazione sull'orizzontale della faccia superiore del sacro) dipende sia dall'inclinazione del bacino (la misura della inclinazione del bacino è data dall'angolo tra l'orizzontale e la linea tesa tra promontorio del sacro e bordo superiore della sinfisi pubica; in stazione eretta si aggira sui 60 gradi) che dalla inclinazione del sacro rispetto al bacino.

Quale sia la postura seduta ideale per la salute del rachide è questione dibattuta. Sicuramente questa varia da un soggetto all'altro in base alla conformazione fisica e alla eventuale presenza di disturbi; mentre alcuni soggetti trovano sollievo assumendo una postura "erect", che tra l'altro garantisce una maggiore stabilità della colonna, mediante l'utilizzo di un sostegno lombare, altri, specie quelli con disturbi da impingement delle faccette o da compressione delle radici e/o del sacco secondarie a restringimento del canale spinale e/o dei forami di coniugazione, preferiscono assumere posture con rachide più flesso. In tutti i casi il vero provvedimento salutare, oltre all'utilizzo di sistemi di postura ergonomici che consentano di ridurre al minimo gli sforzi mioarticolari, resta la non fissità posturale (cambiamento frequente di posizione, alternanza di carico e scarico). Questa, nei soggetti impossibilitati a effettuare qualsiasi aggiustamento posturale attivo, può essere ottenuta con l'utilizzo di sistemi di postura il cui assetto può essere modificato mediante dispositivi elettrici.

Piani frontale e orizzontale. In condizioni di normalità, non vi sono deviazioni del rachide lombare su questi piani.

c) RACHIDE DORSALE La colonna dorsale, per la sua rigidità, è la porzione meno condizionata dall'assetto posturale dei segmenti sopra e sottostanti; la conservazione della sua cifosi fisiologica e l'assenza di inclinazione laterale e di rotazione sul piano orizzontale costituiscono un fattore importante per la postura corretta e, in particolare, per la funzionalità cardio-respiratoria.

d) RACHIDE CERVICALE. La posizione ideale è quella che consente la ottimizzazione dell'orientamento dello sguardo senza fatica e senza dolore.

Normalmente, in posizione seduta, la verticale condotta dal baricentro del capo passa anteriormente all'asse trasverso dell'articolazione atlanto-occipitale, ed è necessaria una continua attività dei muscoli estensori del capo e del collo per contrastare il momento flessorio della gravità (peso del capo), tanto maggiore quanto maggiore è l'incurvamento a C del rachide. Questo spiega i frequenti dolori alla muscolatura posteriore del collo nei soggetti che stanno a lungo seduti e la necessità, a volte, di inclinare lo schienale all'indietro in modo che la forza di gravità relativa agisca in senso estensorio, e di applicarvi un appoggiatesta, o, in alternativa, di utilizzare dei supporti antiflessione.

e) SPALLE E ARTI SUPERIORI. La posizione del cingolo scapolare e degli arti superiori è condizionata da quella del rachide. Le spalle, nella postura ideale di riposo, dovrebbero essere alla stessa altezza, i gomiti dovrebbero essere flessi di 90 gradi, gli avambracci orizzontali (come vedremo, il mantenimento di questa postura è garantito dalla presenza di adatti braccioli o tavolini il cui utilizzo, tra l'altro, consente una migliore distribuzione delle pressioni sulle zone in appoggio).

f) COSCE. Le cosce sono flesse di circa 90 gradi sul bacino, in posizione neutra sui piani frontale e orizzontale, disposte in modo da appoggiare sul sedile fino quasi all'altezza del poplite (il poplite non deve prendere appoggio sul bordo del sedile per evitare una fastidiosa e dannosa compressione del fascio vascolo-nervoso) e consentire la distribuzione ottimale degli sforzi tra le parti in appoggio. Per raggiungere quest'ultimo obiettivo, visto il dislivello tra superficie inferiore dei femori e tuberosità ischiatiche (queste ultime sporgono in basso rispetto ai femori), è sempre opportuno utilizzare cuscini lievemente avvallati nella porzione posteriore (Fig.6).



Fig. 6 Da seduto, le tuberosità ischiatiche sporgono in basso rispetto ai femori.. Per questo è opportuno che il sedile sia leggermente più basso nella sua parte posteriore. (Disegno tratto da Engstrom B.: *Ergonomics; wheelchairs and positioning*. Ed. Bromme Tryck, Sweden, 1993).

g) GAMBE E PIEDI. La flessione delle ginocchia di 90-100 gradi porta i piedi in posizione quasi orizzontale ad appoggiare con tutta la pianta sulle pedane. L'appoggio a tutta pianta è fondamentale per evitare pericolose concentrazioni di pressioni; può essere reso difficoltoso o impossibile per difetti del sistema di postura (pedane troppo basse) o per malformazioni (equinismo, piedi torti, retrazione in flessione maggiore di 90-100 gradi, o in estensione, delle ginocchia). In questi casi, come vedremo, si può modificare il sistema di postura o ricorrere alla chirurgia correttiva.

2) LA POSTURA SEDUTA NEI SOGGETTI CON DISABILITÀ. ANALISI DEI PROBLEMI, IPOTESI TERAPEUTICHE

Se la postura seduta ideale della persona “normale” costituisce un riferimento da tenere sempre presente quando ci si accinge al posizionamento di un soggetto con disabilità, non bisogna dimenticare che molto spesso questa si discosta anche di molto dalla postura ideale di molti soggetti disabili. Per ogni persona con disabilità la postura “ideale” è quella che meglio si adatta alle esigenze del suo apparato locomotore; è compito della riabilitazione individuare un sistema idoneo che faciliti il mantenimento di questa postura.

Un sistema di postura è un insieme di elementi in grado di dare appoggio e contenzione alla persona garantendo il mantenimento di una postura ideale (comoda, sicura, funzionale, ecc.) per le condizioni specifiche di quest'ultima. Comprende elementi essenziali (sedile, schienale, pedane) ed eventuali elementi accessori (braccioli, poggiatesta, poggiamanche, stabilizzatori per il tronco e il bacino, cinture di posizionamento, spondine laterali, cunei, ecc.). Da un punto di vista biomeccanico può essere considerato un sistema finalizzato a mantenere una postura “ideale” attraverso la produzione di forze e momenti in grado di contrastare l'effetto di forze e momenti disequilibranti e deformanti (peso dei diversi segmenti corporei, forze e momenti esercitati dai muscoli spastici).

Il compito di un sistema di postura dovrebbe essere quello di:

- sostituire l'azione di muscoli deficitari
- opporsi all'azione disequilibrante e deformante di muscoli spastici
- inibire – assorbire spasmi o discinesie
- prevenire deformità
- accogliere-accomodare deformità già presenti
- mantenere l'allineamento “ideale” dei diversi segmenti corporei riducendo i momenti esterni da controllare e i carichi muscolo-articolari

- esercitare un contenimento percettivo e facilitare l'organizzazione dei ritmi biologici
- facilitare le funzioni esplorative e transitive (esplorazione visiva, coordinazione oculomanuale, manipolazione, ecc.) e le funzioni viscerali (digestione, respirazione, circolazione, ecc.)

Se mal congegnato, un sistema di postura può provocare danni organici e/o funzionali su di un organismo già compromesso.

Analizziamo ora alcune situazioni posturali problematiche in presenza di patologie disabilitanti, e le possibili soluzioni. Prenderemo prima in considerazione le anomalie posturali conseguenti all'utilizzo di sistemi di postura inadeguati e passeremo successivamente a quelle legate direttamente ad alterazioni organiche e funzionali.

Bacino-colonna. A livello del sistema bacino-colonna non è raro il riscontro di una postura caratterizzata dall'inclinazione all'indietro del bacino e da una conseguente ipercifotizzazione del rachide. Le cause di questo difetto, e di difetto si tratta se questa inclinazione è costante ed eccessiva, tale da mettere a forte rischio la salute della cute a livello sacro coccigeo, la salute del rachide e quella degli organi situati all'interno della cavità toracica e addominale, possono essere:

1. **Presenza di schienale verticale**, che induce il soggetto, specie se privo di muscoli estensori delle anche e del tronco, a lasciar scivolare verso l'avanti e a inclinare all'indietro il bacino per potere appoggiare la schiena (se il bacino restasse ancorato allo schienale, il tronco tenderebbe a cadere in avanti e il soggetto sarebbe costretto ad attivare costantemente i muscoli estensori, peraltro spesso insufficienti, o a prendere appoggio su supporti anteriori)
2. **Sedile troppo profondo.** La profondità del sedile (distanza tra bordo anteriore del sedile e faccia anteriore dello schienale) dovrebbe essere tale da lasciare, a paziente seduto con il sacro appoggiato contro lo schienale, uno spazio di tre, quattro centimetri tra il poplite e il bordo anteriore del sedile. Se il sedile è troppo profondo si ha una compressione del fascio vascolo nervoso al poplite oppure, per liberare il poplite, il paziente lascia scivolare in avanti il bacino, che si inclina all'indietro
3. **Sedile perfettamente orizzontale con superficie d'appoggio rigida.** In questo caso le cosce tendono a scivolare verso l'avanti incoraggiando la rotazione all'indietro del bacino. Il tutto provoca una indesiderata modificazione dell'assetto del rachide e una pericolosa redistribuzione degli sforzi (aumentano gli sforzi di compressione e di taglio sul sacro e sul coccige) (Fig.7)
4. **Inclinazione all'indietro dello schienale** senza una concomitante inclinazione dietro-basso del sedile. In questo caso il bacino scivola in avanti e ruota all'indietro
5. **Schienale cedevole**, quale è quello che equipaggia le comuni carrozzine pieghevoli
6. **Anteriorizzazione eccessiva delle pedane.** In questo caso si ha una riduzione della flessione delle ginocchia e un aumento della tensione passiva dei muscoli ischiocrurali con conseguente retroversione del bacino.



Fig. 7 Un sedile perfettamente orizzontale e rigido facilita lo scivolamento in avanti del bacino e la rotazione all'indietro di quest'ultimo con ripercussioni negative sull'assetto del rachide e sulla distribuzione degli sforzi. Utilizzando un sedile leggermente più basso nella sua parte posteriore si evita questo inconveniente. (Disegni tratti da Engstrom B.: *Ergonomics; wheelchairs and positioning*. Ed. Bromme Tryck, Sweden, 1993).

Sui piani frontale e orizzontale, un difetto frequentemente riscontrabile è la rotazione del bacino e del rachide sovrastante (bacino obliquo e scoliosi) conseguente alla presenza di un sedile eccessivamente largo e cedevole o di uno schienale poco avvolgente con altezza e inclinazione inadeguate ai bisogni della persona (lo schienale deve essere tanto più alto, reclinato e avvolgente quanto minore è il controllo del tronco) (Fig.8). Questo atteggiamento, che può nel tempo strutturarsi se il soggetto è incapace di effettuare cambiamenti posturali attivi, determina una distribuzione asimmetrica dei carichi su rachide e pelvi con possibili concentrazioni pressorie sulle zone in appoggio, eterometria apparente degli arti inferiori (il ginocchio omolaterale all'emibacino posteriorizzato è arretrato), deviazione in abduzione o a colpo di vento degli arti inferiori.

Le soluzioni nei casi sopracitati consistono ovviamente nella corretta regolazione del sistema di postura:

- Lieve inclinazione all'indietro (reclinazione) dello schienale, con eventuali supporti sacrale e lombare, per consentire al soggetto di appoggiarvi comodamente la schiena senza sentirsi cadere in avanti, senza dover attivare i muscoli estensori delle anche e del rachide lombare per mantenere l'equilibrio di questi segmenti (in questa posizione la linea di gravità della massa gravante sopra le anche passa dietro l'asse trasverso di queste articolazioni), senza dover cifotizzare eccessivamente la colonna per poter guardare in avanti. Il grado di reclinazione va regolato individualmente sulla base di prove. Non può essere stabilito a priori!
- Regolazione della profondità, della inclinazione, della larghezza e della rigidità del sedile
- Regolazione della altezza, del grado di avvolgimento e della rigidità dello schienale, regolazione dell'angolo sedile-schienale, ecc.
- Regolazione della posizione delle pedane, e quindi del grado di flessione delle ginocchia e di tensione degli ischiocrurali.

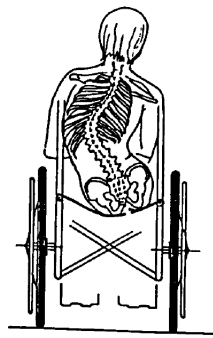


Fig. 8 Bacino obliquo (con deviazione compensatoria del rachide) provocato da un sedile troppo cedevole. (da Spagnolin G.: La carrozzina. Ed. Ghedini. 1993).

A livello degli arti inferiori, se le pedane sono troppo alte, si possono avere deviazioni in abduzione o a colpo di vento delle cosce; se le pedane sono troppo basse, i piedi si dispongono in equinismo, e il carico si concentra a livello della porzione distale delle cosce comprimendo le strutture vascolo nervose. (Fig. 9).



Fig. 9 Effetti sulla postura di una cattiva regolazione dell'altezza delle pedane.

Problemi posturali conseguenti a danno organico-funzionale (paralisi, spasticità, retrazioni, deformità, ecc.)

Molto spesso i problemi posturali nei soggetti con disabilità sono dovuti alla presenza contemporanea di diversi elementi patologici influenzantisi reciprocamente, alcuni variabili in rapporto al contesto in cui si trova il soggetto (la spasticità, ad esempio, che varia in rapporto alla situazione ambientale, alla postura, alla presenza di spine irritative, ecc.), altri costanti e irreversibili, altri prevenibili, contenibili e correggibili, entro certi limiti, con farmaci, ortesi, chirurgia, FKT, o con un adeguato sistema posturale. Trovare una soluzione idonea per questi problemi, quando spesso la correzione di un difetto può liberarne prepotentemente un altro, è spesso un compito difficile che richiede l'intervento di più competenze.

Di seguito, tenendo presente quanto sopra, verranno affrontate alcune problematiche posturali comunemente riscontrabili in soggetti con disabilità di varia natura, le possibili cause, le possibili soluzioni. L'attenzione sarà concentrata sulle problematiche relative ai diversi segmenti corporei mettendo in evidenza l'influenza dell'assetto di ciascuno di questi sui segmenti sopra e sottostanti e sull'intero sistema.

BACINO.

Pur tenendo presente che le anomalie posturali sono quasi sempre tridimensionali, ne faremo una analisi separata lungo i singoli piani dello spazio.

Piano sagittale Un atteggiamento assai frequente consiste nell'esagerata inclinazione all'indietro del bacino con conseguente incurvamento a C del rachide. Questo atteggiamento è riscontrabile nei soggetti con spasticità e/o retrazione degli estensori delle anche, nei soggetti con limitazione dell'articolari in flessione delle anche (POAN, artrosi, ecc.), nei soggetti con insufficienza dei muscoli estensori delle anche e del tronco (in questi soggetti la stabilità posturale è ottenuta spesso retrovertendo il bacino, in modo da far passare la linea di gravità relativa dietro l'asse trasverso delle anche, e appoggiando il tronco contro lo schienale), nei soggetti con deformità lombo-sacrali primitive o secondarie (spina bifida, talora; esiti di fratture e interventi chirurgici).

La correzione, a seconda del meccanismo responsabile del difetto, può essere ottenuta con uno o più dei seguenti provvedimenti:

- posizionamento delle ginocchia in maggiore flessione per allentare la tensione degli ischiocrurali
- regolazione dell'assetto del sistema di postura per inibire spasmi in estensione ("chiusura" degli angoli alle anche, ginocchia e tibiotarsiche, regolazione del basculamento del sistema) o per garantire la stabilizzazione di bacino e tronco (basculamento all'indietro del sistema di postura di 10-20 gradi, supporto sacrale, ecc.)
- FKT (stretching dei muscoli spastici o retratti), ortesi statiche
- interventi farmacologici (antispastici per via sistemica o intratecale, iniezione selettiva sui muscoli spastici di tossina botulinica, alcool o fenolo)
- chirurgia (allungamenti muscolo-tendinei, capsulotomie, rimozione di POAN, ecc.).

Se è dovuta a difetti strutturati e non correggibili con i diversi provvedimenti sopracitati, questa postura va accettata e accolta in un sistema di postura compensativo (una limitazione della flessione delle anche, ad esempio, va accolta aprendo l'angolo sedile-schienale).

Più rara della precedente è la postura caratterizzata da esagerata inclinazione in avanti del bacino. Tra le cause responsabili ricordiamo:

- a) paralisi degli estensori delle anche e/o degli addominali. In questo caso l'antiversione del bacino si può accompagnare a iperlordosi lombare o a flessione del tronco
- b) importante retrazione in flessione delle anche
- c) deformità ossee
- d) importante retrazione in estensione del rachide cervicale (in questo caso la flessione di bacino e tronco costituisce un compenso utilizzato dal soggetto per garantire l'orizzontalità dello sguardo).

Questa postura, a seconda della causa responsabile, può essere corretta chirurgicamente (correzione delle retrazioni e delle deformità a livello delle anche, o del collo) o mediante l'adozione di un sistema di postura idoneo (basculamento all'indietro del sistema in modo da far passare la linea di gravità dietro le tuberosità ischiatiche, ad esempio, in caso di paralisi degli estensori delle anche e degli addominali). Quando non è correggibile, non può che essere accettata e accolta in un sistema di postura adattato (Fig.10).

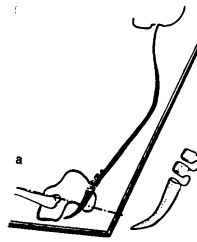


Fig.10 Apertura dell'angolo sedile-schienale in presenza di una limitazione della articolarietà in flessione delle anche.
(da Engstrom B.: *Ergonomics; wheelchairs and positioning*. Ed. Bromme Tryck, Sweden, 1993, modificato).

Piano frontale. Nei soggetti costretti alla carrozzina per gravi disabilità di origine neuromuscolare (soggetti con distrofia muscolare, PCI, esiti di gravi cerebrolesioni, esiti di poliomelite, spina bifida, paraplegia-tetraplegia acquisita, atrofie spinali, ecc.) è frequente il riscontro di una deviazione del bacino sul piano frontale (bacino obliquo). Questo difetto costituisce un grosso problema per la postura seduta, non sempre facilmente risolvibile; è causa di instabilità posturale, di dislocazioni dell'anca, di scoliosi, di ulcere da decubito, di dolori, di disturbi degli organi interni.

L'inclinazione del bacino può essere riducibile o fissa, e dipendere da alterazioni organiche o funzionali a partenza infrapelvica, intrapelvica, soprapelvica.

a) Bacino obliquo da cause infrapelviche. Questa anomalia è dovuta ad asimmetrie presenti all'interno dei muscoli motori dell'anca: una asimmetria degli adduttori provoca una elevazione e una rotazione all'indietro dell'emibacino dalla parte in cui questi muscoli tirano maggiormente, con possibile sublussazione-lussazione dell'anca, scoliosi e deviazione a colpo di vento degli arti inferiori (Fig.11); una asimmetria degli estensori delle anche provoca un'inclinazione all'indietro dell'emibacino dalla parte in cui questi muscoli tirano maggiormente, una asimmetria degli abduttori un abbassamento e una rotazione in avanti dell'emibacino dalla parte in cui questi muscoli tirano maggiormente, ecc. .

L'obliquità del bacino si accompagna sempre a una scoliosi compensatoria che nel tempo può strutturarsi se non si corregge la deformità primitiva riequilibrando i tiranti muscolari.

La manovra semeiologica che consente di verificare se l'obliquità del bacino è secondaria a uno squilibrio muscolare infrapelvico consiste nel porre il soggetto prono con anche flesse e arti inferiori pendenti dal bordo del tavolo. Supportando gli arti inferiori e muovendoli in adduzione-abduzione si può notare il movimento della pelvi in rapporto al movimento delle anche: se l'obliquità pelvica, e con essa la scoliosi, è eliminata con questi movimenti, la causa dell'anomalia è da attribuirsi a contrattura-retrazione dei muscoli pelvifemorali, e il release di questi può risolvere il problema. Se invece, muovendo le anche, l'obliquità pelvica e/o la scoliosi persistono, la causa dell'anomalia va ricercata altrove (bacino obliquo da cause soprapelviche) (Fig.12).

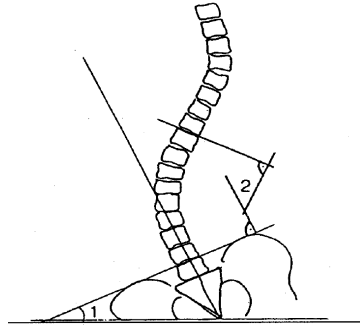


Fig.11 Bacino obliquo e scoliosi secondaria da squilibrio muscolare infrapelvico (prevalenza degli adduttori da un lato e/o degli abduttori dall'altro). Dalla parte in cui prevalgono gli adduttori si ha elevazione e retroposizione dell'emibacino e, a volte, dislocazione dell'anca; dalla parte in cui prevalgono gli abduttori si ha abbassamento e anteposizione dell'emibacino. La curva scoliotica compensatoria, inizialmente riducibile, concava dalla parte dell'emibacino più alto, consente di mantenere la proiezione del baricentro del sistema capo-tronco-arti superiori all'interno della base d'appoggio. Il riequilibrio chirurgico dei tiranti muscolari può correggere l'obliquità pelvica e con essa l'assetto del rachide (da Frischhut et al: *Pelvic tilt in neuromuscular disorders. J. of Pediatric Orthopaedics part B*; 9: 221-228, 2000).

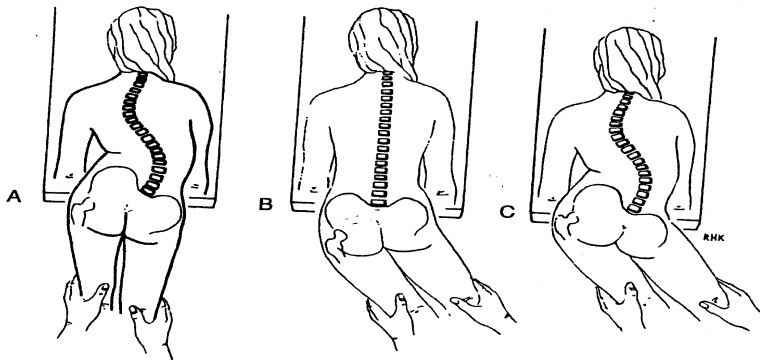


Fig. 12 Test per la valutazione dell'obliquità pelvica. A: obliquità pelvica. B: se l'obliquità pelvica è eliminata portando le anche in adduzione (sn) e abduzione (dx), la causa del difetto è la contrattura -retrazione dei muscoli pelvifemorali. C: Se l'obliquità pelvica persiste portando gli arti inferiori in adduzione-abduzione, il difetto è da attribuirsi a cause soprapelviche (scoliosi) (da Stagnara P.: *Spinal deformity. Butterworth et Co Ltd, 1988*).

b) Bacino obliquo da cause intrapelviche. E' dovuto a difetti congeniti (ipoplasia di un emibacino, ad esempio) o è secondario a traumi o a interventi chirurgici demolitivi.

c) Bacino obliquo da cause soprapelviche. Il bacino obliquo può essere dovuto a spasticità-retrazione dei muscoli spinopelvici di un lato oppure può far parte di una curva scoliotica; in quest'ultimo caso il bacino, comportandosi come una vertebra terminale, può ruotare dalla parte della concavità della curva e continuare la curva stessa o, viceversa, può ruotare in senso opposto alla curva principale generando una controcurva.

d) Bacino obliquo da cause miste. A volte, all'obliquità pelvica possono concorrere sia cause basse (squilibrio della muscolatura pelvifemorale) che cause alte (squilibri della muscolatura soprapelvica, scoliosi). Si parla in questi casi di bacino obliquo da cause miste, dove i fattori

infrapelvici e soprapelvici agiscono nello stesso senso (spasticità-retrazione degli adduttori e degli spinopelvici dello stesso lato; spasticità-retrazione degli adduttori dal lato della concavità della curva scoliotica) o in senso opposto (i muscoli pelvifemorali tirano in senso opposto a quello degli spinopelvici o in senso opposto alla concavità della scoliosi). Nel primo caso l'adduzione del femore, e la sua eventuale dislocazione, si trova sempre dalla parte della concavità della curva scoliotica; nel secondo caso il femore addotto è ipsilaterale alla convessità della curva (Fig.13).

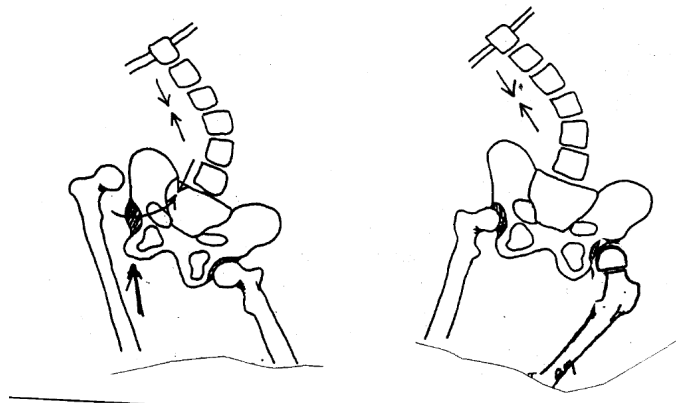


Fig.13 Scoliosi con obliquità del bacino da cause miste (scoliosi + squilibrio muscolatura pelvifemorale). Tipo A: il femore addotto è omolaterale alla concavità della curva (fattori infrapelvici e soprapelvici agiscono nello stesso senso). Tipo B: il femore addotto è controlaterale alla concavità della curva (fattori infrapelvici e soprapelvici agiscono in senso opposto, con predominanza dei secondi sui primi) (da Frishhut et al: Pelvic tilt in neuromuscular disorders. J of Ped. Orthop B. 9: 22-228, 2000).

Piano orizzontale (Fig.14). Le anomalie sul piano frontale sono quasi sempre accompagnate da anomalie sul piano orizzontale. Queste ultime, come le precedenti, riconoscono cause basse (infrapelviche), cause intrapelviche e cause alte (soprapelviche).

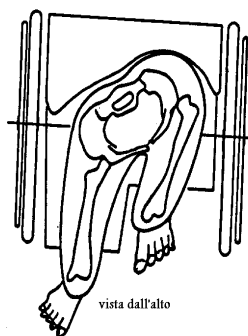


Fig.14 Rotazione del bacino sul piano orizzontale.

Non sempre, di fronte a una deformità del sistema bacino-colonna, è facile identificare il contributo dei fattori infrapelvici, intrapelvici e soprapelvici nella genesi della deformità stessa, anche per la frequente sovrapposizione di questi fattori. Un aiuto in questo senso, oltre che dalle manovre semeiologiche citate (vedi figura 12), ci può venire dalla lettura delle radiografie. Queste, in caso di deformità da cause prettamente infrapelviche, mettono in evidenza le seguenti caratteristiche (Ferrari, 2005):

- La concavità della curva scoliotica è sempre omolaterale all'anca addotta (scoliosi concorde)
- La curva scoliotica è proporzionale all'inclinazione del bacino (scoliosi proporzionata)

- La curva scoliotica compensatoria, ad ampio raggio, ha sempre origine a livello delle ultime lombari senza frapposizione di vertebre neutrali tra la curva pelvica e la curva rachidea (scoliosi adiacente)
- La curva scoliotica non precede mai l'obliquità pelvica ma consegue a quest'ultima (scoliosi conseguente).

Provvedimenti terapeutici-ergonomici

Le soluzioni al problema della rotazione pelvica sui piani frontale (bacino obliquo) e orizzontale variano a seconda delle caratteristiche della deformità e delle cause della stessa (infrapelviche, intrapelviche, sovrapelviche).

Se la deformità è dovuta a spasticità dei muscoli ad inserzione sulla pelvi (pelvifemorali, spinopelvici), si adottano i comuni provvedimenti antispastici (farmaci per via generale o intratecale, iniezioni locali tossina botulinica, alcool o fenolo, sui muscoli spastici ritenuti responsabili della deformità, FKT, posture inibenti attraverso opportuni adattamenti del sistema di postura); se è dovuta a debolezza muscolare, o a lassità delle parti molli, va adottato un sistema di postura con sostegni in grado di mantenere la posizione "ideale" contro l'effetto destabilizzante di forze e momenti esterni (peso del capo e del tronco, principalmente, peso degli arti inferiori); se costituisce un compenso cinematico a una deformità dei distretti sopra e sottostanti (scoliosi, ad esempio, deviazione a colpo di vento degli arti inferiori, ecc.), l'obliquità pelvica non va corretta senza prima aver corretto il difetto primitivo, pena il rischio di destabilizzare tutto il sistema (Fig.15).

In caso di deformità strutturale, primitiva o compensatoria di un'altra deformità, è spesso necessario intervenire con provvedimenti chirurgici miranti a eliminare la deformità stessa (naturalmente, se si tratta di una deformità compensatoria, va sempre prima eliminata la deformità primitiva): tenomiotomie riequilibranti, osteotomie, interventi maggiori su bacino e colonna (Fig.16). Qualora, per varie ragioni, la chirurgia fosse inattuabile, non si potrà pretendere di correggere la deformità anche con il più sofisticato dei sistemi posturali. Sarà allora necessario ricercare una postura sufficientemente stabile e funzionale accogliendo la deformità ed equilibrando al meglio tutto il sistema: allineamento dei segmenti corporei in modo che il centro di gravità del sistema capo-tronco-arti superiori si mantenga al di sopra della base d'appoggio, che il capo sia eretto, che i momenti disequilibranti i diversi segmenti corporei siano ridotti al minimo e contrastati adeguatamente dai diversi componenti del sistema di postura.

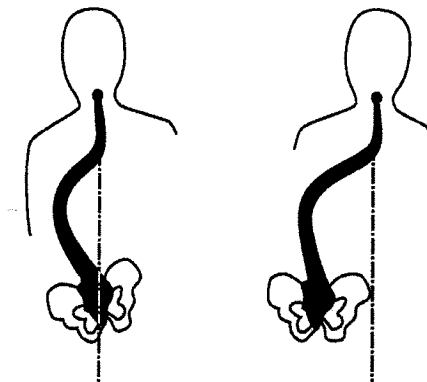


Fig.15 Scoliosi con inclinazione compensatoria del bacino finalizzata a mantenere il centro di gravità relativa al sistema capo-tronco-arti superiori al di sopra della base d'appoggio. Orizzontalizzando il bacino, la forza di gravità relativa si sposta lateralmente provocando una perdita dell'equilibrio (da Borelli G, Neviani R, Sghedoni A et al. La fisioterapia nella paralisi cerebrale infantile. Postura seduta. Springer Verlag Italia, 2013).

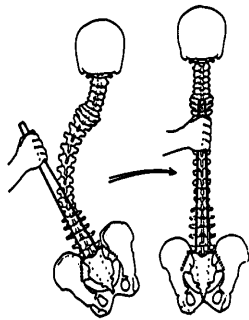


Fig. 16 Scoliosi con obliquità del bacino. La correzione chirurgica prevede molto spesso anche la correzione della deviazione del bacino per garantire l'equilibrio del sistema. (da Maloney et al. J. of Pediatric Orthopaedics 10: 742-9, 1990).

RACHIDE

Come abbiamo visto, bacino e colonna costituiscono una unità funzionale dove il bacino può essere considerato come una vertebra terminale condizionata da e condizionante l'assetto dell'intera colonna. Per questo, le deviazioni della colonna sui tre piani dello spazio si accompagnano molto spesso a deviazioni del bacino, costituendo di queste ultime la causa o la conseguenza.

Le deviazioni del rachide possono essere riducibili (non strutturate, che possono tuttavia strutturarsi nel tempo), legate a una insufficienza muscolare, a spasmi muscolari, a persistenza di riflessi primitivi, ad anomalie posturali della pelvi, o fisse. In alcuni casi raggiungono livelli di gravità tale da rendere intollerabile la posizione seduta, specie quando si accompagnano a importanti deviazioni del bacino e a dislocazione dell'anca.

I problemi del rachide con cui frequentemente si ha a che fare sono:

a) Assenza di sostegno posturale intrinseco per deficit di forza muscolare (tetraplegie alte, distrofia muscolare, atrofie spinali, paralisi cerebrale, ecc.). In questi casi l'unica possibilità di evitare il crollo incontrollato del tronco è quello di fornire dei sostegni posteriori (schienale alto e avvolgente, con la giusta reclinazione), anteriori (cinghie, tavolino, braccioli), laterali, o dei corsetti. Nel caso in cui fosse interessata anche la muscolatura del capo e del collo è necessario applicare dei sostegni per questi segmenti.

Qualora, accanto all'insufficienza muscolare, fossero presenti deformità strutturate destinate ad evolvere, si ricorre spesso a una chirurgia correttiva e stabilizzatrice.

b) Disordini del tono. Nei soggetti con spasticità, o distonie, a causa della liberazione incontrollata dei riflessi primitivi (riflessi tonici del collo, riflessi labirintici, riflesso di Galant, ecc.), è frequente l'assunzione di posture in estensione o in flessione, anteriore e/o laterale, o l'alternanza di spasmi in estensione e in flessione. Il giusto assetto del sistema di postura va in questi casi studiato attentamente, attraverso prove, verifiche e correzioni, fino a trovare la posizione più contenente e "meno scatenante" (se il sistema è troppo reclinato si potrebbero scatenare spasmi in estensione, se troppo "diritto" si potrebbero avere crolli in flessione; l'appoggio dei piedi potrebbe scatenare spasmi diffusi; ecc.) (Fig.17).

In presenza di spasmi in estensione-torsione (movimenti involontari e improvvisi ad inizio rapido e di breve durata, con effetti devastanti sul controllo posturale, a partenza dai piedi ed estendentisi verso il capo, o viceversa, o a partenza dalle spalle, o dalle anche) la migliore soluzione è l'utilizzo di carrozzine a deformabilità programmata autoreversibile.

In certi casi, quando la prepotenza della spasticità rende impossibile posizionare il paziente, vanno presi in considerazione provvedimenti chirurgici, quali l'impianto di sistemi per la somministrazione di farmaci antispastici per via intratecale, ad esempio, seguiti eventualmente da ortesizzazioni contenitive.



Fig. 17 Spasmo in estensione. Si noti la spinta del tronco contro la parte alta dello schienale e lo scivolamento in avanti del bacino (da Bobath B, Bobath K: Lo sviluppo motorio nei diversi tipi di paralisi cerebrale. Libreria scientifica già Ghedini, Milano, 1976).

c) Deviazioni compensatorie ad alterazioni dell'assetto del bacino. Ne abbiamo parlato nella parte dedicata alle anomalie pelviche. Se le deviazioni secondarie del rachide non sono ancora strutturate, la correzione del difetto pelvico può consentire la normalizzazione delle curve rachidee

d) Difetti strutturali. Tra i difetti strutturali ricordiamo l'iperlordosi lombare, l'ipercifosi, la scoliosi. Questi difetti possono essere primitivi (malformazioni congenite, esiti di fratture, retrazioni muscolari), o possono instaurarsi e strutturarsi come compensi a difetti presenti in altri distretti (obliquità del bacino, ad esempio, eccessiva antiversione o retroversione del bacino, ecc.). A volte, nei casi più gravi, vanno corretti chirurgicamente, ponendo attenzione al mantenimento dell'equilibrio dell'intero sistema (se costituiscono un compenso cinematico a deformità dei distretti sopra e sottostanti non vanno corretti senza prima aver corretto il difetto primitivo). Quando la chirurgia non trova indicazione, i difetti vanno accolti al meglio nel sistema di postura, o in un corsetto, cercando in ogni caso di garantire la massima stabilità (ricerca del miglior equilibrio possibile dell'intero sistema), sicurezza, comfort e funzionalità (mantenimento della verticalità della testa e orizzontalità dello sguardo, facilitazione del nursing, ecc.).

ARTI INFERIORI

I problemi relativi agli arti inferiori con cui ci si trova più spesso a dover fare i conti sono:

a) Deformità in adduzione delle cosce secondaria a spasticità-retrazione degli adduttori, simmetrica o asimmetrica. In quest'ultimo caso gli arti inferiori sono spesso deviati a colpo di vento, specie se alla prevalenza degli adduttori di un lato si accompagna la prevalenza degli abduttori del lato opposto, il bacino si solleva dalla parte degli adduttori prevalenti, l'anca addotta tende a sublussare o a lussare; l'anca opposta non lussa perchè coperta dall'abbassamento dell'emibacino omolaterale, ma risulta spesso dolorosa a causa della pressione a cui rimane sottoposta. Al fine di consentire una postura seduta adeguata è spesso necessario procedere preventivamente alla correzione degli squilibri muscolari responsabili del

difetto (FKT, ortesi statiche, tossina botulinica, alcool o fenolo sui muscoli spastici, miotomotomia dei muscoli retratti). Se l'atteggiamento viziato non è fisso, si applicano delle spinte correttive attraverso il sistema di postura; se fisso e non correggibile, è preferibile lasciare gli arti deviati e il bacino allineato piuttosto che volere a tutti i costi allineare i primi provocando una rotazione disequilibrante del bacino.

b) Abduzione—extrarotazione delle cosce, simmetrica o asimmetrica, dovuta a ipotonia muscolare, a squilibri muscolari, a retrazioni articolari, deformità, ecc. Se mobile, questo atteggiamento va corretto con opportuni adeguamenti del sistema di postura (contenimento-stabilizzazione del bacino, supporti laterali che esercitano una spinta delle cosce in senso latero-mediale, controllo della larghezza del sedile, controllo dell'altezza delle pedane, ecc.); se fisso, è a volte necessario ricorrere alla chirurgia.

c) Eterometria arti inferiori, reale, conseguente a lussazione di un'anca, malformazioni, traumi, osteotomia varizzante, o apparente, conseguente a rotazione del bacino sul piano orizzontale. Se reale, è necessario ricorrere a interventi ortopedici, chirurgici o ad accomodamenti del sistema di postura (Fig.18). Se apparente, l'eterometria può essere corretta intervenendo sulle cause con i provvedimenti citati nelle pagine che precedono (interventi farmacologici, chirurgici, FKT).

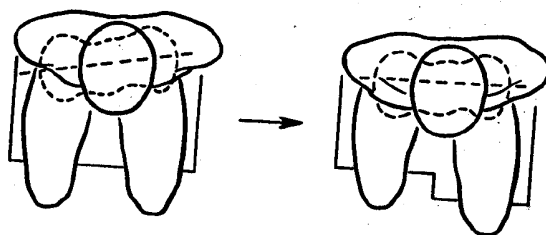


Fig. 18 In caso di eterometria reale degli arti inferiori il paziente tende a compensare ruotando in avanti l'emibacino dalla parte dell'arto più corto (per evitare compressioni eccessive e dolorose al poplite) e ruotando il tronco in senso opposto (per portare le spalle sullo stesso piano frontale). Per prevenire questi compensi, che potrebbero nel tempo portare a una sofferenza delle strutture del rachide, è necessario ridurre la profondità del sedile dal lato dell'arto più corto.

d) Limitazione della flessione delle anche. Può essere dovuta a spasticità estensoria, frequente nei soggetti con paralisi cerebrale, o a rigidità strutturale (ossificazioni pararticolari, retrazione muscolare e/o articolare, ecc.).

Nel caso in cui questa limitazione non sia correggibile con interventi fisioterapici (stretching), farmacologici (antispastici, eventualmente per via intratecale), chirurgici (rimozione ossificazioni, allungamenti tendinei, capsulotomie, ecc.), o con posture inibenti ("chiusura" degli angoli articolari di anche, ginocchia e tibiotarsiche), va adattato il sistema di postura come segue:

- se la flessione massima raggiungibile è inferiore a 90 gradi, l'angolo sedile-schienale deve essere maggiore di 90 gradi, tanto più quanto maggiore è la limitazione della flessione. Se quest'angolo non è adeguatamente regolato, il soggetto è costretto a spostare in avanti la pelvi, con conseguenze negative sull'assetto del rachide e sulla distribuzione degli sforzi. Una volta regolato l'angolo sedile-schienale, va regolato il grado di basculamento della carrozzina (un differente basculamento aumenta o diminuisce la capacità del soggetto di guardare in avanti e di utilizzare gli arti superiori)
- Se il difetto è monolaterale, si riduce lo spessore della parte anteriore del cuscino omolateralmente e si abbassa la pedana corrispondente.

e) Limitazione della flessione delle ginocchia. Può essere dovuta a spasticità estensoria o a rigidità strutturale. Per la correzione si può ricorrere nel primo caso a interventi fisioterapici, farmacologici (antispastici, eventualmente per via intratecale) o ad adattamenti del sistema posturale in modo da ottenere una postura inibente (“chiusura” degli angoli articolari di anche, ginocchia e tibiotarsiche); nel secondo caso, in base anche alla entità del difetto, si interviene con fisioterapia, farmaci ed eventualmente con interventi chirurgici (rimozione ossificazioni, allungamenti tendinei, capsulotomie, ecc.). Se la deformità non è modificabile in alcun modo è necessario accoglierla adattando l'angolo formato dal sedile con i tubi di supporto delle pedane in modo che i piedi possano ancora poggiare comodamente su queste ultime con tutta la pianta.

f) Limitazione della estensione delle ginocchia. Interferisce con la postura seduta solamente quando è di grado elevato (retrazione in flessione maggiore di 90 gradi). Limitazioni di minore entità non hanno grosse ripercussioni sulla postura seduta normale in soggetti attivi, in buone condizioni generali, mentre possono costituire un discreto handicap nei soggetti che necessitano di portare gli arti inferiori in posizione orizzontale o di assumere anche solo temporaneamente posizioni semisdraiate per la presenza di problemi di ipotensione, crisi dirisreflessiche, ecc.

g) Equinismo, equinovarismo, equinovalgismo dei piedi). E' un'anomalia posturale di frequente riscontro, dovuta a spasticità-retrazione dei flessori plantari e/o degli intrarotatori dei piedi, a deformità osteoarticolari, a difetti del sistema di postura (pedane troppo basse, ad esempio), ad alterazioni posturali dei distretti a monte (la caduta in abduzione-extrarotazione delle cosce, ad esempio, porta i piedi ad appoggiare sul bordo esterno, ecc.). Se fissa, questa alterazione va possibilmente corretta, in base all'entità, mediante FKT, ortesi statiche, farmaci, chirurgia, ovviamente correggendo contemporaneamente l'eventuale fattore causale. Se mobile, è necessario individuarne e rimuoverne la causa .

ARTI SUPERIORI

I problemi relativi agli arti superiori sono legati principalmente a insufficienza muscolare, disordini del tono, retrazioni, deformità. In questi casi è necessaria come sempre una valutazione accurata dei problemi e l'individuazione delle soluzioni più idonee a garantire la massima funzionalità e sicurezza.

- **Per i cerebrolesi con gravi disturbi del tono** interessanti il tronco e i quattro arti (tatraparesi cerebrale), l'atteggiamento degli arti superiori può essere legato alla prepotenza di certi pattern patologici, complicata a volte dalla presenza di retrazioni e/o deformità. In questi casi è necessario distinguere, tra i segni presenti, quelli da correggere, se correggibili (spasticità diffusa di grado elevato, spasticità focale, deformità fisse o dinamiche interferenti con la stabilità del tronco, ecc.) e quelli che, al contrario, costituiscono comunque delle strategie utilizzate per soddisfare determinate esigenze (utilizzo funzionale di alcuni pattern patologici e di certi riflessi primitivi). I primi possono essere a volte trattati, a seconda dei casi, con provvedimenti chirurgici, o farmacologici, o ergonomici (chirurgia funzionale; impianto di pompe al baclofene; blocchi neuromuscolari selettivi con tossina botulinica, alcool o fenolo; individuazione di sistemi di postura ad azione contenente e/o inibente). I secondi vanno per lo più rispettati fin tanto che non possono essere corretti i difetti primitivi (che non sempre possono essere corretti!).

- **Per le persone che presentano una ipotonia/ipostenia degli arti** tale da impedire il sostegno posturale attivo degli stessi contro gravità, è necessario dotare la carrozzina di braccioli

di altezza, forma e dimension adeguate, o di un tavolino. Un buon appoggio degli arti superiori, tra l'altro, è in grado di ridurre il carico sulle altre parti in appoggio del 10-15 per cento, e di prevenire pericolosi stiramenti delle parti molli con possibili danni articolari secondari (sublussazione delle spalle, ad esempio).

- **Negli emiplegici che si spostano con la carrozzina**, quando non vi è alcuna possibilità di recupero funzionale dell'arto superiore (è comunque a volte possibile ottenere dei miglioramenti funzionali con interventi specifici), si pone l'arto plegico in posizione tale da evitare traumatismi o sbilanciamenti (bracciolo, tavolino, reggibraccio). Per la mobilità in ambienti ristretti, questi pazienti utilizzano spesso una carrozzina per autospinta a piede. Si tratta di una carrozzina che viene spinta e guidata con il piede dell'arto conservato, spesso con l'aiuto dell'arto superiore omolaterale che spinge sul mancorrente. Per spostamenti all'esterno viene spesso utilizzata una carrozzina a comando elettrico.

- **Per le persone disabili che conservano una buona funzionalità degli arti superiori** (paraplegici, amputati, ecc.) è essenziale che l'assetto della carrozzina venga adattato alle singole esigenze in modo da ottimizzare l'efficienza della spinta e dei trasferimenti, la scorrevolezza e la manovrabilità del mezzo (Fig.19).

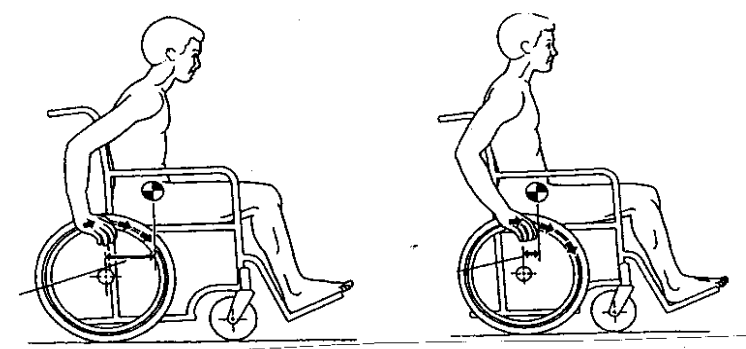


Fig. 19 Il baricentro del sistema utente – carrozzina si trova tra le ruote posteriori e le rotelle anteriori, spostato in avanti, all'indietro, in alto o in basso, a seconda dell'assetto della carrozzina

- Lo spostamento in alto delle ruote posteriori rispetto al telaio determina una inclinazione indietro alto dello schienale e indietro basso del sedile con conseguente spostamento all'indietro della proiezione del baricentro del sistema utente – carrozzina. Ne conseguono effetti sulla postura, che diventa spesso più sicura e confortevole, sulla dinamica della spinta, che diventa più efficiente, sulla resistenza al rotolamento, che diminuisce.
- Lo spostamento in basso delle ruote posteriori determina effetti opposti a quelli ottenuti spostando le stesse in alto.
- Lo spostamento in avanti delle ruote posteriori determina uno spostamento all'indietro della proiezione del baricentro del sistema utente carrozzina (nelle carrozzine "standard" quasi metà del peso grava sulle rotelle anteriori). Ne consegue una riduzione della resistenza al rotolamento della carrozzina, un minore ingombro (diminuisce la lunghezza della carrozzina e il cerchio di curvatura), una più facile manovrabilità, della proiezione una maggiore efficienza della spinta (vedi cap.5).
- Lo spostamento all'indietro delle ruote posteriori determina uno spostamento in avanti del peso del sistema utente carrozzina rendendo più stabile il sistema stesso, ma interferendo negativamente sulla manovrabilità e sulla resistenza al rotolamento. (da Brubaker C.E., Ph.D.: *Wheelchair prescription: an analysis of factors that affect mobility and performance. Journal of Rehab. Research and Development. Vol.23, n° 4, pag.19-26, 1985.*)

POSTURA SEDUTA E ULCERE DA DECUBITO

Nella stazione seduta, a livello delle superfici in appoggio si producono sforzi di compressione, di trazione e di taglio⁴. Questi sono particolarmente elevati a livello delle zone ricoprenti protuberanze ossee, dove la superficie d'appoggio è piccola (lo sforzo è dato dal rapporto tra forza e superficie di applicazione della forza); se superano, per intensità e durata, il limite di resistenza dei tessuti sottoposti a carico, possono provocare la formazione di ulcere ischemiche da decubito.

Nelle persone normoconformate e senza deficit neurologici, gli sforzi generati sulle zone a rischio (tuberosità ischiatiche anzitutto; poi, in misura minore, sacro, coccige, cosce, natiche, dorso, grandi trocanteri) sono contenuti per intensità, grazie alla possibilità di distribuire le forze applicate su superfici abbastanza ampie, e, soprattutto, per durata, grazie alla possibilità di effettuare continui cambiamenti posturali (la sensazioni di fastidio, o di dolore, provenienti dalle zone ischemiche sovraccaricate generano risposte motorie protettive, volontarie o riflesse).

In molte persone con disabilità, al contrario, sia l'intensità che la durata degli sforzi prodotti sulle zone a rischio sono elevate; l'intensità a causa della ridotta superficie d'appoggio secondaria alla riduzione della massa di tessuto protettivo e, a volte, alla postura viziata; la durata a causa della difficoltà, o impossibilità, di effettuare cambiamenti posturali preventivi.

Per quanto riguarda la resistenza dei tessuti agli sforzi, anche questa è spesso notevolmente ridotta nelle persone disabili; la registrazione della tensione di O₂ transcutanea effettuata su soggetti paraplegici a seguito dell'applicazione di una forza compressiva sulle zone a rischio, indice della risposta della cute a questa forza, ha evidenziato, a parità di forza applicata (intensità e durata), una riduzione maggiore della stessa in questi soggetti rispetto ai controlli (Bader and Gant, 1988). Dopo la rimozione della forza, mentre la cute dei soggetti sani si rivitalizzava rapidamente (recupero rapido del normale livello di ossigenazione della cute), quella dei soggetti mielolesi restava ipossigenata per un intervallo di tempo piuttosto lungo; durante questo intervallo, l'applicazione di una nuova forza provocava una ulteriore riduzione della PO₂ (Bader, 1990).

La particolare predisposizione delle persone con disabilità alla formazione di ulcere da decubito impone l'adozione di misure preventive. Tra queste, tre sono fondamentali: il cambiamento frequente di posizione; il posizionamento corretto della persona; l'utilizzo di cuscini antidecubito.

a) Cambiamento di posizione. Poiché, come abbiamo visto, il tempo di applicazione delle forze è cruciale per lo sviluppo di ulcere da decubito, la prima misura preventiva consiste nel cambiare frequentemente la posizione del soggetto in modo da mantenere i tessuti a rischio entro la zona di sicurezza (vedi curva pressione tempo). A tale scopo è opportuno insegnare al soggetto, dove questo sia possibile, a sollevare le natiche ad intervalli regolari spingendosi sui braccioli, a inclinare il busto in avanti, a spostare il peso da un lato all'altro per liberare a turno gli ischi dalle forze compressive; se il soggetto è impossibilitato ad automobilizzarsi, dovranno essere i care givers a provvedere al sollevamento da queste forze ad intervalli regolari mediante variazioni dell'assetto posturale (variazione della inclinazione di sedile e schienale, ecc.),

⁴ *Sebbene i termini pressione e sforzo vengano usati spesso indistintamente (entrambi sono dati dal rapporto tra carico e superficie di applicazione del carico), è corretto parlare di pressione quando il carico è applicato su una superficie fluida (soggetto seduto su un cuscino ad aria, ad esempio), di sforzo quando il carico è applicato su una superficie solida (soggetto seduto su una superficie solida). Nel primo caso la forza si trasmette uniformemente in tutte le direzioni, nel secondo caso in una sola direzione (sforzo di compressione, sforzo di trazione, sforzo di taglio).*

oppure si potrà dotare la carrozzina di dispositivi elettronici governabili dal paziente che consentano di cambiare posizione a piacimento.

b) Posizionamento. Ferma restando l'importanza del cambiamento frequente dell'assetto posturale, un posizionamento di base che consenta di contenere l'intensità delle pressioni resta sempre un mezzo preventivo fondamentale. A tale scopo è opportuno conoscere le pressioni prodotte nelle varie posizioni, per le quali si rimanda alla letteratura (Ravagan, 1995; Brattgard and Severinson, 1978; Burke et al, 1980).

c) Utilizzo di cuscini antidecubito. Non entriamo in questa sede nella descrizione dettagliata dei cuscini antidecubito, per la quale si rimanda ai lavori di Mondini-Spagnolin (1996), Koo et al.(1996), Ferguson (1990). Si ricordano soltanto alcuni punti fondamentali nella scelta di questi presidi:

- Il cuscino va sempre scelto insieme al sistema di postura e deve, indipendentemente da materiale di cui è composto, assicurare una postura che consenta di distribuire gli sforzi in modo adeguato e che garantisca comfort, sicurezza, funzionalità
- Non esiste un cuscino che sia il migliore in assoluto; alcuni cuscini dimostratisi ottimi nel ridurre le pressioni ischiatiche in posizioni statiche (cuscini ad aria), ad esempio, si sono rivelati meno adatti di altri nel garantire stabilità e comfort. Per questo, nella scelta del cuscino più adatto ai bisogni della singola persona, è sempre opportuna una valutazione multidimensionale fatta spesso di prove ed errori
- Il cuscino non deve essere troppo cedevole né troppo rigido perché rischia di concentrare i carichi (attenzione al gonfiaggio giusto nei cuscini ad aria!); deve essere fatto di materiale con caratteristiche viscoelastiche che consentano, sotto carico, una deformazione tale da distribuire il peso su di una superficie la più ampia possibile, e in modo uniforme
- Il cuscino deve consentire la dispersione di umidità e calore, fattori aggravanti il rischio di sviluppo di ulcere.

GRIGLIA PER LA VALUTAZIONE E IDENTIFICAZIONE DEL SISTEMA POSTURALE

(Da Borelli et al, 2013, modificato)

1. OSSERVAZIONE

RELAZIONE

COMUNICAZIONE

FUNZIONE VISIVA

FUNZIONE PERCETTIVA

FUNZIONE COGNITIVA

FUNZIONE MOTORIA:

Controllo del capo e del tronco
Reazioni di difesa (afferramento,paracadute,equilibrio)
Passaggi posturali
Competenza antigravitaria AASS
Capacità di spinta della carrozzina
Capacità di raggiungimento, presa, manipolazione
Capacità di controllo simultaneo postura-gesto

PROBLEMATICHE SECONDARIE

- a Deformità muscolo-scheletriche:** rachide
arti superiori
arti inferiori
- b. Problemi respiratori e/o circolatori** insufficienza respiratoria
presenza di tracheotomia
edemi arti inferiori
- c. Problemi della cute**
- cicatrici
 - zone di iperpressione
 - deficit di sensibilità
 - trofismo
- d. Problemi digestivi** reflusso gastro-esofageo
PEG

E' presente un disordine di queste funzioni tale da condizionare la capacità di controllo della posizione seduta?

INTERPRETAZIONE DEI DATI RACCOLTI E GIUDIZIO PROGNOSTICO

Quali elementi condizionano in modo significativo l'acquisizione della postura seduta?
Cosa si può modificare? In che modo (FKT, ausili, chirurgia, farmaci)? In quanto tempo?
Quale sviluppo ci possiamo aspettare nella posizione seduta (autonomia da seduto,
autonomia da seduto solo con ausili, spostamento da seduto con carrozzina ad autospinta,
spostamento da seduto con ausilio a comando elettrico, spostamento da seduto con
accompagnatore)? Quale sviluppo ci possiamo aspettare nei trasferimenti (autonomia senza
ausili, con ausili, necessità di aiuto da parte di una persona)?

INDIVIDUAZIONE OBIETTIVI RELATIVI ALLA POSTURA SEDUTA:

CONTROLLO DELLA POSTURA SEDUTA PER:

- facilitare il contatto visivo e il controllo ambientale
- favorire l'interazione
- consentire l'alimentazione
- favorire la funzione respiratoria
- contenere l'evoluzione delle deformità
- consentire il controllo visivo del gesto
- facilitare l'attività gestuale e prassica
- facilitare il controllo simultaneo (gesto/ postura)
- consentire lo spostamento da seduto
- ecc.....

TRATTAMENTO

Esercizio terapeutico, ausili, ortesi, chirurgia, farmaci, assistenza, educazione

LA LOCOMOZIONE IN CARROZZINA

Poiché la carrozzina costituisce per molte persone con disabilità il mezzo abituale di spostamento, riteniamo fondamentale prendere in considerazione la meccanica della locomozione in carrozzina con particolare riferimento alle principali modalità di spinta.

1) La spinta della carrozzina con gli arti superiori

Il gesto della spinta comprende:

- a) una fase propulsiva (P), durante la quale le mani sono in contatto con i cerchi di spinta e imprimono a questi una forza per aumentare o mantenere la velocità della carrozzina (la fase di contatto delle mani con i cerchi di spinta non è necessariamente tutta "di spinta"; in alcuni momenti infatti, specie all'inizio e alla fine del contatto, le mani possono non applicare alcuna forza propulsiva e determinare, al contrario, una decelerazione del sistema)
- b) una fase di richiamo (R), durante la quale le mani, staccate dai cerchi di spinta, vengono riportate all'indietro fino a riprendere contatto con gli stessi per la spinta successiva.

La fase propulsiva inizia quando la mano si trova in contatto con il mancorrente in posizione ore 12 (in genere un po' prima) e termina dopo una rotazione di circa 90 gradi. E' caratterizzata da un movimento di flessione del braccio e di flesso-estensione dell'avambraccio in catena cinetica chiusa, e di flessione del tronco. Comprende una prima sottofase durante la quale il gomito si flette e la mano "tira" il mancorrente, e una seconda sottofase durante la quale il gomito si estende e la mano "spinge" il mancorrente (Ronchi et al., 1990) (Fig.1).

Nella fase di richiamo le braccia si estendono, per gravità o con l'ausilio degli estensori, gli avambracci restano più o meno estesi, il tronco passa dalla flessione alla estensione (i movimenti del tronco sono tanto più limitati quanto più deficitaria è la muscolatura che li controlla, addominali ed estensori, in particolare).

La durata di un ciclo (CT) e la frequenza di spinta variano con la velocità: con l'aumentare della velocità diminuisce la durata di un ciclo e aumenta la frequenza di spinta.

Lo studio della dinamica della locomozione in carrozzina può essere effettuato mediante la rilevazione delle forze e dei momenti applicati dalle mani sui cerchi di spinta, resa possibile dalla presenza di sensori dinamometrici posti sui cerchi stessi. Il rilievo simultaneo di variabili cinematiche (velocità, traiettorie, angoli articolari) e dinamiche e la elaborazione integrata di tutte queste grandezze ad opera di un calcolatore (analisi multifattoriale) consente di stimare le potenze sviluppate, i picchi dei momenti di forza e delle potenze, i momenti generati alle articolazioni, le forze muscolari in gioco e i carichi articolari (van der Woude, 1989).

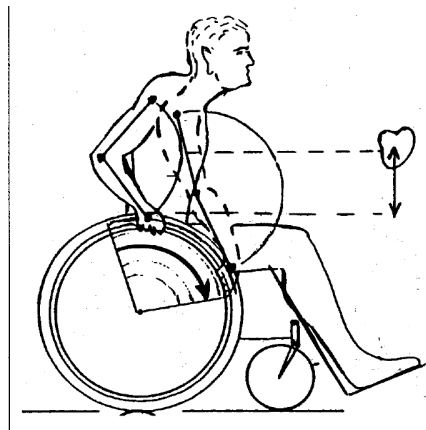


Fig. 1 Spinta in piano.

L'analisi biomeccanica può essere completata con la rilevazione, registrazione ed elaborazione degli eventi elettrici neuromuscolari. Vengono testati i principali muscoli dell'arto superiore e del tronco, correlandoli con le altre variabili registrate (Fig.2)⁵.

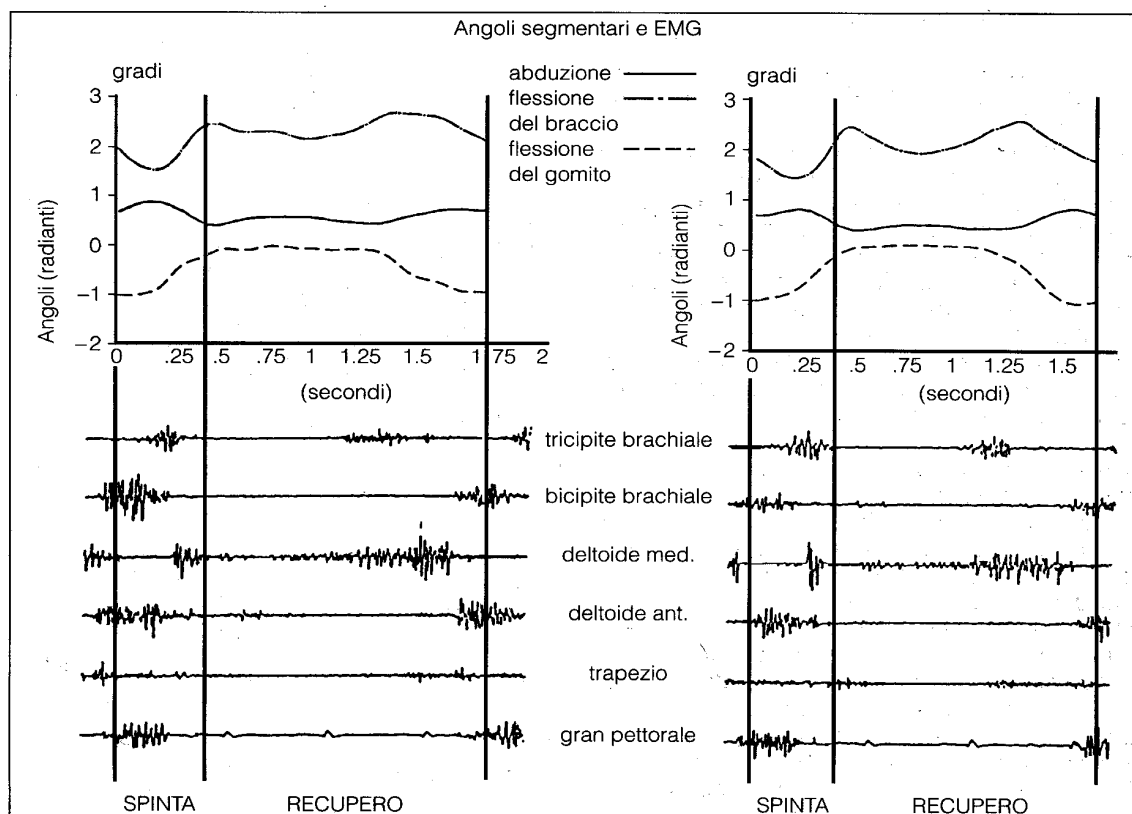


Fig.2 Eventi cinematici e neuromuscolari durante la locomozione in carrozzina alla velocità di 1,39 m/sec., con angolo di campanatura delle ruote posteriori di 0 (a sn.) e 9 (a dx) gradi. Si noti l'elevata attività dei muscoli gran pettorale, deltoide anteriore e bicipite all'inizio della fase di spinta (van der Woude: *Ergonomics of manual wheelchair propulsion*. In: *Wheelchair, research, evaluation and information*. Ed. Pro Juventute, Milano, Pag.101-116, 1985).

Infine è possibile effettuare uno studio del consumo energetico (consumo di O₂, ventilazione, frequenza cardiaca) e correlare i dati ricavati con i dati cinematici e dinamici. I lavori di van der Woude et al., Dal Monte, Veicsteinas et al., Marchetti et al., sembrano al riguardo più che esaurienti.

Le informazioni ricavate dagli studi di biomeccanica e fisiologia della locomozione in carrozzina hanno un' utilità pratica per il riabilitatore in quanto consentono di verificare la funzionalità del sistema al variare delle caratteristiche del paziente e della carrozzina (peso, distribuzione del peso, assetto posturale, modalità di spinta, frequenza di spinta, ecc.), e quindi di individuare gli assetti posturali e le tecniche di spinta ottimali per ciascun soggetto.

⁵ L'elettromiografia, che viene effettuata con elettrodi di superficie, permette di conoscere i muscoli attivati durante la spinta, il timing di attivazione e, entro certi limiti, il livello di attivazione, espresso come percentuale del livello di attivazione raggiunto durante una contrazione isometrica massimale.

Interessanti ci sembrano i lavori di Harburn et al. (1989), che hanno studiato il grado di attivazione muscolare a livello dell'arto superiore in soggetti sani, paraplegici e tetraplegici. Mentre i soggetti sani e i paraplegici utilizzavano per la propulsione, rispettivamente, il 20% e il 40% circa del massimo grado di attivazione esprimibile in contrazione isometrica, i tetraplegici attivavano, per lo stesso scopo, quasi tutte le loro riserve (80% circa). Questo può spiegare il precoce affaticamento dei tetraplegici (lavoro prevalente in anaerobiosi) e giustifica l'utilizzo della carrozzina elettrica per i lunghi percorsi.

Le conoscenze tratte da questi studi conservano una importanza notevole anche là dove non è possibile disporre degli strumenti tecnologici dei laboratori di bioingegneria e costituiscono sempre un presupposto fondamentale per la scelta, adattamento e addestramento all'uso della carrozzina. Ci sembrano, ad esempio, elementi conoscitivi interessanti gli effetti sull'efficienza della spinta degli spostamenti delle ruote (vedi cap.2), dell'inclinazione di sedile e schienale, della rigidità del telaio (più un telaio è rigido, minore è la dispersione di energia), della frequenza della spinta (esiste una frequenza di spinta ottimale per ciascun soggetto, al di sopra e al di sotto della quale si riduce l'efficienza della locomozione), ecc.

L'impennata (Fig. 3)

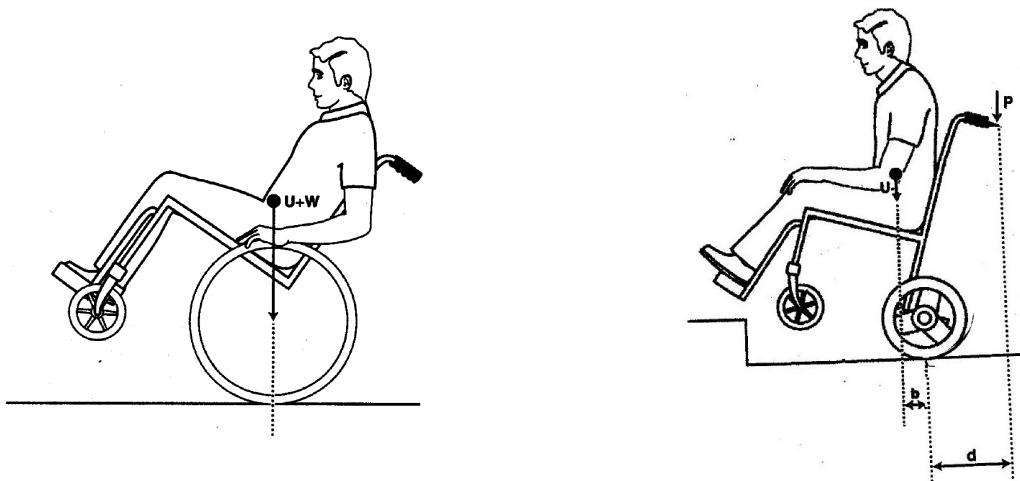


Fig.3 Impennata. Nella figura a sinistra la manovra è effettuata autonomamente dalla persona in carrozzina, nella figura a destra da un accompagnatore (spiegazione nel testo)

Nella Fig. 3a è rappresentata una persona intenta a "impennare" la propria carrozzina (sollevamento da terra delle ruote anteriori). Questa manovra, provocando il sollevamento delle rotelle anteriori, consente il superamento di ostacoli quali un marciapiede, uno scalino, ecc.

Per comprendere la meccanica dell'impennata consideriamo il sistema gravante sopra l'asse delle ruote posteriori ($S = \text{utente} + \text{carrozzina} - \text{ruote posteriori}$) come un sistema in grado di ruotare attorno all'asse delle ruote posteriori, e l'impennata come una rotazione in senso orario di questo sistema.

Per sollevare le ruote anteriori il soggetto deve esercitare un'energica spinta in avanti sulle ruote posteriori della carrozzina e quindi arrestare bruscamente la rotazione di queste ultime. Questa manovra, per effetto del trasferimento del momento angolare dalle ruote al sistema (S), determina una rotazione in senso orario del sistema stesso, con una accelerazione angolare tanto maggiore quanto più energicamente e rapidamente viene eseguita la manovra e quanto minore è il momento d'inerzia del sistema (per i concetti di momento angolare, momento d'inerzia, trasferimento del momento si rimanda al cap.9).

Per ridurre il momento d'inerzia di S si possono adottare i seguenti accorgimenti:

- a) spostamento in avanti delle ruote posteriori rispetto al telaio;
- b) arretramento delle pedane;
- c) estensione di capo e tronco.

Se la manovra è effettuata da un accompagnatore (Fig.3.b), la dinamica dell'impennata non è altro che la dinamica di una leva, dove il fulcro è costituito dall'asse delle ruote posteriori, la resistenza dal peso del sistema utente + carrozzina, (a cui va sottratto il peso delle ruote posteriori), la potenza dalla forza di spinta verso il basso esercitata dall'accompagnatore sulle manopole. Sia la resistenza che la potenza agiscono con un braccio di leva (perpendicolare condotta dal fulcro alla linea d'azione della forza).

Per realizzare l'impennata il momento della potenza deve superare il momento della resistenza.

Al fine di rendere la manovra meno faticosa per l'accompagnatore, si possono mettere in atto i seguenti accorgimenti:

- aumentare la lunghezza delle manopole di spinta ed esercitare la spinta in corrispondenza della loro estremità posteriore (in questo modo si aumenta il braccio della potenza)
- ridurre il peso della resistenza (utilizzo di carrozzine superleggere)
- ridurre il braccio di leva della resistenza (spostamento in avanti delle ruote posteriori e arretramento delle pedane, ovviamente entro i limiti di sicurezza)

Equilibrio sulle ruote posteriori (Fig.4)

Nella Fig.4 è rappresentata, sul piano sagittale, una persona intenta a controllare l'equilibrio sulle ruote posteriori della propria carrozzina.

Quando la verticale condotta dal baricentro del sistema gravante sopra l'asse delle ruote posteriori (S = utente + carrozzina - ruote posteriori) incrocia questo asse (asse di rotazione di S), il sistema è in equilibrio (equilibrio instabile). Non appena il baricentro del sistema si sposta in avanti, si genera un momento in senso orario che tende a provocare la "caduta" in avanti della carrozzina (rotazione in senso orario di S rispetto all'asse delle ruote posteriori). Per evitare la caduta, il soggetto deve esercitare una spinta in avanti sulle ruote posteriori sufficientemente energica e quindi arrestare bruscamente la rotazione di queste; tale manovra determina una rotazione in senso antiorario di S, e quindi uno spostamento del baricentro di questo verso l'indietro.

Nel momento in cui il baricentro di S viene a ritrovarsi al di sopra dell'asse delle ruote posteriori non è più necessario imprimere accelerazioni al sistema perchè questo ha raggiunto uno stato di equilibrio passivo, anche se molto precario (in realtà non esiste un equilibrio statico sulle ruote posteriori ma una continua oscillazione intorno alla posizione di equilibrio).

Se, anziché in avanti, il baricentro di S si sposta all'indietro, l'equilibrio può essere riguadagnato attraverso una spinta delle ruote posteriori verso l'indietro e un successivo brusco arresto della rotazione di queste.

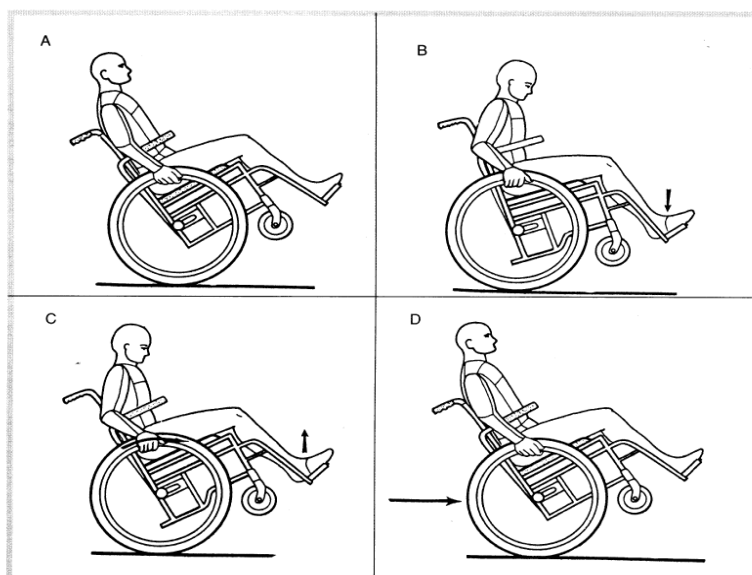


Fig.4 Equilibrio sulle ruote posteriori.

A: posizione di partenza.. La verticale condotta dal baricentro di S (sistema gravante sopra l'asse delle ruote posteriori) incrocia l'asse delle ruote posteriori

B: la verticale condotta dal baricentro di S passa davanti all'asse delle ruote posteriori

C: per riportare il baricentro di S al di sopra dell'asse delle ruote posteriori il soggetto esercita un'energica spinta verso l'avanti sulle ruote posteriori e quindi arresta bruscamente la rotazione delle stesse

D: la verticale condotta dal baricentro di S incrocia di nuovo l'asse delle ruote posteriori

(da Somers M.F.: Spinal cord injury: functional rehabilitation. Appleton and Lange ed., 1992).

2) La spinta della carrozzina “a piede”

Molti soggetti con emiplegia seduti su una carrozzina standard utilizzano, per la propulsione, la mano e il piede della parte conservata; con la mano spingono sul mancorrente mentre con il piede, appoggiato a terra, spingono verso l'indietro. Questa modalità di spinta è stata spesso scoraggiata in passato in quanto sembrava faticosa e costringeva il paziente ad adottare posture incongrue per poter tenere il piede a terra ed esercitare una spinta efficace sul terreno: il bacino veniva lasciato scivolare in avanti e si inclinava all'indietro mettendo a continuo rischio di ulcere da decubito sacro-coccigee e di dolori da sovraccarico vertebrale (Fig.5). Nonostante i richiami dei terapisti, tuttavia, questa modalità di spinta difficilmente veniva abbandonata. Si è allora pensato di studiare più a fondo la meccanica dell'autospinta a piede e di mettere a punto una carrozzina con caratteristiche atte a ottimizzarne l'efficienza.

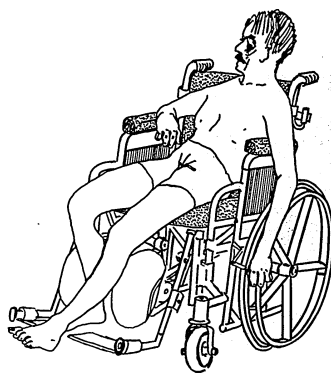
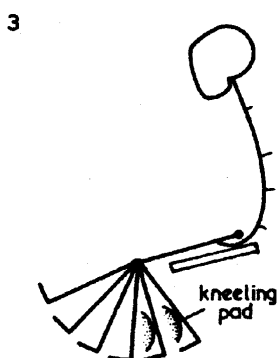


Fig.5 Postura assunta per la spinta a piede su una carrozzina tradizionale: si noti lo scivolamento in avanti del bacino.

Analizziamo la biomeccanica dell'autospinta a piede⁶, che si accompagna quasi sempre alla spinta manuale sul mancorrente da parte dell'arto conservato, e consideriamo, successivamente, quale assetto è opportuno dare alla carrozzina al fine di ottimizzare l'efficienza della spinta. Per brevità, ci limitiamo allo studio dei movimenti dell'arto inferiore.



Fig.6



Come si vede nella figura 6, il movimento che consente l'avanzamento della carrozzina è un movimento in catena cinetica chiusa che si compie attorno al piede fisso al suolo.

⁶ Contrariamente all'autospinta su mancorrente con gli arti superiori, l'autospinta con una mano e un piede non ci risulta fino ad ora essere stata oggetto di indagini di ergonomia. Non ci resta che fare alcune ipotesi e considerazioni basate su una analisi biomeccanica qualitativa.

Da un punto di vista cinematico, limitandoci a un'analisi dei segmenti inferiori, possiamo constatare quanto segue:

- l'appoggio al suolo del piede avviene in genere di tallone, quindi a tutta pianta, infine di punta
- la gamba ruota attorno al piede passando dalla posizione dietro alto (tibiotalarsica in posizione 0, o in flessione plantare) alla posizione avanti alto (flessione dorsale della tibiotalarsica, estensione del piede sulle dita)
- il ginocchio, a partire da una posizione di lieve flessione al momento dell'attacco al suolo del piede, si flette progressivamente
- per effetto dei movimenti sopracitati il baricentro del sistema utente-carrozzina avanza.

La quantità di moto che la carrozzina acquista (mv) per effetto della spinta a piede è proporzionale al tempo di spinta e alla forza di spinta ($Ft=mv$)

Passiamo ora allo studio delle principali forze muscolari che intervengono, e del loro effetto sul sistema (Fig.7).

a) **Ischiocrurali**. Questi muscoli intervengono per tutto il tempo in cui il piede è a contatto con il suolo determinando una flessione progressiva del ginocchio, e quindi il rotolamento della gamba attorno al piede fisso al suolo per effetto dell'attrito, e l'avanzamento del sistema utente + carrozzina. All'anca, questi muscoli, insieme agli altri estensori, agiscono spingendo l'arto inferiore verso il basso, contribuendo a generare l'attrito del piede sul terreno, ed esercitando una trazione in retroversione del bacino, contrastata dalla gravità (vedi alla pagina seguente) e dagli estensori del rachide (che sono anche flessori del bacino sulle cosce).

b) **Flessori dorsali della tibiotalarsica**. Questi muscoli, a piede fisso al suolo grazie all'attrito, interverrebbero nella prima fase dell'appoggio del piede contribuendo alla rotazione in avanti della gamba rispetto al piede (flessione dorsale della tibiotalarsica)

di) **Flessori plantari della tibiotalarsica**. Questi muscoli interverrebbero nella fase terminale dell'appoggio del piede contribuendo alla spinta all'indietro del piede e all'avanzamento del baricentro del sistema utente+carrozzina.

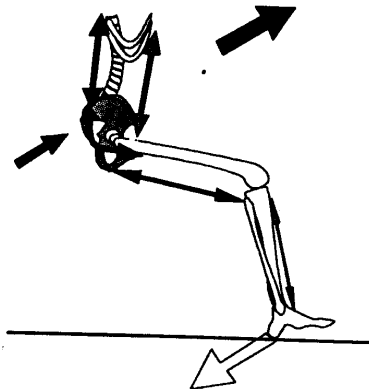


Fig.7 Disegno tratto da Engstrom B.: *Ergonomics; wheelchairs and positioning*. Ed. Bromme Tryck, Sweden, 1993.

Caratteristiche richieste alla carrozzina per ottimizzare l'efficienza dell'autospinta.

In considerazione della biomeccanica dell'autospinta a piede e, più in generale, della biomeccanica della locomozione in carrozzina, due aspetti ci sembrano fondamentali per ottimizzare la propulsione:

1. le qualità meccaniche della carrozzina che incidono sulla sua scorrevolezza e manovrabilità
2. alcuni particolari del sistema di postura

1) Qualità meccaniche della carrozzina che incidono sulla sua scorrevolezza e manovrabilità. Su come assicurare scorrevolezza e manovrabilità alla carrozzina valgono gli accorgimenti comunemente applicati sulle carrozzine ad assetto regolabile. È importante scegliere una carrozzina personalizzabile a ruote grandi posteriori, struttura leggera, e sistemarne l'assetto, cioè la posizione di ruote e rotelle (ricordiamo che le qualità locomotorie della carrozzina e l'efficacia con cui l'arto superiore imprime la spinta sul mancorrente migliorano se la ruota posteriore è imperniata più in avanti rispetto ai modelli standard, idealmente con il mozzo posto qualche centimetro più avanti della verticale passante per il centro della scapolo omerale).

2) Adattamento del sistema di postura. Per una spinta efficace a piede, è necessario che il piede stesso possa far compiere un avanzamento ampio della carrozzina ad ogni spinta; questo presuppone che il ginocchio possa muoversi per un settore ampio quando il piede è a terra. Le condizioni essenziali per poterlo fare sono:

- Avere abbastanza spazio libero dietro al poplite. Quindi il sedile, e il cuscino, naturalmente, dovrebbe essere meno profondo di quanto si consiglia normalmente, quando si prevede che i piedi appoggino inerti sulle pedane (vanno lasciati una decina di centimetri di distanza tra bordo anteriore del sedile e poplite; se il sedile è troppo profondo il paziente è costretto a spostare in avanti il bacino)
- Assettare la carrozzina in modo che il sedile sia lievemente inclinato in avanti, o perlomeno orizzontale. In questo modo si riesce a sfruttare il settore più vantaggioso di flessione del ginocchio e si guadagna in efficienza dei muscoli flessori di questa articolazione (che sono anche estensori dell'anca). Bisogna comunque verificare se e fino a che punto il sedile può essere inclinato per non incidere negativamente sul comfort e sulla stabilità della posizione seduta (Fig.8).
- Avere uno schienale che consenta un appoggio comodo al tronco e nello stesso tempo faciliti l'inclinazione in avanti del tronco stesso durante le spinte più vigorose. L'inclinazione in avanti del tronco durante la spinta, da un lato consente di allungare gli ischiocrurali ottimizzandone l'efficacia contrattile, dall'altro facilita la fissazione del bacino e del tronco ad opera della gravità e degli estensori del tronco contratti eccentricamente (gli ischiocrurali contratti tendono a retrovertere il bacino; il peso del tronco, a tronco flesso, e gli estensori del tronco, hanno un'azione opposta). Se il tronco non si inclina in avanti, la trazione sul bacino degli ischiocrurali, impegnati a flettere il ginocchio per la spinta, inclina quest'ultimo all'indietro riducendo l'efficacia dell'azione di questi muscoli sul ginocchio.
- La quarta condizione è avere abbondante spazio libero sotto al sedile per arretrare il piede e allungare il tempo di spinta. Alcune carrozzine dedicate all'autospinta a piede lo prevedono: sono costruite con la crociera spostata più indietro del normale.
- L'ultima condizione, ovviamente fondamentale, è che il sedile sia posizionato alla giusta altezza in modo da consentire l'appoggio ottimale del piede al terreno (rispetto alle carrozzine standard provviste di pedane, il sedile è più basso di circa cinque centimetri). Se troppo basso o troppo alto, ne risentono sia la postura che l'efficienza della spinta (Fig.9;10).

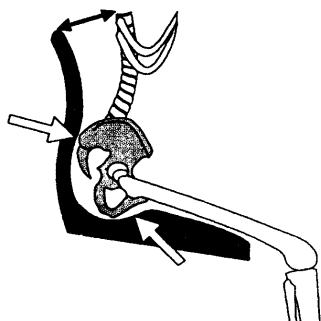
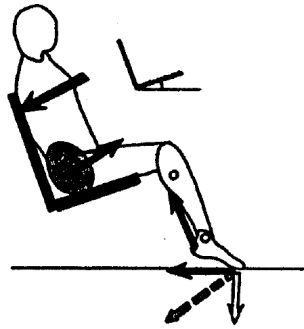
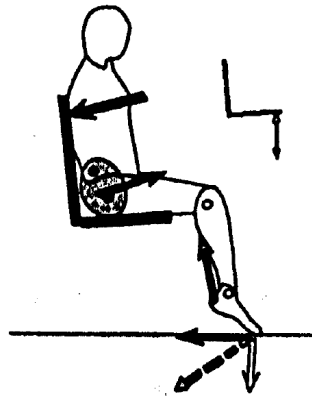


Fig.8 Per ottimizzare l'efficienza della spinta a piede è bene che il sedile sia leggermente inclinato in avanti. In questo modo si riesce a sfruttare il settore più vantaggioso di flessione del ginocchio. L'utilizzo di un cuscino con un lieve avvallamento ischiatico e di un appoggio sacrale saldo, quale può essere fornito solo da uno schienale rigido opportunamente sagomato, aiuta a evitare lo scivolamento in avanti del bacino e a stabilizzarlo (da Engstrom B.: Ergonomics; wheelchairs and positioning. Ed. Bromme Tryck, Sweden, 1993).



TILTED/RECLINED

Fig.9 Se il sedile è inclinato indietro, il ginocchio deve flettersi quasi a fondo corsa per portare il piede sotto il sedile, con perdita non solo in ampiezza dell'escursione articolare utile per la propulsione, ma anche in efficienza dei muscoli flessori (più accorciati (da Engstrom B.: *Ergonomics; wheelchairs and positioning*. Ed. Bromme Tryck, Sweden, 1993).



TOO HIGH SEAT

Fig.10 Se il sedile è troppo alto il soggetto è costretto ad appoggiare il piede di punta. Si riducono il tempo e l'efficacia della spinta (da Engstrom B.: *Ergonomics; wheelchairs and positioning*. Ed. Bromme Tryck, Sweden, 1993).

BIBLIOGRAFIA

Adams M.A., Hutton W.C: *The effect of posture on the lumbar spine. Journal of bone Joint surg. Vol. 67B N°4, August 1985.*

Bader D. L. and Gant C.A.: *Changes in transcutaneous oxygen tension as a result of prolonged pressures at the sacrum. Cl. Phys. Physiol., Meas. 9, 33-40, 1988.*

Bader D.L.: *The recovery characteristics of soft tissues following repeat loading. J. Rehabil. Res. Dev. 27, 141-150, 1990.*

Bobath B, Bobath K: *Lo sviluppo motorio nei diversi tipi di paralisi cerebrale. Libreria scientifica già Ghedini, Milano, 1976*). Boccardi S., Lissoni A.: *Cinesiologia vol.I Soc. Ed. Universo, Roma, 1977.*

Boccardi S., Lissoni A.: *Cinesiologia vol. III. Soc. Ed. Universo, Roma, 1984.*

Boccardi S.: *Postura, una trappola semantica. Rivista di aggiornamento Gruppo di studio della scoliosi e delle patologie vertebrali. Fascicolo 3, 2008.*

Borelli G, Neviani R, Sghedoni A et al. *La fisioterapia nella paralisi cerebrale infantile. Postura seduta. Springer Verlag Italia, 2013*

Brattgard S.O.; Severinsson K. : *Investigations of pressures, temperature and humidity in the sitting area in a wheelchair. In Biomechanics VI-B : International Series on Biomechanics, Asmussen E. , Jorgensen K. (Eds.), 270-273, Baltimore: University Park Press, 1978.*

Bromley I: *Tetraplegia e paraplegia. LEF, Firenze 1979.*

Brubaker C.E., Ph.D.: *Wheelchair prescription: an analysis of factors that affect mobility and performance. Journal of Rehab. Research and Development. Vol.23, n° 4, pag.19-26, 1985.*

Brunswic M.: *Ergonomics of seat design. Physiotherapy, Febr.1984, Vol.70, no 2.*

Burke J., Sharrard WJW, Sutcliffe ML: *Pelvic obliquity and sitting buttock pressure distribution in paralytic scoliosis. J. Bone Joint Surg.Br. 62B : 119-20, 1980.*

Caillet R.: *Low back pain syndrome. Philadelphia: F.A. Davis Co., 1994: 17-55.*

Cochran G. V. B.: *A primer of orthopaedic biomechanics. Churchill Livingstone New York Edinburgh London Melbourne, 1982.*

Dal Monte A.: *Ergometria specifica nei disabili. Erre come riabilitazione, gennaio-marzo; 13, 1993.*

Devine K.L.: *Competencies in biomechanics for the physical therapist. Phys. Ther. 64: 12, 1883-1885, 1984.*

Deusinger R.H.: *Biomechanics in clinical practice. Phys. Ther.64: 1860-1868, 1984.*

Engstrom B.: *Ergonomics; weelchairs and positioning. Ed. Bromme Tryck, Sweden, 1993.*

Ferguson -Pell M.: *Seat cushion selection. J. Rehabil. Res. Dev. Clin. Suppl. 2, 49,1990.*

Frischhut B, KrismrM, Stoeckl B et al: *Pelvic tilt in neuromuscular disorders. J. of Pediatric Orthopaedics part B; 9: 221-228, 2000) .*

Grieco A: *Sitting posture: and old problem and a new one. Ergonomics; 29 (3): 345-362, 1986.*

Harburn Karen L., Spaulding Sandi J.: *Muscle activity in the spinal cord injured during wheelchair ambulation. The Am. J. of occupational Ther. Sept. 1986, Vol. 40, N°9.*

Harms M.: *Effect of wheelchair design on posture and comfort of users. Physiotherapy , Vol. 76, May, 1990.*

Kapandji I.A.: *Fisiologia articolare. Soc. Editrice Demi Roma, 1974.*

Koo TKK, Phil M, Mak AFT, Lee YL: *Posture effect on seating interface biomechanics: comparison between two seating cushions. Arch. Phys. Med. Rehabil. Vol. 77, Jan.1996.*

Kosiak M.: *Etiology and pathology of ischemic ulcers. Arch. Phys. Med. Rehabil. 40: 62,69, 1959.*

Lees A.: *Performance characteristics of two wheelchair sprint tests. In Ergonomics of manual wheelchair propulsion Ed. Pro Juventute, 1993 Pag. 23-33.*

Lesse W.: *Weelchair driving: results from ergonomic researches. In In: Wheelchair, research, evaluation and information. Ed. Pro Juventute Milano. Pag.49-51, 1985.*

Marchetti: *Bionechanical modelling in wheelchair propulsion. In: Ergonomics of manual wheelchair propulsion Ed Pro Juventute, Pag 215-223, 1993.*

Merletti R., Knaflitz M., Lo Conte L.: *Valutazione quantitativa di fenomeni e proprietà muscolari tramite il segnale elettromiografico cutaneo. Metodologia, strumenti hardware e software.* In: *Aggiornamenti in Riabilitazione.* Milano, Ghedini Ed., 1989.

Maloney WJ, Rinky LA, Gamble JG: *Simultaneous correction of pelvic obliquity, frontal plane and sagittal plane deformities in neuromuscular scoliosis using a unit rod with segmental sublaminar wires, a preliminary report.* *J. of Pediatric Orthopaedics* 10: 742-9, 1990 .

Massion J.: *Movement, posture and equilibrium: interaction and coordination.* *Progr. Neurobiol.* 1992, 38: 35-56.

Mondini F., Spagnolin A : *Carrozzina e sistemi di postura.* In : T. Redaelli, L. Valsecchi *Terapia Occupazionale.* Gruppo editoriale Soley, 1996.

Mondini F., Spagnolin A : *Prevenzione delle piaghe da decubito.* In : T. Redaelli, L. Valsecchi *Terapia Occupazionale.* Gruppo editoriale Soley, 1996.

Nelham R.: *Principle and practice in the manufacturing of seating for the handicapped.* *Physiother.* 70, 54-58, 1984

Nwaobi O.M.: *Seating orientations and upper extremity function in children with cerebral palsy.* *Phys. Ther.*, 67, 1029-1212, 1986 .

Occhi E: *Ausili per la locomozione..* Capitolo 27 del testo "Trattato di medicina fisica e Riabilitazione . N. Basaglia, Idelson Gnocchi Ed., 2009.

Occhi E. *Cinesiologia IV Ed.* Universo Roma, 2000.

Occhi E.: "I sistemi di postura" . *Tecnica ort. Int.*, 2002.

Occhi E: *Clinica della postura.* In: *Seating Clinic, linee guida per la valutazione della postura nelle disabilità motorie.* Fondazione pro juventute Milano, 1998.

Pope P.M.: *A study of instability in relation to posture in the wheelchair.* *Physiotherapy*, March 1985, Vol.71, no 3.

Ravagan R.: *Mesure des pressions is* Occhi E: "Ausili e Riabilitazione: la carrozzina" Capitolo 17 del testo "Trattato di medicina fisica e Riabilitazione . N. Basaglia, Idelson Gnocchi Ed., 2000.

Reswick JB, Rogers JE: *Experience at Rancho Los Amigos Hospital with devices and techniques to prevent pressure sores.* In *Bedsore Biomechanics*, Kenedi RM, Cowden JM, Scales IT (Eds.), 301-310. Baltimore University Park Press, 1976.

Rozendal R.H.: *A research programme on wheelchair use that is relevant to the user.* In *Ergonomics of manual wheelchair propulsion* Ed Pro Juventute, 1993 Pag 23-33.

Ronchi R., Ferrarin M., Palmieri R., Rabuffetti M., Spagnolin A.: *Method for biomechanical analysis of wheelchair locomotion.* In: *Ergonomic of manual wheelchair propulsion.* Ed. Pro Juventute Milano. Pag.241-253, 1993.

Sanderson J.D., Sommer H.J.: *Kinematic features of wheelchair propulsion.* *J. Biomechanics*, Vol.18, Nø 6, pp.423-429, 1985.

Schuld K., Ekholm J., Harms -Ringdahl K., NemethG., Arborelius U.P.: *Effects of changes in sitting work posture on static neck and shoulder muscle activity.* *Ergonomics* 29: 1525-1537, 1986.

Scrutton D.: *The courses of developmental deformity and their implication for seating.* *Prosthet. Orthot. Int.*, 15, 199-202, 1991.

Somers M.F., Ms,pt: *Spinal cord injury: functional rehabilitation.* Appleton and Lange ed. Norwalk, Connecticut, Spagnolin G.: *La carrozzina.* Ed. Ghedini. 1993.

Steindler A.: *Kinesiology of the human body under normal and pathological conditions.* Springfield, IL, Charles C Thomas, 1955.

- Stewart. C.P.U.S.: *Physiological consideration in seating. Prosthet. Orthot. Int.* 15, 193-198, 1991.
- Stewart. P.C., McQuilton G.: *Straddle seating for the cerebral palsied child. Physiother.* , 73, 204-206, 1987.
- Tesio L.: *Componenti esecutive e componenti posturali del movimento volontario: verso una visione unitaria. Ric. Riabilitaz. Anno 1, n°2, 1992.*
- Trefler E., Taylor S.J.: *Prescription and positioning : evaluating the physically disabled individual for wheelchair seating. Prosthet. Orthot. Int.* 15, 217-224, 1991.
- Tricot A.: *A professional's view of wheelchair evaluation. In: Wheelchair, research, evaluation and information. Ed. Pro Juventute Milano. Pag.39-41, 1985.*
- van der Woude L. H.V., Veeger D., Rozendal R.H.: *Ergonomics of manual wheelchair propulsion. In: Wheelchair, research, evaluation and information. Ed. Pro Juventute, Milano, Pag.101-116, 1985.*
- Vvan der Woude L. H.V.: *The wheelchair user interface: the core of ergonomics? In Ergonomics of manual wheelchair propulsion. Ed. Pro Juventute, Pag.271-292, 1993.*
- Veeger H.E.J., van der Woude L.H.V., Rozendal R.H.: *The effect of rear wheel camber in manual wheelchair propulsion. J. of Rehab. Res. and Development. Vol.26 n°2, pag.37-46, 1989.*
- Veeger H.E.J.: *Biomechanics of manual wheelchair propulsion. In: Ergonomic of manual wheelchair propulsion. Ed.Pro Juventute Milano. Pag. 201-213, 1993.*
- Veicsteinas A., Sarchi P.F., Ronchi R.: *The influence of wheelchair characteristics on the physiological responses to wheelchair ergometry. In: Ergonomic of manual wheelchair propulsion. Ed. Pro Juventute Milano. Pag. 201-213, 1993.*
- Wiktorin von Heijne C., Nordin M.: *Introduction to problem solving in biomechanics. Philadelphia, Lea and Fabiger, 1986.*
- Williams M., Lissner H.: *Biomechanics of human motion. Edited by B. Le Veau, 2nd ed. Philadelphia, Saunders, 1977.*
- Zacharkow D.: *Posture, Sitting, Standing, Chair Design and Exercicse. Thomas, Illinois, 1988.*