〔論説〕

立位での素早い上肢挙上に伴う予測的姿勢制御についての文献調査

A literature search about anticipatory postural adjustments with quickly upper limb elevation in the standing

木村文佳，岩月宏泰

青森県立保健大学　健康科学部　理学療法学科

要　旨

立位で上肢運動を行う前や運動の最中，運動後に姿勢を保持する機構がある。その機構を姿勢制御と称する。その中で，上肢運動の動作前に姿勢が乱れることを予測して姿勢制御を行う機構を予測的姿勢制御機構（Anticipatory postural adjustments；APA）という。このような予測的機構は姿勢制御のシステムの一部を成していると考えられている。我々は現在 APA に関する基礎的研究を計画中であり，立位で上肢運動を課題動作とした APA の文献をまとめ，APA に影響を与える要因と未解決な部分について整理し，改めて問題を明らかにしたい。

キーワード：リハビリテーション，予測的姿勢制御，表面筋電図

1．はじめに

身体は，多くの分節からなる。身体に存在する分節は関節を支点として動く。ある分節を動かそうとすると，他の分節はその動きを補償し支持するために働き，身体を構成する各分節は相互に作用し合っている。身体の各部位の相対的な位置関係を構えと呼び，身体が重力に対しどのような位置関係にあるのかを体位と呼ぶ。姿勢とは，構えと体位の総称であり[1]，ヒトには主に四肢の運動を遂行する際，無意識的に姿勢を維持する働きが備わっている。この姿勢を持続的に維持する機能を姿勢制御と言う。

姿勢制御の要素には，安定と定位がある。安定とは基底面に身体質量中心を収めて物理的安定を図ること[2]，定位とは体の位置または姿勢を能動的に定めること[3]である。後者にはアライメント及び体節間の協調的な動きが必要であり，姿勢や運動を定めるために関節や筋肉は適切な量とタイミングで働く必要がある。この際，関節や筋肉を適切に動かし姿勢及び四肢の制御を行っているのは大脳や小脳などの中枢神経系である[4]。

立位で上肢を挙上する際，肩関節周囲筋は収縮により上腕骨の骨頭を肩甲骨の肩甲窩に固定し[5]，下肢筋や体幹筋は身体重心の偏倚を予測し姿勢を制御するように働くと考えられている。この身体重心の偏倚を予測し，運動の構えとして姿勢制御を行う機構を予測的姿勢制御（Anticipatory Postural Adjustments；APA）または先行随伴性（準備的）姿勢制御（preparatory Anticipatory Postural Adjustments；pAPA）と呼ぶ[6),7]。これに対して随意運動時に一定あるいは変化する支持基底面内に重心を制御し，身体を安定させようとする姿勢調節を随伴的姿勢制御（accompanying Anticipatory Postural Adjustment；aAPA）[3]あるいは反応的姿勢制御（re-active postural control）という。このAPAは意識的な予測に基づくものではなく，運動の開始前に先行して生じるよう備わっているプレセットされた機構と解釈されている[8),9]。

立位での上肢挙上運動に伴って生じるAPAの過程を理解することは，運動開始前の身体の安定や定位について理解するための有効な知見となる可能性がある。

2．予測的姿勢制御が研究されるようになった背景

APAが研究されるようになったのは1967年のBalen'kiiらの報告に拠るところが大きいと述べている文献がある[6),9]。矢作，笠井ら[13]は立位で一側上肢を急速に前方挙上する際の下肢筋の筋活動について表面筋電図を用いて調査している。図１にその様子を示した。挙上側上肢の三角筋の筋活動が生じる（図１ａ）のに先行して，挙上側と同側の大腿二頭筋の筋放電（図１ｂ）が発生していることが分かる。このように立位で一側上肢を挙上する際，主動筋の三角筋よりも先行して生じる大腿二頭筋の筋活動は予測的筋活動と称され，このような大腿二頭筋

連絡先：青森県立保健大学　健康科学部　理学療法学科　木村文佳
電話 017-765-2000（代表）　メール f_kimura@auhw.ac.jp

の先行的な筋活動はAPAと見なされている[4)]。

３．予測的姿勢制御に影響を与える要因

文献検索マシン（pub-Med，医中誌）を用いて表面筋電図測定の結果からAPAについて考察している文献を検索した。APAは動作速度や重錘負荷，姿勢方略の違い，重心位置によって影響を受けることが明らかになっている。表面筋電図上で上肢挙上時のAPAを検討している場合には，①主動筋である三角筋の筋放電開始を基準とした同側の大腿二頭筋の筋放電先行時間②同側大腿二頭筋の筋活動振幅の増減について着目がなされている。本論説では，主動筋である三角筋の筋放電開始を基準として大腿二頭筋を中心とした筋肉の筋放電先行時間に着目した先行研究についてレビューを行った。以下に，先行研究の課題条件や結果について述べる。

１）動作速度と重錘負荷による違い

Shimuraら[9)]は19歳から49歳までの青年男子9名を対象に，手首に2kgの重錘を負荷した状態と重錘負荷をしない状態の2条件で，立位から急速に右上肢挙上を行う際の筋活動を表面筋電図によって測定している。測定課題は，合図の表示によって立位で右上肢を指標に向けて挙上し，その後，指標に向けて挙上した上肢を保持するというものである。筋活動の導出部位は，主動筋となる三角筋，両側の大腿二頭筋，右ヒラメ筋であった。結果，挙上側と同側の大腿二頭筋の筋活動は，主動筋の三角筋の筋活動に対して重錘負荷がない場合は平均で約50ms先行していた。これに対し，2kg重錘負荷時には主動筋の三角筋に対し同側の大腿二頭筋の筋活動開始が約30ms先行していた。つまり，重錘を負荷した状態では主動筋である三角筋に対し同側大腿二頭筋の筋活動開始の先行時間は短くなったと報告している。その理由を重錘負荷によって上肢の重みが増し運動速度が遅延したことで同側大腿二頭筋の活動開始が三角筋の活動開始に近くなったのではないかと述べている。

矢作，笠井ら[13)]も，一側上肢挙上運動を行う上肢の手首に重錘を負荷し予測的筋活動の変化を検討している。結果,手首への重錘負荷が増大するほど,主動筋である三角筋の筋活動開始時間に先行する同側大腿二頭筋の筋放電先行時間が短くなったと報告している。しかし，重錘の有無に関わらず同じ角速度の試行を抽出して検討すると，主動筋である三角筋に対する同側の大腿二頭筋の筋放電開始時間に有意差が無かった。そのため，主動筋である三角筋に対する同側大腿二頭筋の筋活動先行時間は運動速度にも依存すると結論づけている。

重錘を負荷することで主動筋である三角筋の筋活動開始に対する同側の大腿二頭筋の筋活動開始が先行する時間が短くなることは共通した知見のようである。しかし，主動筋の三角筋に先行して起こる同側大腿二頭筋の筋活動は重錘負荷の有無だけではなく動作速度にも左右されるようである。したがって，重錘の有無や動作速度の遅早の組み合わせが，上肢挙上に伴う大腿二頭筋の筋活動開始にどのような影響を与えているのかをさらに検討していく必要性がある。

２）姿勢方略の仕方（姿勢変換型）による影響

藤原[14)]は健常青年26名を対象とした調査で，立位で両側上肢挙上を行う際に個人がとる姿勢方略の仕方の違いを姿勢変換型と定義し，予測的筋活動の順序が姿勢変換型で大きく異なると述べている。両上肢挙上を行う際に，体幹を後傾し股関節を伸展するように姿勢方略をとる者は，三角筋に先行して大腿二頭筋の筋活動が出現していた。比して，両上肢挙上を行う際に，体幹を前屈させ，股関節を屈曲させるように姿勢方略を行う者では，三角筋の筋活動よりも遅れて大腿二頭筋の筋活動が出現していたとしている。

他にも藤原[15)]は，大学生101名を対象に同様の課題を用いて，立位から両上肢挙上する際の姿勢変換型についての男女差について言及している。結果，女子では男子に比べ股関節を後傾して姿勢変換をする者が有意に多く，股関節を後傾させる，あるいは股関節を伸展域にするような姿勢変換を行う者は，股関節を屈曲して課題を行う者に比べて，大腿二頭筋の先行活動が有意に早くなったとしている。

姿勢変換のタイプが異なると予測的筋活動の順序に変化が起き，それらは個人史に因る所が大きいとされている[14)]。しかし，姿勢方略に性差がある原因として，個人史の他にも筋力や身長の差など身体要因が関与している可能性がある。したがって，身体的要因（体格や筋力）とAPAの関係性についての知見が必要である。

３）運動開始時の重心位置

藤原[16)]は健常青年男子5名を対象として，前後方向の重心位置を規定した状態で，立位にて素早く両上肢を挙上する際の予測的筋活動と重心位置を測定している。検出項目は加速度計，床反力計，表面筋電図，ビデオ動作解析装置等であった。重心位置を踵から足長30％，45％，60％の場所に規定させ，それぞれの重心位置で重錘なしと5.0kgの重錘負荷の2条件で両上肢挙上を行った。その結果，重心位置を30%に規定し両上肢挙上を行った場合，錘無し・5.0kg負荷の2条件ともに，大腿二頭筋は三角筋と同時もしくは三角筋より13.9ms遅れて筋活動が出現していた。重心位置を45％に規定した場合には三角筋に対して平均32.7ms，60％に規定した時には平均46.2ms大腿二頭筋の筋活動が先行して生じていた。無負荷時45%，60%に重心位置を規定した時には，上肢挙上に先行する足圧中心の後方移動を生じていたが，30%に重心位置を規定した時には上肢挙上に先行する足圧中心の後方移動が見られなかった。したがって，藤原は両上肢挙上時の大腿二頭筋の先行的な筋活動は足圧中心の後方移動に対応して起こることを示唆している。

高木ら[17)]は健常青年10名（26.5±４歳）を対象に

バランスシステム計の結果から右上肢挙上時の重心動揺と足圧中心の移動について報告している。重心動揺については10名の健常青年を対象に検討しており，肩関節屈曲角度が0°から180°に至るまで30°毎に上肢を挙上し，この間の左右と前後方向への重心動揺を計測している。すると，前後成分では0°から60°までは重心の後方移動が見られることが共通していたが，60°から90°に肩関節の屈曲角度を変更する際は，重心が前方に変位する者と重心が後方に変位する者の二通りのパターンがあったと示している。左右成分では，どの被験者も0°から90°に至るまで重心の動揺は右側に変位していたと報告している。足圧中心は右上肢挙上開始時から開始直後はどの例においても開始位置からさらに後方へ移動を生じていたと報告している。

上肢挙上時に三角筋に先行して起こる大腿二頭筋の先行的な活動は，上肢挙上時の重心や足圧中心位置の後方移動に対応して生じている可能性が高い。右上肢を挙上する場合には，0°から90°までは重心は右側に変位することから，右上肢挙上時には右後方への重心移動に備えてAPAは右大腿二頭筋に生じ，左大腿二頭筋には生じていないと考えられる。この点を明らかにするために，一側上肢挙上時の予測的筋活動と重心位置・足圧中心位置との対応を検討する必要がある。

４）利き手と非利き手の違い

小宮山ら[12]は5人の健常青年を対象に，選択的反応課題（高音の合図の時は右上肢，低温の合図の時は左上肢）を用いて立位からの一側上肢挙上について左右肢で比較している。左右肢どちらを挙げても，挙上側と同側の大腿二頭筋が主動筋である三角筋に20ms先行して筋活動を開始しているという結果が得られたとしている。これに対して，身体動揺を減らす目的で座位にて一側上肢挙上を行った場合には同側の大腿二頭筋の先行的な筋活動が消失したと述べている。

一側上肢挙上課題時に挙上側の大腿二頭筋に生じる予測的筋活動は，左右肢いずれの場合も同側の大腿二頭筋に筋活動を認めていた。APAに利き手と非利き手の影響は無さそうだが，身体動揺が抑えられるような外的環境によってAPAは変化する可能性がある。立位からの一側上肢挙上運動時の身体動揺を抑えるためには，装具やテーピングなど外的環境による支持が効果的と考えられる。立位での一側上肢挙上において外的環境による支持を与え身体動揺を減少させた際のAPAを検討することは，脳卒中患者や整形外科疾患により装具を着用してリハビリテーションを実施する際の姿勢制御機構の理解に役立つと考えられる。

４．疾患による予測的姿勢制御の変化

運動器疾患と中枢神経疾患，ともにAPAの変化が見られることが報告されている。

１）慢性腰痛

Sadeghi Mら[10]は，慢性腰痛を有する者と有しない者それぞれ29名を対象に，立位で行う右上肢の急速挙上に重錘を負荷し，この時に準備的に働く脳の活動と予測的姿勢制御について比較している。表面筋電図の結果，筋活動の潜在時間の違いが見られ，健常者では腰痛者に比較して左右の腹横筋と外腹斜筋の筋活動の出現が早くなっていた。これに対し，腰痛者では健常者に比較して腓腹筋内側頭の出現が早くなり，主動筋である三角筋の筋活動に先行して腓腹筋の筋活動が得られていた。このことから，慢性的な腰痛者では，健常者に比較して予測的姿勢制御として足関節戦略をとることが多くなることが示唆されている。

２）脳卒中

Dicksteinら[11]は脳卒中患者の予測的筋活動の特徴を，座位で一側上肢挙上を行うときに生じる体幹筋の姿勢制御を表面筋電図の結果をもとに健常者の反応と比較し明らかにしようとした。脳卒中患者では, 立位での上肢挙上が困難な場合もあることから，座位での課題動作を選択したようであり，対象者は脳卒中患者50名，健常者30名であった。座位で一側上肢挙上を行う際の両側の脊柱起立筋と広背筋の筋活動を測定し，健常者の利き腕を挙上した場合と脳卒中患者の非麻痺側上肢を挙上した場合，健常者の非利き腕を挙上した場合と脳卒中の麻痺側上肢を挙上した場合を比較検討している。結果，脳卒中患者が非麻痺側上肢を挙上した場合は，健常者が利き腕を挙上した場合に比べて，挙上側と同側の広背筋の筋活動が大幅に遅延することを示し，脳卒中患者では運動障害や機能障害によって予測的な姿勢制御の障害が生じていることを明らかにした。

脳卒中患者において立位での上肢挙上が困難である背景を解明するためには，安全性の確保などの課題はあるが，実際に立位でのAPAの活動を表面筋電図によって計測する必要性があると考える。また，上肢と体幹の接続を保つ，広背筋，僧帽筋，大胸筋などにおける予測的筋活動の有無を確認する必要性が示唆された。

５．予測的姿勢制御に関わる中枢神経系

１）大脳，間脳，脳幹，小脳

運動を発現する際には，運動意図が発現し，運動実行の前に感覚の認知統合が行われる。次いで，小脳虫部，大脳辺縁系，大脳基底核，補足運動野，運動前野を絡む認知ループや運動ループを介して行動の計画や運動プログラムが生成される。その後に，網様体脊髄路に働きかけ筋緊張の調整や，姿勢制御によって運動の構えを整えた後に，一次運動野から皮質脊髄路を介して運動指令が効果器に伝えられる。運動の後は，長潜時反応であるステッピングなどの反応性姿勢制御やフィードバックが働いている[1]（図２）。

リーチ動作における予測的姿勢制御の過程には補足運動野（６野）が大きく関与しているとされてい

る[19]。図２に示したように，上肢挙上を行うための行動計画の生成・運動プログラムの生成，上肢挙上に対する構えを整えるための姿勢制御に関する部分に補足運動野は寄与していると考えられる。吉田ら[20]は補足運動野に対して経頭蓋直流陰極刺激を行い，自己ペースで行う一側上肢挙上時の姿勢調節筋の筋活動先行時間の変化を検討している。補足運動野に対して直流陰極刺激を行うと姿勢筋の筋活動先行時間が有意に短縮したと述べ，一側上肢挙上の際の予測的姿勢制御に補足運動野が関わっていることを明らかにしている。

２）Ｈ反射からの検討

矢作，笠井ら[13]は立位からの一側上肢挙上に伴い主動筋の三角筋に先行して生じる同側の大腿二頭筋の筋活動が得られる例と得られない例があったと述べ，被験者の35％で同側大腿二頭筋の先行的な筋活動が得られなかったと報告している。同側大腿二頭筋の先行的筋活動が得られる例では，大腿二頭筋の先行的筋活動の間，同側のヒラメ筋は休止期を示しており（図１），この間は同側のヒラメ筋に顕著なＨ反射の抑制が見られることを明らかにしている。その理由として，笠井はヒラメ筋に対する大腿二頭筋からのシナプス前抑制結合の働きを挙げている。そして，姿勢条件によって立位からの一側上肢挙上時，同側大腿二頭筋から同側ヒラメ筋に対するシナプス前抑制が修飾される可能性を示唆している。

Shimuraら[9]は一側上肢挙上課題を急速に行う際，手首に重錘を負荷した状態としない状態の姿勢筋の筋活動とその際の挙上側と同側のヒラメ筋Ｈ反射を測定し，Ｈ反射の移動平均値を算出している。重錘がある場合もない場合も主動筋の三角筋の筋活動に先行してＨ反射の抑制を生じていた。重錘負荷がない場合は，三角筋の筋活動開始50ms前よりＨ反射の抑制を生じ，三角筋活動開始時に最もＨ反射が抑制されていた。重錘負荷がある場合は，三角筋の筋活動開始30ms前からＨ反射の抑制を生じ，三角筋の筋活動開始50ms後に抑制のピークを迎えていた。この間，膝に装着していた加速度計の結果から，膝関節が前方に移動した際にＨ反射の抑制が高まる事を明らかにし，股関節角度によって規定される脊髄内のメカニズムの存在を示唆している。

主動筋である三角筋の活動開始前から，大腿二頭筋の筋活動が得られる例では，Ｈ反射が抑制されるようである。Ｈ反射はIa線維からの感覚入力による脊髄前角のα運動ニューロンの興奮性（単シナプス性）を示す電位活動である[21]。したがって，上肢挙上に伴うAPAにおいてＨ反射が抑制されたことはα運動ニューロンの興奮性が低下したこと，あるいはIa線維からの感覚入力が減少したことを示す。上肢挙上時のAPAにはシナプス前抑制，相反抑制，反回抑制などの脊髄内の抑制機構が関与していると考えられる。

６．研究展望

文献研究から，両上肢挙上の際に生じる重心や足圧中心の後方移動を予測して，主動筋である三角筋に先行して大腿二頭筋の筋活動が出現することが分かった。APAが重心移動や足圧中心の動きに対応しているとすれば，前方に重心移動を伴うような姿勢条件や姿勢方略を取る場合には，大腿二頭筋ではなく大腿四頭筋に予測的筋活動を認める可能性があり，この事象についての確認が必要である。一側上肢挙上時には，重心や足圧中心の前後移動に加え，左右の要素が加わる。したがって，一側上肢挙上時のAPAを表面筋電図の筋活動から検討する場合には，重心や足圧中心の前後左右方向への移動を考慮した筋電図貼り付け位置の工夫が必要である。（図３仮説①）。

姿勢方略の違いによってAPAの筋活動が変わったことは，重心移動や足圧中心の移動様式が姿勢方略によって異なることが要因だと推察される。APAに性差を生じていることや，姿勢方略による重心移動の変化についても更なる検討が必要である（図３仮説②，③）。日常的に肘伸展位で肩を90°屈曲位まで素早く挙上するという行為は成される頻度が少ない。したがって，不慣れな段階ではAPAが発揮されず，動作反復を繰り返し習熟が得られた場合に筋活動が収斂されAPAが発現される可能性も考えられる。

加えて，解剖学的に上肢と体幹を結びつけている筋は大胸筋，僧帽筋，大胸筋等である。下肢や体幹群の筋活動に着目した文献が多いが，上肢挙上を行うためには，上部体幹筋も安定や定位に貢献していると考えられる。したがって，立位での上肢挙上に伴う上部体幹筋においてもAPAが出現しているかを確かめる必要性が示唆される。

７．おわりに

立位で上肢挙上を行う際には，APAとして主動筋である三角筋に先行して挙上側の大腿二頭筋に先行的な筋活動が出現する場合があり，それらは姿勢方略や重心位置，動作速度等により影響されることが理解できた。運動開始前から姿勢制御に関わる機構が可変的に働き，身体の安定や定位に寄与していることは興味深い知見である。姿勢制御のシステム理論から推察すると姿勢制御に関わる要因は多岐に渡っており[3]，APAを含む予測機構は姿勢制御の一部にしかすぎない（図４）。APAは感覚系，筋骨格系，神経筋協同収縮系など姿勢制御に関わる複合的な要因と相互作用を成していると考えられる。したがって，ある一要因に変化を加えAPAを検討したとしても，他の要因により代償される可能性が高い。例えば，重錘負荷時に主動筋の三角筋に対し同側の大腿二頭筋の筋放電先行時間が短くなることも，重錘の有無といった一変数だけではなく，運動速度や姿勢方略等も加えた複数の説明変数を用いて検討する必要がある。また，重錘の有無だけではな

く，負荷する重錘の重さや重錘の装着部位によってもAPAは修飾される可能性が高い。姿勢制御に関わる神経系だけでも，補足運動野，一次運動野，基底核，視床，脳幹，脊髄，小脳などが挙げられ，表面筋電図結果からAPAに関わる神経系の機構について推察することには限界がある。しかし，APAに関わる性差の違いや重心移動の様式の違い，習熟の違い，筋パワーの組み合わせの違いによりAPAの発現にパターンが存在することが確認できれば，運動開始前の安定に関わる要因を見出せることに繋がる。運動開始前の安定に関わるAPAの追求は，姿勢や運動を評価する理学療法士にとって，運動開始準備期における姿勢の安定と定位を理解するための一助になると考えられる。

引用文献

１）奈良勲, 内山靖（編集）：姿勢調節障害の理学療法.医歯薬出版, 東京, p126, 2004.
２）原寛美, 吉尾雅春（編集）：脳卒中理学療法の理論と技術.メジカルレビュー社, 東京, 484, 2013.
３）吉尾雅春, 森岡周, 阿部浩明ら：標準理学療法学　専門分野　神経理学療法学. 医学書院, 東京, 195－211, 2013.
４）森岡周：リハビリテーションのための神経生物学入門. 協同医書出版, 東京, 138－143, 2013.
５）Paul M, Donald A：機能的運動学の基礎と臨床. 弓岡光徳ら：（監訳）, 南江堂, 57, 2015.
６）丸岡祥子, 鈴木俊明：上肢運動に際した先行随伴性姿勢調節に関する文献的研究. 関西医療大学紀要, 6, 116－122, 2012.
７）東隆史：先行随伴性姿勢調節の基礎的研究について. 四天王寺国際仏教大学紀要, 44, 357－366, 2006.
８）Friedli WG, Hallett M, Simon SR：Postural adjustments associated with rapid voluntary arm movements　1. Electromyographic date. Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry, 47(6), 611－622, 1984.
９）Shimura K, Sasaki H, Kasai T：Effects of a load added to the moving joint on anticipatory postural adjustment induced by ballistic arm movement in standing humans. Advanes-in Exercise and Sports Physiology, 10 (1), 25－30, 2004.
10）Sadeghi M, Talebian S, Olyaei GR, et al：Preparatory brain activity and anticipatory postural adjustments accompanied by externally cued weighted-rapid arm rise task in non-specific chronic low back pain patients and healthy subjects. Springerplus, 5 (1), 674, 2016.
11）Dickstein R, Shefi S, Marcovitz E, et al：Anticipatory postural adjustment in selected trunk muscles in poststroke hemiparetic patients. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, 85(2), 261－267, 2004.
12）小宮山伴与志, 笠井達哉：上肢挙上反応動作に伴う大腿および腰部筋群の筋放電開始順序. 姿勢研究, 9 (1), 15－23, 1989.
13）矢作晋, 笠井達哉：運動適応と予測的姿勢調節機構（APA）, 矢部京之助, 大築立志, 笠井達哉ら（編）：入門　運動神経生理学. 市村出版, 東京, 178－183, 2003.
14）藤原勝夫：動的姿勢制御機構と機能特性. 理学療法学, 26(3), 114－117, 1999.
15）藤原勝夫：姿勢制御の神経生理機構. 杏林書院, 東京, 173, 2011.
16）藤原勝夫, 外山　寛, 浅井　仁ら：急速上肢挙上時の立位調節に対する身体重心の前後方向の位置と重量負荷の影響. 体力科学, 40, 355－364, 1991.
17）高木綾一, 高崎恭輔, 大工谷新一：健常者における上肢挙上時の姿勢制御について－立位時の足底圧中心による検討－. 関西理学療法, 7, 65－70, 2007.
18）高草木薫：脳の可塑性と理学療法. 理学療法学, 37(8), 575－582, 2010.
19）高草木薫：【ニューロリハビリテーションにおけるサイエンス－臨床と研究の進歩】運動麻痺と皮質網様体投射.脊椎脊髄ジャーナル, 27 (2), 99－105, 2014.
20）吉田翔太, 桐本　光, 松本卓也ら：補足運動野に対する経頭蓋直流電流陰極刺激が先行随伴性姿勢調節に及ぼす影響. 臨床神経生理学, 41 (4), 202－208, 2013.
21）松元秀次：特集／リハビリテーションにおける臨床神経生理学　Ⅰ. 臨床神経生理学的検査　後期応答─F波, H波, T波, A波について─. Monthly Book Medial Rehabilitation, 166, 33－38, 2014.

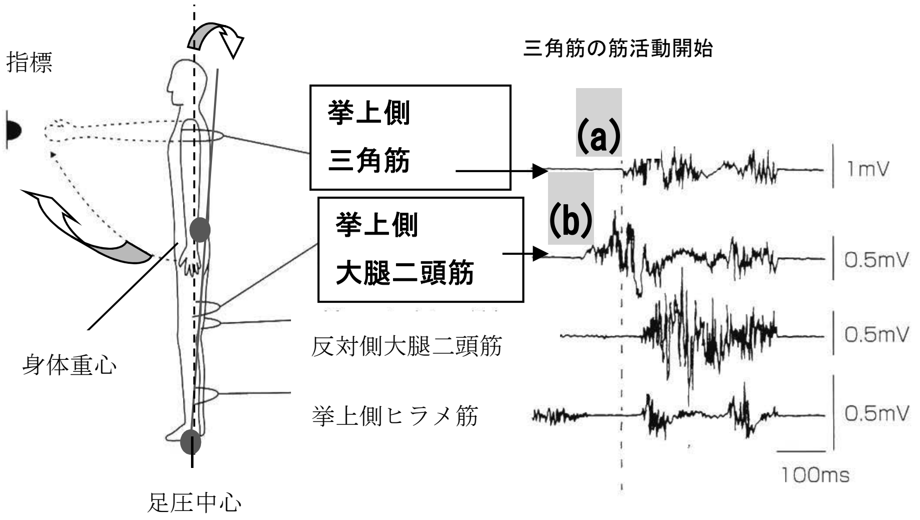


図１　上肢挙上に伴う予測的筋活動の例[13] 筆者により一部改変

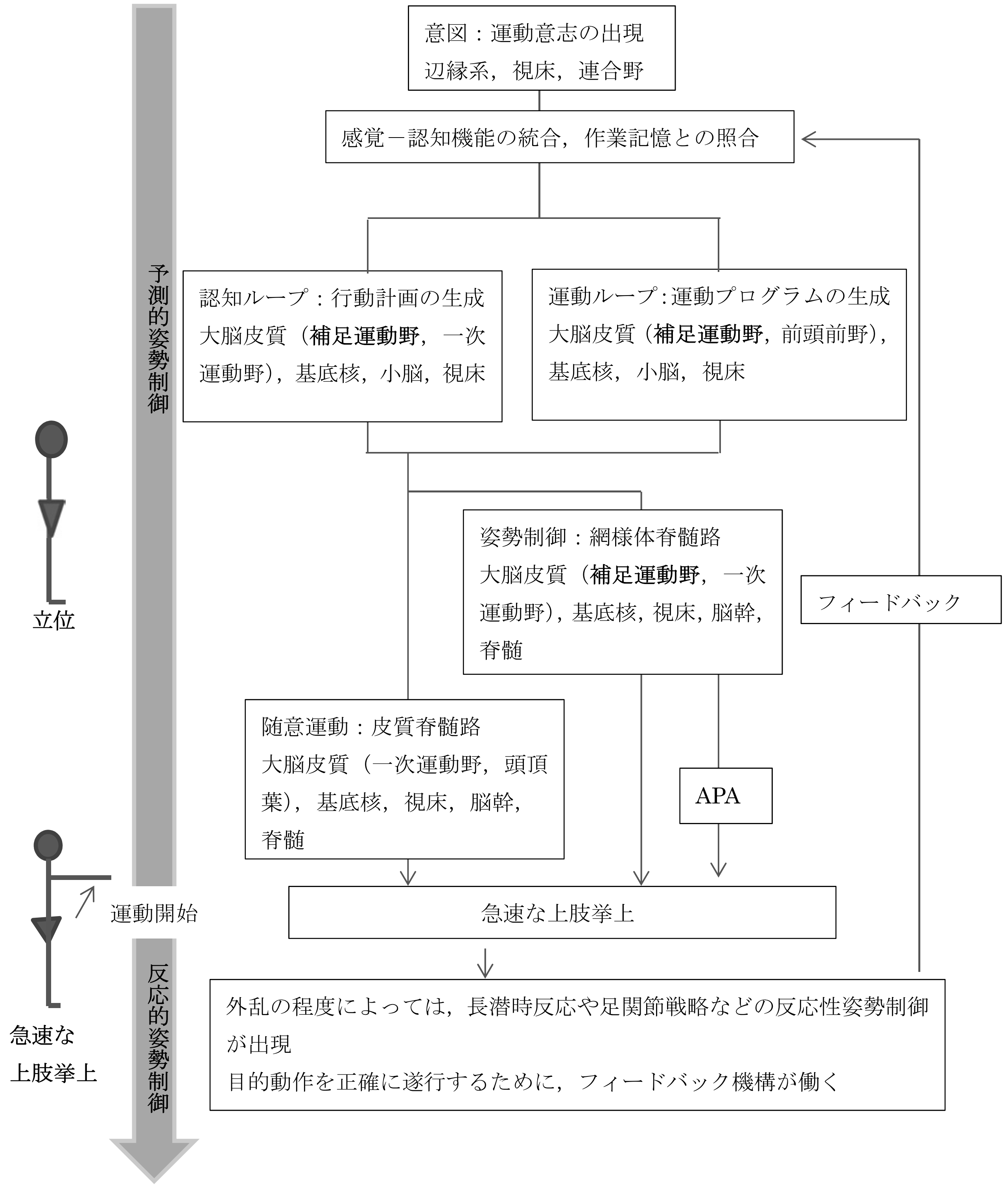
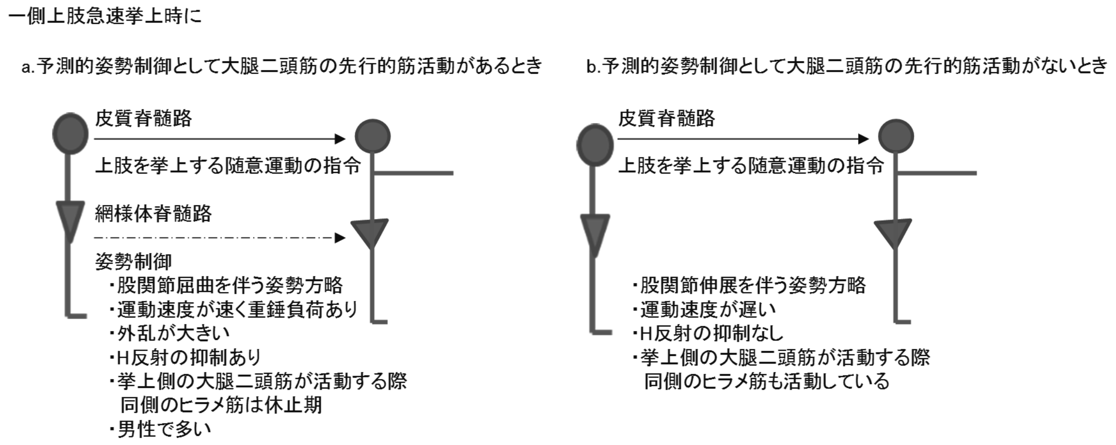


図２　素早く上肢を挙上する際の姿勢調節の要素[1), 2)]



要検討要因
仮説①一側上肢挙上時に予測的姿勢制御は100発100中生じる物とすれば…
後方への重心移動例では大腿二頭筋に先行的筋活動を生じ，
前方への重心移動例では大腿四頭筋に先行的筋活動を生じ，
側方への重心移動例では大腿筋膜張筋に先行的筋活動を生じるのではないか。
方法：一側上肢挙上時の表面筋電図と重心位置（重心動揺計），加速度計，床反力計を測定する。

仮説②姿勢方略の違いに男女差があり，方略によって重心移動が異なり，予測的姿勢制御の筋活動順序に変化が生じているのではないか。そしてその規程要因は筋力ではないか。
男性は筋力があり，股関節屈曲型の姿勢方略をとる。
女性は筋力が男性に比べ乏しく，股関節進展型の姿勢方略をとる。
方法：一側上肢挙上時の表面筋電図を測定し，その間の姿勢方略をビデオで撮影する。大腿二頭筋，三角筋の筋力を徒手筋力計で計測し，姿勢方略と筋力の関係性と，姿勢方略と筋活動パターンの分析を行う。

仮説③上肢挙上の運動速度が速い場合に，三角筋に先行する大腿二頭筋の筋活動が出現する。
ゆえに，女性では任意の急速上肢挙上時の上肢挙上運動速度が遅いのではないか。
動作速度が遅いため身体動揺が少なく，先行的筋活動を動員する必要がないのではないか。
方法：一側上肢挙上時の表面筋電図の測定と加速度計による動作速度の測定，重心動揺計により重心動揺の程度を測定する。

図３　大腿二頭筋の先行的筋活動に関わる要因を明らかにする試み

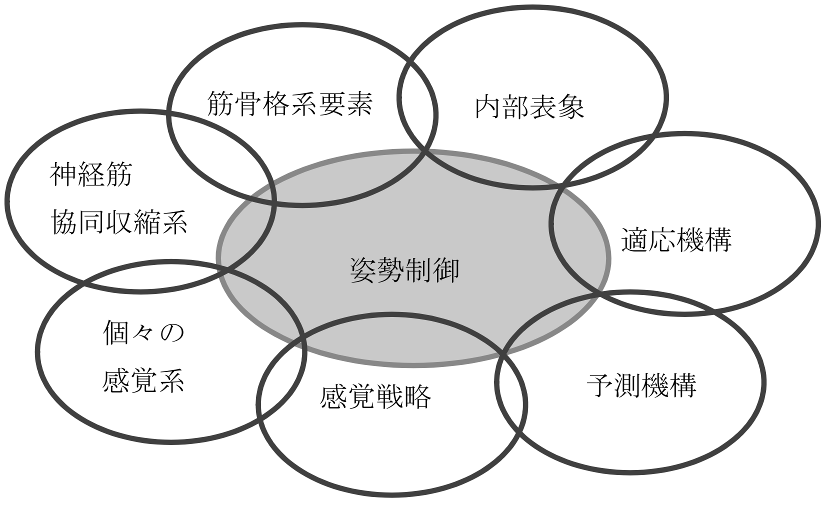


図４　姿勢制御におけるシステム理論の概念[3)]