原 著

聴神経腫瘍例における歩行運動の3次元動作解析

板坂 芳明・近江 永豪・石川 和夫

Three dimensional gait analysis in patients with an acoustic neuroma

Yoshiaki Itasaka, Eigo Omi, and Kazuo Ishikawa

*Department of Otorhinolaryngology-Head and Neck Surgery,
Akita University Graduate School of Medicine*

Many patients with acoustic neuromas complain of hearing loss, tinnitus or equilibrium disturbance. In our previous gait studies using tactile sensors placed under both feet, we demonstrated that the presence of an acoustic neuroma could cause unstable gait. Three dimensional motion analysis is a useful tool to assess abnormal gait performance. The purpose of this study was to examine the gait performance with spatiotemporal and kinematic parameters using three dimensional motion analysis in patients with acoustic neuromas. Seventeen patients (7 males, 10 females; mean age: 64.1 ± 11.1 years old) with a unilateral acoustic neuroma were enrolled in this study. Twenty-one healthy subjects (12 males, 9 females; mean age: 37.6 ± 19.1 years old) served as controls. Subjects were asked to walk freely with eyes open or closed for a distance of nearly 4 m. Spatiotemporal and kinematic components, including gait speed, stride length, stride duration, % stance phase, step width, head movements (vertical, yaw, pitch, and roll), gait deviation, forefoot motion, and angle between foot and floor (foot flexion angle) during walking, were calculated using three dimensional coordinates. At the subject's heel strike during walking, the mean foot flexion angle in the patient group was significantly smaller than the mean value in the healthy subjects. The decrease of the angle in the acoustic neuroma patients may be associated with a gait abnormality caused by vestibular disorders. Based on three dimensional motion analysis, we propose a useful parameter to evaluate the vestibular disorders in patients with an acoustic neuroma.

Key words: acoustic neuroma, three dimensional gait analysis, foot flexion angle

はじめに

聴神経腫瘍例の多くは、難聴、耳鳴り、めまい等の蝸牛・前庭症状を示し、その聴覚・平衡機能

評価のために、様々な検査が行われている¹⁾²⁾。以前我々は聴神経腫瘍例に対してタクタイルセンサを用いた歩行検査により、その歩行異常について報告した³⁾。歩行動作の3次元解析^{4)~7)}は、歩行動作の総合的評価が可能であるが、耳鼻咽喉科領域における臨床応用は非常に少ない。今回聴神経

秋田大学大学院医学系研究科耳鼻咽喉科・頭頸部外科学講座

腫瘍例の歩行動作について3次元解析を行い、各種パラメータについて計測を行った。そして聴神経腫瘍例における歩行異常の態様およびその3次元解析の臨床応用について検討を行った。

対象と方法

対象は、聴神経腫瘍例17例（男性7例、女性10例；平均年齢：64.1±11.1才；平均身長：163.7±7.8 cm）および健康成人21例（男性12例、女性9例；平均年齢：37.6±19.1；平均身長：169.0±9.7 cm）である。今回検討した聴神経腫瘍例は一側性であり、右患側11例、左患側6例であった。また腫瘍の大きさが2 cm以下の症例は13例、2 cmより大きく3 cm以下の症例は4例であった。

今回、対象症例に対して歩行検査を、聴神経腫瘍例に対しては温度刺激検査も加えて行った。歩行検査は3次元動作解析システム（M-Eye 620, ネットセンチュリー）を用いて行い、図1に歩行動作測定装置配置略図を示す。歩行は自由歩行とし、15個の反射マーカー（約3 cm）を頭頂部、前額部、後頭部、そして左右の肩、肘、手首、膝、踵、足先（第1中足骨骨頭背部）にそれぞれ接着し、開眼下と閉眼下で行った。歩行動作解析は3次元動画計測ソフトウェア（Move-tr/3 D, ライブラリー）を用い、各評価パラメータ値は往復路（各約4 m）の歩行を2 m四方の定空間領域で別々に解析し計測した。

今回の検討項目は、歩行動作における代表的な時間・距離因子 {歩行速度、ストライド（1歩行周期）長、ストライド（1歩行周期）時間、1歩行周期あたりの立脚期の割合、歩隔}、膝・足先の動きに関する因子 {膝の上下動（最高値と最低値の差）、遊脚期（swing phase）における足先の最低値、最高値、最高最低値差、踵着床時における足底と床面との角度}、頭部の動きに関する因子 {頭部のYaw, Pitch, Roll面夫々の振れ幅、頭頂部の上下動（最高値と最低値の差）、解析終了地点における頭頂部の偏倚量} である。今回解析終了地点における頭頂部の位置と解析開始地点における頭頂部の位置の左右方向における差とした。

温度刺激検査には電気眼振計（FNG 1004, 第一医科）を用いた。検査は被検者を仰臥位で頭部を30度挙上させ、4℃の生理食塩水（5 cc）を検

図1 歩行動作測定装置（M-Eye 620）配置略図

側の外耳道に10秒間で注水し、さらに10秒間保持し行った。半規管機能低下（麻痺）の程度（CP%）は、健側と患側における最大緩徐相速度の差を健側と患側における最大緩徐相速度の和で割った値の百分率とした。

検査は対象症例に対する十分な説明の後に行われた。また統計学的解析には対応のあるt-testおよび対応のないt-testを用いた。

結 果

今回検討した歩行検査の評価パラメータにおいて、健康成人例の場合、往路（右側）、復路（左側）の各計測値、聴神経腫瘍例の場合、患側、健側の各計測値間に明らかな差は見られなかった。そこで各項目の値はそれらの平均値とした。

健康成人例および聴神経腫瘍例における歩行動作の代表的な時間・距離因子を表1に示す。開眼下と閉眼下の比較では、健康成人例の場合、閉眼下において歩行速度は遅く（ $p=0.0020$ ）、ストライド長は短く（ $p=0.0060$ ）、ストライド時間は長く（ $p=0.0137$ ）、歩隔は大きくなった（ $p=0.0127$ ）。それらはそれぞれ有意差が見られた。聴神経腫瘍例の場合、閉眼下においてストライド長は有意に短くなり（ $p=0.0412$ ）、歩隔は有意に大きくなった（ $p=0.0003$ ）。

健康成人例と聴神経腫瘍例の比較では、開眼下の場合、聴神経腫瘍例の歩行速度は有意に遅く（ $p=0.0048$ ）、ストライド長は有意に短かった（ $p=$

表1 歩行動作における代表的な時間・距離因子

開眼下と閉眼下の比較では、健康成人例の場合、閉眼下における歩行速度は遅く、ストライド長は短く、ストライド時間は長く、歩隔は大きくなった。それらはそれぞれ有意差が見られた。聴神経腫瘍例においては、ストライド長は有意に短くなり、歩隔は有意に大きくなった。健康成人例と聴神経腫瘍例の比較では、開眼下の場合、聴神経腫瘍例の歩行速度は有意に遅く、ストライド長は有意に短かった。閉眼下においては、聴神経腫瘍例のストライド長、ストライド時間は有意に短く、立脚期の割合、歩隔は有意に大きかった。(*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, ***: $p < 0.001$)

		健康成人例		聴神経腫瘍例	
歩行速度 (cm/sec)	開眼	96.2 ± 13.7	**	81.3 ± 16.8	
	閉眼	87.4 ± 15.8		80.9 ± 16.9	
ストライド長 (cm)	開眼	107.6 ± 10.2	**	94.6 ± 15.2	*]
	閉眼	103.3 ± 10.4		90.2 ± 15.3	
ストライド時間 (sec)	開眼	1.09 ± 0.08	*	1.08 ± 0.13	
	閉眼	1.14 ± 0.11		1.06 ± 0.11	
立脚期の割合 (%)	開眼	61.1 ± 2.4	*	62.5 ± 2.6	
	閉眼	61.1 ± 2.3		63.4 ± 3.3	
歩隔 (cm)	開眼	9.2 ± 4.6	*	11.6 ± 4.6	***]
	閉眼	10.7 ± 5.4		14.8 ± 5.4	

0.0033)。閉眼下においては、聴神経腫瘍例のストライド長、ストライド時間は有意に短く ($p = 0.0034$, $p = 0.0337$)、立脚期の割合、歩隔は有意に大きかった ($p = 0.0157$, $p = 0.0249$)。

表2は歩行動作における膝・足先の動きに関する因子の計測値である。健康成人例と聴神経腫瘍例の比較では、聴神経腫瘍例の足先の最高最低値差は、開眼下において明らかに小さかった ($p = 0.0340$)。また聴神経腫瘍例の踵着床時における足底と床面との角度は、開眼下および閉眼下ともに有意に小さかった ($p = 0.0001$, $p < 0.0001$)。

次に歩行動作における頭部の動きに関する因子について表3に示す。健康成人例における閉眼下でのPitch(振れ幅)は、開眼下での値に比較して、有意に小さかった ($p < 0.0001$)。聴神経腫瘍例の解析終了地点における頭頂部の偏倚量は、健康成人例の値に比較して、開眼下では有意に大きく ($p = 0.0077$)、閉眼下では明らかに大きい傾向が見られた ($p = 0.0689$)。そしてその偏倚方向に

ついて検討したところ、開眼および閉眼下ともに、患側と同方向に偏倚した例は10例、異なる方向に偏倚した例は7例であり、患側方向に偏倚する例がわずかに多かった。また開眼と閉眼下の歩行の比較では同方向が13例、異なる方向が4例であった。

今回表1における歩行動作の代表的な時間・距離因子の中で、健康成人例と聴神経腫瘍例の間で、開眼、閉眼下ともに有意差が見られたのはストライド長であった。そこで健康成人例において、ストライド長と表2における膝・足先の動き、表3における頭部の動きに関するそれぞれの因子との間の相関を検討した。その結果、ストライド長と膝の上下動との間に明らかな正の相関(開眼: $r = 0.669$, $p = 0.0009$, 閉眼: $r = 0.506$, $p = 0.0193$)が見られたが、その他の因子との間には明らかな相関は見られなかった。

次に前庭障害を示す指標の一つであるCP%, および様々な機能障害と関連が見られる腫瘍の大

表2 歩行動作における膝・足先の動きに関する因子

健康成人例と聴神経腫瘍例の比較において、聴神経腫瘍例の開眼下における足先の最高最低値差は明らかに小さかった。聴神経腫瘍例の踵着床時における足底と床面との角度は、開眼下および閉眼下ともに有意に小さかった。 $(*) : p < 0.05$, $(***) : p < 0.001$, $(****) : p < 0.0001$

		健康成人例	聴神経腫瘍例
膝の上下動 (cm)	開眼	5.2±1.5	4.7±1.3
	閉眼	5.5±2.2	5.2±1.7
足先の最低値 (cm)	開眼	1.6±0.7	1.9±1.2
	閉眼	1.7±0.9	1.6±0.9
足先の最高値 (cm)	開眼	8.1±1.4	7.2±2.5
	閉眼	7.9±1.7	7.4±3.0
足先の最高最低値差 (cm)	開眼	6.5±1.6	5.3±1.8
	閉眼	6.2±2.0	5.8±3.1
踵着床時における 足底と床面との角度 (度)	開眼	29.7±2.8	23.4±5.9
	閉眼	29.2±3.1	22.0±6.3

きさと、表2および表3で検討した聴神経腫瘍例におけるそれぞれの因子との間の相関を検討した。CP%の場合、閉眼下における足先の最高最低値差との間に明らかな負の相関 ($r = -0.620$, $p = 0.018$) が見られた。腫瘍の大きさとの相関については、開眼下における足先の最高最低値差との間 ($r = -0.554$, $p = 0.021$)、および開眼下および閉眼下における踵着床時における足底と床面との角度との間 (開眼下: $r = -0.503$, $p = 0.039$, 閉眼下: $r = -0.491$, $p = 0.045$) に、それぞれ有意な負の相関が見られた。そして足先の最高最低値差において、腫瘍の大きさが2 cm より大きい症例の値は、2 cm 以下の症例の値に比較して、開眼下で明らかに小さく (3.4 ± 2.5 cm, 5.9 ± 1.1 cm, $p = 0.0119$)、閉眼下で小さい傾向が見られた (3.4 ± 2.8 cm, 6.6 ± 2.9 cm, $p = 0.0690$)。また踵着床時における足底と床面との角度においては、開眼下で小さい傾向がみられ (18.5 ± 9.9 度, 24.9 ± 3.4 度, $p = 0.0562$)、閉眼下で有意に小さかった (15.4 ± 8.3 度, 24.0 ± 4.1 度, $p = 0.0109$)。

考 察

聴神経腫瘍の多くは前庭神経由来であるが、初診時の自覚症状に関する検討では、難聴、耳鳴り等の蝸牛症状を示す例が多く、めまい、ふらつき

等の前庭、平衡障害を訴える例はかならずしも多くはない¹⁾²⁾。しかし聴神経腫瘍例に対する平衡機能検査では、多くの症例において何らかの機能障害を示す^{1)~3)8)9)}。石川ら³⁾は一側CPを伴った聴神経腫瘍例に対して、タクトイルセンサを用いた歩行検査を行い、一側前庭障害を示す症例における前庭脊髓路系の異常を報告した。また聴神経腫瘍例、前庭神経炎例、脊髓小脳変性症例に対する歩行検査では、その異常発現の違いから、歩行検査は歩行異常の病態把握に有用な情報を提供すると報告している¹⁰⁾。

近年コンピュータの進歩とともに、歩行動作を総合的、より客観的に評価可能な3次元解析が様々な領域で行われるようになってきた。しかしこの解析システムは高価であり、解析に長時間を要し、様々な疾患における適切な評価パラメータがはっきりしない等により、3次元歩行動作解析の臨床応用はかならずしも多くはない。そこで今回、臨床応用に際し必要となる適切な評価パラメータの検討を聴神経腫瘍例について行った。

今回自由歩行としたが、開眼下と閉眼下の歩行の比較において、健康成人例の場合、閉眼下の歩行ではストライド長の短縮、ストライド時間の延長により歩行速度が遅くなった。また歩隔が広くなり、閉眼下では歩行がより慎重(歩行に伴う体

表3 歩行動作における頭部の動きに関する因子

健康成人例における閉眼下での Pitch（振れ幅）は、開眼下での値に比較して、有意に小さかった。聴神経腫瘍例の頭頂部偏倚量は、健康成人例の値に比較して、閉眼下では有意に大きく、閉眼下では明らかに大きい傾向が見られた。（**： $p<0.01$ ，****： $p<0.0001$ ）

		健康成人例	聴神経腫瘍例
Yaw 振れ幅 (度)	開眼	3.4±1.3	3.3± 0.9
	閉眼	3.2±1.3	2.9± 0.8
Pitch 振れ幅 (度)	開眼	4.8±1.0	4.5± 0.8
	閉眼	3.9±0.8	4.4± 0.9
Roll 振れ幅 (度)	開眼	6.0±2.2	4.8± 1.0
	閉眼	5.6±2.2	5.4± 1.3
頭頂部の上下動 (cm)	開眼	3.2±0.5	2.9± 1.0
	閉眼	3.1±0.6	2.9± 1.2
解析終了地点における		**	
頭頂部の偏倚量 (cm)	開眼	6.1±3.1	9.5± 4.4
	閉眼	6.0±4.4	10.7±10.5

重心の揺れに対して寛容になる無意識的防御)になることが推測された。一方聴神経腫瘍例の場合は、閉眼下においてストライド長の短縮、歩隔の拡大がみられたものの、歩行速度に明らかな変化は見られなかった。

正常な歩行運動のためには、視覚、前庭、体性感覚系を介する反射機構、歩行運動制御に関わる神経機構、筋肉骨格関節系、精神心理状態等が正常に働くことが必要であると考えられている。森¹¹⁾はバランスのとれた円滑な歩行運動は、歩行運動制御機構における歩行リズム解発系、筋トーン制御系、歩行位相制御系の正常な働きによって可能になると報告した。また前庭脊髓路に関わる前庭障害は歩行運動の位相に異常を示し、小脳や脳幹の筋トーン制御機構に影響を及ぼす障害は、位相制御だけでなく歩行運動の筋トーン制御の異常を示すと報告した¹²⁾。

高安ら¹³⁾は床反力計を用い、ウオンら¹⁴⁾はタクトイルセンサを用いた歩行分析により、前庭障害例の歩行における位相のズレ（乱れ）を指摘した。また赤平ら¹⁵⁾は末梢性平衡障害群における歩調、歩速の低下は、位相のズレによる不安定感を抑えようとする心理的な結果と推測している。今回聴神経腫瘍例における時間・空間因子において、健康成人例の場合と比較すると、ストライド長の

短縮、立脚期の割合の増大傾向、歩隔の拡大傾向が見られ、そして歩行速度が遅くなる傾向が見られた。これらのことは聴神経腫瘍例が、健康成人例よりさらに慎重な歩行を行っていることを示し、本人が意識するしないにかかわらず聴神経腫瘍例におけるめまい、ふらつき等の存在による不安感、また位相のズレ（乱れ）による不安定感を抑えようとしたことによるものと推測された。

歩行運動における重心の前方移動には、四肢の加速、減速によって行われ、下肢筋群の働きが協調して制御されている¹⁶⁾。石川ら¹⁷⁾は歩行関連筋電図とフットスイッチを用いた歩行運動解析により、前庭神経炎と脊髄小脳変性症における前脛骨筋活動への影響を指摘している。今回聴神経腫瘍例において、踵着床時における足底と床面との角度は、健康成人例の値に比較して、開眼下および閉眼下ともに有意に小さかった。また腫瘍の大きさと、開眼下および閉眼下の踵着床時における足底と床面との角度、および開眼下の遊脚期における足先の最高最低値差との間に明らかな負の相関がみられた。しかしストライド長との間には有意な相関は見られなかった。これらのことは、聴神経腫瘍が歩行運動に関連する下肢筋群の運動機能に影響を及ぼした結果と推測され、また腫瘍の増大とともに小脳および脳幹を強く圧迫することに

よる筋トーン制御系へのさらなる影響の結果と推測された。したがって踵着床時における足底と床面との角度には、聴神経腫瘍例における病態を反映した変化も含まれていると推測され、歩行異常を評価する上で有用なパラメータのひとつになると考えられた。

従来耳鼻咽喉科における歩行検査は、主に日常生活における平衡障害把握のための検査（歩行距離 10 m）、および偏倚の検査（歩行距離 6 m）として用いられている¹⁸⁾。今回偏倚量を解析終了地点と解析開始地点における頭頂部位置の差として、またその歩行距離を 2 m として計測した。その結果聴神経腫瘍例の偏倚量は、健康成人例の値に比較して、開眼下では有意に大きく、閉眼下では有意差はないものの明らかに大きい傾向が見られた。このことは聴神経腫瘍例の一側前庭障害を示唆し、この検査（解析法）が偏倚検査として有用であることを示唆していると思われる。しかし今後歩行距離についてはさらに検討する必要があると考えられた。

このように歩行の 3 次元動作解析は、歩行中の平衡障害を詳細に評価することが可能であり、十分臨床応用が可能であると考えられた。しかし歩行能力および歩容は、その評価パラメータによっては、年齢および各疾患によって異なることが推測される。今回、健康成人例と聴神経腫瘍例の平均年齢間に明らかな差が見られたが、聴神経腫瘍例とエイジマッチングした健康成人例間における解析結果と、本論文で得られた解析結果との間に大きな差は見られなかった。しかし今後歩行の 3 次元動作解析の臨床応用に際し、様々な疾患について、年齢を考慮し、各種評価パラメータをさらに検討する必要があると考えられた。

まとめ

(1) 自由歩行下での聴神経腫瘍例において、健康成人例と比較して、下記のような結果が得られた。

- (a) ストライド長に短縮が見られ、歩行速度は遅くなる傾向があった。また立脚期の割合、歩隔は大きくなる傾向がみられた。
- (b) 足先の最高最低値差は小さくなる傾向が見られ、踵着床時における足底と床面との角度は、開眼および閉眼下で有意に小さかった。
- (c) 頭頂部の偏倚量は開眼下で有意に大きく、

閉眼下で大きい傾向が見られた。

(2) 歩行の 3 次元動作解析は、歩行中の平衡障害を詳細に評価することが可能と考えられ、今後その臨床応用に際し、様々な疾患について、各種評価パラメータを検討する必要があると考えられた。

本論文の要旨は第70回日本めまい平衡医学会総会・学術講演会（2011年11月、千葉）において発表した。

文 献

- 1) 青柳優：聴覚および平衡機能からみた聴神経腫瘍。耳喉頭頸 68：643-653, 1996
- 2) 石川和夫：聴神経腫瘍の診断と治療の現況。耳喉頭頸 72：397-406, 2000
- 3) Ishikawa K, Wang Y, Wong WH, et al.: Gait instability in patients with acoustic neuroma. Acta Otolaryngol 124: 486-489, 2004
- 4) 山川純至, 野沢真司, 平崎鋭矢, 他：三次元解析システムを用いたヒト歩行の研究. Equilibrium Res Suppl 10: 54-57, 1994
- 5) 上村隆一郎, 武井泰彦：床上歩行時の頭部運動 3 次元解析. Equilibrium Res 59: 228-235, 2000
- 6) 小林健二, 浅井正嗣, 渡辺行雄：マン姿勢の三次元動作解析. Equilibrium Res 64: 88-93, 2005
- 7) 高橋隆宜, 山田富美雄, 宮野道雄：高齢者の歩容および身体活動量と転倒危険因子の検討. 日生理人類学会誌 16：115-122, 2011
- 8) Patko T, Vidal PP, Vibert N, et al.: Vestibular evoked myogenic potentials in patients suffering from an unilateral acoustic neuroma: a study of 170 patients. Clin Neurophysiol 114: 1344-1350, 2003
- 9) 板坂芳明, 石川和夫, Wong Weng Hoe, et al.: 聴神経腫瘍例に対する前庭誘発筋電位検査の有用性. Equilibrium Res 63: 353-360, 2004
- 10) Ishikawa K, Cao ZW, Wang Y, et al.: Dynamic locomotor function in normals and patients with vertigo. Acta Otolaryngol 121: 241-244, 2001
- 11) 森 茂美：歩行のバランス. JOHNS 14: 860-

- 865, 1998
- 12) Mori S: Integration of posture and locomotion in acute decerebrate cats and in awake, freely moving cats. *Prog Neurobiol* 28: 161-195, 1987
 - 13) 高安劭次, 香取早苗: メニエール病の歩行分析. 位相のズレに就いて. *Equilibrium Res Suppl* 6: 98-101, 1990
 - 14) ウオンウエンハウ, 石川和夫: めまいと前庭脊髄路系異常—タクタイル・センサーによる歩行分析—(末梢前庭障害を中心に). *Equilibrium Res* 68: 169-175, 2009
 - 15) 赤平年三: 歩行の加齢現象とめまい平衡障害例の歩行分析. *日耳鼻会報* 102: 277-285, 1999
 - 16) 大橋正洋, 野村 進: 歩行の運動学. *理学療法* 26: 11-18, 2009
 - 17) 石川和夫, 江戸雅孝, 横溝道範, 他: 急性末梢前庭障害と脊髄小脳変性症における歩行運動の比較検討. *Equilibrium Res* 57: 86-89, 1998
 - 18) 時田 喬: 平衡機能検査—体平衡機能検査—. *JOHNS* 7: 83-89, 1991
- 本研究において, 利益相反に該当する事項はない。