

胼胝・鶏眼の有無によるモーションセンサを用いた歩容の比較

Comparison of callus or clavus feet and normal feet gait features using motion sensors

○ 雨宮歩(東大) 野口博史(東大) 大江真琴(東大) 竹原君江(東大) 山田案美加(東大)
高野学(東大) 大橋優美子(東大病院) 植木浩二郎(東大) 門脇孝(東大) 真田弘美(東大)
森武俊(東大)

Ayumi AMEMIYA, Hiroshi NOGUCHI, Makoto OE, Kimie TAKEHARA, Amika YAMADA, Manabu TAKANO,
Yumiko OHASHI, Kohjiro UEKI, Takashi KADOWAKI, Hiromi SANADA, Taketoshi MORI
The University of Tokyo

Abstract: A purpose of this study is to clarify whether callus and clavus are related to gait features, and if so, it is revealed what kind of gait features are related to callus and clavus. It will be useful for prevention of the callus and clavus. For 107 subjects, gait features were measured. To measure the gait features, motion sensors were attached on sacral and dorsal feet. The gait features were defined as amplitude of acceleration, angular velocity and angle in this study. The new results were found that the motion of body yaw was related to the callus feet, and no gait features were related to the clavus feet, though so far the risk factors of the callus and clavus had not distinguished. The intervention may be able to do by gait improvement for prevention of callus in the future.

Key Words: Gait analysis, Callus foot, Clavus foot, Motion sensor, Prevention of callus and clavus

1. 背景

胼胝(Callus)とはいわゆる‘タコ’のことで、局所性の反復機械的刺激で生ずる板状過角化と定義される(Figure 1)⁽¹⁾。鶏眼(Clavus)とはいわゆる‘ウオノメ’のことで、骨、関節などの硬い組織がある皮膚に、慢性、間欠的な圧迫、伸展が加わることにより角質増生したものと定義されている(Figure 2)⁽²⁾。胼胝や鶏眼は、圧迫や摩擦などの機械的刺激が反復している部位、骨の突出部に一致して好発する⁽²⁾。胼胝は板状に角質化し肥厚するにつれ圧痛を伴うことがあり、鶏眼は角化性の核が真皮まで陥入し発症初期から圧痛を伴うことが多い。さらにこれらは外科的切除を行っても繰り返し同じ部位に発症することがほとんどであるため、その原因を検討し発症または再発を予防することが重要である。

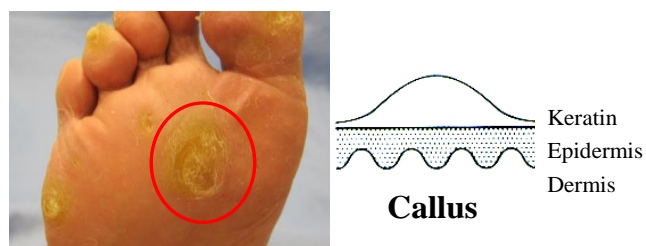


Fig. 1 Callus



Fig. 2 Clavus

胼胝と鶏眼は同様に足底圧とせん断力が原因であると言われて⁽³⁾にもかかわらず形状が異なるため、それらの力のかかり方が異なるのではないかという仮説を立てた。例えば、胼胝は表面的にずれるような圧力のため表面に広がるように角質肥厚が起き、鶏眼はねじるような圧力と床からの反力が強くかかるため表皮・真皮等の皮膚深層に角質肥厚が起こるのではないかと考えた。胼胝や鶏眼は足と同じ部位に繰り返し発症することからも、歩行のように繰り返すその人特有の動作がその発症に関連している可能性がある。ある歩容(歩き方)の結果、このような胼胝と鶏眼で異なる力が足底に繰り返しかかりこれらが発症している可能性がある。しかし今までに胼胝や鶏眼と歩容の関係はほとんど調査されていない。胼胝と鶏眼をより効果的に予防するために、胼胝と鶏眼を区別して歩容との関連を検討する必要がある。

本研究の目的は、胼胝と鶏眼がそれぞれどのような歩容と関連しているかを明らかにすることである。

2. 方法

2-1 デザイン

横断観察研究

2-2 被験者

本研究は糖尿病患者の歩容を検討した解析したデータを二次的に利用して行われた。被験者は大学病院の糖代謝内科足外来を受診した糖尿病患者 57名(糖尿病足病変予防のための外来に来院した患者)と、機縁法により募集した非糖尿病患者 49名であった。除外基準は独立歩行困難な者、脳梗塞や筋萎縮、後遺症のある骨折など歩行に影響のある疾患、既往のある者、測定用フットウェアのサイズが合わない者とした。

2-3 調査期間

2012年4-11月

2-4 調査方法

<胼胝・鶏眼判断方法>

被験者 107名の両足の 214足のうち、歩行によって

発生したと考えられる部位に胼胝がある足を歩容関連胼胝足、鶏眼がある足を鶏眼足、それ以外を非胼胝鶏眼足とした。胼胝と鶏眼がある場合は、大きな胼胝の中にいくつかの小さな鶏眼があることが多く、胼胝の方がより強い症状がでていていると考え、歩容関連胼胝足とした。

胼胝の診断基準は明確化されておらず、通常エキスパートオピニオン等で判断されている。今回の判断基準として角質の肥厚部分に触って簡単につまめる場合は若干の角質肥厚とし、つまみにくい場合やつまめない場合は胼胝とした。また、中足骨頭部や第1趾外側などは歩行による考え、第2-5趾先端の胼胝などはフットウェアがあたることで発生すると考え、胼胝なしとした。

鶏眼はフットケアの臨床経験を有する看護師が足底に角化性の核を認めた場合に鶏眼足と判断した。

<歩容測定方法>

被験者の通常の状態での歩容を測定するために、出来るだけ特別ではない環境で簡便に測定できることを考慮し、歩容の測定には9軸ワイヤレスモーションセンサ(株式会社ロジカルプロダクト)を使用した。このモーションセンサは、できるだけ低拘束・低侵襲になるよう、軽く(35g)小さい(55x40x22mm)ものであり、加速度センサ、角速度センサ、地磁気センサをそれぞれ3軸分ずつ搭載し、無線を使用した遠隔計測を行うことができ、測定手法の確立されているワイヤレスセンサーモジュールである。今回は加速度と角速度のみを使用した。仙骨部の加速度センサの計測範囲は±5G、角速度センサは±300 degree per secondであり、両足背の加速度センサの性能は±5G、角速度センサは±1500 degree per second, 12bitで取得される。このモーションセンサを身体の重心である仙骨部と両足背に装着し、加速度と角速度を測定し、バンドパスフィルタ(0.5-20Hz)をかけた後に角速度を積分し角度を算出した。

フットウェアの影響が結果に混ざらないよう様々なフットウェアに関するプレテストを行い、素足の状態をほぼ再現できたヒールのない靴底の平らな市販のフットウェアを使用した。ポリエステルを使用しており、足を圧迫せず適度に伸縮性があるため糖尿病患者でも安心して着用することができ、フットウェアの中で足がずれにくいという特徴がある。患者の足のサイズに合わせて3サイズ(22.0-23.0, 23.5-24.5, 25-26cm)用意した。このフットウェアの底面に F-scan systemの圧力センサシート(ニッタ株式会社)を挿入した。なお、圧力分布センサシートは約5x5mmのセルが960個あり、分解能としてそれぞれの点は8bitの情報収集できる。今回の研究では、1bitあたり約0.05kg/cm²である。足底圧センサデータは一歩行周期を切り出すために使用した。

両足背にモーションセンサを装着する際、固定しやすくするためと被験者の苦痛を軽減するために足背とセンサの間に低反発ウレタンを挟み固定した。調査者は、Figure 3に示したような圧力データ収集用パソコンとモーションセンサのデータ送受信装置をのせたカートを押して、被験者の後を追ってデータを収集する。練習歩行の後、約20mの廊下を通常歩行する速度で1度歩行した。各センサのデータは全て200Hzで収集した。モーションセンサと足底圧センサデータ

は同期をとり、歩行開始時と終了時の最低3歩分を取り除いた約15-22歩分のデータを分析に採用した。

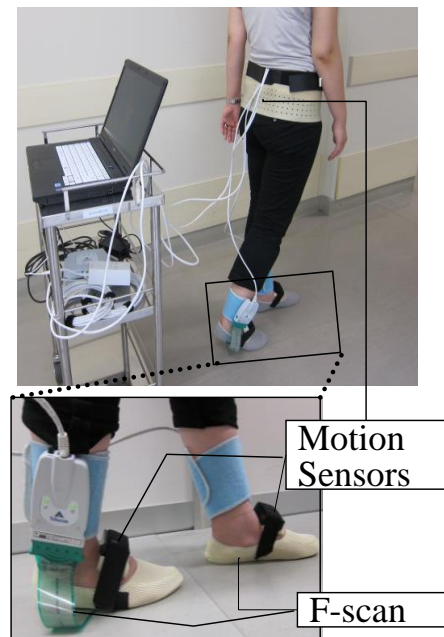


Fig. 3 Measurement system

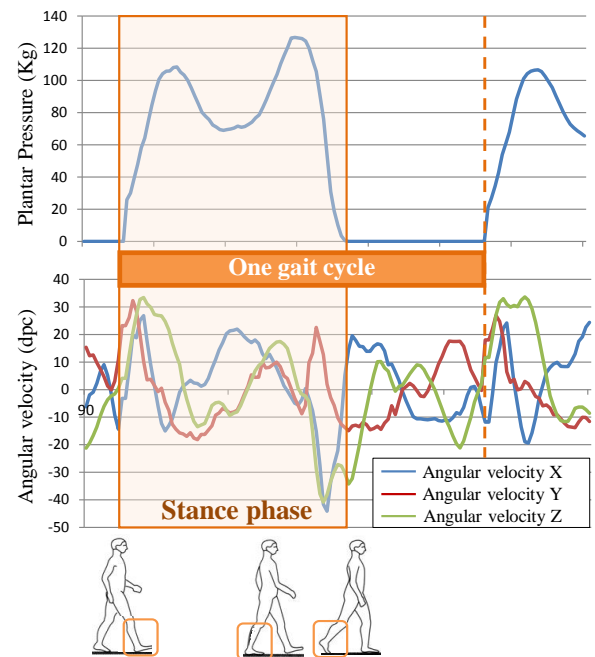


Fig. 4 One gait cycle of plantar pressure and angular velocity of body

2-5 センサで測定した変数

モーションセンサの波形よりも明確に立脚期の区別ができるため、歩行周期を区切る基準として足底圧の波形を使用した。足底圧の立ち上がり(踵接地)から次の同足側の足底圧の立ち上がり(踵接地)までを一歩行周期とした(Figure 4)。

<歩容変数>

身体の重心と足背の、加速度(Accel) 3軸(垂直方向、AP(Anterior-Posterior)方向、ML(Medio-Lateral)方向)と角速度(AngVelo)と角度(Angle) 3軸(Roll, Pitch,

Yaw) ずつの最大の動きの幅(Range) の値、垂直方向の加速度と Pitchの下方向(Down) を1歩ごとに最大値を片足ずつ算出し 15-22 歩分を平均した、24 変数とした(Figure 5)。

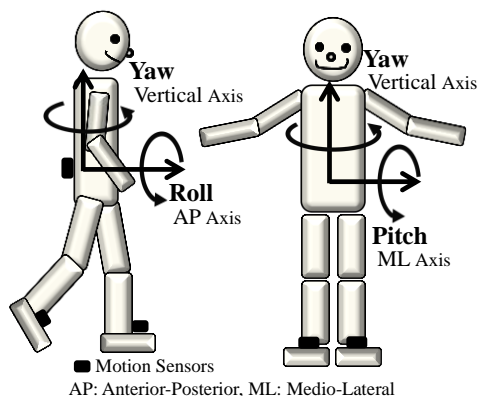


Fig. 5 Three-dimensional axes

2-6 解析

被験者の基本属性は歩容関連胼胝足群と非胼胝鶏眼足群、鶏眼足群と非胼胝鶏眼足群でそれぞれ糖尿病の罹病率に違いがないことを確認した後に糖尿病患者

と非糖尿病患者を合わせて t 検定と χ^2 検定を実施した。歩容の変数は胼胝・鶏眼を有する足毎に特性が異なると考えられるため被験者毎ではなく足毎に分析を行い、同様の群間においてそれぞれ t 検定を実施した。t 検定で $p < 0.10$ の歩容の変数に関して多重共線性を確認後、ロジスティック回帰分析をステップワイズ法で実施した。

3. 結果

Table 1 Characteristics of the subjects

	Normal feet n=161	Gait related Callus feet n=32	Clavus feet n=21	Callus/Normal p-value	Clavus/Normal p-value
Age(y)	66.5±11.3	67.9±8.6	62.2±8.5	0.525	0.096 ¹⁾
Sex					
Male	98(60.9)	20(62.5)	12(57.1)	0.980	0.927 ²⁾
Female	63(39.1)	12(37.5)	9(42.9)		
Height(m)	1.62±0.09	1.62±0.09	1.62±0.07	0.932	0.950 ¹⁾
Weight(kg)	62.1±13.9	63.1±8.1	59.5±11.7	0.694	0.414 ¹⁾
Diabetes					
Yes	90(55.9)	15(46.9)	9(42.9)	0.458	0.370 ²⁾
No	71(44.1)	17(53.1)	12(57.1)		
	mean±SD, n(%)			1) t-test, 2) Chi-square test	

Table 2 Comparison of all gait features in callus or clavus feet and normal feet

		Normal feet (n=161)	Gait related Callus feet (n=32)	Clavus feet (n=21)	Callus/Normal p-value	Clavus/Normal p-value
Body Accel (g)	ML Range	0.85±0.29	0.74±0.19	0.78±0.21	0.059 [†]	0.349
	Vertical Range	0.96±0.23	0.97±0.17	0.91±0.17	0.779	0.294
	Vertical Down	0.60±0.09	0.64±0.06	0.61±0.06	0.029	0.770
	AP Range	0.78±0.27	0.71±0.15	0.72±0.14	0.123	0.300
AngVelo (dps)	Roll Range	90.43±33.61	81.65±21.29	96.22±33.40	0.151	0.478
	Pitch Range	58.90±22.10	57.25±17.66	59.21±18.55	0.688	0.953
	Pitch Down	24.35±9.48	20.30±5.75	22.58±6.25	0.019	0.429
	Yaw Range	88.72±26.87	77.52±21.93	85.36±22.71	0.026	0.602
Angle (deg)	Roll Range	3.07±1.11	2.49±0.56	3.25±0.93	0.004 [†]	0.488
	Pitch Range	1.94±0.74	1.82±0.45	1.94±0.54	0.382	0.992
	Pitch Down	0.88±0.64	0.90±0.51	0.92±0.61	0.881	0.816
	Yaw Range	5.12±2.50	3.84±1.26	4.92±2.05	0.004 [†]	0.742
Foot Accel (g)	ML Range	0.65±0.24	0.65±0.26	0.61±0.19	0.961	0.481
	Vertical Range	0.73±0.28	0.67±0.15	0.69±0.20	0.219	0.618
	Vertical Down	1.00±0.30	0.95±0.21	0.96±0.31	0.322	0.611
	AP Range	1.26±0.48	1.21±0.36	1.19±0.30	0.547	0.525
AngVelo (dps)	Roll Range	335.66±99.05	315.78±78.53	351.85±102.62	0.280	0.503
	Pitch Range	950.68±148.17	909.45±83.82	947.48±97.63	0.124	0.927
	Pitch Down	609.52±110.93	569.36±67.01	609.70±78.78	0.047 [†]	0.995
	Yaw Range	360.91±116.99	328.95±75.87	377.96±157.60	0.134	0.564
Angle (deg)	Roll Range	7.61±2.58	7.77±2.26	8.20±2.77	0.747	0.351
	Pitch Range	38.93±7.84	38.38±4.79	38.67±5.00	0.700	0.887
	Pitch Down	37.04±7.63	36.13±5.14	36.54±5.02	0.511	0.778
	Yaw Range	9.43±3.98	8.72±3.02	9.48±5.74	0.333	0.961

†: The variables put into the logistic-regression analysis.

mean±SD

t-test, $p < 0.05$

3-1 基本属性

歩容関連胼胝足(Gait related Callus feet) は 32 足、鶏眼足(Clavus feet) は 21 足、非胼胝鶏眼足(Normal feet) は 161 足だった。歩容関連胼胝足群と非胼胝鶏眼足群、鶏眼足群と非胼胝鶏眼足群では年齢、性別、体重等に有意な差はみられなかった。また、糖尿病の有無でも有意差はなかった(Table 1)。

3-2 歩容関連胼胝足と非胼胝鶏眼足の比較

歩容関連胼胝足と非胼胝鶏眼足の比較では、いくつかの歩容の変数に有意差がみられた(Table 2)。さらに $p < 0.10$ の歩容の変数に関して多重共線性を確認した後、Body ML Accel Range, Body Roll Angle Range, Body Yaw Angle Range と Foot Pitch AngVelo Down の 4 つの変数をロジスティック回帰分析に投入し、Body Yaw Angle Range と歩容関連胼胝足に有意な負の相関がみられた(Table 3)。

Table 3 Gait feature related to callus feet

	Log-Odds	OR (95%CI)	p-value
Body Yaw Angle (deg) Range	-0.33	0.72 (0.56-0.91)	0.001

Logistic Regression Analysis, Stepwise Selection (n=193)

3-3 鶏眼足と非胼胝鶏眼足の比較

鶏眼足と非胼胝鶏眼足の比較では、有意差のある歩容が全くなかった(Table 2)。

4. 考察

今まで胼胝と鶏眼の発生要因は明確に区別されていなかったが、本研究の結果より、胼胝のある足と身体の重心のYawの動きが小さいことが関連しており、鶏眼のある足と関連している歩容はないという新たな知見が得られた。

胼胝は歩行時に身体の重心のYaw方向の動きが小さい歩容が原因となり、足の同じ部位に圧力がかかり発生する可能性がある。さらに、身体の重心のYawの動きが小さいことと胼胝の関連のみが最終的に抽出された理由としては、身体の重心のYaw方向の動きが小さいことで遊脚期に足が上がりず、すり足になっていることが考えられ、すり足の動きが胼胝と関連している可能性がある。Yawは水平面の動きであり、従来胼胝と関連していると言われているせん断力を反映している可能性が考えられる。

鶏眼の有無では歩容に有意差が全くみられなかった。よって、鶏眼と歩容には関連がないと考えられる。今回の研究のように素足の状態を仮定して測定した解析の際には鶏眼足は非胼胝群として分類が可能であると考えられる。そして、歩容とは関係なくフットウェア等が合わず、歩行時に足の同じ部位にフットウェア等が接触することで圧力がかかり発生することが考えられる。

その他の結果として、糖尿病患者は非糖尿病患者と比較して足底圧が高いことが知られているが⁽⁴⁾、胼胝や鶏眼を有する割合としては糖尿病患者と非糖尿病患者で有意差がみられず、糖尿病患者の方が胼胝を発生しやすいとは言えないことも明らかになった。

本研究は横断研究であり、胼胝や鶏眼があることで歩容が異なる可能性も考えられる。歩行時に疼痛を伴うことが多い鶏眼において、胼胝と比較してより歩行に影響を及ぼす可能性が考えられるが、今回の結果からは鶏眼の有無で歩容の変数に差はみられていないことから、少なくとも鶏眼が今回の歩容の変数に影響しているとは考えにくい。

5. まとめ

胼胝と鶏眼の予防のため、これらがどのような歩容と関連しているかを調査した研究である。今まで胼胝と鶏眼の発生要因は明確に区別されていなかったが、本研究の結果より、胼胝のある足と身体の重心のYawの動きが小さいという歩容が関連しており、鶏眼のある足と関連している歩容はないという新たな知見が得られた。

今後、さらに詳細な胼胝と歩容の知見を得るため、歩容と同時に胼胝の発生要因と言われているせん断力の測定を検討する。そして、圧力やせん断力に関連した歩容を改善することで胼胝を予防し、さらに鶏眼に関しては、どのような足と靴の形状の場合に圧力がどの程度かかり発症するのかを調査することで胼胝と鶏眼の予防につなげることができると考える。

参考文献

- (1) 石橋康正, 大河原章, 新村真人, 高久史磨 編, 図説皮膚疾患講座, 第1巻, pp151, 1992.
- (2) 清水宏, あたらしい皮膚科学, 第2版, pp. 278-279, 2011.
- (3) International Working Group on the Diabetic Foot, Practical guidelines on the management and the prevention of the diabetic foot: based upon the international consensus on the diabetic foot prepared by the International Working Group on the Diabetic Foot, 2007.
- (4) Boulton AJ, Hardisty CA, Betts RP, Franks CI, Worth RC, Ward JD, Duckworth T, Dynamic foot pressure and other studies as diagnostic and management aids in diabetic neuropathy, Diabetes Care, vol. 6, no. 1, pp.26-33, 1983.