

力を検知する腕時計型角速度センサの検討

伊藤聡[†] 中山拓哉[†] 伊藤栄治[†] 梅木智裕[†] 伊藤幹太[†]
相川大[†] 浅野剛司[†] 平山貴之^{††} 浅野貴史[†] 松下宗一郎[†]

スポーツや楽器演奏といった身体運動では、力が生じることによって様々な弊害が発生する。そこで本研究では高感度な運動センサにより、力によって生じる物理的な振動を捉えることで、身体への力の入り具合の推定を試みた。その結果、3次元角加速度ベクトルの軌跡長積算値を用いることで、力の有無を判断できる可能性が見いだされた。

Detection of Strain in Arm Muscle with a Wristwatch-type Angular Velocity Sensor

SATOSHI ITO[†] TAKUYA NAKAYAMA[†] EIJI ITO[†]
TOMOHIRO UMEKI[†] KANTA ITO[†] DAI AIKAWA[†] TSUYOSHI ASANO[†]
TAKAYUKI HIRAYAMA^{††} TAKASHI ASANO[†] SOICHIRO MATSUSHITA[†]

We have investigated a wristwatch-type motion sensor to detect strain in arm muscle, which would affect performance in physical sports as well as in playing musical instruments. Instead of using somewhat obtrusive EMG, an empirical parameter consisting of the angular acceleration vector trace length (AATL) showed a possibility to express the degree of strain.

1. はじめに

スポーツや楽器演奏における身体運動において、何らかの要因により力が入りすぎている場合、フォームの崩れや演奏の不自然さといった好ましくない結果を生じることがある。ここで、身体運動は筋肉の緊張・弛緩運動によって生じていることから、力の度合いを客観的に評価する手法としては、筋電図 (EMG) が広く用いられている。例えば文献[1]においては表面筋電位計による分析から、力が運動に与える影響の評価を行っている。しかしながら、表面筋電位計による EMG 計測では電極の装着に手間がかかることや、発汗の影響を受けやすいといった欠点があり、いつでもどこでも手軽かつ再現性よく、力の評価を行うことは容易ではない。また、運動によって発生するアーチファクトが大きく、力そのものを明確に分離して観測することは困難である。

一方、筋肉に力が生じている際には、メカニカルバイブレーションと呼ばれる物理的な振動が観測されることが知られている。そこで、本研究では被験者の前腕に表面筋電位計と共に高感度な運動センサを装着し、手を強く握ることで力を人為的に生じさせた際の信号計測を試みた。その結果、表面筋電位計においては、力の有無に対し約2倍程度の電位変動が観測されると同時に、前腕を左右によじる方向への角速度信号を中心に、運動信号の様態に変化が生じていた。そこで、本研究では、いつでもどこでも気軽に利用することができる腕時計型の運動センサにより、力の有無を検知する手法についての検討を試みた。

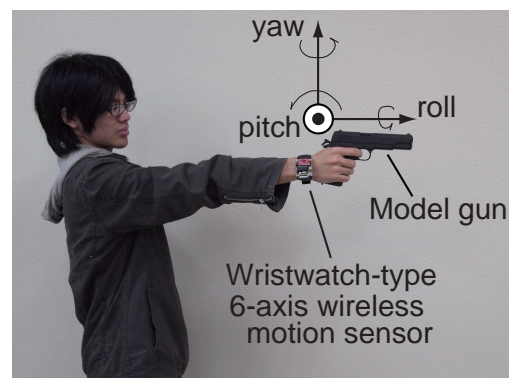


図1 腕時計型ワイヤレス運動センサ
Figure 1 Wristwatch-type wireless motion sensor

2. 腕時計型ワイヤレス運動センサ

図1に本研究において使用した腕時計型ワイヤレス運動センサを示す。運動センサは3軸加速度センサ ($\pm 2G$, $1G = 9.8m/s^2$) 及び3軸角速度センサ ($\pm 250dps$) にて構成されており、計測結果を秒速100回にてワイヤレスでノートPC等に送信することができる。ここで、角速度センサについては、重力加速度の影響を原理上受けにくいことや、運動体が1つの剛体と見なせる場合には、センサの取り付け位置によらず同じ回転角速度が観測されることから、使用状況の変動に対してロバストな計測を行えることが期待される。一方、加速度センサは、運動体が回転運動を行っている際には、回転中心からセンサまでの距離によって計測結果に大きな違いを生じることから、センサ取り付け位置が変化した際の再現性確保が困難である。そこで、本研究では角速度を中心に力み評価手法の検討を進めることとした。

[†] 東京工科大学 Tokyo University of Technology
^{††} 慶應大学大学院 Keio University, Graduate School

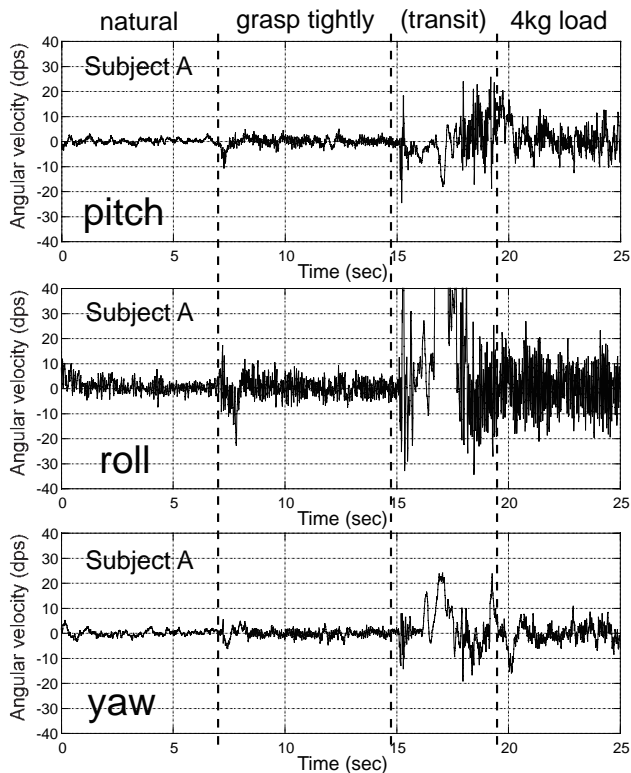


図 2 前腕における振動運動の計測結果
Figure 2 Vibratory motion in the forearm

3. 力を表現する運動パラメータ

前腕に力が生じた際に観測される振動運動について、腕時計型運動センサによる計測を試みた結果を図 2 に示す。ここでは被験者に対し、センサを装着している右腕を体の真横に向かって伸ばし、右手が肩の高さにくる位置にて自然に静止させた後、力をこめて右手を握る、約 4kg の物体を右手で持つ、という動作をそれぞれ約 5 秒間ずつ行ってもらった。その結果、手首をひねる方向の回転軸まわり (roll) の角速度の大きさが、運動様態によって比較的顕著に変化していくことが分かった。

続いて、角速度変動の様子を定量化する方法として、平均角速度 (AV: Angular Velocity) とともに、文献[2]にて静止安静時の頭部運動解析によりバランス感覚維持状態を推定できることが報告されている角加速度軌跡長 (AATL: Angular Acceleration Trace Length) による評価を試みた。ここで、時刻 n (n はサンプリング順を表す整数) における 3 軸角速度を、pitch, roll, yaw の各軸について、 p_n, r_n, y_n と表すと、AV 及び AATL は、 α, β を積算を行う時間区間に対応する正規化係数として、以下のように計算される：

$$AV = \alpha \sum \text{SQRT}(p_n^2 + r_n^2 + y_n^2) \quad (\text{式 1})$$

$$AATL = \beta \sum \text{SQRT}((p_{n+1} - 2p_n + p_{n-1})^2 + (r_{n+1} - 2r_n + r_{n-1})^2 + (y_{n+1} - 2y_n + y_{n-1})^2) \quad (\text{式 2})$$

ここで、これらの計算式は 3 つの回転軸に対して対称な形となっており、運動センサの取り付け位置や姿勢による影

響を受けにくいことが期待される。そして、3 つの運動様態についてそれぞれ 5 秒間ずつの時間区間にて計算を行った結果、自然に腕を伸ばしている時に比べ、右手に力を込めた際には AV, AATL 共に増加していることが分かった。

4. 力による前腕振動の数値化

3 軸角速度を計測することで、力によって生じた前腕の振動の程度を数値化することの可能性が示されたため、複数の被験者にて AV, AATL の計測を試みた。ここでは、7 人 (20-23 歳, 男性) の健常者について、右腕に腕時計型ワイヤレス運動センサを装着した上で、静止 (natural), 力をこめて右手を握る (grasp), 4kg の物体を右手で把持する (loaded) の 3 つの動作を、順に約 5 秒間ずつ行ってもらった。その結果を AV については表 1, AATL について表 2 にそれぞれ示す。ここで、AV については被験者 C 及び D において、力をこめた時の方が静止時よりも数値が低下する逆転現象が見られることが分かる。一方、AATL では数値微分によりノイズの影響を受けやすくなっているにも関わらず、このような逆転現象は観測されなかった。

表 1 前腕様態による平均角速度(dps)の変化

Table 1 Changes in averaged angular velocity

subject	A	B	C	D	E	F	G
natural	2.5	2.2	2.5	5.6	2.2	3.1	1.9
grasp	3.5	2.3	2.4	5.5	9.8	8.7	2.1
loaded	11.6	5.7	16.7	8.7	6.6	6.0	5.2

表 2 前腕様態による平均角加速度軌跡長(a.u.)の変化

Table 2 Changes in averaged angular acceleration trace length

subject	A	B	C	D	E	F	G
natural	1.1	1.4	1.6	2.7	0.9	1.6	1.0
grasp	3.4	1.9	3.7	4.0	12.0	6.9	2.4
loaded	8.3	5.3	18.2	5.9	5.6	3.8	5.4

以上により、腕時計型角速度センサにより、運動パラメータ AATL (角加速度軌跡長) を計算することで、前腕に生じた力みの様態を客観的に観測することの可能性が見いだされた。そこで、今後はより詳細な計測実験を進め、パラメータの信頼性を評価していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 岩本直也, 今井覚志, 斎藤隆文: Study of the Instruction Effect using Force Plates and EMG in Straight Punching: 筋電計と床反力計を用いたストレートパンチにおける教示効果の検討, 理学療法科学, Vol.29, pp.577-582,(2014)
- 2) 松下宗一郎, 細井悠貴, 岩渕圭太: 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 回情報科学フォーラム FIT2011 講演論文集, 第 3 分冊, pp.47-54, (2011)