

論文の内容の要旨

論文題目 「Quantitative evaluation of age-related changes in motor control, especially control of preprogramed movement」

(加齢による運動調節の変化、特に予測制御の変化についての定量的評価)

学位申請者 霜田 直史

キーワード: Quantitative Evaluation(定量的評価), primary submovement (第1下位運動), step-tracking movement (ステップトラッキング運動), control of preprogramed movement (予測制御運動), age-related changes (年齢変化)

Background: When humans voluntary behavior develops, there is an intention at the beginning, there are feedforward control (FF) and Feedback control (FB) control. Feedback control: Slow motion is accomplished by using somatosensory sensation and visual feedback information sequentially. Feedforward control: feedback control corrects the error from the result for reaching the target of a motion trajectory. According to the Ministry of Health, Labor and Welfare, the elderly population aged 65 years or over will number 33 million and will account for more than 26 percent of the population.

Objectives: The purpose of this study was to examine age-related changes in the precision of control of preprogramed movement for a rapid step-tracking movement of the wrist joint.

Subjects: The present study included three groups of subjects. The first group consisted of 16 young healthy adults. Forty-nine healthy subjects participated in this study, and were divided into three groups depending on their ages: the young group (20-39 years) (n = 16), the middle-age group (40-59 years) (n = 16), and the elderly group (60-79 years) (n = 17).

Methods: We asked the subjects to perform step-tracking movements of the wrist joint with a manipulandum, and recorded the movements. We evaluated the accuracy of control of preprogramed movement in the three groups in terms of the primary submovement, which was identified as the first segment of the step-tracking movement based on the bell-shaped velocity profile, and calculated the distance between the end position of the primary submovement and the target (i.e. error). The error in the young group was found to be significantly smaller than that in the middle-age and elderly groups, i.e., the error was larger for the higher age groups.

Results: 1) Age-related changes in reaction time (RT): A comparison among the three groups showed a significant

difference in RT. 2) Age-related changes in movement time (MT): A comparison among the three groups showed a significant difference in MT. 3) Age-related changes in maximum velocity (MVel): A comparison among the three groups demonstrated a significant difference in MVel. MVel was significantly higher in the young group as compared to the middle-age and elderly groups. 4) Error of final end-point: There were no statistically significant differences among the three age groups. Evaluation of control of preprogrammed movement associated with aging 1) Parameter 1: error of primary submovement: A comparison of the three groups showed a significant difference in the error. The young group showed a significant difference as compared to the middle-age and elderly groups for young and middle-age groups, and for middle-age and elderly groups. However, the error in the elderly group was not significantly different from that in the middle-age group. 2) Parameter 2: duration of primary submovement: The duration of the primary submovement tended to be longer for the aged groups. While a significant difference was observed between the three groups, two group comparisons revealed a significant difference only between the young and elderly groups.

Discussion: These results suggest that young subjects have better control of preprogrammed movement than middle-age or elderly subjects. Finally, we examined the temporal property of the primary submovement and its age-related changes. The duration of the primary submovement tended to be longer for the aged groups, although significance was reached only for the elderly group. In particular, the ratio of the duration of the primary submovement to total movement time tended to be lower for the aged groups, suggesting that the proportion of additional movements that are required to compensate for the incomplete control in the preprogrammed movement, which are under feedback control, was higher for the aged groups.

Conclusion: Our results indicate that the distance between the end point of the primary submovement and the target center (i.e. error) in the step-tracking movement is a useful parameter to evaluate the age-related changes in control of preprogrammed movement.

論文の内容の要旨

論文題目「Quantitative evaluation of age-related changes in motor control, especially control of preprogramed movement」

(加齢による運動調節の変化、特に予測制御の変化についての定量的評価)

学位申請者 霜田 直史

キーワード: Quantitative Evaluation(定量的評価), primary submovement (第1下位運動), step-tracking movement (ステップトラッキング運動), control of preprogramed movement (予測制御運動), age-related changes (年齢変化)

背景

人間の身体運動は中枢神経系の運動制御機構により随意運動が行われる。ものを掴む随意運動には、運動の企図、運動軌道の予測、運動軌道の修正、目標への到達の各段階を経て実行される。運動の実行には、運動軌道の予測するフィードフォワード制御と運動軌道の修正を行うフィードバック制御がある。フィードバック制御は、体性感覚と視覚情報によって運動方向を逐次修正しながら達成される遅い運動である。フィードフォワード制御は運動の軌道の変化を予測する制御である。脳からの運動指令は1回のみで運動の途中で軌道を修正しない制御である。動作を早く、正確に実施する上で重要である。このパラメーターの加齢変化による報告例は少ない。厚生労働省の統計では、我が国の65歳以上の高齢者人口は3300万人であり、これは人口の26パーセント以上を占める。今世紀の半ばまでには高齢者の比率は36%に達すると予測されており、日本は世界で最も高齢化した国になる見込みとなっている。脳科学の観点から高齢者の運動機能に関する知見の集積は、重要である。遅く、不正確な動作は高齢者の特徴である。予測制御運動は速く、正確な動作に関与する。予測制御の加齢変化についての知見は高齢化社会の中で疾病に伴う運動機能の低下予防、回復、維持を目的とするリハビリテーション医学にとって重要と考える。

目的: 手関節による素早いステップトラッキング課題を実施し、運動の予測制御機構における年齢に関連した変化を評価する。

対象: 健常成人を年齢別に3群に分けた。若年群(20-39歳)(16名)、中年群(40-59歳)(16名)、高齢群(60-79歳)(16名)

方法：手関節でマニピュランダムと呼ばれる操作子を使用し、これに連動するモニター上のカーソル（黒い点）を動かす、この操作によりモニター画面上に提示されるステップトラッキング課題を実施する。その動きは記録、分析される。各パラメータを分析し、特に課題実施時に最初に出現するベル型の接線速度波形(Primary submovement)を、予測制御を反映するパラメーターとして、その年齢変化を評価した。

結果：1) 反応時間の年齢変化：3 群間の比較において有意差を認めた。2) 移動時間の年齢変化：3 群間の比較において有意差を認めた。3) 最大速度の年齢変化：3 群間の比較において有意差を認めた。若年群は他の群にくらべ速かった。4) 終点の誤差：3 群間で有意差は認めなかった。

年齢変化に関連した予測制御の評価 1) パラメーター1：Primary submovement の誤差：若年群は中年群、高齢群でそれぞれ有意差を認めた。中年群と高齢群の比較では有意差を認めなかった。2) パラメーター2：primary submovement の持続時間 Primary submovement の持続時間は高齢群で延長する傾向にあった。3 群間で有意差を認めた。2 群間の比較においては若年群と高齢群のみ有意差を認めた。

考察：今回の結果は中年群や高齢群と比較して若年群において予測的な運動制御機能が良好であることを示唆している。今回特に、予測制御を反映している Primary submovement の時間的特性とその年齢変化を調べた。Primary submovement の持続時間は高齢群で延長する傾向があり、高齢群のみ有意差を認めた。特に全体の移動時間に占める Primary submovement の持続時間の割合は高齢群において低い傾向にあった。このことは高齢者の予測制御は若年群に比べ不完全であり、これを補うための追加動作、すなわちフィードバック制御の割合が高齢者群で高いことを示唆している。また今回の結果ではステップトラッキング課題における Primary submovement の終点とターゲットの中心までの距離（すなわち誤差）は高齢群と中年群が若年群にくらべ有意に大きく、これは加齢変化による予測制御の精度の低下を反映していると考えられた。

結論：今回の結果ではステップトラッキング課題における Primary submovement の持続時間および終点とターゲットまでの距離（すなわち誤差）は予測制御運動の年齢変化を評価する有用なパラメーターとなりうることが示唆された。

