

バランスの構成要素とその評価

青木 修^{1,2)} 大谷 啓尊³⁾

¹⁾ 四條畷学園大学 リハビリテーション学部 ²⁾ 四條畷学園大学 健康科学研究所

³⁾ 神戸国際大学リハビリテーション学部

キーワード

バランス、構成要素、評価バッテリー

要 旨

理学療法分野においてバランスという言葉は、その対象とする動作や動作を実施する状況によって示す内容が異なる。バランスとは概念であり、その本質を知るためにはバランスの構成要素を理解することが必要となる。このことによって、現在用いられているバランス評価を適切に解釈し、治療方針の決定に役立てることが可能となると考えられる。バランスの構成要素については様々なものが提唱されているが、現在有力とされるバランスの構成要素は6要素であり、それぞれは独立かつ並列関係であると考えられている。この構成要素すべてを評価可能なバランスの評価バッテリーは存在するものの、実施の際に長時間を要することが欠点である。そのため、安易にバランス評価バッテリーに頼るだけでなく、バランス評価が構成要素の何を評価しているのかを認識し、評価者が対象者の疾患から予測される症状に応じて適切なバランス評価を選択できることが重要と考える。

1. はじめに

理学療法分野において“バランス”という言葉が使われるときには、「筋力が弱くてバランスが悪い」、「協調性が悪くてバランスが悪い」、「バランスが悪いのでうまく歩けない」、「立ち上がりのバランスが悪い」、「バランスが悪くて動作スピードが遅い」、「外出するだけのバランスを獲得できない」などの表現で用いられることが多い。このとき、筋力や協調性の低下という機能低下から生じる能力としてのバランスを見ていたり、歩行や動作スピードの能力低下を生じる機能としてのバランスを見ていたり、あるいは外出するという参加としてのバランスを見ていたり、様々な捉え方ができる。“バランス”という言葉はICFでいうところのBody function and structures レベル、Activity レベル、Participation レベルの、どのレベルにおいても使用されていると考えられる。言い換えればバランスが悪いというのは、筋力が弱い、感覚が悪い、歩容が悪い、ひいては歩行の速度や持久性が足りない、といったことまで表現できることになる。そのためバランスという言葉を使用する際には、動作に内包される要因としてのバランスなのか (Body function and structures)、バランスそのものを動作として捉えているのか (Activity)、

あるいは、二重課題中のバランスといった生活動作におけるバランスなのか (Participation) について意識しておくことが、バランスに対する自身の理解を助けることになると思われる。

上記のようにバランスという言葉が包含する範囲の広さから、バランスの評価には筋力、関節可動性、動作の達成度合いや反復性、歩行速度、認知機能など様々な要素が含まれている。筋力や関節可動域など、それぞれの機能の評価方法は別に確立されているにも関わらず、改めてバランスの評価項目に含まれているならば、バランス評価は結局いったい何を評価しているのであろうか？本稿の目的は、バランスの構成要素を説明することでバランス評価の持つ意味を理解し整理することとする。このことは将来的に、バランス能力を向上させるための治療を考える上で役立つと考えられる。

2. バランスとは

Berg¹⁾は、“バランスは概念である”と述べている。概念とは、“物事の本質を理解するための思考の形式”であり、実体はない。バランスとは、様々な感覚入力統合されて、その出力が課題に対して適切に働いた結果として達成されるものである (図 1-A)。ヒトの身体

の姿勢制御は①身体（姿勢）の定位・方向づけ、②身体（姿勢）の安定性に分けられ、バランスとは②のことを指し、基底面との関係において身体質量中心を制御する能力であるとされる²⁾。一方で①の定位とは、ある基準に対して身体質量中心あるいは複数の体節を適切に配列するものである。例えば野球で打球を捕球する場合、あるいはサッカーでオーバーヘッドキックをする場合には、転倒してでもボールという基準に定位しなければならない。しかし現実では多くの場合、定位と安定性を同時に要求されることが多い。船上で釣りをする場合は竿（の先の魚）に定位しながら、船上で立位を保つ必要がある。ここで転倒しそうになった際に、安定性の課題（立位姿勢の保持）を優先して選択できるかが、バランスが良いかどうかの分かれ目になる。つまりバランスとは、身体（姿勢）の安定性を確保するために支持基底面に対して重心を定位させるという、特殊な条件下での定位と捉えることができる。良好なバランスを達成するためには外部あるいは内部から、バランスに関わる神経機構へ何らかの入力情報が必要である。図 1-A は、情報の流れの大まかな概念図である³⁾。ここで感覚入力とは外部からの、中枢統合は内部からの情報を表している。重要なのは、これらの情報の流れの中では必ずしも常に感覚入力から始まるのではなく、中枢統合から開始されることも認識しておくことである。バランスの構成要素とは、図 1-B に示すようにバランスを達成するために組織化された情報の流れのまとめりであると捉えることが出来る。

3. バランスの構成要素

バランスの構成要素は様々なものが提唱されているが^{2-4,8)}、未だ決定的なものは存在しない。様々な実験的手法を用いた研究から導出された、現在有力であろうバランスの構成要素は以下の 6 要素からなる⁶⁾。

3-1. 生体力学的制約

筋骨格系は、バランスを保つために必要な出力の最終効果器である。運動の自由度や、筋力、関節可動域が含まれ、足関節の筋力と可動性ならびに股関節の外転筋力、屈曲姿勢が特に重要視されている。

3-2. 安定性限界と垂直性

移動しない支持基底面内において重心を遠くへ移動させる能力は、特に安定性限界が低くなる高齢者やパー

キンソン病患者において重要であると考えられる。また、重力に対する垂直姿勢保持能力は、プッシャー現象や半側空間無視などを呈する脳卒中後患者において重要となる。

3-3. 予測的姿勢調節

例えば下肢の踏み出しや立位で素早く上肢挙上する場合において、重心の変位を最小限に留めるために生じる運動や筋活動のこと。大脳基底核や脳幹と補足運動野の相互作用によって生じる。

3-4. 自動的な姿勢反応（反応的姿勢調節）

例えばスリップや外乱時に、重心を支持基底面に留めるために生じる運動や筋活動恩顧と。短期的な反応の多くは 100msec 以内に生じるが、中期、長期の固有感覚フィードバックループによっても生じる。

3-5. 感覚統合

通常では視覚・体性感覚・前庭感覚を統合することによって、空間内での定位が得られるが、感覚への重みづけは各感覚の利用のしやすさによってダイナミックに変化することが知られている⁹⁾。そのため、各感覚の利用を制限した状態でのバランス保持能力は重要な要素となる。

3-6. 歩行安定性

歩行運動のように刻々と移動する重心を、新たな支持基底面内に収め続けることは複雑な制御を必要とする。例えば前方への重心制御は、転倒しないために次の重心の位置を予測して足を接地させる必要があるが、側方への重心制御は一定幅の範囲に重心を収め続ける必要がある。さらに、障害物を避けるという場合には制御すべき課題が増える。歩行運動のようなダイナミックな運動課題では、2つあるいはより多くの制御を同時に行う必要がある。そのため、注意などの認知的な機能がより重要な役割を果たすと考えられている。高齢者、歩行困難者では注意機能に負荷を与えることで歩行時のバランスが低下することが知られている¹⁰⁻¹¹⁾。歩行安定性では、脳幹と脊髄の連携と、大脳皮質が関与する認知機能が重要となる。

これらの構成要素はバランスを改善させるための治療を行う上で、指針として機能させることを念頭に置いて考案されている⁶⁾。この構成要素の間には上位、下

位といった順序付けはなく並列な関係である (図 2)。

4. バランスの評価

バランス評価と称される検査・測定方法は、比較的簡易に実施できる直立検査から Berg Balance Sale に代表される総合的なバランス評価バッテリーまで数多く存在する。現在、Rehabilitation Measures Database 上で“Balance”をキーワードとして検索すると、88 の評価法が抽出される¹²⁾。一方でこれらの評価法では、バランスの構成要素の一側面のみしか評価できていないことが多い¹⁾。このためバランス評価に用いる検査・測定方法が、バランスのどの構成要素を評価しているのかについて、評価者自身が認識した上で使用することが重要である。以下に代表的な検査・測定方法である片脚立位テスト、感覚統合臨床テスト (CTSIB)、Functional Reach test (FRT)、Timed Up-and-Go test (TUG)、Berg Balance Scale (BBS)、Balance Evaluation System Test (BESTest)¹⁾の概要と、評価しているバランスの構成要素について解説する (表 1)。

4-1. 片脚立位テスト¹³⁾

30 秒または 60 秒を基準として片脚立位の秒数を測定する。片脚立位時間の平均値 (95% 信頼区間) は、60 歳代では 27.0 (20.4-33.7) 秒、70 歳代では 17.2 (11.6-22.8) 秒、80-90 歳代では 8.5 (1.0-16.1) 秒であった。この検査・測定方法はバランス構成要素のうち、生体力学的制約 (の一部) の評価に当てはまる。

4-2. 感覚統合臨床テスト (CTSIB)¹⁴⁾

開眼、閉眼、動揺に追従する視覚 (提灯を頭にかぶせる) 条件を、硬い床面上または柔らかいマット上の立位で実施し (計 6 条件)、30 秒を基準としてそれぞれ条件における立位保持時間を測定する (図 3)。この検査・測定方法はバランス構成要素のうち、生体力学的制約、感覚統合の評価に当てはまる。

4-3. Functional Reach Test (FRT)¹⁵⁾

立位でこぶしを握った状態で片側上肢を前方へ挙上し、肩の高さに合わせた定規に沿ってできるだけ前方へ手を伸ばすよう指示する。初期肢位から最終肢位までの第 3 中手骨先端が移動した距離を計測する。この検査・測定方法はバランス構成要素のうち、生体力学的制約 (の一部)、安定性限界、予測的姿勢制御の評価に当てはまる。

4-4. Timed Up-and-Go test (TUG)¹⁶⁾

背もたれにもたれ、肘置きに腕を置いた (必要であれば杖を手に持った) 座位姿勢から、“Go”の指示によって起立して 3 メーター先で回転して再び椅子に座るまでの時間を計測する。この検査・測定方法はバランス構成要素のうち、生体力学的制約 (の一部)、予測的姿勢制御、歩行安定性 (の一部) の評価に当てはまる。

4-5. Berg Balance Scale (BBS)¹⁷⁾

座位の安定性の評価から TUG といった動的バランス評価までの 14 項目で構成され、各項目 0-4 点の合計 56 点満点で評価する。この評価バッテリーを用いた場合、評価に 15 ~ 20 分程度を要する。この評価バッテリーはバランス構成要素のうち、生体力学的制約、安定性限界、予測的姿勢制御、感覚統合、歩行安定性 (の一部) の評価に当てはまる。

4-6. Balance Evaluation System Test (BESTest)⁶⁾

足関節の筋力から歩行時の二重課題などの評価を含む 27 項目で構成され、各項目 0-4 点の合計 108 点で評価する。この評価バッテリーで評価するためには 45 分程度が必要とされる。この評価バッテリーはバランスの構成要素のうち、生体力学的制約、安定性限界と垂直性、予測的姿勢制御、反応的姿勢制御、感覚統合、歩行安定性の評価に当てはまる。

現在のところ、バランスの構成要素をすべて網羅する評価バッテリーは BESTest のみであるが、臨床で使用するには評価に要する時間が長いという欠点がある。この欠点を補うために短時間で実施できる mini-BESTest や brief-BESTest などが考案されているが、バランス構成要素のいくつかの評価が抜け落ちてしまう⁵⁾。評価バッテリーに頼ると一長一短があり、臨床で使用するにはもどかしいところである。このため現在のところ、評価者が対象者の疾患から予測される症状に適切であろう検査・測定方法を選択して評価するのが賢明であると考えられる。

5. おわりに

バランスという言葉の持つ概念を理解するために、その概念が形作っている構成要素の説明を試みた。バランスとは、身体の安定性を確保するために重心を

支持基底面内に定位させることである。そして、これを達成するために組織化された一連の情報統合の形がバランスの構成要素と考えられる。この構成要素を意識して適切な検査・測定方法や評価バッテリーを用いて評価を行うことで、バランス能力の低下に対する治療方針を考えることができるであろう。

[図 1]

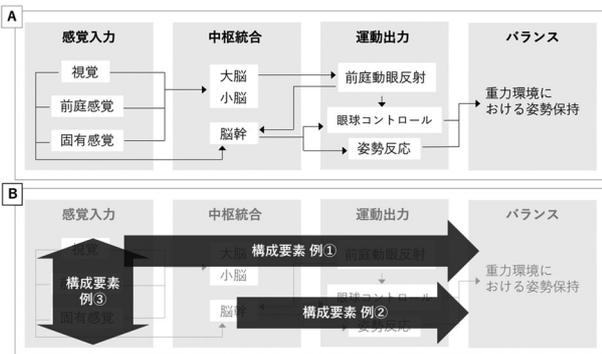


図 1. バランスにおける情報の流れの概念図

- A: 外部（感覚入力）あるいは内部（中枢統合）からの情報によって適切な運動出力が選択され、良好なバランスを達成できる（文献 3³⁾より引用）。
- B: 情報の流れをバランス達成に必要な形で組織化したものが、バランスの構成要素として捉えられる。

[図 2]

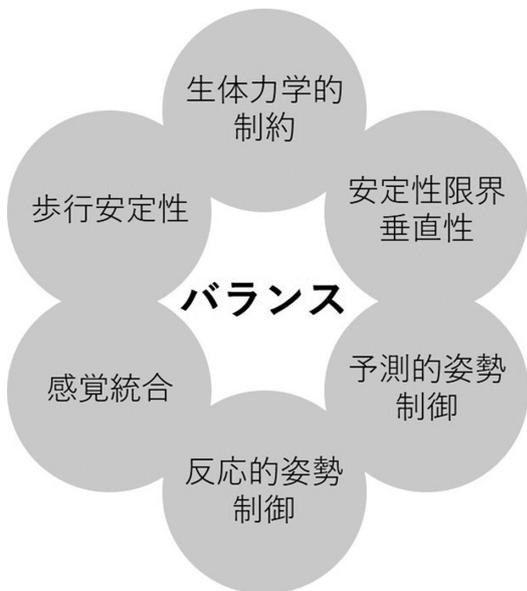


図 2. バランスの構成要素間の関係図

（文献 6⁶⁾より引用）

バランスの構成要素の間には上位・下位の順序付けはなく、並列関係で存在している。

[図 3]

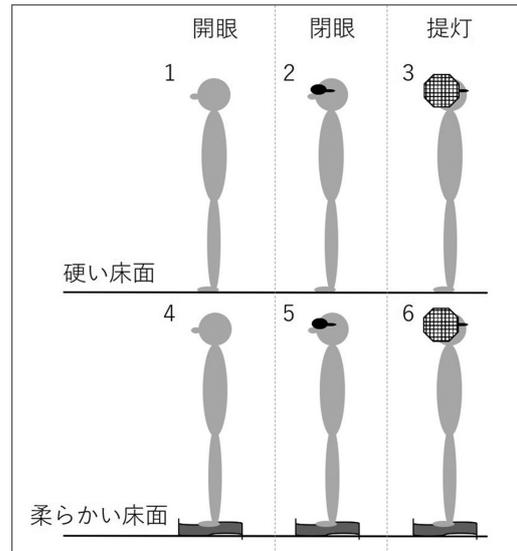


図 3. 感覚統合臨床テスト（CTSIB）のテスト条件

（文献 14¹⁴⁾より引用）

- 1：硬い床面で開眼、2：硬い床面で閉眼、3：硬い床面で提灯をかぶせる（自身の動揺に追従する視覚）、
- 4：やわらかい床面で開眼、5：柔らかい床面で閉眼、
- 6：柔らかい床面で提灯をかぶせる

[表 1]

表 1. バランス評価法と構成要素との対応

（文献 5⁵⁾より抜粋引用）

Horak ⁶⁾ による 構成要素	生体力学的 制約		安定性 垂直性と 安定性		制御 予測的姿勢 制御		反応的 姿勢		感覚統合		歩行 安定性	
	静的 安定性	運動性	安定性 限界	垂直性	制御	予測的 姿勢	制御	反応的 姿勢	感覚統合	動的 安定性	認知的 影響	
片脚立位テスト	○	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
CTSIB	○	○	×	×	×	×	×	○	×	×	×	×
FRT	×	○	○	×	○	×	×	×	×	×	×	×
TUG	×	○	×	×	○	×	×	×	×	○	×	×
BBS	○	○	○	×	○	×	×	○	○	○	×	×
BESTest	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

CTSIB：感覚統合臨床テスト、FRT：Functional Reach Test、TUG：Timed Up & Go test、BBS：Berg Balance Scale、BESTest：Balance Evaluation System Test

6. 引用文献

- 1) Berg, K.: Balance and its measure in the elderly: a review. *Physiotherapy Canada* 41, 240-246, 1989.
- 2) Shumway-Cook, A., and Woollacott, M. H.: 第7章 正常な姿勢制御, in *モーターコントロール* 原著第4版. 医歯薬出版株式会社, 東京 2015, pp. 163-198.
- 3) Vestibular Disorders Association: The Human Balance System, <https://vestibular.org/understanding-vestibular-disorder/human-balance-system>. [accessed 7 July, 2018]
- 4) 島田裕之, 内山靖, 原田和宏, 他: 姿勢バランス機能の因子構造: 臨床的バランス機能検査による検討. *理学療法学* 33, 283-288, 2006.
- 5) Sibley, K. M., Beauchamp, M. K., Van Ooteghem, et al.: Using the systems framework for postural control to analyze the components of balance evaluated in standardized balance measures: a scoping review. *Arch Phys Med Rehabil* 96, 122-132 e129, 2015.
- 6) Horak, F. B., Wrisley, D. M., and Frank, J.: The Balance Evaluation Systems Test (BESTest) to differentiate balance deficits. *Phys Ther* 89, 484-498, 2009.
- 7) Bonora, G., Mancini, M., Carpinella, I., et al.: Investigation of Anticipatory Postural Adjustments during One-Leg Stance Using Inertial Sensors: Evidence from Subjects with Parkinsonism. *Front Neurol* 8, 361, 2017.
- 8) Horak, F. B.: Postural orientation and equilibrium: what do we need to know about neural control of balance to prevent falls? *Age and ageing* 35 Suppl 2, ii7-ii11, 2006.
- 9) Peterka, R.: Sensorimotor integration in human postural control. *J Neurophysiol* 88, 1097-1118, 2002.
- 10) Asai, T., Misu, S., Doi, T., et al.: Effects of dual-tasking on control of trunk movement during gait: respective effect of manual- and cognitive-task. *Gait & posture* 39, 54-59, 2014.
- 11) Lundin-Olsson, L., Nyberg, L., and Gustafson, Y.: "Stops walking when talking" as a predictor of falls in elderly people. *The Lancet* 349, 617, 1997.
- 12) Ability Labs: Rehabilitation Measures Database. <https://www.sralab.org/rehabilitation-measures>. [accessed 6 July, 2018]
- 13) Bohannon, R. W. Single limb stance times. A descriptive meta-analysis of data from individuals at least 60 years of age. *Topics in Geriatric Rehabilitation* 22, 70-77, 2006.
- 14) Shumway-Cook, A., and Horak, F. B.: Assessing the influence of sensory interaction on balance. *Phys Ther* 66, 1548-1550, 1986.
- 15) Duncan, P. W., Weiner, D. K., Chandler, J., et al.: Functional reach: A new clinical measure of balance. *Journal of Gerontology: Medical Sciences* 45, M192-197, 1990.
- 16) Podsiadlo, D., and Richardson, S.: The timed "Up & Go": A test of basic functional mobility for frail elderly persons. *J Am Geriatr Soc* 39, 142-148, 1991.
- 17) Berg, K., Wood-Dauphinee, S., Williams, J. I., et al.: Measuring balance in the elderly: preliminary development of an instrument. *Physiother Can* 41, 304-311, 1989.

Balance subsystem and evaluation

Osamu Aoki ^{1,2)}, Yoshitaka Otani ³⁾

¹⁾ Faculty of Rehabilitation, Shijonawate Gakuen University

²⁾ Institute of health science research, Shijonawate Gakuen University

³⁾ Faculty of Rehabilitation, Kobe International University

Key words

Balance, Subsystem, Test battery

Abstract

The meaning of the clinical term “balance” varies depending on the movement and type of activity being discussed. To understand the concept of balance, it is important to know the subsystems of balance. This also enables easier interpretation of balance measurement results and planning of therapeutic approaches to improve balance. Currently, there are several proposed sets of balance subsystems, with the predominant subsystem set being composed of six subsystems. Each of them is thought to work independently and have no hierarchical relationship with the other subsystems. Although there is only one test battery that can examine all six subsystems, it has the disadvantage of being very time-consuming. Thus, it is important to use the test battery carefully and to select the appropriate balance measures based on the target subject’s ability. Furthermore, it is necessary to understand which balance subsystems can be tested by each of the balance measures.