

[Original Paper]

A study of the Functional Reach Test

Kouta Nishime*, Hitoshi Kumada** and Masahiro Goto**

* Chuzan Hospital

** Aino University

Abstract

The previous studies suggest that the Functional Reach Test (FRT) using the hip joint strategy can't be used as an index of the dynamic balance because of not accompanying the displacement of Center of Pressure (COP). If the FRT is to be considered as an index of the dynamic balance, it is essential to use the ankle joint strategy for the FRT instead. Ninety degrees shoulder joint flexion is required as a starting position and the elevated upper limb should be kept horizontally from the floor during the whole reach movement. The functional assessment of the ankle joint strategy will be used to assess the interaction between COP and Center of Gravity (COG), and the cooperation with the Triceps Surae Muscle and the Erector Spinaes. Consequentially, the functional assessment of the ankle joint strategy can evaluate the correlation with the walk capacity. In addition, if we need to grasp the risk of fall, direction of fall, and so on by evaluating the FRT, it is necessary to include the FRT to the both side direction in the evaluation. The FRT to the both side direction is able to assess the cooperated function of trunk, lower limb, and foot muscles, the dynamic balance to the side.

Key Words : Functional Reach Test, Gait, Fall

考, ファンクショナル・リーチテスト

西 銘 耕 太*, 熊 田 仁**, 後 藤 昌 弘**

【要 旨】 先行研究では Functional Reach Test (以下: FRT) 遂行時に股関節ストラテジーを用いた場合, Center of Pressure (以下: COP) の変位を伴わないために動的バランスの指標とならないと示唆している。FRT を動的バランスの指標として用いるためには, 足関節ストラテジーを用いる必要がある。そのために, リーチ動作中は挙上した上肢を床面と水平に保ち, かつ開始肢位と測定時の上肢の床からの高さを一定に保つよう規定しなければならない。足関節ストラテジーの機能評価は COP と Center of Gravity (以下: COG) の相互作用, またその相互作用に必要とされる下腿三頭筋や足趾屈筋群, 脊柱起立筋などの協調性を評価することになり, 結果的に歩行能力との相関をみることができる。さらに転倒率との相関や, 転倒方向などリスクの把握を FRT に求めるのであれば, 側方への FRT を実施すべきである。側方への FRT を実施することで, 姿勢制御機能の一つの要素である体幹・下肢・足部内在筋の協調的な働き, すなわち側方への動的バランスを評価できると考える。

キーワード: ファンクショナルリーチテスト, 歩行, 転倒

I. はじめに

高齢化社会である今, 寝たきりや要介護状態の要因となる高齢者の転倒については, その予防・防止対策が急務となっている。高齢者の転倒の危険因子は外的環境因子のほか, バランス機能低下, 歩容の変化, 筋力低下, 反射の減弱, 視力低下, 認知の低下, 向精神薬の服用等などの内的因子がある。特に下肢の機能障害やバランス機能の障害は日常生活動作における転倒の大きな因子と考えられている。また, バランス機能の障害は歩行能力に影響する因子の一つでもある。高齢者に対する理学療法では, バランス機能の評価が不可欠であり, 転倒の予防や歩行能力の獲得として下肢運動機能, バランス機能の維持・向上を図ることは重要である。

バランス機能に関しては近年, 静的バランスと動的バランスという概念が定着している。静的バランスの

評価法にはロンベルグ試験, 片足立ち, マン試験などがあり, 動的バランスの評価法には Functional Reach Test (以下: FRT), Timed Up and Go Test (以下: TUGT), Functional Balance Scale (以下: FBS), Performance Oriented, Mobility Assessmentなどが挙げられる。その中で簡便に行うことができる FRT は動的バランスの評価法として臨床で広く用いられている。

FRT は Duncan ら¹⁾によって開発された。彼らは, 加齢や疾病による姿勢調節能力の低下によって転倒や歩行能力の低下が招来されるため, これらを評価する簡便な測定方法を作り出したいとの意図から FRT を開発し, FRT の定義を「立位において固定された支持基底面の中で, 人が上肢長を越えて前方へリーチする限界の距離」としている。またこの FRT の距離は年齢と身長, 性別などに影響されるとし, 加えて重度の認知症や脊柱変形, 上肢の機能障害, 立位保持困難な場合は実施が難しいとしている。さらに, 「FRT 距

* ちゅうざん病院

** 藍野大学

離と足底圧中心点 (Center Of Pressure : 以下 COP) の変位に高い相関があり、FRT は立位での安定性の限界を反映するものである」とし、検者間の信頼性も若年者、高齢者において高いことを報告している。その他、FRT と転倒との関連性²⁻⁵⁾や高齢者の歩行速度・歩行率・歩幅との有意な相関も報告されており⁶⁾ FRT は現在、動的バランス機能の指標として定着している。

一方で、FRT は真に動的バランス機能を評価しているのだろうかとの疑問を呈している先行研究⁷⁾や FRT 距離と立位バランスとの関連性を積極的に支持しない報告⁸⁾さらに FRT は測定時の姿勢制御ストラテジーによって測定値が異なり、FRT がどのような機能を評価しているのかを確認する必要があるという指摘⁹⁾なども散見される。

この様に、FRT が動的バランスの評価として使用できるという同一見解はなされていない。これらのことから、FRT とバランス機能の概念との関係性、FRT と姿勢制御ストラテジーの関係性、FRT と歩行の関係性、FRT と転倒との関係性に焦点をあて先行研究や報告を統合し論じていくことで、臨床において FRT を根拠のある評価法として使用するための一助としていきたい。

II. FRT とバランス機能の概念の関係性

FRT とバランス機能の概念の関係性を考えていく前に、バランス機能とはどのような機能であるのかということについて考えていきたい。

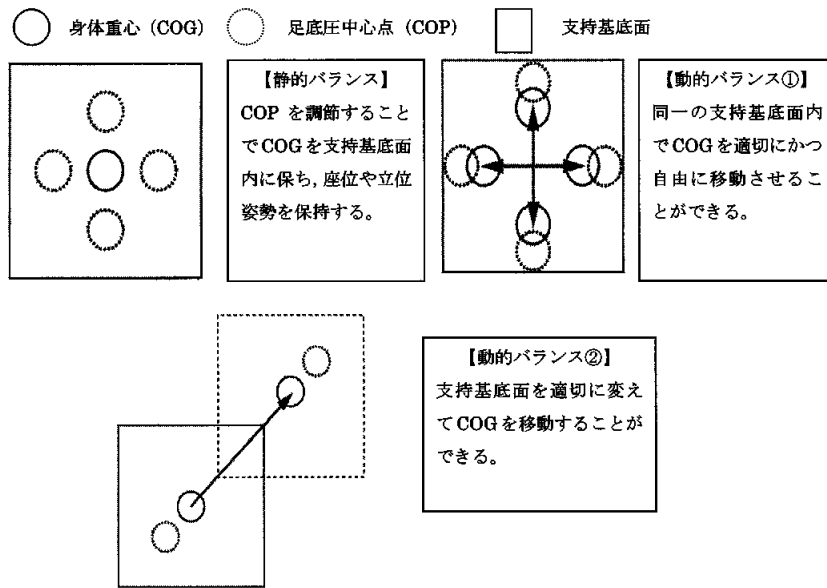
バランス機能とは姿勢を制御する機能を意味する。この姿勢制御機能は Shumwy-Cook ら¹⁰⁾によると「安定性と定位を得るために空間で身体の位置と動きを調節する能力」と定義され、身体重心 (Center Of Gravity : 以下 COG) と COP の関係で成り立っている。身体は地面から受ける床反力によって支えられ、COG が COP と位置関係で一致していれば、身体は静止することになる。しかし、静止立位を保持している時でも COG は常に小さく動揺しており、支持基底面を外れてしまうとステップをして新たな支持基底面を形成しない限り転倒してしまう。そこで人は、COP の位置を変化させて COG の動揺を制御し、支持基底面内に COG を保持している。つまり、COG の動揺にもなって生じる回転モーメントに対し、COP は COG の移動方向に先回りして逆方向への回転モーメントを与えることで、動揺を制御し姿勢を保持してい

る。この COG と COP の相互作用を用いて姿勢を保持または制御する機能がバランス機能である。

このバランス機能において近年、静的バランスと動的バランスという概念が定着している。(図 1) 中野ら¹¹⁾は静的バランス機能を「自然立位や座位などの姿勢を保持し、一定の場所に重心を保持する機能」とし、これに対して動的バランス機能を「身体重心の移動を伴う動作を達成する機能」としている。また、潮見ら¹²⁾は動的バランスを「同一の支持基底面内で身体を随意的に移動させ姿勢の安定域まで平衡を保ちつつ重心を移動させる機能」と「新たに支持基底面を変更して姿勢を変換あるいは身体を移動させることで平衡を保つ機能」の 2 つに分類できるとしている。この静的・動的バランスの違いについて、藤澤¹³⁾は COG と COP の関係でいうならばそれらの位置関係の差の大小はあっても静的バランスと動的バランスに力学的な違いはなく、両者の違いを規定するのは静止したいのか、それとも動きたいのかという本人の意図だけであるとしている。

ここで疑問が出てくる。静的バランスは本人の静止するという意思により、立位や座位を保持することとなっているが、そもそも立位や座位の保持を意識しながら行っている人はいるのだろうか。また、外力が加わり自身の意思に反して身体が動揺した時はどうなるのだろうか。例えば電車に乗っている状態を考えてみる。電車が止まると慣性の法則により身体は電車の進行方向へ動く。この時、電車に乗っている人は立位や座位の保持を意識的に行い姿勢を調節しているだろうか。転倒しそうになる程の外力が加われば意識的に姿勢を立て直そうとするが、姿勢の調節はオートマティックに行われていると考えられる。動的バランスに関しても、身体の移動を伴う歩行などの動作において私達は意識的ではなく、オートマティックに姿勢を調節することができる。

これらのことから、バランス機能にはオートマティックな姿勢制御機能と随意的な姿勢制御機能があり、それぞれが静的・動的バランスに分けられると考える。また静的バランスとは「COG と COP の相互作用により見かけ上で身体が静止しているということ」を表しており、動的バランスとは「随意的に動作を行う場合や、外力により本人の意思に反して身体が動揺した場合に、COG と COP の相互作用によって姿勢を制御し安定を保つことができるということ」を表していると考えられる。理学療法評価においては、オートマティックな姿勢制御機能の中の動的バランスを評価し



(出典：運動療法学 障害別アプローチの理論と実際)

図1 支持基底面、足底圧中心点、身体重心からみたバランス機能の分類
静的バランスとは、足底圧中心点（以下：COP）を調節することで身体重心（以下：COG）を支持基底面内に保ち座位や立位姿勢を安定させるものである。
動的バランスには二つあり、同一の支持基底面内でCOPの調節によりCOGを適切にかつ自由に移動させることができるものと、COPの調節により新しい支持基底面にCOGを適切に移動することが出来るものがある。

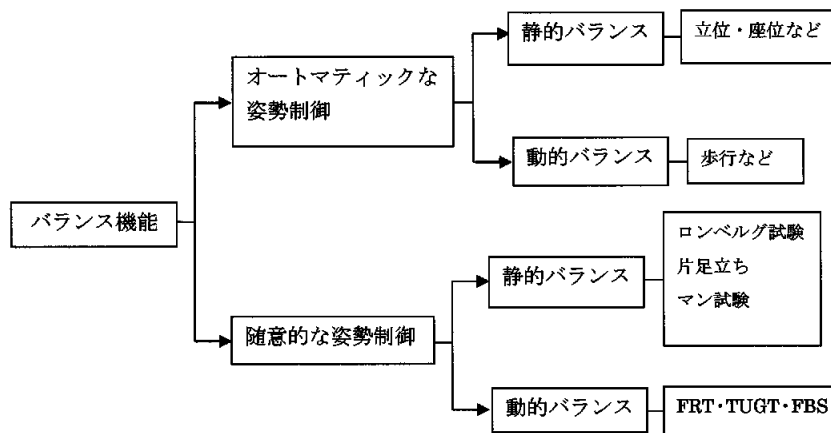


図2 バランス機能の分類と評価
バランス機能にはオートマティクな姿勢制御機能と随意的な姿勢制御機能があり、それぞれが静的・動的バランスに分けられると考える。また静的バランスとは「COGとCOPの相互作用により見かけ上で身体が静止しているということ」を表しており、動的バランスとは「随意的に動作を行う場合や、外力により本人の意思に反して身体が動揺した場合に、COGとCOPの相互作用によって姿勢を制御し安定を保つことができるということ」を表していると考えられる。
理学療法評価においては、オートマティクな姿勢制御機能の中の動的バランスを評価しているのが歩行などの評価であり、静的バランスを評価しているのが座位や立位の評価である。また、随意的な姿勢制御機能の中の動的バランスを評価しているのがTUGTやFBSなどであり、静的バランスを評価しているのがロンベルグ試験や片足立ち、マン試験などである。

ているのが歩行などの評価であり、静的バランスを評価しているのが座位や立位の評価である。また、随意的な姿勢制御機能の中の動的バランスを評価している

のがTUGTやFBSなどであり、静的バランスを評価しているのがロンベルグ試験や片足立ち、マン試験などであると考えられる。(図2)

では簡便に行うことができ、臨床で広く用いられている FRT はバランス機能の概念においてはどのような位置付けとなるのであろうか。

FRT は立位という同一の支持基底面で、前方リーチ動作に伴う随意的な前方への COG の移動を COP により制御し、支持基底面内で姿勢を安定して保持できる限界まで前方リーチ動作を行うこと、さらに移動可能範囲の限界まで移動した COG を、再び COP により制御しながら支持基底面中央まで戻すことが必要とされる。よって FRT において必要とされるのは随意的な姿勢制御の中の動的バランスであり、潮見ら¹²⁾の定義した動的バランスの概念である「同一の支持基底面内で身体を随意的に移動させ姿勢の安定域まで平衡を保ちつつ重心を移動させる機能」にあたると考えられる。

Ⅲ. FRT と姿勢制御ストラテジーの関係性

FRT は前述したように動的バランスの評価法として定着し臨床で広く用いられている。一方で、FRT は真に動的バランス機能を評価しているのだろうかとの疑問を呈している先行研究⁷⁾や FRT 距離と立位バランスとの関連性を積極的に支持しない報告⁸⁾なども見られる。これら先行研究に共通しているのは、FRT 遂行中の姿勢制御ストラテジーから FRT を動的バランスの評価法として用いることに疑問視しているということである。これらのことから、FRT と姿勢制御ストラテジーの関係性を考えていく必要がある。まずは姿勢制御ストラテジーに関して述べる。

姿勢制御ストラテジーは Hork ら¹⁴⁾によって提唱された、外乱への対応時に起こる姿勢反応である。加えて Shumway-Cook ら¹⁰⁾は外乱時の応答以外に随意的に COG を動かしている最中にも姿勢制御ストラテジーは用いられるとしている。彼らによると、外力や運動などにより立位姿勢が崩れると、その度合いが小さいうちは足関節ストラテジーで姿勢が修正され、さらに平衡が保てなくなれば今度は股関節ストラテジーによって修正が行われる。それでも平衡が保てないのであれば、どちらかの下肢を踏み出し、新たに支持基底面をつくり COG を収束させるステッピングストラテジーが起こる。また、足関節ストラテジーは COG が支持基底面中央に位置するときに活発に作用し、股関節ストラテジーは支持基底面中央より周辺での安定性に寄与している。すなわち、COG が支持基底面中

央からその周辺、さらに支持基底面外へ移行するにつれて、その制御の主役は足関節ストラテジー・股関節ストラテジー・ステッピングストラテジーへと変化するとされている。

次に、FRT 遂行中の姿勢制御ストラテジーから FRT を動的バランスの評価法として用いることに疑問視している先行研究を挙げる。

Wernick-Robinson ら⁷⁾は、FRT は側方安定性と相関がなく、前後方向の姿勢制御とのみ相関があり、健常高齢者と前庭機能低下によるバランス機能障害者が同じ FRT の結果を示し、両者間に FRT 遂行中あるいは FRT 終点においても運動軌跡長に差がなかったことから FRT が動的バランスの指標であるということに疑問を呈している。また全身のモーメントアームや COG と強く相関するのは FRT を足関節ストラテジーで行った場合であり、股関節ストラテジーでは中等度にしか相関しないことを指摘している。すなわち、動的バランスを測定しているのであれば前方リーチにともなってモーメントアームが相関して最大になり、COG も関連して最大に前方移動するはずであるとの考えに立脚している。

藤澤ら¹³⁾は、実際に臨床などで FRT の測定を行ってみると、股関節屈曲位、足関節底屈位の姿勢をとり、重心は前方移動していないと観察されるにもかかわらず指先を前方へ移動させることができる対象者がいることも多いということを述べ、多くの高齢者においては足関節から機能が低下してくることを考慮すると、それら対象者が前方へ重心を移動させずに足関節機能の代償として姿勢変化を利用し、リーチ動作を行っているのではないかと推測を立てた。そして前方への FRT における幾何学モデルを用いたシミュレーションを行っている。その結果、前後方向の重心位置が足関節中心にあっても、股関節屈曲、足関節底屈という姿勢変化により前方へのリーチが可能であることが明らかになったとしている。

前岡ら¹⁵⁾は、FRT 距離に影響を与えていると考えられる項目を抽出し、身長、年齢、COP の前後長、体幹前傾角度、歩行速度のそれぞれの関係を検証している。その結果、身長と体幹前傾角度のみ有意な結果が得られたとし、COP 前後長が全く影響を与えていないとは言いきれないが、それ以上に体幹前傾つまり股関節の動きが大きく関係しており、股関節ストラテジーによるものと思われる。このことが COP 依存ではなく体幹前傾角度依存の結果として表れていると考えたと述べている。

Jonsson ら⁸⁾は高齢者の FRT 距離と COP の変位の相関は低く、体幹の前方傾斜と FRT 距離に中等度の相関を示したとし、Duncan ら¹⁾の「FRT 距離と COP の変位に高い相関があり、FRT は立位での安定性の限界を反映するものである」という報告と比較して、FRT は立位での安定性限界を測定するには弱いものと示唆している。

FRT は可能な限り上肢を前方へリーチさせることが目的であり、開発者である Duncan ら¹⁾は施行時のストラテジーを特に規定していない。そのため FRT において股関節ストラテジーを姿勢制御の方法として用いると、COP の変位を伴わずにリーチ動作を行っている状態になる可能性があるということが先行研究から言える。FRT では「前方リーチ動作に伴う COG の前後移動を制御する COP の変位と相関し、支持基底面内での COP 移動可能範囲である安定性限界を反映するものである」ということが基盤としてあるが、高齢者の場合では足関節ストラテジーより股関節ストラテジーを優位に使う傾向があり、股関節ストラテジー中心の姿勢制御では体幹の前傾角度に FRT の結果が依存し、COP の変位との関係性は希薄なものになってしまう。それでは動的バランスの「身体移動と重心移動を伴う」という概念に当てはまらず、また Duncan ら¹⁾のいう「立位での安定性の限界を反映するもの」でもなくなると考えられる。

では、FRT を動的バランス機能の評価として用い、前方リーチ動作に伴う COG の前後移動を制御する COP の変位との相関や、支持基底面内での COP 移動可能範囲である安定性限界の反映を FRT に求めるにはどの様に FRT を実施すれば良いのだろうか。その方法を考えていきたい。

FRT では施行時のストラテジーを規定していない。Duncan ら¹⁾が行った FRT ではリーチ動作は水平に行うよう設定されているが、リーチ動作を水平に行う際に股関節ストラテジーを使い、股関節屈曲・膝関節伸展・足関節底屈させ体幹前傾位の姿勢となると測定時の上肢の床面からの高さは開始肢位の時点での上肢の高さより下方へ下がる。つまりリーチ動作を行う高さが統一されない。これらのことから、リーチ動作中に挙上した上肢を床面と水平に保ち、かつ開始肢位と測定時の上肢の床からの高さを一定に保つよう規定する必要があると考える。その為には壁にメジャーを貼り付ける等リーチ動作を行う際の目印を設け、上肢を沿わせながらリーチ動作を行うことが望ましい。この様に規定すると股関節ストラテジーで股関節を屈曲さ

せ体幹を前傾させることによりリーチ距離を稼ぐことは困難であり、ある程度遠方へリーチするためには最終的に足関節背屈運動を伴う前方への重心移動が必要となる。リーチ動作中の上肢の高さを規定した FRT を行うことで、足関節ストラテジーによる姿勢制御が必要となり、COP の前方移動の限界値や立位における安定性の限界を反映させることができ、動的バランスの概念に合った評価が行えると考えられる。

IV. FRT と歩行の関係性

FRT と歩行の関係性について、Wallmann HW⁶⁾は高齢者の歩行速度・歩行率・歩幅と FRT に有意な相関があると報告している。しかし、高齢者が足関節ストラテジーではなく股関節ストラテジーを姿勢制御ストラテジーとして用いる傾向にあること、また股関節ストラテジーでは、FRT の結果と COP の変位との相関が低くなるということを考えて、歩行という動的なバランスが必要とされる動作と FRT の結果が相関することに疑問を感じる。

ではなぜ FRT と高齢者の歩行速度・歩行率・歩幅に有意な相関が得られたのだろうか。Shumway-Cook ら¹⁰⁾によると、立位で前方へ転倒するような外乱を与えた際に、股関節ストラテジーで対応する場合には股関節屈筋や大腿四頭筋、腹筋群が働くと考えられている。FRT を股関節ストラテジーにより行っている時もこれらの筋群は働いており、股関節屈筋や大腿四頭筋、腹筋群の筋力が歩行速度・歩行率・歩幅との相関を生じたと考えられる。

FRT と姿勢制御ストラテジーの関係性の項では、リーチの高さを規定した FRT を行うことで、足関節ストラテジーによる姿勢制御が必要となり、COP の前方移動の限界値や立位における安定性の限界を反映させることができ、動的バランスの概念に合った評価が行えるということを提起した。このリーチの高さを規定した FRT と歩行との関係性を明確にしていくために、リーチの高さを規定した FRT と歩行における支持基底面の比較、COP と COG の相互作用の比較、また歩行と FRT を行う際に必要な機能の比較を行いながら論じていきたい。

まず支持基底面に関して比較していく。歩行は、立位の状態からあえてバランスを崩しながら支持基底面を変化させていく動作であると言える。歩行中に支持基底面は常に変化し続けており、さらに片脚支持期には立位時より狭い支持基底面となる。一方で FRT は

立位という同一の支持基底面でリーチ動作を行う。支持基底面の変化という点に注目すると歩行と FRT は異なった動作となる。

次に COP と COG の相互作用に関して述べる。歩行を行う際には、COG と COP の差（モーメントアーム）を生みだし、重力のモーメントによる回転を有効利用する。COP の制御機能により、少ない動揺で支持基底面中央付近に保持されていた COG にあえて回転モーメントを与え、加速を生み出すことで歩行は行われているわけであるが、それだけでは COG が支持基底面を越え転倒してしまうため、COP による制動が必要になる。一方でリーチの高さを規定した FRT は、前方リーチ動作に伴う随意的な前方への COG の移動を、足関節ストラテジーを用いて COP により制御し、支持基底面内で姿勢を安定して保持できる限界まで前方リーチ動作を行い、さらに移動可能範囲の限界まで移動した COG を、再び COP により制御しながら支持基底面中央まで戻すことが必要とされる。歩行では COP と COG の相互作用はオートマチックな姿勢制御として作用しており、FRT では随意的な姿勢制御の中で COP と COG の相互作用が必要とされていることは異なる点であるが、歩行と FRT では同様に COP と COG の相互作用が必要であると言える。

歩行と FRT を行う際に必要とされる機能に関して両者の共通点はあるのだろうか。リーチの高さを規定した足関節ストラテジーによる前方への FRT では、重心線が足関節の前方に落ちると背屈モーメントが生じ、姿勢保持のためには底屈方向の筋モーメントが必要になる。また、前方へのリーチが大きいかほど足関節で発生しなければならない筋トルクも大きくなり、より底屈方向への筋モーメントも増加すると考えられる。さらに Daubney ME ら¹⁶⁾は足関節底屈筋筋力が FRT におけるリーチ距離の 13% を説明するとしている。この下腿三頭筋による足関節底屈力は歩行速度の増加に関係する。歩行速度の増加には立脚期における十分な足関節底屈運動 (push-off) による推進力が重要であるとされ¹⁷⁾足関節底屈モーメントを十分に利用できない場合は、歩行速度増加のために股関節屈曲モーメント (pull-off) を利用するとされている¹⁸⁾。さらに、歩行速度が $1.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 前後までは足関節の機能低下があっても股関節屈曲モーメントを利用した戦略で代償できるが、それ以上では難しいことが報告されている¹⁹⁾。下腿三頭筋だけでなく、脊柱起立筋も同様に歩行と FRT を行う際に必要とされる。FRT で

は体幹の前方移動を脊柱起立筋により制御している。歩行において脊柱起立筋は歩行周期全般にわたって活動し、慣性と重力によって体幹が前方へ屈曲するのを防いでいるとされている²⁰⁾。この様に、下腿三頭筋や脊柱起立筋の機能に関して歩行と FRT に共通点があると考えられる。

リーチ動作中の上肢の高さを規定した前方への FRT と、歩行との共通点として COP と COG の相互作用が必要であるという一致、さらに下腿三頭筋や脊柱起立筋の作用の一致が得られる。しかし、FRT を実施することで歩行における動的バランス機能の全ての把握が可能となるわけではない。FRT と歩行では COP と COG の相互作用が共通すると述べたが、それらを制御しているのが下腿三頭筋や脊柱起立筋であり、歩行のバランス機能を構成している各要素の中の筋力という限定した機能のみの把握しかできないのかもしれない。それならば、それぞれの筋の筋力を評価しさえすれば良いのではないか。だが動作を行う上では個々の筋が協調的に働く必要があり、その協調的な働きは個々の筋の筋力を評価しても分からないことである。あくまでも、歩行を安定して行うために必要な動的バランス機能の中の一つの要素として、COP と COG の相互作用とその相互作用に必要な筋群の協調的な働きの把握という意味で、リーチ動作中の上肢の高さを規定した FRT を行うことは意義があり、加えて歩行能力との相関も得られるのではないだろうか。

V. FRT と転倒の関係性

次にリーチ動作中の上肢の高さを規定した FRT と転倒との関係性に関して、COP と COG の相互作用や足関節ストラテジーと足関節底屈筋・足趾屈筋群の関係、高齢者の転倒方向に関する先行研究などを挙げながら論じていきたい。

FRT の開発者である Dunnkan ら¹⁾は、FRT は高齢者における転倒と有意な相関があるとしている。また O'Brien ら²⁾は、65 歳以上の高齢者では転倒経験者と非転倒経験者とは FRT のリーチ距離が有意に異なることを報告している。これは Dunnkan ら¹⁾のグループの結果と一致している。その他、FRT と転倒との関連性は Huang HC ら³⁾、Ingemarsson AH ら⁴⁾、Lin MR ら⁵⁾も報告している。

橋詰ら²¹⁾、藤原ら²²⁾は加齢により COG の移動距離や移動域に関係する COP の前後最大限移動距離・範

囲が減少するとしている。この加齢による COP の前後最大限移動距離・範囲の減少は、FRT と姿勢制御ストラテジーの項で前述したように、足関節機能低下に伴う COP による姿勢制御機能の破綻であると考えられる。

高井ら²³⁾は、スリップやつまずきといった足部に生じた外力（外乱刺激）にはまず足関節ストラテジーが行われるが、高齢者では足関節機能不全により足関節ストラテジーが十分に機能せず、代わって股関節ストラテジーが優位に働く。しかし足関節ストラテジーと比べると体幹の揺れやふらつきに対応する時間が幾分か遅れることになるとしている。

Horak ら¹⁴⁾は、外乱刺激時の前後方向動揺において高齢者が足関節ストラテジーではなく股関節ストラテジーを用いる理由として、足関節の筋力が低下するか末梢神経機能が失われるような病理学的な状態に関連があり、動揺を補償するだけの足関節トルクが発揮できないとの仮説を立てている。FRT において、足関節ストラテジーにより上肢の前方リーチ動作を行った場合、足関節背屈方向への回転モーメントに対する制御として下腿三頭筋の遠心性収縮による足関節トルクが必要となる。また、辻野ら²⁴⁾は前方へのリーチ動作には足関節底屈筋力だけではなく前足部や足趾の底屈方向への力発揮が重要であることを示唆している。

高齢者の COP 移動距離・範囲が狭いこと、また外乱刺激に対する足関節ストラテジーでの対応が不十分になるということを考慮すると、些細な外力でも足関節ストラテジーを用いた COP による COG の制御が困難になり、COG が支持基底面を越え転倒を招くことが考えられる。さらに高齢者の足関節機能、特に下腿三頭筋や足趾屈筋群の筋力低下は前方への COG 移動の減少に関与する一つの因子であり、支持基底面の中での COP の移動範囲が狭小化し適切に COG の位置やその移動をコントロールできなくなることで転倒のリスクが高くなることが考えられる。前述した FRT と転倒との関係性を示す先行研究²⁻⁵⁾は FRT 距離と COP 変位との相関、つまりリーチ動作に伴う COG の移動を COP で制御しているという考えに立脚しており、リーチ動作中の上肢の高さを規定した FRT を行うことで COP 変位との相関が得られるのであれば、転倒の内的要因の一つとしての足関節機能の把握や下腿三頭筋・足趾屈筋群の強化の重要性を示唆することができ、臨床的に意義があるのではないかと考えられる。

一方で Maki ら²⁵⁾は高齢者の COP 動揺と転倒回数との関係を検討し、左右方向の姿勢の安定性が高齢者

の将来的な転倒の危険性の予測に大きな役割を果たすと報告している。さらに、眞野²⁶⁾の転倒方向に関する報告では、転倒高齢者 107 例のうち 33% が側方へ転倒している。これらの報告は、高齢者において転倒しやすい者では側方のバランス機能の低さが最も強く影響していることを示しており、前後方向のバランス機能の評価である FRT では転倒との相関は低いのではないかと指摘している。リーチの高さを規定した前方への FRT を行い、足関節ストラテジーによる COP と COG の相互作用を評価することで COP 移動距離・範囲が狭い高齢者の限界値と転倒の相関が得られるのではないかと考えたが、眞野²⁶⁾や Maki ら²⁵⁾の転倒に関する報告とは矛盾が生じる。また、前方への FRT において転倒と相関するのは足関節ストラテジーに関与する下腿三頭筋や足趾屈筋群の足関節・足趾固定作用のみとなってしまうことも考えられる。

側方動揺に関与する距骨下関節の内がえし・外がえし運動は、強固で幅の広い内側副副（三角）靭帯と外側副副靭帯を主とする後足部靭帯系連鎖による受動的な制御であるといわれている²⁷⁾。また、Oddsson L ら²⁸⁾の報告では COG 側方移動時の体幹運動の制御に関して脊柱起立筋と外腹斜筋の関与が示されている。Winter ら¹⁷⁾の側方動揺にตอบสนองする筋に関する報告では股関節の外転筋群と内転筋群は内外側方向への動揺に関連して活動することが報告されている。竹内ら²⁹⁾の報告では高齢者の COG 側方移動時には COP 側方移動距離と足趾把握作用を有する母趾外転筋活動の間に有意な相関関係を認めている。これらの報告から、転倒の予測や予防に重要な側方のバランス機能は、前後方向のバランス機能とは異なった機構により制御されているとも考えることができる。転倒率との相関や転倒方向のリスクの把握を FRT に求めるのであれば、側方への FRT を実施すべきである。側方への FRT を実施することで、体幹・下肢・足部内在筋の協調的な活動による側方のバランス機能・姿勢制御機能の評価ができ、転倒に大きく影響している側方へのバランス機能の内的要因の把握が可能となると考える。ここで注意しなくてはいけないのは、FRT と歩行の関係性の項で述べたことと同様に、あくまでも転倒のリスクの把握を行うために、姿勢保持に必要なバランス機能の中の一つの要素として、COP と COG の相互作用とその相互作用に必要とされる筋群の協調的な働きという意味で側方への FRT を行うことに意義があり、転倒を起こす要因は筋の協調性以外の要素も多く含まれているということを考慮しなくてはいけ

ないことである。

V. ま と め

FRT は高齢者の転倒や歩行能力と相関があるとされ、動的バランスの指標として普及しているがFRTを動的バランスの指標とすることに異論を唱えている先行研究も散見された。FRTを根拠のある評価法として使用していきけるようにすることを目的として、先行研究を統合し論じてきた。その結果、以下の結論に至った。

バランス機能にはオートマティックな姿勢制御と随意的な姿勢制御があり、静的バランス機能とは「COGとCOPの相互作用により見かけ上で身体が静止している」ということである。さらに動的バランス機能とは「随意的に動作を行う場合や、外力により本人の意思に反して身体が動揺した場合に、COGとCOPの相互作用によって姿勢を制御し安定を保つことができる」ということである。これらのことから、FRTは随意的な姿勢制御の中の動的バランスに当てはまる。

FRTを動的バランスの指標とすることに異論を唱えている先行研究に共通しているのは、FRT遂行時に股関節ストラテジーを用いてリーチ動作を行うと、COPの変位を伴わないという点である。このことから、FRTを動的バランスの指標として用いるためには、足関節ストラテジーを用いる必要がある。そのため、リーチ動作中に挙上した上肢を床面と水平に保ちかつ開始肢位と測定時の上肢の床からの高さを一定に保つよう規定しなければならない。足関節ストラテジーの機能評価はCOPとCOGの相互作用、またその相互作用に必要とされる下腿三頭筋や足趾屈筋群、脊柱起立筋などの協調性を評価することになり、結果的に歩行能力との相関をみることが出来る。さらに転倒率との相関や、転倒方向などリスクの把握をFRTに求めるのであれば、側方へのFRTを実施すべきである。側方へのFRTを実施することで、姿勢制御機能の一つの要素である体幹・下肢・足部内在筋の協調的な働き、すなわち側方への動的バランスを評価することができると思われる。

VI. 今後の課題

これまでFRTとバランス機能の概念の関係やFRTと姿勢制御ストラテジーの関係、さらに歩行や

転倒との関係性について先行研究を統合しながら論じてきたが、その内容は先行研究や論文に加え、論者自身の考えを含めたものであり推測にすぎない。このことは論的研究である本研究の限界であると考えられる。今まで述べてきた推測を立証するために今後の課題を挙げたい。

まず一つめの課題は、リーチ動作中の上肢の高さを規定し、足関節ストラテジーを用いるようにした前方へのFRTと、歩行能力や足関節底屈筋・足趾屈筋群・脊柱起立筋との相関を調べることである。二つめの課題としては、前方へのFRTに加え側方へのFRTを行い、高齢者における転倒回数と前方・側方へのFRTそれぞれとの相関を調べることや、側方へのFRTにおける体幹・下肢・足部内在筋の筋活動と、側方へのCOPの動揺や転倒との関係性を明らかにすることである。側方へのFRTでは股関節ストラテジーを用いるとCOPの偏位を伴わない可能性が高いと考えられるため、前方へのFRTと同様にリーチ動作中に挙上した上肢を床面と水平に保ち、かつ開始肢位と測定時の上肢の床からの高さを一定に保つよう規定する必要があると考える。

引用文献

- 1) Duncan PW, Weiner DK, Chandler J, et al. Functional reach: a new clinical measure of balance. *J Gerontol* 1990; 45: M192-7.
- 2) O'Brien K, Culham E, Pickles B: Balance and skeletal alignment in a group of elderly female fallers and nonfallers. *J Gerontol* 1997; 52A: B221-6.
- 3) Huang HC, Gau ML, et al. Assessing risk of falling in older adults. *Public Health Nurs* 2003; 20: 399-411.
- 4) Ingemarsson AH, Frandin K, et al. Balance function and fall-related efficacy in patients with newly operated hip fracture. *Clin Rehabil* 2000; 14: 497-505.
- 5) Lin MR, Hwang HF, et al. Psychometric comparison of the timed up and go, one-leg stand, functional reach, and Tinetti balance measure. *J Am Geriatr Soc* 2004; 52: 1343-8.
- 6) Wallaman HW. Comparison of elderly nonfallers and fallers on performance measures of functional reach, sensory organization, and limits of stability. *J Gerontol* 2001; 56A: M580-3.
- 7) Wernick-Robinson M et al. Functional reach: Dose it really measure dynamic balance? *Arch Phys Med Rehabil* 1999; 80: 262-9.
- 8) Jonsson E, Henriksson M, Hirschfeld H. Dose the functional reach test reflect stability limits in elderly people? *J Rehabil Med* 2002; 35: 26-30.
- 9) 対馬栄輝, 石田水里他. 下肢の運動戦略と Func-

- tional Reach Test. 理学療法科学 2001; 16 (4): 159-65.
- 10) Shumway-Cook A, Woollacott MH. Motor control, 2nd ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2000. p. 172-6.
 - 11) 中野紀夫, 荒木和典, 佐々木秀樹他. 足関節モーメントを用いた動的バランス機能加齢変化の定量評価法. 松下電工技報 2003; Aug: 39.
 - 12) 潮見泰蔵, 丸山仁司. 高齢者を対象とした動的バランスに関する検討. 理学療法学 2000; 27 (Suppl. 2): 241.
 - 13) 藤澤宏幸, 有末伊織他. ファンクショナル・リーチにおける姿勢の最適化に関する研究——幾何学モデルによる検証——. 理学療法学 2008; 35 (3): 96-103.
 - 14) Horak F, Shupert C, Mirka A. Components of postural dyscontrol in elderly: a review, Neurobiol Aging 1989; 10: 727-45.
 - 15) 前岡 浩, 金井秀作他. Functional Reach Test に影響を与える因子——身長, 年齢, 足底圧中心点, 体幹前傾角度および歩行速度による検証——. 理学療法科学 2006; 21 (2): 197-200.
 - 16) Daubney ME, Culham EG. Lowerextremity muscle force and balance performance in adults aged 65 years and older. Phys Ther 1999; 79: 1177-85.
 - 17) Winter DA, Prince F, Steriou P. Medial-lateral and anterior-posterior motor responses associated with center of pressure changes in quiet standing. Neurosci Res Commun 1993; 12: 141-8.
 - 18) Olney SJ, Richards C et al. Hemiparetic gait following stroke. Part I Characteristics. Gait Posture 1996; 4: 136-48.
 - 19) Nadeau S, Gravel D, et al. Dynamometric assessment of the plantarflexors in hemiparetic subjects: Relations between muscular, gait and clinical parameters. Scand J Rehabil Med 1997; 29: 137-46.
 - 20) 中村隆一, 斎藤宏, 長崎浩. 基礎運動学第6版. 東京: 医歯薬出版; 2006. p. 377-82.
 - 21) 橋詰謙, 伊藤元他. 立位保持能力の加齢変化. 日老医 1985; 23: 85-91,
 - 22) 藤原勝夫, 池上春夫他. 立位姿勢の安定性における年齢および下肢筋力の関与. 人類史 1982; 90 (4): 385-400.
 - 23) 高井逸史, 宮野道雄, 中井伸夫他. 加齢による姿勢変化と姿勢制御. 日本生理人類学会誌 2001; 6 (2): 11-6.
 - 24) 辻野綾子, 田中則子. 足趾圧迫力と前方リーチ動作時の足圧中心位置の関係. 理学療法科学 2007; 22 (2): 245-248
 - 25) Maki BE, Holliday PJ, Topper AK. A prospective study of postural balance and risk of falling in an ambulatory and independent elderly population. J Gerontology 1994; 49: M72-84.
 - 26) 眞野行生: 高齢者の転倒とその対策. 東京: 医歯薬出版; 1999. p. 10-1.
 - 27) Kapandji IA 著, 萩島秀男監訳, 嶋田智明訳. カバンディ関節の生理学Ⅱ 下肢. 東京. 医歯薬出版. p. 192-211.
 - 28) Oddsson L, Thorstensson A. Task specificity in the control of intrinsic trunk muscles in man. Acts Physiol Scand 1990; 139: 123-31.
 - 29) 竹内弥彦, 下村義弘, 岩永光一, 勝浦哲夫. 高齢者における重心側方移動時の前額面上姿勢方略特性について. 日本生理人類学会誌 2005; 10 (3): 17-22.