床面の側方移動に対する外乱予告の有無が 下肢筋の筋活動に与える影響

Effect of disturbance instruction against lateral floor transition on muscle activity of lower limb muscles

三好 彩苗¹⁾, 下西 花音¹⁾, 安彦 鉄平¹⁾, 山口 秀明²⁾

松尾 奈々¹⁾, 岩瀬 弘明³⁾, 兒玉 隆之¹⁾

Sanae Miyoshi, Kanon Shitanishi, Teppei Abiko, Hideaki Yamaguchi
Nana Matsuo, Hiroaki Iwase, Takayuki Kodama

要旨：本研究の目的は、側方への床面移動に対する外乱のタイミング予告の有無が下肢筋の筋活動に与える影響を検証することである。対象は、若年健常成人男性13名とした。測定は、右側方向へ床面を移動させる課題に対して予告有条件と予告無条件の1施行目における下肢筋の外乱前の安静時筋活動量（以下、%IEMG-rest）、外乱後の最大筋活動量（以下、%IEMG-max）および筋反応時間を測定し、各測定値を比較した。その結果、%IEMG-maxは予告無条件と比較して予告有条件の1施行目において左中殿筋、右前脛骨筋および右長腓骨筋で有意な高い値を示した。筋反応時間に関しては、予告無条件と比較して予告有条件において左中殿筋、左長内転筋および右長腓骨筋において有意に短縮した。%IEMG-restは、いずれの筋においても条件間による差は認められなかった。以上のことから、若年健常者は外乱のタイミング予告を与えることで、外乱に対して姿勢制御する筋の最大筋活動量が増加し、筋反応時間が短縮することが明らかとなった。

キーワード：姿勢制御, 筋電図, 外乱予告, 側方外乱刺激

Abstract: The purpose of this study was to examine the effect of disturbance instruction against lateral floor transition on muscle activity of lower limb muscles. The study included 13 young healthy adult males. The resting muscle activity before the disturbance (%IEMG-rest), maximum muscle activity after the disturbance (%IEMG-max), and muscle reaction time of the lower limb muscles in the condition with and without disturbance instruction of moving the floor to the right side were measured. %IEMG-max showed significantly higher muscle activity in the left gluteus medius, right tibialis anterior, and right peroneus longus in the condition with the instruction than that in the condition without the instruction in the first trail. Regarding the muscle reaction time, the left gluteus medius, left adductor longus and right peroneus longus started activity significantly earlier in the condition with the instruction than that in the condition without the instruction. For any of the muscles, no difference was observed in %IEMG-rest between the conditions. These results indicate that, in young healthy subjects, %IEMG-max that control posture in response to disturbance increased by the disturbance instruction, and the muscle reaction time is earlier.

Key words: postural control, electromyogram, instruction, lateral floor transition

受付日：2021年1月6日，採択日：2021年3月1日

¹⁾ 京都橘大学健康科学部理学療法学科 〒607-8175 京都府京都市山科区大宅山田34

TEL : 075-571-1111 E-mail: abiko@tachibana-u.ac.jp

Department of Physical Therapy, Faculty of Health Sciences, Kyoto Tachibana University

Yamada-cho Oyake Yamashina-ku Kyoto 607-8175 Japan

Phone: +81-75-607-8175

²⁾ アイシン精機株式会社

AISIN SEIKI Co., Ltd.

³⁾ 神戸国際大学リハビリテーション学部理学療法学科

Department of Physical Therapy, Faculty of Rehabilitation, Kobe International University

I. はじめに

外乱に対する姿勢制御には、主に予測的姿勢制御と代償的姿勢制御の2つがある¹⁾。予測的姿勢制御とは、素早い動作を行う自発的な外乱や環境からの外乱が身体に加わる前の反応であり、フィードフォワード制御のひとつである。代償的姿勢制御とは、姿勢反射や姿勢反応、予期せぬ変化へのすばやい反射など外乱刺激によって生じた姿勢の崩れを調整する反応でフィードバック制御を意味する。これら2つの姿勢制御が適切に働くことで、外部環境に適応しながら、バランスを保持して動作や移動が可能となる。この姿勢制御に影響を与える要因には、視覚の制限²⁾、足の幅³⁾や手すり⁴⁾などの姿勢の条件、計算や選択反応課題などの認知課題⁵⁻⁶⁾、外乱のタイミングや方向などの予告⁷⁻¹¹⁾などが示されている。

外乱予告に関する先行研究として、Ackermannら⁷⁾は床面が上方に傾斜するタイミングを教示することで、姿勢の補償に作用する筋活動の応答が早まることを示した。Claudinoら⁹⁾は、上部体幹に対して外側方向への外乱を加える課題において、外乱のタイミングの予告により、予測的姿勢制御としての外乱前の下肢筋活動量が増加し、代償的姿勢制御としての外乱後の下肢筋活動量が低下することを示した。さらにNakazawaら¹⁰⁾は、可動式プラットフォームを用いて1cmの高さから落下した際の着地時の筋活動の変化を計測し、落下3秒前からカウントダウンを与えた場合、前脛骨筋の活動が減少することを示した。一方、Cresswellら¹¹⁾はハーネスを用いて体幹を急激に屈曲させる負荷を加える課題時の体幹の筋反応時間を計測し、外乱のタイミングの教示による影響はなかったと報告した。

Horakら¹²⁾は、床面が水平前後方向に移動した際の姿勢制御として足関節戦略および股関節戦略について明らかにした。また、飯島ら¹³⁾は床が前後移動方向に移動する外乱刺激を漸増することで足関節戦略から股関節戦略、ステッピング戦略と姿勢戦略が段階的に変化することを示した。Henryら¹⁴⁾は床を水平面上8方向に移動させた際の下肢の筋活動を測定し、姿勢を保持するために外乱方向に依存した筋活動が生じることを示した。ただし、床の側方移動に対する姿勢制御の研究は少なく¹⁴⁾、外乱予告を加えた先行研究は、我々が渉猟した範囲では見当たらなかった。電車やバスなど床が急激に側方移動する環境は日常的にも多く、外乱予告時の姿勢制御を明らかにすることは車内の転倒事故減少につながる基礎情報になり得る。また、日常

生活においては外乱予告後に全く同じ外乱が生じることは少ないことから、外乱への適応が少ない環境下での筋活動量を検討した。

そこで、本研究の目的は側方への床面移動に対する外乱予告の有無が下肢筋の筋活動に与える影響について検討することとした。

II. 対象と方法

1. 対 象

対象は、健康成人男性13名、平均年齢は 21.4 ± 0.5 歳、平均身長は 172.4 ± 4.6 cm、平均体重は 69.4 ± 14.7 kgであった。すべての対象者に、書面および口頭にて研究の趣旨と内容についての説明を行った。また、得られたデータならびに個人情報研究以外で使用するのではないことを説明し、同意を得た上で研究を行った。なお、本研究は所属機関の研究倫理委員会の承認を得て実施した（承認番号19-08）。

2. 測定方法

対象者は、水平外乱刺激発生装置（以下、外乱装置）上で両足内果間距離約15cm、両上肢を体側に垂らした安静立位を保持させた。対象者には床が右側方移動することを伝えた。対象者の視線は、身体が横に移動しても前方水平位が保てるように、外乱刺激装置から2m前方で目線の高さに合わせて横2mの長さのテープを壁に貼り付け、対象者にテープを注視するように指示した。床の側方移動を行うにあたり予告有条件と予告無条件の2つの条件を設け、外乱の定義を「立位姿勢における床面を水平右側方向に動かすこと」とした。予告有条件では、床面が水平右側方向へ移動することを事前に告知し、10秒間の安静時立位を保持させた後、3秒間のカウントダウンを行い、外乱装置を発車させた。一方、予告無条件では、床面が水平右側方向へ移動することを告知せず、10秒間の安静時立位を保持させた後、任意のタイミングで外乱を加えた。それぞれ3回ずつ測定し、各測定のインターバルは120秒とした。1回目の測定は予告無条件、予告有条件の順に実施し、その後はランダムに実施した。なお、本研究においては、外乱への適応を含めた調査を目的としなかったことから外乱および外乱予告への適応の少ない1施行目の測定値を採用した¹⁵⁾。

3. 水平外乱刺激発生装置

外乱装置の床面の大きさは縦105.5cm×横100cmの

長方形であった。車輪の大きさは直径12cm, モーターはBrushless Motor (Kun ray 350W48V; Kuray Cycling & Ebike CO, LTD, China) を使用した。手動のコントローラーを用い, 水平右側方向への外乱装置を操作させた。外乱装置の重力加速度は0.05Gで, 側方への移動距離は2mとした。なお, 設定した重力加速度はバス発車時の外乱と同程度とした¹⁶⁾。また, 外乱時の転倒を予防するために安全装置を装着した。

4. 筋電図

表面筋電図の測定は, 筋電計 (テレマイオ G2, Noraxon 社製) を用い, サンプルング周波数1000Hzにて計測した。電極は, ディスポーザブル銀塩化銀電極 (Blue Sensor SP, Ambu 社製) を用い, 測定筋は左右の長腓骨筋, 前脛骨筋, 中殿筋, 長内転筋の計8筋とした。電極貼付位置は, 先行研究¹⁷⁻¹⁸⁾に基づき, 前脛骨筋は脛骨外側顆から4横指遠位, 長腓骨筋は腓骨頭より3横指遠位部, 中殿筋は大転子と腸骨稜を結ぶ線の近位1/3, 長内転筋は大腿内側で恥骨結合と膝関節を結ぶ線の近位1/3, アース電極を右腓骨頭とし, 電極間距離を2cmとした。導出方法は, 双極導出法とし, 電極貼付の際には, 適切な皮膚処理を行った。

5. 加速度計

外乱装置の加速度の測定は, 3軸加速度計 (A3AX-sensor, テック技販社製) を用い, サンプルング周波数1000Hzにて計測した。加速度計は外乱装置に固定し, 外乱装置が動き始めたタイミングを同定することを目的に測定した。

6. 解析方法

水平右側方向への加速度の平均値を25msecの区間ごとに算出した。その後, 静止時の1秒間の加速度の平均値と標準偏差を算出し, 平均値 $\pm$ 3標準偏差を超えた値が連続して生じた区間を外乱装置の発車のタイミングとした。

得られた筋電図は, バンドパスフィルタ (20-500 Hz) でフィルタ処理し, 全波整流した。外乱刺激装置が発射したタイミングを0とし, 外乱刺激開始の-1500msecから+1000msecにおいて, 25msecごとに積分値 (Integrated Electromyogram, 以下 IEMG) を求めた。その後, IEMGをすべての課題におけるIEMGの最大値で除すことで正規化し, %IEMGを算

出した。なお, 正規化に用いた IEMG の最大値は3回測定した値から求めた。

測定値は, 予測の有無による影響が大きい1回目の値から外乱刺激前の安静時の%IEMG (以下, %IEMG-rest), 外乱刺激後の最大筋活動量 (以下, %IEMG-Max) および筋反応時間を算出した。%IEMG-restは, 外乱刺激が加わる直前かつ予告を行っている区間を解析区間とし, 外乱刺激開始の-1500msecから-500msecの1秒間とし, 40相内の%IEMGの平均値を求めた。%IEMG-Maxは, 外乱刺激を開始した0msecから1000msecを解析区間とし, 25msecごとに40相に分け, 40相内での%IEMGの最大値を%IEMG-Maxとした。また, %IEMG-maxが生じた相を筋反応時間 (相) として同定した。

7. 統計学的解析

各筋の%IEMG-rest, %IEMG-Max, 筋反応時間における予測の有無の比較は, 対応のあるt検定を用いて検討した。なお, 統計学的解析ソフトはSPSS ver. 25 (IBM 社製) を用い, 統計学的有意水準は5%とした。

III. 結 果

%IEMG-Maxに関して, 予告無条件と比較して予告有条件では, 左中殿筋, 右前脛骨筋および右長腓骨筋において有意に高い数値を示した。筋反応時間に関しては, 予告無条件と比較して予告有条件では左中殿筋, 左長内転筋および右長腓骨筋において有意に低い値であった。%IEMG-restについては, いずれの筋においても予告無条件と予告有条件で有意差は認められなかった (表1)。

IV. 考 察

本研究は, 床の側方水平外乱刺激に対する予測の有無が下肢筋の筋活動に与える影響について1施行目の筋活動量を用いて検討した。その結果, 予告無条件と比較して予告有条件では, 足関節において右長腓骨筋および右前脛骨筋の%IEMG-Maxが有意に高い値を示し, 右長腓骨筋において筋反応時間が有意に短縮した。また, 股関節においては, 左中殿筋の%IEMG-Maxが有意に高い値を示し, 左中殿筋および左長内転筋において筋反応時間が有意に短縮した。

Horak¹²⁾らは床の前後方向の水平外乱時に, 実際の外乱の大きさよりも外乱を大きく見積もった対象者は姿勢調節としての筋活動量が大きくなり, 繰り返しに

表1 発車予告の有無による筋活動量および筋反応時間の比較

		予告無条件	予告有条件	p 値
右前脛骨筋	%IEMG-rest(%)	11.3 ± 8.8	11.8 ± 8.7	0.52
	%IEMG-Max(%)	45.5 ± 16.9	61.6 ± 14.0*	0.04
	筋反応時間(相)	14.5 ± 5.6	12.9 ± 4.9	0.33
左前脛骨筋	%IEMG-rest(%)	11.9 ± 10.1	11.3 ± 9.6	0.60
	%IEMG-Max(%)	51.0 ± 23.5	61.6 ± 14	0.19
	筋反応時間(相)	14.7 ± 8.7	11.7 ± 5.7	0.29
右長腓骨筋	%IEMG-rest(%)	9.5 ± 10.5	9.6 ± 9.6	0.85
	%IEMG-Max(%)	39.3 ± 16.8	52.8 ± 20.7*	0.04
	筋反応時間(相)	14.7 ± 5.6	11.1 ± 3.6*	0.01
左長腓骨筋	%IEMG-rest(%)	9.1 ± 15.7	9.8 ± 15.2	0.52
	%IEMG-Max(%)	46.2 ± 29.4	47.0 ± 20.9	0.91
	筋反応時間(相)	14.3 ± 6.4	13.7 ± 8.4	0.80
右中殿筋	%IEMG-rest(%)	8.7 ± 5.6	9.0 ± 6.2	0.80
	%IEMG-Max(%)	48.9 ± 28.0	46.0 ± 26.6	0.66
	筋反応時間(相)	16.7 ± 7.1	15.4 ± 8.5	0.51
左中殿筋	%IEMG-rest(%)	6.8 ± 8.6	8.1 ± 9.1	0.22
	%IEMG-Max(%)	51.3 ± 12.4	72.7 ± 24.6*	p<0.01
	筋反応時間(相)	17.7 ± 8.6	10.4 ± 3.3*	0.01
右長内転筋	%IEMG-rest(%)	9.5 ± 5.6	11.6 ± 7.6	0.08
	%IEMG-Max(%)	47.0 ± 27.0	49.7 ± 30	0.77
	筋反応時間(相)	19.7 ± 9.3	16.0 ± 7.1	0.08
左長内転筋	%IEMG-rest(%)	14.6 ± 10.5	13.8 ± 10.9	0.49
	%IEMG-Max(%)	43.5 ± 27.2	35.2 ± 21.3	0.08
	筋反応時間(相)	23.3 ± 9.7	16.5 ± 6.5*	0.02

%IEMG-rest：安静時の筋活動量，%IEMG-max：外乱後の最大筋活動量

*：p<0.05

よって減少することを明らかにしている。河石ら¹⁵⁾は、歩行中における床面素材の変化させた際の筋活動を測定し、3施行目と比較して1施行目で筋活動が大きくなったことを明らかにした。一方、Claudino ら⁹⁾や Nakazawa ら¹⁰⁾の研究では、複数回の平均値を代表値とし、外乱予告によって筋活動の開始の早期化や外乱後の筋活動量の減少を示した。また、測定の順序として予告無条件後に予告有条件を実施したことから、予告有条件では外乱を経験しており、施行回数は少ないものの経験による影響が生じた。しかし、先行研究¹⁵⁾では外乱の経験によって筋活動量が減少したが、本研究結果では外乱を1回経験した予告有条件において%IEMG-Maxが増加しており、%IEMG-Maxの増加は予告による影響が大きいと考えられる。以上のことから、本研究では外乱への適応が不十分な条件の代表値を用い、外乱予告によって外乱の大きさを実際よりも大きく見積もった結果、予告有条件で姿勢保持に関与する筋の%IEMG-Maxが有意に高値になったと推察される。また、本研究結果で用いた%IEMG-Maxは、

瞬間的な筋活動量で姿勢制御に要した筋活動量の総和ではないことから、姿勢保持に要した筋活動量については言及できない。ただし、予告によって外乱に抗する筋の%IEMG-Maxが早期化したことから、外乱後のCOPの偏位が小さくなり、姿勢を保持する筋活動量の総和が小さくなることも予想され、今後外乱後の筋活動量の総和についても検討を加えたい。

外乱を制動する姿勢制御について、福井ら¹⁹⁾は体幹が後傾している場合、股関節上部の重心は股関節より後方に位置するため、重心にかかる重力は股関節を伸展させるモーメントとなり、身体がこの位置を保つためには股関節屈曲モーメントを発揮することで平衡を保つと述べている。本研究では、床が右側方向へ移動することで左股関節を内転させる外部モーメントが作用する。つまり、左股関節上部の重心は左股関節より左側に位置することから外部モーメントとして左股関節内転モーメントが生じ、これに対して内部モーメントとして左股関節外転筋を発揮させることで姿勢制御を行ったと推測される。これらのことから、予告によっ

て右側方外乱刺激に対する姿勢制御を行う左中殿筋の %IEMG-Max が強調されたと考えられる。また, Winter ら²⁰⁾は, 左右へ荷重を移動させる制御に関して, 足関節戦略よりもむしろ股関節外転筋群と内転筋群の活動が寄与して可能性を述べている。このことから, 予告有条件において左中殿筋および左長内転筋の筋反応時間が短縮した要因は, 外乱刺激に対する予測により, 姿勢保持に関与する左中殿筋および左長内転筋の筋反応時間が短縮し, 左下肢による荷重のコントロールを早期に行った結果であると推察した。

相馬ら²¹⁾によると, 足関節を軸に体を前後に傾ける前後重心移動課題の振幅を増大させたところ, 若年者は前脛骨筋と腓腹筋ともに筋活動を高め, 足関節周囲筋の同時収縮が高まったと報告している。本研究においても, 右側方向への外乱に対し, 足部の内外反の作用をもつ右前脛骨筋および右長腓骨筋の両筋の筋活動を高め, 足部の安定性を得ていると考える。また, 予告有条件において, 右側方向への外乱に伴う右下腿の左傾斜に対し, 右長腓骨筋の筋活動を早期化させることで右下腿の左傾斜を制動し, 重心を右側方向へ移動させたと考えられる。

予測的姿勢制御について, Horak ら¹⁴⁾は両側上肢に重りをつけ, 上肢を素早く動かした際に姿勢筋の筋活動量が高まったことを報告している。一方, Lee ら²²⁾は上肢の運動速度が小さい場合や運動負荷が小さい場合は, 予測的姿勢制御としての筋活動は減少あるいは消失することが明らかにしている。さらに, 外乱に対する対象者の年齢, 能力や経験などによっても, 予測的姿勢制御が変化することが示されている²³⁻²⁴⁾。これらのことから, 本研究において外乱予告の有無によって %IEMG-rest に有意差が生じなかった要因として, バランス能力が高い若年健常男性にとって, 本研究で加えた側方外乱刺激は予測的姿勢制御として安静時の筋活動量を高めるほどの課題ではなかったためと考えられる。

本研究において予告無条件の 1 施行目と比較して予告有条件の 1 施行目では, 予測的姿勢制御ではなく代償的姿勢制御として, 外乱の方向に依存した筋の最大筋活動量の増加や筋反応時間の短縮により姿勢を制御することが明らかになった。このことから, 床が側方へ移動するバスおよび電車などの発車時に, 注意を促すアナウンスなどの予測を促すことを徹底することで, 転倒リスクの減少につながる可能性を示した。ただし, Claudino ら⁹⁾が報告しているように, 側方転倒が生じ

やすい高齢者と若年者の側方外乱の姿勢制御は異なっており, 本研究結果を高齢者に当てはめることができないことから, 今後高齢者を対象とした調査を行いたい。本研究の限界として, 予告有条件において外乱への適応が生じている可能性があり, 今後施行回数も含めた検討を加えたい。

引用文献

- 1) 弓岡光徳, 村田伸, 前田昭宏・他: 最新のボバースアプローチの紹介ー立位から臥位への姿勢変換を中心にー. 西九州リハビリテーション研究, 2012, 5: 67-77.
- 2) Scovil CY, Zettel JL, Maki BE: Stepping to recover balance in complex environments: Is online visual control of the foot motion necessary or sufficient?. Neuroscience Letters, 2008, 445: 108-112.
- 3) Henry SM, Fung J, Horak FB: Effect of stance width on multidirectional postural responses. Journal of Neurophysiology, 2001, 85: 559-570.
- 4) Cordo PJ, Nashner LM: Properties of postural adjustments associated with rapid arm movements. Journal of Neurophysiology, 1982, 47: 287-302.
- 5) Brauer SG, Woollacott M, Shumway-Cook A: The influence of a concurrent cognitive task on the compensatory stepping response to a perturbation in balance-impaired and healthy elders. Gait Posture, 2002, 15: 83-93.
- 6) Brown LA, Shumway-Cook A, Woollacott MH: Attentional demands and postural recovery: The effects of aging. J Gerontol A Biol Sci Med Sci, 1999, 54(4): M 165-M 71.
- 7) Ackermann H, Scholz E, Koehler W, et al.: Influence of posture and voluntary background contraction upon compound muscle action-potentials from anterior tibial and soleus muscle following transcranial magnetic stimulation. Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol, 1991, 81: 71-80.
- 8) McChesney JW, Sveistrup H, Woollacott MH: Influence of auditory precuing on automatic postural responses. Exp Brain Res, 1996, 108: 315-320.
- 9) Claudino R, dos Santos EC, Santos MJ, et al.: Compensatory but not anticipatory adjustments are altered in older adults during lateral postural perturbations. Clinical Neurophysiology, 2013, 8: 1628-1637.
- 10) Nakazawa K, Kawashima N, Akai M: Effect of different preparatory states on the reflex responses of ankle flexor and extensor muscles to a sudden drop of support surface during standing in humans. J Electromyogr Kinesiol, 2009, 19: 782-788.
- 11) Cresswell AG, Oddsson L, Thorstensson A: The influence of sudden perturbations on trunk muscle activity and intra-abdominal pressure while standing. Exp Brain Res, 1994, 98 (2): 336-341.
- 12) Horak FB, Esselman PE, Anderson ME, et al.: The effect of movement velocity, mass displaced and task certainty on associated postural adjustments made by normal and hemiplegic individuals. J. Neurophysiol., 1984, 62: 841-853.

- 13) 飯島賢一, 関根正樹, 田村俊世: 漸増する水平外乱刺激に対する姿勢応答. 生体医工学, 2009, 47(1): 70-76.
- 14) Henry SM, Horak FB: EMG responses to maintain stance during multidirectional surface translations. J Neurophysiol, 1998, 80(4): 1939-1950.
- 15) 河石 優, 福本貴彦, 森岡 周: 歩行中における床面素材の変化に対する運動パターンの適応過程. 理学療法学, 2013, 40(3), 161-168.
- 16) 戦略的イノベーション創造プログラム: 沖縄の交通環境下における公共バスのより高度な自動運転制御の実現に向けた調査. https://www.sip-adus.go.jp/file/301s_s.pdf (閲覧日2021年1月30日)
- 17) 隈元庸夫, 世古俊明, 田中昌史・他: 両脚立位での骨盤側方移動が股関節周囲筋活動に及ぼす影響. 理学療法科学, 2014, 29(3): 371-375.
- 18) 山口剛司, 高崎恭輔, 大工谷新一: 足底圧中心変化に伴う足部周囲筋の積分値相対値変化. 関西理学療法, 2005, 5: 103-108.
- 19) 福井勉: 姿勢保持とバイオメカニクス. 総合リハ, 2008, 36(2): 121-125.
- 20) Winter DA, Prince F, Sterior P: Medial-lateral and anterior-posterior motor responses associated with center of pressure changes in quiet standing. Neurosci Res Commun, 1993, 12: 141-148.
- 21) 相馬優樹, 衣笠隆, 漆畑俊哉・他: 重心移動課題における足関節筋の同時収縮に及ぼす加齢の影響. 体力科学, 2010, 59: 143-156.
- 22) Lee W.A.: Anticipatory control of posture and task muscles during rapid arm flexion. J. Mot.Behav, 1980, 12: 185-196.
- 23) Aruin AS, Latash ML: Anticipatory postural adjustments during self-initiated perturbations of different magnitude triggered by a standard motor action. Electroencephalogr Clin Neurophysiol, 1996, 101: 497-503.
- 24) Kanekar N, Aruin AS: The effect of aging on anticipatory postural control. Exp Brain Res, 2014, 232(2): 1127-1136.