

## 直立静止時における健常者の体重心動揺運動と頭部動揺運動の比較 Comparison Between the Stabilometry and the Head Motion Analysis of Healthy Subjects while Standing Still

松下 宗一郎†  
Soichiro Matsushita

### 1. はじめに

人間の身体バランス感覚(平衡感覚)は、内耳における運動知覚、視覚、そして皮膚直下における力覚といった感覚器官からの信号が、前庭神経核にて統合されることにより維持されている。このため、これらの感覚器官や関係する神経系に何らかの異状が発生した場合、身体バランス感覚の失調を引き起こすこととなる。このような失調の程度を評価する方法としては、被験者が30秒ないし1分間といった比較的短い時間直立静止している際の体重心の位置動揺を計測する重心動揺検査と呼ばれる手法が広く用いられている[1]。一方、本研究では身体バランス感覚の失調に際し、被験者の頭部運動(頭部動揺)に変化が生じていることに着目し、小型の運動センサを用いたヘッドホン型運動計測デバイスによるバランス感覚評価の手法を提案しており、日常生活の中での体調変化や、軽運動による一時的な身体疲労に対する回復過程の観測に際し、身体状態の推定に関する有意な情報が得られることを報告している[2]。ここで、体重心位置動揺と頭部動揺との間では、異なる情報をもった信号を観測していることが示唆されているが、本論文では健常な被験者について両者を同時に計測することで、その違いについて議論する。

### 2. 身体動揺運動計測システム

本研究では、体重心動揺運動を計測するために、市販のゲーム機用体重計型入力デバイスであるWii バランスボード(任天堂)を使用した[3]。続いて、ヘッドホン型運動計測デバイスについては、文献[2]にて報告を行っている6軸(加速度3軸 分解能 $1.8\text{mg}$ :  $1\text{g} = 9.8\text{m/s}^2$ , 角速度3軸 分解能 $0.035\text{deg/s}$ ) モーションセンサにマイクロ波無線通信モジュールを組み合わせたヘッドホン型デバイスの重量は充電式バッテリーを含めて約130グラムであり、連続にて4時間程度の使用が可能となっている。尚、運動評価においては体重心動揺については1秒あたりの重心位置軌跡長(Center Of Gravity Trace Length, 以後COGと表記: 単位cm)を、また頭部動揺では、1秒あたりの3軸加速度軌跡長(ATL), 3軸角速度軌跡長(AVTL), 3軸角加速度軌跡長(AATL)の計算パラメータに加え、計測対象時間内における3軸角速度絶対値の二乗平均値による3軸角速度実効値(AVrms)を用いることとした。

† 東京工科大学コンピュータサイエンス学部

### 3. 運動負荷応答計測実験

身体バランス感覚の評価では、リファレンスとなる指標、すなわち身体バランス感覚状態を最も確に表していると思われるパラメータや評価手段が必ずしも確立されていない点が大きな問題となる。そこで本研究では、被験者の負担をできる限り軽減しつつ、実験の再現性を担保することを考慮し、安静時における運動計測に対し、短時間での階段昇り運動による軽運動負荷後での運動計測を組み合わせた実験手法を提案している[2]。今回の実験では、20歳から24歳までの健常な被験者20名(男性17名、女性3名)にて、30分以上の休憩時間をとった後に90秒間の身体運動計測を開眼・直立静止状態で実施し、その後約10分間の休憩を挟んで分速100歩のペースにて約1分間の階段昇り運動(高低差約18.3m)及び約1分間の平坦歩行を行い、最後に再び開眼・直立静止状態にて90秒間の身体運動計測を行った。

表1は、階段昇り運動を行う前にて運動計測を行っている90秒間のうち、計測初期にて直立姿勢が安定しないこと等による影響を受けやすい前半の30秒間を除いた60秒間にて各種運動パラメータを計算した結果である。ここでは、5種類の運動パラメータに被験者の身長を加えた計6種類のデータについて、被験者相互間の相関係数を計算した結果をあわせて記載しているが、体重心動揺軌跡長(COG)では他のパラメータとはほとんど相関がないことが分かる。また、頭部動揺計測では身長が高いほど大きな運動が観測されることが期待されるものの、表1の結果からは運動パラメータとの間に強い相関関係は認められなかった。

次に図1は運動負荷後に計測を行った80秒間のうち、最初の20秒間を除いた60秒間を前半30秒間と後半30秒間とに分け、それぞれの区間内で運動パラメータの計算を行った上で、前半/後半の比率をプロットしたものである。ここで、運動負荷によりバランス感覚に軽度の失調が生じ、

表1 安静時における運動パラメータと相互の相関関係

	Average, STDEV	Correlation Coefficient				
		ATL	AVTL	AATL	AVrms	COG
Height	168.3±6.7 cm	0.348	0.444	0.514	0.273	-0.399
ATL	4.23±0.96 m/s		<b>0.953</b>	<b>0.899</b>	0.530	0.226
AVTL	35.1±8.1 deg			<b>0.938</b>	0.645	0.164
AATL	2936±499 deg/s				0.450	0.136
AVrms	1.28±0.22 deg/s					0.082
COG	2.14±0.29 cm					

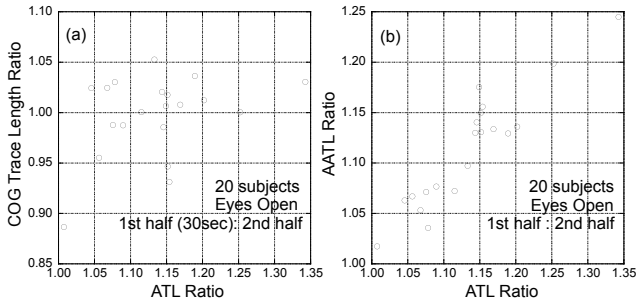


図1 運動負荷に対する運動パラメータの挙動

時間経過とともに回復して行くことを仮定すれば、運動パラメータ比は少なくとも1.0以上、すなわち前半30秒間の方が後半30秒間よりも大きな値となっていることが期待されるが、図1(a)ではCOGについてはほとんどそのような傾向は見られないことが分かる。これに対し、表1にて安静時にかなり強い相関関係を示していたATL及びAATL(相関係数0.899)については、図1(b)により運動負荷後においても関係性が保たれていることが確認できる。

以上により、頭部動揺を計測することで得られる運動パラメータについては、重心位置軌跡長(COG)には含まれていない身体状態に関する情報が含まれていることが分かった。また、運動信号波形の周波数成分解析を行ったところ、COGではほとんど成分が皆無である5Hz以上の周波数領域において、頭部動揺に伴う加速度および角速度では、10Hzないし20Hz程度の領域にて運動負荷の有無に対応して大幅に変化する成分の存在が確認されている。

#### 4. 日常生活モニタリング実験

運動負荷に対する体重心動揺と頭部動揺との違いを確認する実験に続き、日常生活における運動パラメータの変化に関する検証実験を行った。ここでは、被験者は1名のみ(47歳、男性)とし、2012年3月14日から4月27日の約45日間の中で、ほぼ同一の時刻(午前8時)に同一の条件(睡眠時間、起床時刻、計測を行うまでの行動等をできる限り統一)で計31日間について運動の計測を実施している。実験では、実験室到着後30分の休憩時間を置いた後、直立開眼にて160秒間計測を行い、計測開始後20秒経過後から60秒間分のデータにて各種運動パラメータの計算を行った。表2は、31日分の計測データを用いて運動パラメータの値並びに相関関係を計算したものであるが、先の20名の被験者による実験結果と同じく、COGと他の運動パラメータの間にはほとんど相関が見られないことが分かる。続いて、図2は計測を行った日付に対し、ATL及びCOGの変動をプロットしたものであるが、ATLでは網掛けに示したウィークエンドの休日をはさんでATLが周期的に変化しているのに加え、年度初めにあたる第2週より5月連休前にあたる第6週にかけて、徐々にATLの平均値が低下し、身体が次第に「揺れなく」なっている様子が見て取れる。これに対し、COGについてはこのような傾向

表2 日常的な運動パラメータ変動と相関関係

	Average, STDEV	Correlation Coefficient				
		ATL	AVTL	AATL	AVrms	COG
ATL	3.14±0.15 m/s		<b>0.938</b>	<b>0.895</b>	0.593	0.431
AVTL	25.5±1.4 deg			<b>0.882</b>	<b>0.723</b>	0.392
AATL	2338±70 deg/s				0.534	0.404
AVrms	0.79±0.04 deg/s					0.372
COG	1.64±0.04 cm					

47-year-old, male  
31 measurements

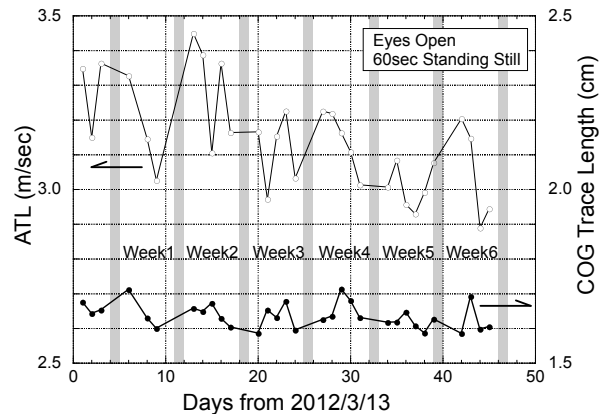


図2 日常生活における運動パラメータの変動

は観察されていない。一方、開眼での計測に引き続き行った閉眼計測実験では、COGについては常に開眼時よりも値が増大する現象(ロンベルグ率>1)が観測されているが、ATL、AVTL、AATLでは明確な数値変化は認められなかった。

#### 5. まとめ

軽運動負荷からの回復過程ならびに、日常生活リズムに対する応答という視点から、体重心動揺計測と頭部動揺計測とは、別の身体状況情報を捉えていることが確認された。

#### 謝辞

本研究における実験にて参加を頂いた東京工科大学コンピュータサイエンス学部関係者一同に深く感謝する。また、本研究は科研費(22500113)の助成を受けたものである。

#### 参考文献

- [1] Benda BJ, Riley RO and Krebs DE, "Biomechanical relationship between the center of gravity and center of pressure during standing", IEEE Trans. on Rehabilitation Eng., Vol. 2, pp.3-10 (1994).
- [2] 松下宗一郎, 細井悠貴, 岩淵圭太, "常時利用可能なヘッドホン型身体バランス状況モニタ", 第10回情報科学技術フォーラム(FIT2011), 講演予稿集第3分冊, pp.47-54 (2011).
- [3] Clark RA, Bryant AL, Pua Y, McCrory P, Bennell K. and Hunt M: "Validity and reliability of the Nintendo Wii Balance Board for assessment of standing balance, Gait & Posture, Vol. 30, pp.307-310 (2010).