

Proprioceptive control of interjoint coordination¹

Claude Ghez and Robert Sainburg

Abstract: This paper reviews a series of experiments comparing intact controls with functionally deafferented patients to determine the role of proprioception in controlling dynamic interactions between limb segments during movement. We examine the control of hand path in a planar movement-reversal task and in a familiar three-dimensional gesture with similar biomechanical characteristics. In the planar task subjects had to move their hand out and back along a series of straight-line segments in the horizontal plane without visual feedback. The lengths and directions of the target line segments were chosen to require different amounts of shoulder motion while requiring the same elbow excursion. In controls, hand paths were, as required, straight with sharp bends at the outermost point. In patients, however, distinctive errors appeared at movement reversals, consisting of widened hand paths resulting from desynchronization in the reversals of elbow and shoulder motions. These errors reflected an inability to program elbow muscle contractions in accord with interaction torques produced at the elbow by variations in acceleration of the shoulder. The reversal errors were substantially reduced after patients had practiced for a few trials while visually monitoring movements of their arm. The improvement was not limited to the direction where they had practiced with vision, but also extended to other directions in which the elbow torques were different. This suggests that practice with vision of the arm served to improve the general rules that subjects used to plan movement, rather than simply improving the performance of a specific response. Similar to their performance on the planar task, the patients made errors in interjoint coordination during unconstrained three-dimensional gestures with movement reversals. We conclude (i) that both the planning and the learning of movement required an internal model of the dynamic properties of the limb that takes account of interaction torques acting at different joints; (ii) that this internal model is normally established and updated using proprioceptive information; but (iii) that when proprioception is lacking, vision of the limb in motion partially substitutes for proprioception.

Key words: proprioception, multijoint coordination, limb movement, multijoint dynamics, deafferentation.

Résumé : Ce rapport examine le rôle des afférences proprioceptives dans le contrôle des couples de forces exercés entre les différents segments du bras pendant le mouvement volontaire effectué en l'absence de contrôle visuel. Nous avons comparé les performances de sujets normaux avec ceux de patients desafférentés par des polynévrites sensorielles, en étudiant le contrôle de la trajectoire de la main dans des mouvements de traçage comportant des inversions de direction. Nous avons d'abord examiné une tâche planaire dans laquelle les sujets devaient tracer une série de lignes droites dans différentes directions avec des mouvements de va-et-vient superposés, et effectués dans le plan horizontal. Les longueurs des lignes à tracer ont été choisies de sorte à requérir les mêmes excursions de l'articulation du coude, tandis que les excursions de l'épaule variaient avec la direction. Chez les sujets contrôles, les mouvements de la main restaient droits et superposés dans leurs segments d'aller et de retours. Par contre les patients faisaient des erreurs caractéristiques aux inversions de direction. Celles-ci étaient provoquées par le manque d'adaptation des contractions des muscles extenseurs et des fléchisseurs du coude aux couples de forces produites par les variations d'accélération angulaire de l'épaule. Nous avons observé les mêmes erreurs chez ces patients pendant l'exécution de gestes tridimensionnels comportant des inversions abruptes de direction. Les erreurs d'inversion de direction étaient temporairement réduites après que les patients aient pu s'exercer en traçant une des lignes tout en observant leurs bras en mouvement. Cette amélioration n'était pas limitée à la direction dans laquelle le

Received March 11, 1994.

C. Ghez² and R. Sainburg. Center for Neurobiology and Behavior, New York State Psychiatric Institute, College of Physicians and Surgeons, Columbia University, New York, NY 10032, U.S.A.

¹ This paper has undergone the Journal's usual peer review.

² Author for correspondence.

