圧中心軌跡の広がり指標とした起立精度の研究

高橋 正紘¹⁾・岡田 行弘²⁾・武井 泰彦²⁾

山本 義純²⁾・神崎 仁²⁾

Study of Stance Ability Determined by the Area of the Center of Pressure

Masahiro Takahashi¹⁾, Yukihiro Okada²⁾, Yasuhiko Takei²⁾,
Yoshizumi Yamamoto²⁾, Jin Kanzaki²⁾

¹⁾ *Department of Otolaryngology, Yamaguchi University School of Medicine*

²⁾ *Department of Otolaryngology, Keio University School of Medicine*

The area of the center of pressure (CP) during various activities and the area of CP during maximal voluntary shift to the right, left, back and forth were measured by stabilometry in normal subjects in whom several postures and visual conditions were combined in different ways. When the areas are expressed by circles of πr^2 and πR^2 , the ratio of r to R indicates the capacity of stance correction. The mean value with eyes closed changed from 0.45 for one legged stance to 0.04 for standing with feet apart. The logarithm of r/R decreased linearly as R increased. Opening the eyes decreased the value of r/R to a fixed ratio irrespective of stance, it was 0.27 when the subject was standing still. Tilting the head increased r/R 1.6–1.9 times irrespective of the stance. However, turning the head or flexing the neck raised the r/R more when the subject was standing with feet apart than when he was standing on one foot. The present study suggests that the value of r/R indicates the ability to regulate stance by the spatial coordinates in the brain. It may be useful in investigations of the regulation of stance to think of the CP area as a scatter on a mark.

Key words: stance, center of pressure, vision, posture changes

はじめに

起立の研究は大別すると、重心動揺軌跡の解析¹⁾、外乱に対する姿勢や下肢筋電図の分析^{2)~4)}、サイバネティクスの手法による理論的研究⁵⁾がある。種々のアプローチにもかかわらず効果器の複雑さ、調節自由度の大きさ、起立条件の多様さが、固視に比べ制御機構の解明を困難にしている⁶⁾。しかし、Bernstein や Berthoz の研究に見られる

ように⁵⁾⁷⁾、制御の階層的システムの個々の仕組みが解明されなくとも、システムの制御原理を知ることが可能である⁸⁾。

起立も力学的原則を免れないが、生体はこの原則を越えて積極的に重心を支持面上に投影制御している⁹⁾。動作中の起立面における圧中心は、重心ベクトルが支持面と交わる点であり、重心の垂直投影点とは異なる¹⁰⁾¹¹⁾。起立中は圧中心がある範囲内に維持され、これを越えると支持脚の変更か転倒が起こる。この圧中心の移動許容範囲に占める動揺軌跡の広がりが小さい程、起立精度は良

¹⁾ 山口大学医学部耳鼻咽喉科学教室

²⁾ 慶應大学医学部耳鼻咽喉科学教室

好な筈である。この関係は的（まと）に対する弾痕の広がり（命中精度）に似ている。両現象共に精度が高ければ小範囲に収束し、精度が低ければ広い範囲に分布する。

今回は、健康成人で的に相当する圧中心の移動許容範囲と弾痕に相当する動揺軌跡の関係を多様な起立条件で調べた。この結果、移動許容範囲に占める動揺軌跡の広がり（支持面積の大きさ、視覚の有無、頭部移動に対し規則的に変化することがわかった。今回の結果は、従来の我々の動揺軌跡単独の評価¹²⁾¹³⁾に比べ、起立の性質をより単純に表現することができた。圧中心軌跡の新しい解釈と思われるので報告する。

対象および方法

対象は健康成人11名である（平均年齢27歳）。圧中心軌跡の記録には一辺120 cmの重心動揺計（アニマグラフィコーダー G1810）を用いた。単脚、閉脚、15 cm 開脚の3つの支持条件で、閉眼および開眼で、次の動作中の動揺を記録した。静止5秒間、左方および右方への頭部傾斜5秒間（直立-傾斜-直立の2動作）、頭部の前方傾斜および後方傾斜5秒間（直立-傾斜-直立の2動作）、左方および右方への振り返り2秒間（正面-振り返り-正面の2動作）、上体の前屈2秒間（直立-前屈-直立）、の計8通りである。頭部の傾斜角度は左右、前後へは約30度、振り返りは約90度、前屈は約45度とした。さらに3つの支持条件、2つの視覚条件を組み合わせた6検査条件において、記録時間を制限せずに重心を転倒直前まで前後および左右に最大限移動するよう指示し、圧中心の移動許容範囲を記録した。

動作中は腕を胸の前で組み、足の位置を変えぬよう指示した。検査は一定の順序で、同じ条件で2回記録し、疲労を避けるため、適宜短時間の休息を設けた。途中支持脚が移動したり、足を踏み変えた場合は、計測可能な記録が2回得られるまで検査を繰り返した。XYレコーダ上に動揺軌跡の記録では1 cmを1 cmで、移動許容範囲では1 cmを0.5 cmの増幅度で記録した。検者が起立の状態を観察しながら動作の号令をかけ、動作の開始と同時にXYレコーダのペンをダウンし、所定の時間（2あるいは5秒間）の動作終了と同時にペンをアップした。一人につき3支持条件、2視覚条件、8動作と1許容範囲の記録から得られた計

54種類、108記録の圧中心軌跡について、前後および左右の最大長を計測した。

結 果

1. 軌跡広がり（の）の数量化

同一被検者の一つの支持・視覚条件から9種類の記録が得られた（図1、左右傾斜と回転ではそれぞれ1図のみ掲載）。許容範囲の狭い単脚起立ではいずれの動作においても軌跡の動揺振幅は大きく、許容範囲の広い開脚起立では著しく小さかった。開眼により許容範囲が大きくなると共に、動揺振幅が小さくなった。これより、許容範囲を的に、動揺軌跡を弾痕の広がり（に）に例えることができる。各軌跡の前後および左右の最大振幅（mm）の積について、同一条件の2記録の平均値を求めた。許容範囲に占める動揺軌跡の広がり（を）を数量化するため、それぞれの値に相当する面積の円の半径（許容範囲は R 、動揺軌跡は r ）を求めた（図2、表1）。

許容範囲の円の半径 R の平均値は閉眼単脚の43.8 mmから閉眼開脚の111.2 mmまで変化した。一方、静止における動揺軌跡の円の半径 r の平均値は閉眼単脚の19.3 mmから開眼開脚の3.3 mmまで変化した。比 r/R （図2における円中心の線の高さ）は許容幅に占める動揺幅の割合を表し、静止では閉眼単脚の平均0.45から、開眼開脚の0.03まで変化した。 r/R は閉眼、開眼を問わず R の大きさに従って規則的に変化することが示唆された（図2）。 r/R の平均値、標準偏差を動作条件、支持条件、視覚条件の全ての組み合わせで求めた（図3、表2）。記録時間が2-5秒と短いにもかかわらず、 r/R は各条件で固有の値を示し、変動も比較的小さかった。

2. 支持条件が軌跡の広がり（に）に与える影響

閉眼および開眼下の r/R を R の関数として動作条件別にスカッタ・グラフで示すと、閉眼、開眼の差は明らかでなく、 R の増加に対し r/R の対数は直線的に減少した（図4）。これより、単脚、閉脚、開脚の支持条件の違いや視覚の有無は、許容範囲を決定し、この結果、起立精度に影響することが予想された。 R の値が小さい時の10 mmの増加は R が大きい時の10 mmの増加に比べ、 r/R に与える影響がはるかに大きかった。両者の相関係数は静止で0.87、左右傾斜で0.82、回転で0.65、前屈で0.76と、回転を除き高い相関を示し

図1 同一被検者における同一縮尺による圧中心軌跡の記録

上は閉眼, 下は開眼の記録。左, 中, 右はそれぞれ単脚, 閉脚, 開脚の記録。
各図の中央は移動許容範囲, Aは静止, Bは頭部の前方傾斜, Cは後方傾斜,
Dは左方傾斜, Eは右振り返り, Fは前屈の記録。

た。回帰直線からいずれの動作においても, R が 0 に近づくとき r/R の値が 1 となった。回帰直線の勾配は動作間で異なり, 静止の場合 R が 150 mm で r/R は 0.01 となった。すなわち, r は R が極めて小さい時 (爪先立ちなど) は R の値に近似し, $R=150$ mm (広い開脚での起立) で R の 1/100 に縮小する。静止に比べ重心移動の大きい前屈では, R が増大しても r/R はさ程減少しなかった。

3. 視覚が軌跡の広がりを与える影響

視覚が r/R に与える影響を知るため, 閉眼時の r/R の値と開眼による r/R の減少幅の関係を調べた (図 5)。単脚起立以外では開眼による r/R の変動幅は極めて小さいが, いずれの動作においても変動幅は閉眼時の r/R の値に比例し, 両者は高

い相関を示した (相関係数, 静止 0.97, 左右傾斜 0.97, 回転 0.93, 前屈 0.92)。静止の回帰直線の勾配は 0.73 で, 開眼は閉眼時の r/R の値を 73% 減少させることを意味する。この減少率は R の大小に関わらず一定であるので, 閉眼時の r/R の値が大きい程 (軌跡の広がりが大きい程) 開眼による減少幅は大きくなった。これが, 視覚の効果が許容範囲の小さい時 (単脚起立) 著しく, 大きい時 (開脚起立) 目立たない理由と思われる。前屈では値のばらつきが大きく, 回帰直線の勾配は静止のそれと等しかったが, 閉眼時の r/R が 0.22 の時 r/R の減少は 0 となった。この所見は, 前屈動作は支持条件と無関係に r/R を約 0.2 増大させ, この動作に由来する値を除くと視覚は原則として静

図2 静止時の圧中心の移動許容範囲と動揺軌跡の大きさの関係を、白円（半径R）と黒円（半径r）で示したシェーマ
右は閉眼，左は開眼を表し，上から順に単脚，閉脚，開脚を R(mm)の大きさに従って配列してある。円中心軸の高さは r/R の値を表す。

表1 圧中心軌跡の前後左右幅の積に相当する円の半径の平均値（mm）と標準偏差（括弧内）

動作	単脚		閉脚		開脚	
	閉眼	開眼	閉眼	開眼	閉眼	開眼
静止	19.3 (3.9)	10.3 (1.9)	7.1 (1.4)	5.4 (1.0)	4.5 (1.4)	3.3 (0.6)
側方傾斜	28.9 (7.9)	16.1 (4.5)	11.9 (4.0)	9.2 (2.6)	7.7 (2.9)	6.6 (1.9)
前後傾斜	29.3 (9.4)	16.1 (4.3)	13.1 (3.9)	9.1 (2.4)	6.8 (2.1)	5.0 (1.2)
振り返り	24.9 (6.5)	16.5 (5.3)	15.4 (6.9)	10.3 (5.9)	12.9 (8.1)	11.1 (7.1)
前屈	34.1 (8.7)	24.2 (9.0)	27.2 (7.1)	19.9 (4.9)	21.7 (5.9)	21.0 (6.5)
許容範囲	43.8 (8.0)	63.5 (14.3)	79.9 (17.1)	82.9 (11.2)	111.2 (18.3)	100.7 (13.7)

図3 各検査条件における r/R の平均値および 1 SD

静止 (左上), 右方傾斜 (右上), 右振り返り (左下), 前屈 (右下)。a, b, c は閉眼の単脚, 閉脚, 開脚の値を, a', b', c' は開眼の値を表す。

表2 動作中圧中心軌跡および許容範囲に相当する円の半径をそれぞれ r , R とした場合, r/R の平均値と標準偏差 (括弧内)

動作	単脚		閉脚		開脚	
	閉眼	開眼	閉眼	開眼	閉眼	開眼
静止	0.45 (0.12)	0.17 (0.05)	0.09 (0.02)	0.07 (0.01)	0.04 (0.01)	0.03 (0.01)
側方傾斜	0.66 (0.15)	0.26 (0.07)	0.15 (0.04)	0.11 (0.03)	0.07 (0.03)	0.07 (0.02)
前後傾斜	0.66 (0.15)	0.26 (0.06)	0.16 (0.03)	0.11 (0.03)	0.06 (0.03)	0.05 (0.02)
振り返り	0.57 (0.14)	0.27 (0.08)	0.20 (0.09)	0.13 (0.07)	0.12 (0.07)	0.11 (0.08)
前屈	0.78 (0.14)	0.39 (0.12)	0.35 (0.09)	0.24 (0.06)	0.20 (0.04)	0.21 (0.06)

止と同様に作用することで説明される。傾斜および振り返りは静止と前屈のはほぼ中間に位置していた。

4. 動作が軌跡の広がりを与える影響

動作が r/R に与える影響を明らかにするため、同一支持条件で動作時の r/R が静止時の値に比べ

図4 R(mm, 横軸) と r/R (対数表示, 縦軸) の関係のスカッターグラムと回帰直線

全ての支持条件, 視覚条件を含む。静止 (左上), 右方傾斜 (右上), 右振り返り (左下), 前屈 (右下)。

何倍に増大しているかを調べた。 R の値は不変なので, 動作中の r の増大率を見ることになる。頭部の前後, 左右への傾斜は支持条件, 視覚条件と無関係に r/R の値を約1.5-2.0倍増大させた(図6)。傾斜と対照的に, 前屈による r/R の増大比は, R が大きくなる程大きく, ばらつきも大きくなった。閉眼の場合, 単脚起立では増大比は平均1.8倍, 閉脚では3.8倍, 開脚では5.4倍であった。振り返りによる r/R の増大比は傾斜と前屈の中間的所見を示した。これらより, 頭部移動を伴う動作においても, R が小さい場合には増大比は小さく制限され, R が増し圧中心移動の余裕が増すにつれ軌跡の広がりも増すと言える。

考 察

従来, プラットフォーム上での圧中心軌跡の記録は, 重心の動揺を記録するため極力静止状態で行われてきた¹⁾¹⁴⁾。ダイナミックな動作中の起立では加速が力を生み, 圧中心が重心からずれるためである。静止時の重心軌跡は種々の角度から

詳細に検討されてきたが, 起立機構の解明手段としては情報が限られている¹⁾。歩行や駆け足中の起立を考えると, 動作中の圧中心と支持面の関わりを知ることが起立制御の解明に重要と思われる。

ダイナミックな動作を含め起立が維持されるためには, 圧中心は足底支持面を含むある範囲内に不随意的に移動が制限されなければならない。しかし, この範囲内で圧中心がどの位置にあるか, どのような軌跡を描くかは偶然的要素が大きい。従って, 圧中心軌跡は起立制御の必然的側面と偶然的側面を持ち, 確率現象ととらえることができる。移動許容範囲に対して圧中心軌跡の占める割合が大きければ余裕のない制御を意味し, 転倒の確率が高まる。割合が小さければ余裕のある高精度な制御と言える。この関係は的における弾痕の広がりにも例えることができる。

的と弾痕のたとえにより, 圧中心軌跡をプラオメータで計測する方法が動作中の制御の評価に適切でないことは自明である。短時間の動作では

図5 閉眼の r/R (横軸) と開眼による r/R の減少幅 (縦軸) のスカッターグラムと回帰直線
 全ての支持条件を含む。静止 (左上), 右方傾斜 (右上), 右振り返り (左下), 前屈 (右下)。

軌跡はしばしば閉鎖曲線を描かず、たとえ閉鎖した場合でも囲まれた面積の大小は制御の良否の指標にはならない。前後、左右方向への軌跡の最大振幅の積を求める方法は、重心動揺では簡易的計測法とされてきた¹⁴⁾。しかし、移動許容範囲に占める軌跡の割合を求めることにより、軌跡の広がりやを相対化することができた。

今回は、従来の方法とは異なり¹⁾¹⁴⁾、2-5秒と短時間の動作中の軌跡を計測した。軌跡の最大振幅と許容範囲の大きさの比 (r/R , 軌跡の広がり) は、視覚の有無や支持条件の違いを越えて、許容範囲の増加に伴い対数的に減少するという規則性を示した。これより、起立精度は許容範囲 (足底支持面) の増大に伴い飛躍的に向上すると言える。この性質は中枢の認知および制御を反映するものと思われる。すなわち、支持脚の空間的配置および支持面の圧分布の固有覚情報から、脳内に移動許容範囲 (的) および圧中心 (弾痕) に類似した座標地図が再現され、移動の余裕量に応じて重心

ベクトル (弾) の刻々の制御精度が必然的に決まるのであろう¹⁵⁾¹⁶⁾。2-5秒の短時間においても r/R が比較的変動の小さな値を示したことから、圧中心はある制限された範囲内を目一杯移動することにより安定を得るような制御が行なわれていると推測される。回帰直線の結果から、少なくとも短時間の起立においては、許容範囲が著しく小さくなくても (例えば爪先立ち) 軌跡はこの枠内に調節される可能性が示唆された。この性質は、短時間の爪先立ちや圧中心が特定の支持脚を瞬間に通過する駆け足に極めて重要と思われる。

一方、視覚の影響は許容範囲の小さな条件で著しかったが、開眼は許容範囲の大小と無関係に、閉眼時の軌跡の広がりを一定の割合で縮小させることが示された。軌跡の広がりやの開閉眼と無関係に許容範囲の大きさに依存するので (r/R の対数は R に比例して減少する)、視覚は主に脳に投影される座標地図上の許容範囲を増大させることにより制御精度を向上させると言える。許容範囲が

図6 静止に比した動作時の r/R の増大率のスカッターグラムと回帰直線
開眼、閉眼の両条件を含む。横軸は $R(\text{mm})$ 。前方傾斜（左上）、右方傾斜（右上）、右振り返り（左下）、前屈（右下）。

小さい時は軌跡の広がりが大きいため、開眼による軌跡の縮小が目立つ訳である。軌跡の広がり及び視覚の効果は振り返りや前屈動作に影響を受けるものの、静止と同様に閉眼時の精度と比例関係を示した。

静止の場合、開眼が軌跡の広がりを約27%に縮小させる事実は、狭い支持面における開眼起立と難易度の等しい広い支持面における閉眼起立のあり得ることを示している。この所見は、狭いルール上の開眼起立とより広いルール上の閉眼起立が似た難易度を示し、両条件間でトレーニング効果の移動の起こる事実に理論的根拠を与えている。固有覚が支持面に相対的な圧中心情報を中枢に送るのに対し、視覚は支持面および重心を周囲静止空間に相対化させることにより¹⁵⁾¹⁶⁾、脳内の座標地図上の有効支持面を拡大し、制御精度の向上をもたらすと考えられる。

閉眼単脚起立、前屈における軌跡の振幅は許容振幅の平均78%を占め ($r/R=0.78$)、起立がかる

うじて維持されることを示している。静止と比べた動作中の軌跡の増大率は、頭部傾斜では支持条件に影響されなかったが、振り返り、前屈では許容範囲の増加に伴い増大した。動作中、圧中心を移動許容範囲に調節する手段としては、1) 圧中心移動を極力小さくする制御、2) 移動許容範囲を大きくする制御、3) 重心移動に応じて足底支持面を移動する制御（足の踏み変え）があり得る。

上体が大きく移動する前屈では腰部が後退しない限り、圧中心は許容範囲を越え転倒する。許容範囲の大きな開脚起立における前屈では、上の1) が厳密に行なわれなくても2) の制御で起立の維持は容易である。しかし、許容範囲の小さな閉脚単脚起立では、1) を満足するために、動作と圧中心制御は厳密に連動しなければならない。頭部移動の大きな動作では、2) が満たされると1) の必然性が弱まり、軌跡の広がりの増大率が大きくなると思われる。この現象は、支持条件に応じて容易な制御が優先的に採用される可能性を示唆

している。一方、頭部傾斜では重心移動が小さいため、許容範囲の大小と無関係に静止と同様な制御が行なわれるのであろう。これより、ダイナミックな動作中の見かけ上の制御精度の低下 (r/R の増大) は、頭部移動中の迷路知覚精度や空間識の低下に由来するのではなく、上体移動を伴う動作においては支持面上の圧中心移動を制限する制御¹⁾ が困難なためと考えられる。

振り返りや前屈など頭部の急速な動作においても起立が可能であるためには、重心移動に対する仕組みの他に、支持脚の圧分布情報や視覚情報を統合する脳に、頭部運動の影響を打ち消す仕組みが必要である¹⁶⁾。受動的な不意の頭部傾斜によっても起立が影響されにくいことが報告されている¹⁷⁾。この仕組みによって初めて、固有覚あるいは視覚からの情報がリアルタイムで空間の情報に変換されたり互いに統合され、ダイナミックな動作の制御が可能となる。身体地図状に脳に投射された固有覚情報は、迷路および視覚情報の投影によりその空間座標軸を万華鏡的に変化させられ、周囲空間に対応すると考えられる¹⁵⁾¹⁶⁾。

我々は視野逆転プリズム装着下の歩行を観察し、動揺病が発症すると開脚起立姿勢をとったり、酩酊歩行、転倒など著しい平衡失調の起こることを報告してきた¹⁸⁾¹⁹⁾。平衡失調はプリズム酔いばかりでなく、車酔い発症時にも確認された²⁰⁾。この事実を今回の結果から解釈すると、たとえ支持脚から正しい足底の圧分布情報や迷路からの頭部移動情報が中枢に送られても、これらが周囲空間情報と適切に統合されないと (正しい空間識が再現されない)、正しい運動指令を出すことができず、圧中心を支持脚上に制御できなくなることを示している。これより、視器あるいは迷路の刺激が姿勢反射を誘発するのではなく、これらセンサ入力が空間識に影響することにより、姿勢維持のための制御が誘発されると考えるべきであろう。

まとめ

1. 正常者11名に対し、単脚、閉脚、開脚の支持条件で、開眼および閉眼で、静止、頭部傾斜 (前、後、左、右)、振り返り (左、右)、前屈を行なわせ、動作中 (2-5 秒間) の圧中心軌跡を記録した。同時に各支持、視覚条件で左右、前後方向に転倒直前まで重心を移動させ、軌跡 (移動許容範囲) を記録した。記録条件は計54通りとなった。

2. 各動作中の圧中心軌跡および移動許容範囲の最大前後長、左右長を計測し、その積に相当する面積の円の半径 r および R を求めた。 r/R は許容範囲に対する軌跡の広がりを表し、起立精度の指標とみなすことができた。

3. r/R の平均値は閉眼静止の単脚で0.45、閉脚で0.09、開脚で0.04であった。開眼では同様に0.17、0.07、0.03であった。閉眼左右傾斜で0.66、0.15、0.07、閉眼振り返りで0.57、0.20、0.12、閉眼前屈で0.78、0.35、0.20であった。

4. r/R は対数表示すると許容範囲 (R) の増加に対し直線的に減少した。静止の回帰直線による r/R の値は $R=0$ mm で1.0、 $R=150$ mm で0.01であった。これより、移動許容範囲の大きさに応じて起立精度が決まり、極めて小さい条件 (爪先立ち) では圧中心軌跡は許容範囲に一致し、十分広く開脚した状態で1/100以下になると予想された。

5. 開眼は許容範囲 (R) を増大させ r/R を減少させたが、許容範囲と軌跡の広がりとの関係には影響しなかった。開眼は閉眼時の r/R を一定の割合に縮小させ、静止では約0.27倍であった。従って r/R の大きい単脚起立で、開眼による減少幅が最も大きくなった。

6. 頭部傾斜は傾斜方向や起立条件と無関係に静止時の r/R を約1.5-2.0倍に増大させた。振り返りや前屈など頭部移動の大きい動作では、許容範囲の増加に伴い増大率が大きくなった (単脚でそれぞれ1.3倍、1.8倍、開脚で3.0倍、5.4倍)。この結果は支持条件に応じて容易な制御が優先的に選択されることを示唆していた。

文 献

- 1) 時田 喬: 直立検査とその基礎—直立制御機構の解析—。Equilibrium Res 49: 367-377, 1990
- 2) Allum JHJ, Pfaltz CR: Visual and vestibular contributions to pitch sway stabilization in the ankle muscles of normals and patients with bilateral peripheral deficits. Exp Brain Res 58: 82-94, 1985
- 3) Woollacott MH, von Hosten C, Rosblad B: Relation between muscle response onset and body segmental movements during posture perturbations in humans. Exp Brain Res 72:

- 593-604, 1988
- 4) Diener HC, Dichgans J: On the role of vestibular, visual and somatosensor information for dynamic postural control in humans. *Prog Brain Res* 76: 253-262, 1988
- 5) Bernstein N: The coordination and regulation of movements. Pergmon, Oxford, 1967
- 6) Robinson DA: Is the oculomotor system a cartoon of motor control? *Prog Brain Res* 64: 411-417, 1986
- 7) Berthoz A, Pozzo T: Intermittent head stabilization during postural and locomotory tasks in humans. In: Amblard B, Berthoz A, Clarac F (eds) *Posture and gait: development, adaptation and modulation*. Elsevier, pp 189-198, Amsterdam, 1988
- 8) Wiesendanger M: Some concluding remarks about general concepts in studies of the skeltomotor system. *Prog Brain Res* 64: 419-423, 1986
- 9) Soames RW, Atha J: The validity of physique-based inverted pendulum models of postural sway behaviour. *Ann Hum Biol* 7: 145-153, 1980
- 10) Murray MP, Seireg A, Scholz RC: Center of gravity, center of pressure and supportive forces during human activities. *J Appl Physiol* 23: 831-838, 1967
- 11) Spaepen AJ, Vranken M, Willems EJ: Comparison of the movements of the center of gravity and of the center of pressure in stabilometric studies. *Agressol* 18: 109-113, 1977
- 12) 岡田行弘, 高橋正紘, 斎藤 晶, 他: 能動動作における予測的起立制御の研究. *日耳鼻* 95: 352-359, 1992
- 13) 岡田行弘: 足底支持条件, 視覚, 頭部移動が起立制御に及ぼす影響. *慶應医学* 69: 751-762, 1992
- 14) 日本平衡神経科学会: 重心動揺検査の基準. *Equilibrium Res* 42: 367-369, 1983
- 15) 高橋正紘, 岡田行弘, 斎藤 晶, 他: 生体内座標軸理論—空間認知による固視, 歩行の制御—. *日耳鼻* 94: 161-169, 1991
- 16) 高橋正紘: 平衡制御における空間認知の意義. *Equilibrium Res* 51: 226-232, 1992
- 17) Dietz V, Horstmann GA, Berger W: Fast head tilt has only a minor effect on quick compensatory reactions during the regulation of stance and gait. *Exp Brain Res* 73: 470-476, 1988
- 18) Takahashi M, Sato A, Okada Y, et al: Locomotion and motion sickness during horizontally and vertically reversed vision. *Aviat Space Environ Med* 62: 136-140, 1991
- 19) Takahashi M, Takei Y, Saito A, et al: Motion sickness and equilibrium ataxia. *Aviat Space Environ Med* 63: 486-490, 1992
- 20) 斎藤 晶, 高橋正紘, 武井泰彦, 他: 車酔いにおける平衡失調の観察—逆転ブリズム装着下の平衡失調との比較—. *Equilibrium Res* 52: 206-212, 1993

(原稿到着: 平成5年8月11日
別刷請求先: 高橋正紘
〒755 山口県宇部市小串1144
山口大学医学部耳鼻咽喉科学教室)