7 歩行をどう分析し どう臨床に生かすか

What Is Needed for Gait Analysis to Do a Clinical Decision Making

大畑光司*

Koji Ohata

Key Words

歩行分析／評価／中枢神経疾患／特徴量

要旨 歩行分析は本当に臨床に役立つのだろうか。たしかに、大掛かりな三次元運動解析のような工学的手法は正確な運動学的情報を与えてくれる手段である。しかし、歩行分析を臨床に生かすという観点においては、正確な情報よりむしろ、得られた情報をどのように解釈するかに意義がある。その意味で、歩行分析では運動障害の本質をあらわす特徴量を明確にすることが求められる。活動制限としての歩行障害では歩行速度、機能障害としての歩行障害では、片麻痺患者の非対称性、パーキンソン病患者の運動狭小化、失調患者の変動係数 (coefficient of variation) などが障害の重症度と関連する特徴量となる。そのうえで、それぞれの特徴量を変化させる介入手段を明確にすることが必要となる。

はじめに

歩行分析とは患者の歩行を観察、測定した情報をもとに歩行の問題点を分析する手段である。一般的に歩行分析には、正常歩行からの逸脱（体幹の傾斜や反張膝の有無など）を確認する定性的分析と工学的手段や筋電図などを用いた定量的分析の2種類がある。定性的分析は臨床的評価、定量的分析は研究手段として用いられることが多く、いずれも現状の歩行の特徴を正確に記載することを目的としている。しか

し、得られた評価結果が直ちに介入方法の決定に直結するわけではない。なぜなら、歩行分析で示される特徴と疾患の問題点や介入効果との対応関係について、いまだ整理されているとはいえないからである。したがって、歩行分析を臨床に生かすといった視点に立つ場合、歩行分析で抽出された特徴の中で、何が中心的な問題であり介入すべき内容なのかについて見分ける技術が必要となる。

本稿は、中枢神経疾患患者に対する歩行分析を「臨床に生かす」ことに着目し、歩行分析に対する議論を深めることを目的とする。

* 京都大学大学院医学研究科人間健康科学系専攻 (〒606-8507 京都府京都市左京区聖護院川原町 53)
E-mail : ohata.koji.7n@kyoto-u.ac.jp

図1 歩行障害の評価の二側面

ICF からとらえる「歩行障害」像

まず、WHO の国際生活機能分類（International Classification of Functioning, Disability and Health : ICF）に基づいて歩行障害の概念を整理する¹⁾。ICF における生活機能は、「心身機能と身体構造（body functions/structures）」と「活動と参加（activities and participation）」の2つの構成要素からなり、歩行に直接、関連する分類項目はそれぞれにおいて存在する。心身機能においては、「運動機能（movement functions）」の1つである「歩行パターン機能（gait pattern function）」、活動においては「運動・移動（mobility）」に分類される「歩行（walking）」がそれに該当する。

前者の歩行パターン機能は片麻痺歩行のような跛行に類する問題を意味しており、歩行運動を生成する機構の問題をあらわす。後者の歩行は、歩行パターン機能だけでなく、筋力の機能や運動耐容能などの関連するあらゆる心身機能の結果として構成される歩行能力を意味しており、歩行のパフォーマンス的な側面を示している。したがって、歩行の評価においては、パフォーマンスの評価が上位概念であり、歩行パターンの評価は内包される構成概念の1つであると考えられる（図1）。

活動障害としての「歩行パフォーマンス」の評価

図2は上述のICF分類に基づいて、歩行能力の評価を分類したものである。まず、活動制約に関連する評価指標の中で、最も包括的な指標としては10 m 歩行テストによる快適歩行速度（self-selected walking speed）が挙げられる²⁻⁵⁾。さらに、応用的な歩行能力としてのTimed Up and Go（TUG）テストや歩行の耐久性評価としての6分間歩行テストなどが、歩行パフォーマンスの評価として多く用いられる。

特に、歩行速度は日常生活の移動機能に直接的に影響し²⁻⁵⁾、脳卒中後片麻痺患者において、その改善は社会参加の程度に影響することが知られている^{2,5)}。また、パーキンソン病患者では、歩行速度が総合評価であるUnified Parkinson's Disease Rating Scale（UPDRS）⁶⁾のスコアと関連するとされる⁷⁾。同様にディスクネジアにおいても歩行速度が重症度の指標となると考えられている⁸⁾。一方、小脳失調患者については歩行速度の低下が認められることが多いが、運動失調の国際評価尺度であるInternational Cooperative Ataxia Rating Scale（ICARS）⁹⁾との間に関連がみられない。この疾患においては歩行速度の低下が安定性に対する代償性変化の一つであり^{10,11)}、障害の重症度と直接的に関連するわけではないからである。

歩行パフォーマンスの評価は、疾患を問わずトレーニング前後の歩行能力の帰結として用いられており、介入効果の検討という視点において重要である。たとえば、もしなんらかのトレーニング介入により歩行パターンが改善したと思えても、歩行速度に代表されるパフォーマンスの帰結が改善していなかったとしたら、歩行能力が改善したとはいえない。したがって、

図2 歩行パターンと歩行パフォーマンスの評価指標

歩行分析は、単に歩行パターンのみを分析するのではなく、歩行速度をはじめとしたパフォーマンスの評価を加味することが重要である。

機能障害としての「歩行パターン」の分析-定性的分析と定量的分析

一般的な歩行パターンの分析手法は観察によって記述的になされることが多いが、半定量化された評価指標も多く報告されており、Rivermead Gait Assessment（以下、RVGA）¹²⁾ や Gait Assessment and Intervention Tool（以下、G.A.I.T.）¹³⁾ などが知られている。RVGA は 1998 年に報告された方法で、上肢 2 項目、下肢-体幹 18 項目の計 20 項目からなる評価方法であり、各項目について 0（正常）～3（重症）の 4 段階に評価される。G.A.I.T. は、3 つのセクションからなる 31 項目の観察により（上肢-体幹：4 項目、立脚期の下肢-体幹：14 項目、遊脚期の下肢-体幹：13 項目）、0（正常）～3 点（最も逸脱している）の 4 段階に評価する方法である。近年の報告では、評価の信頼性と妥当性、変化

に対する感受性などの面から G.A.I.T. が推奨されている¹⁴⁾。

一方で、歩行パターンを定量的に評価する手法としては、三次元歩行解析が用いられる。中枢神経疾患、特に脳卒中後片麻痺における歩行パターンの異常の問題は、三次元歩行解析により古くから指摘されている¹⁵⁾。しかし、歩行パターンの異常性を三次元歩行解析で得られる指標（関節角度やモーメント）のみで表現することは難しい。なぜなら、歩行速度や歩行条件によって関節角度は容易に変化するためである。また、同じ関節角度であっても、その出現時期（遊脚後期や立脚初期）が異なれば、正常と異常の判断が分かれる。つまり、高価な三次元歩行解析装置を用いて精密な定量評価を行ったとしても、解釈方法が明確でなければ臨床に生かすことはできないと考えられる。したがって、定量的な歩行分析を臨床に生かすためには、異常性を表現する歩行パターンの特徴量を抽出することが求められる。

図3 各種の中樞神経疾患の歩行における特徴

疾患特性をあらわす特徴量—歩行非対称性

そこで、歩行パターンを解釈するために、さまざまな疾患に特有の歩行パターンの指標をまとめてみたい。まず、脳卒中後片麻痺患者の運動は一侧の上下肢に問題が生じることが特徴である。そのため、どのような動作においても非対称な運動となり、重症の患者であればあるほど、その程度は大きくなる。したがって、その非対称性を定量化することができれば、この疾患の運動学的特徴を表現できると考えられる。このような経緯から、片麻痺患者特有の歩行パターンの特徴量として、歩行非対称性に着目した研究が行われている。

一般的に非対称性を示す特徴量は、空間対称性と時間対称性に分けられる。空間対称性としては歩幅の非対称性 (step length asymmetry)、時間対称性としては遊脚期の非対称性 (swing asymmetry)¹⁶⁾ が用いられていることが多い。歩行非対称性は Brunnstrom Stage や Fugl Meyer Assessment scale (FMA)⁷⁾ の運動スコア、痙性麻痺の程度と関連することが知られており¹⁶⁻¹⁹⁾、脳卒中後片麻痺患者の機能障害特性を顕著に示す指標であると考えられる。脳卒中後片麻痺患

者の快適歩行速度が麻痺側の筋力低下と関連を示すことはよく知られているが^{20, 21)}、歩行の対称性、特に swing asymmetry との関連も報告されている^{17, 18)}。また、立位におけるバランス能力とも関連するとされる²²⁾。

疾患特性をあらわす特徴量—運動狭小化と変動性

その他の代表的な中枢神経疾患における歩行の特徴量としては、パーキンソン病患者における運動の狭小化と運動失調患者における歩行の変動性が知られている (図3)。一般的に、パーキンソン病患者では歩幅の狭小化やすくみ足が生じるが、腕の振りや体幹の回旋の減少、屈曲傾向を伴った股、膝および足関節の運動範囲の減少も古くから知られている²³⁾。通常、健常者の歩行速度は、歩幅 (ストライド) と歩行率 (ピッチ) の両方で調整されるが、パーキンソン病患者では速度の変化を歩行率のみで調整し、歩幅には変化がみられにくい²⁴⁾。さらに、薬剤投与による変化が歩行率では認められず、歩幅のみで改善が認められるとされる²⁵⁾。つまり、パーキンソン病患者の歩行の特徴は、全身的な運動の狭小化により生じる歩幅の減少にみ

られると考えられる。

また、小脳失調患者の運動は、同一運動課題を行っても、運動が一定の軌跡を示さず、安定した運動が阻害されることが多い。したがって、その特徴は複数回行ったときの歩幅や歩行周期の時間の標準偏差や変動係数 (coefficient of variation) といった歩行変動性にあらわれる²⁶⁾。特に下肢の運動学的指標の変動係数は ICARS と関連するとされ¹⁹⁾、失調歩行の代表的な特徴量であると考えられる。失調患者のほかにも、高い変動性はディスキネジアにおいても認められ、歩行速度と同様に重症度の指標となると考えられている^{27, 28)}。

歩行パターン分析の臨床的意義

以上のようなさまざまな歩行パターンの特徴量が、単に歩容の特徴を示すだけでパフォーマンスに影響を及ぼさないとしたら、歩行パターンの分析を行う意義は少ない。しかし、歩行パターンの障害は、歩行速度などのパフォーマンス指標とは異なった側面の歩行障害像であることが知られている。たとえば、維持期 (生活期) の片麻痺患者のトレーニングによる step length asymmetry の変化は、パフォーマンス (歩行速度) の改善とは独立してエネルギーコストに影響するとされる²⁹⁾。また、リハビリテーション病院の入院期間中に歩行速度やバランスの改善が得られたとしても、同時期に歩行非対称性の歩行パターンの改善は得られない人が多かったとする報告もある³⁰⁾。さらに地域在住の片麻痺者を対象にした横断研究では、歩行速度が一定であっても発症からの期間が長いほど歩行の非対称性が増大していたとしている³¹⁾。したがって、歩行速度だけでなく、歩行パターンについても注目する必要があるだろう。

歩行速度の向上を目的にした場合にトレーニ

ングに求められる要素は、トレーニング量 (dose) であり^{32, 33)}、頻回な起立着座練習や歩行の課題指向型トレーニングが推奨されている。一方で、前述したとおり、歩行速度が改善しても歩行パターンを改善するわけではない。もし、歩行パターンを改善できる介入が存在しないのであれば、それを分析する必要はないかもしれない。しかし、近年、さまざまな歩行トレーニング機器の開発が、中枢神経疾患患者の歩行パターンを変化させる可能性があることを示唆している。たとえば、split-belt トレッドミルトレーニング³⁴⁾や、本田技研工業が開発した装着型歩行アシスト装置も左右の対称性を改善することができることが報告されている^{35, 36)}。このように介入技術の進歩に伴い、より適切な特徴量を抽出できる歩行分析手法の重要性は増していくと推察する。

まとめ

そもそも、臨床に生かす歩行分析に求められる特性とは、「歩行分析を通じてトレーニング介入の方向性や装具の処方を決定できる指針を得ること」にあると考える。その意味で、歩行分析とは歩き方の特徴を記載するだけではなく、介入手段や学習課題の立案に影響を与える測定を行う必要がある。今後、歩行分析においては、疾患特異的な問題点に応じた特徴量を抽出するため、utility と臨床的な usability を両立させた歩行分析技術の開発が求められると考える。

文 献

- 1) 障害者福祉研究会 編：ICF 国際生活機能分類－国際障害者分類改訂版。中央法規出版、東京、2002
- 2) Perry J, Garrett M, Gronley JK, Mulroy SJ : Classification of walking handicap in the stroke population. *Stroke* 1995 ; 26 : 982-989
- 3) Bohannon RW : Comfortable and walking speed of adults aged 20-79 years : reference values and

- determinants. *Age Aging* 1997 ; **26** : 15-19
- 4) Perera S, Mody SH, Woodman RC, Studenski SA : Meaningful change and responsiveness in common physical performance measures in older adults. *J Am Geriatr Soc* 2006 ; **54** : 743-748
 - 5) Schmid A, Duncan PW, Studenski S, Lai SM, Richards L, Perera S, Wu SS : Improvements in speed-based gait classifications are meaningful. *Stroke* 2007 ; **38** : 2096-2100
 - 6) Ramaker C, Marinus J, Stiggelbout AM, van Hilten BJ : Systematic evaluation of rating scales for impairment and disability in Parkinson's disease. *Mov Disord* 2002 ; **17** : 867-876
 - 7) Song J, Fisher BE, Petzinger G, Wu A, Gordon J, Salem GJ : The relationships between the unified Parkinson's disease rating scale and lower extremity functional performance in persons with early-stage Parkinson's disease. *Neurorehabil Neural Repair* 2009 ; **23** : 657-661
 - 8) Busse M, Quinn L, Khalil H, McEwan K : Optimising mobility outcome measures in Huntington's disease. *J Huntingtons Dis* 2014 ; **3** : 175-188
 - 9) Trouillas P, Takayanagi T, Hallett M, Currier RD, Subramony SH, Wessel K, Bryer A, Diener HC, Massaquoi S, Gomez CM, Coutinho P, Ben Hamida M, Campanella G, Filla A, Schut L, Timann D, Honnorat J, Nighoghossian N, Manyam B : International Cooperative Ataxia Rating Scale for pharmacological assessment of the cerebellar syndrome. *J Neurol Sci* 1997 ; **145** : 205-211
 - 10) Mitoma H, Hayashi R, Yanagisawa N, Tsukagoshi H : Characteristics of parkinsonian and ataxic gaits : a study using surface electromyograms, angular displacements and floor reaction forces. *J Neurol Sci* 2000 ; **174** : 22-39
 - 11) Ebersbach G, Sojer M, Valdeoriola F, Wissel J, Müller J, Tolosa E, Poewe W : Comparative analysis of gait in Parkinson's disease, cerebellar ataxia and subcortical arteriosclerotic encephalopathy. *Brain* 1999 ; **122** (Pt 7) : 1349-1355
 - 12) Lord SE, Halligan PW, Wade DT : Visual gait analysis : the development of a clinical assessment and scale. *Clin Rehabil* 1998 ; **12** : 107-119
 - 13) Daly JJ, Nethery J, McCabe JP, Brenner I, Rogers J, Gansen J, Butler K, Burdsall R, Roenigk K, Holcomb J : Development and testing of the Gait Assessment and Intervention Tool (G.A.I.T.) : a measure of coordinated gait components. *J Neurosci Methods* 2009 ; **178** : 334-339
 - 14) Gor-Garcia-Fogeda MD, Cano de la Cuerda R, Carratalá Tejada M, Alguacil-Diego IM, Molina-Rueda F : Observational gait assessments in people with neurological disorders : a systematic review. *Arch Phys Med Rehabil* 2015 Epub ahead of print
 - 15) De Quervain IA, Simon SR, Leurgans S, Pease WS, McAllister D : Gait pattern in the early recovery period after stroke. *J Bone Joint Surg Am* 1996 ; **78** : 1506-1514
 - 16) Patterson KK, Parafianowicz I, Danells CJ, Closson V, Verrier MC, Staines WR, Black SE, McIlroy WE : Gait asymmetry in community-ambulating stroke survivors. *Arch Phys Med Rehabil* 2008 ; **89** : 304-310
 - 17) Brandstater ME, de Bruin H, Gowland C, Clark BM : Hemiplegic gait : analysis of temporal variables. *Arch Phys Med Rehabil* 1983 ; **64** : 583-587
 - 18) Hsu AL, Tang PF, Jan MH : Analysis of impairments influencing gait velocity and asymmetry of hemiplegic patients after mild to moderate stroke. *Arch Phys Med Rehabil* 2003 ; **84** : 1185-1193
 - 19) Bohannon RW : Is the measurement of muscle strength appropriate in patients with brain lesions? A special communication. *Phys Ther* 1989 ; **69** : 225-236
 - 20) Olney SJ, Griffin MP, Monga TN, McBride ID : Work and power in gait of stroke patients. *Arch Phys Med Rehabil* 1991 ; **72** : 309-314
 - 21) Nadeau S, Arsenault AB, Gravel D, Bourbonnais D : Analysis of the clinical factors determining natural and maximal gait speeds in adults with a stroke. *Am J Phys Med Rehabil* 1999 ; **78** : 123-130
 - 22) Allen JL, Kautz SA, Neptune RR : Step length asymmetry is representative of compensatory mechanisms used in post-stroke hemiparetic walking. *Gait Posture* 2011 ; **33** : 538-543
 - 23) Murray MP, Sepic SB, Gardner GM, Downes WJ : Walking patterns of men with parkinsonism. *Am J Phys Med* 1978 ; **57** : 278-294
 - 24) Morris ME, Iansek R, Matyas TA, Summers JJ : The pathogenesis of gait hypokinesia in Parkinson's disease. *Brain* 1994 ; **117** : 1169-1181
 - 25) O'Sullivan JD, Said CM, Dillon LC, Hoffman M, Hughes AJ : Gait analysis in patients with Parkinson's disease and motor fluctuations : influence of levodopa and comparison with other measures of motor function. *Mov Disord* 1998 ; **13** : 900-906
 - 26) Serrao M, Pierelli F, Ranavolo A, Draicchio F, Conte C, Don R, Di Fabio R, LeRose M, Padua L, Sandrini G, Casali C : Gait pattern in inherited cerebellar ataxias. *Cerebellum* 2012 ; **11** : 194-211
 - 27) Reynolds NC Jr, Myklebust JB, Prieto TE, Myklebust BM : Analysis of gait abnormalities in Huntington disease. *Arch Phys Med Rehabil* 1999 ; **80** : 59-65
 - 28) Busse M, Quinn L, Khalil H, McEwan K : Optimising mobility outcome measures in Huntington's disease. *J Huntingtons Dis* 2014 ; **3** : 175-188
 - 29) Awad LN, Palmer JA, Pohlig RT, Binder-Macleod

- SA, Reisman DS : Walking speed and step length asymmetry modify the energy cost of walking after stroke. *Neurorehabil Neural Repair* 2015 ; **29** : 416-423
- 30) Patterson KK, Mansfield A, Biasin L, Brunton K, Inness EL, McIlroy WE : Longitudinal changes in poststroke spatiotemporal gait asymmetry over inpatient rehabilitation. *Neurorehabil Neural Repair* 2015 ; **29** : 153-162
- 31) Patterson KK, Gage WH, Brooks D, Black SE, McIlroy WE : Changes in gait symmetry and velocity after stroke : a cross-sectional study from weeks to years after stroke. *Neurorehabil Neural Repair* 2010 ; **24** : 783-790
- 32) Kwakkel G, Wagenaar RC, Twisk JW, Lankhorst GJ, Koetsier JC : Intensity of leg and arm training after primary middle-cerebral-artery stroke : a randomised trial. *Lancet* 1999 ; **354** : 191-196
- 33) Richards CL, Malouin F, Wood-Dauphinee S, Williams JI, Bouchard JP, Brunet D : Task-specific physical therapy for optimization of gait recovery in acute stroke patients. *Arch Phys Med Rehabil* 1993 ; **74** : 612-620
- 34) Reisman DS, Wityk R, Silver K, Bastian AJ : Locomotor adaptation on a split-belt treadmill can improve walking symmetry post-stroke. *Brain* 2007 ; **130** : 1861-1872
- 35) 大畑光司 : 「歩行アシスト」用いたリハビリテーション. *Clinical Engineering* 2014 ; **25** : 149-153
- 36) Buesing C, Fisch G, O'Donnell M, Shahidi I, Thomas L, Mummidisetty CK, Williams KJ, Takahashi H, Rymer WZ, Jayaraman A : Effects of a wearable exoskeleton stride management assist system (SMA[®]) on spatiotemporal gait characteristics in individuals after stroke : a randomized controlled trial. *J Neuroeng Rehabil* 2015 ; **12** : 69