

スキー装具 AGAINER による 滑走中の筋力変化について

服 部 英 一

On Changes in Muscle Strength during Skiing with AGAINERS Ski Assist

Eiichi HATTORI

Abstract

The AGAINER is a shock absorbing exoskeleton for skiing. It provides a dampening and support at the knees using an adjustable gas spring. The AGAINER is one of the first commercial exoskeletons designed with a very specific application in mind, skiing. It is a passive, knee only exoskeleton. The AGAINER takes advantage of the rigid boots that skiers have to wear in order to connect to their skis and integrates them as part of the exoskeleton. How AGAINER's adjustable gas springs act on the body was tested by measuring electromyography. The measurements were first performed on flat ground, and then compared with the device on and off during vertical bending movements. Next, they performed parallel turns on the snow with and without the device. The results showed that wearing the device reduced the load on the vastus lateralis muscle.

Keywords: Exoskeleton, AGAINERS, Electromyography, Parallel turns

1. 緒 論

AGAINER はスロベニアで開発されたスキー用の衝撃吸収外骨格である。調節可能なガススプリングを使用して、膝の部分にダンパーとサポートを提供することによって、滑走時の下肢への負担を軽減する補助具である。こうした補助具は、下肢への負担を軽減できるため、長い距離を滑る際に役立つばかりか、中高年のスキーヤーにとっても有益であると考えられる。先行研究は、2018年ラトビアのリガ工科大学の大学院論文で V. Valeika (2018)^① は「AGAINER スキー外骨格のビジネス開発戦略」について述べており、この補助具がスキーヤーの膝への負担を最大70%削減し膝の筋力を補助できることを記述しているが、科学的な根拠となる数値を確認できなかった。牛山 (2005)^② ら

の「膝関節角度を参照した筋電図解析によるスキー運動時筋疲労評価システム」は、表面筋電図から求められる周波数情報（MPF）で筋疲労を解析しているが、外側広筋のMPFの変化から滑走中に筋疲労が蓄積する傾向を明らかにした。滑走中に外力が加わると筋肉は収縮する。このとき発生する微弱な電気信号を筋電と呼び、時間軸に対して筋電位を図に表記したものが筋電図^③である。滑走中に外側広筋に加わる外力が大きかったことをその原因として示しており、雪上での筋電図測定の参考となった。

そこで AGAINER がスキーヤーの下肢筋力にどのように影響するのか、ワイヤレスの筋電計測器を用いて、AGAINER 非装着と装着時の平地と滑走中の筋電図を測定し検証した。

2. 方 法

AGAINER とはスキー補助具である。図 1 は、AGAINER の構成パーツである。膝関節を介して大腿骨と脛骨部裏側に固定機具を巻き付け、末端はスキーブーツのアップーシェル裏側に結合部を設置し装具と連結する。大腿骨側の装具と脛骨側の装具の関節部はエアシリンダーが取り付けられており、可変的に空気圧を変えることができる。シリンダー内の圧を固定すると屈伸時に上体の重量を受け止める仕組みになっている。AGAINER が上体の重量を受け止めることにより、下肢筋力への負担を軽減する仕組みになっている。

まずスキーブーツにブーツコネクタの中心がブーツセンターと一致していることを確認してブーツコネクタを取り付ける。AGAINER 本体は、膝関節を支点に大腿屈筋群と腓腹筋にかけて隙間ができないように装着する。ストラップの反対側にあるマジックテープから剥がして、AGAINER の太もものストラップを開く。プラスチック製のスイッチを引いて、下肢ストラップのバックルを開く。ガススプリングスイッチを回してガススプリングサポート機能がオフになっていることを確認する。ストラップは大腿部と脛骨部で固定した後に、ブーツコネクタのノブにスライドさせて接続する。滑走時には、ガススプリングサポート機能をオンにして使用する。

筋電の計測は、メディアサポート企業連合の小型軽量筋電計測器「EMG マスターシリーズ—Km-Mercury—」を使用した。この計測器は、無線・小型・軽量でありながら PC 画面上にリアルタイムで計測結果を表示することが可能である。

実験には以下を使用した。

【基礎医学研究機器 / 計測機器】

EMG マスター Km-Mercury 8ch 一式

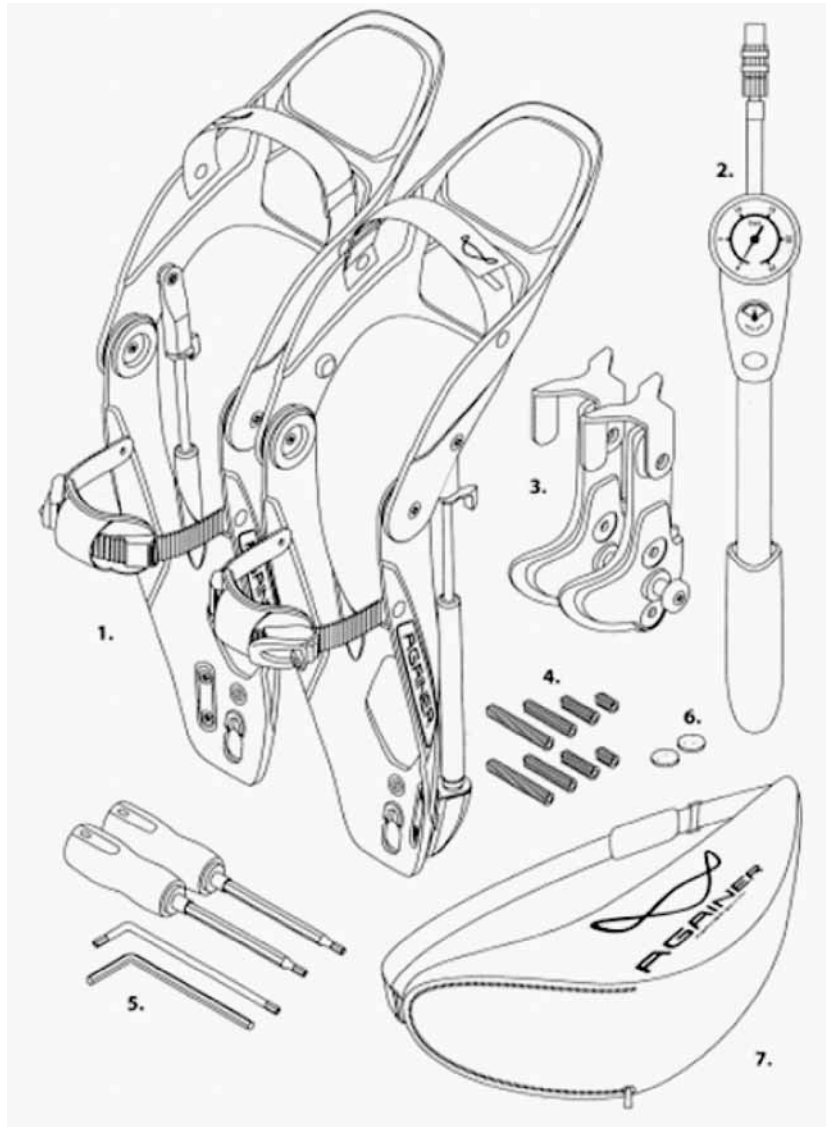


図1 Components of the AGAINER System

Components of the AGAINER System

1. AGAINERS (1 pair)
2. Pump (1 pcs.)
3. Boot connectors (2 pcs.)
4. Screws (8 pcs.)
5. Tools: Torx (3 pcs.), Hexagon (1 pcs.)
6. Rubber pads for boot protection and increased grip (2 pcs.)
7. AGAINER bag (1 pcs.)

Medi-105MT 小型 4ch マルチ生体アンプ送信機一体型 ×2

Medi-Re 受信機 ×1

Km-104 波形表示ソフト ×1

m-FFT FFT 解析表示ソフト ×1

Km-Mercury Wavelet e 解析表示ソフト ×1
Medi-Cable 2ch 筋電接続ケーブル ×2

本プログラムは 4ch の筋電図と 1ch のマーク信号入力を取り込み 2 個の SW もしくは (圧電極) で (0.5 V, 1 V, 1.5 V) で 3 種の合成矩形波を出力する。筋電図波形の表示を行いながら筋電図の量と質に対応した値を、デジタル値と棒グラフ (レベルメータ) でリアルタイムに表示し、又経時の変化をリアルタイムにトレンドグラフ表示する。筋電図の量は単位時間 (1/8 秒) ごとに、全波整流筋電図平均値 (μV) を求める。筋電図の質は同じ単位時間ごとに、筋電図波形の周波数 (wavelet 解析) 分析を行い平均周波数 (MPF : Mean Power Frequency) Hz を求める。周波数分析は突発的变化に追従する Real-Time Wavelet 周波数プログラムでリアルタイムに 4ch 筋電図波形を Wavelet 解析する。8ch 筋電図波形 & 筋電図の平均電圧 (積分値), 平均周波数, 中間周波数, パワー (色濃度) の変化をリアルタイムにトレンドグラム表示する。筋電図の生波形 & 解析値 (筋電量, 周波数), データを記録テキストファイル (CSV 形式) にて保存でき, 筋電図生波形の保存データから再生表示しながら再解析ができ再解析値の保存ができる。

図 2 のように, PC 端末に Km-Mercury 8 (Ver 10.6) をインストールし, USB ハブを介して受信機と接続する。送信側は右大腿部に 4ch を設置した。具体的には 1ch を外側広筋に, 2ch は内側広筋に, 3ch は大腿直筋に, 4ch は大腿二頭筋に設置した。出力端子のコネクター (電極パッド) は, AGAINER 本体のフレームとストラップに干渉しないように貼付した。

実験環境は, 室内でスキーブーツを履き, 装具なしでの屈伸運動と AGAINER を装着した状態での屈伸運動を比較した。スキーブーツは FULL TILT CLASSIC (2018), 図 3 のように, ランプ角 5 度, 前傾角 13 度を使用した。

雪上実験は, 群馬県片品高原スキー場で, 2019 年 3 月 16 日と 3 月 24 日に測定した。4ch の設置部位は室内での計測と同じ部位に貼付し, AGAINER を使わない状態での大回りパラレルターンと AGAINER を装備した状態での大回りパラレルターンで測定した。

場所: 片品高原スキーリゾート

実験: かえでコース (全長 880 m 最大斜度 25 度, 平均斜度 20 度)

スキーブーツは FULL TILT CLASSIC (2018), 前傾角 13 度

スキー板: OGASAKA TC-SC (2017-18)

サイズ: 165 cm

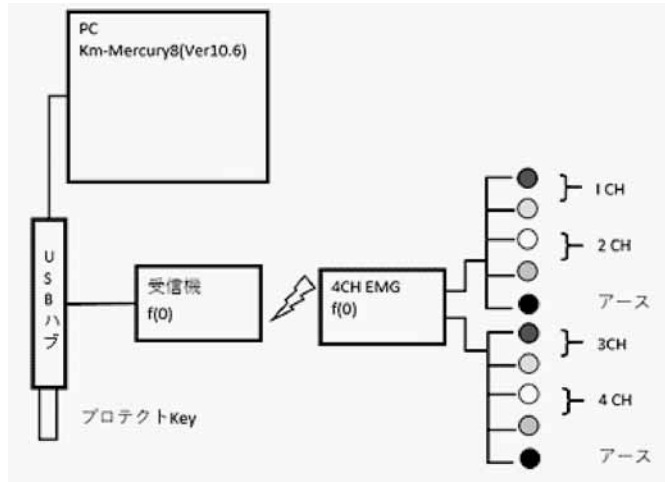


図2 EMG 配線図

主な仕様

入力信号	筋電図：4 ch, マーク：1 ch [サンプリング周波数 1 msec]
マーク信号	マーク入力は SW もしくは圧電極入力 2 個で合成矩形波表示 例：[F1：0.5 V, F2：1 V, F1+F2：1.5 V]
波形表示	取り込み波形のリアルタイム表示, 保存データからの再表示 (解析), 再解析値の保存
解析項目表示	筋電図量 (平均値 (μ V))：単位時間ごとの全整流平均電位を求める。
平均周波数 (MPF)Hz	Real-Taime Wavelet 解析 リアルタイムトレンドグラフ表示 [筋電図量, 平均周波数, 周波数パワー (色濃度)] 表示インターバル 1, 1/2, 1/4, 1/8 (S) のいずれか選択
記録 (保存)	生波形 (筋電図 4 ch & マーク信号) のテキストファイル (CSV 形式) のファイリング 解析データ (平均電圧, 周波数) のテキストファイル (CSV 形式) のファイリング
再解析	保存データ (生波形筋電図) からの再表示, 再解析 & 再解析値のファイリング



図3 スキーブーツの前傾角とランプ角

ラディウス：12.9 m

ディメンション：120-67-101 (mm)

プレート：VIST Speedlock Intra Step Plates (トウ側 14 mm・ヒール側 10 mm)

ビンディング：VIST Speedlock Bindings 412

3. 結 果

Km Mercury に保存されたデータは以下の通りである。DA データは、1ch~4ch 波形データ (CSV data 入力換算値 μV)、DD 解析データは、1ch~4ch の積分値 (平均電圧値)、平均周波数、中間周波数、最大周波数を保存する。DW 解析データは、1ch~4ch の周波数帯域データで、横軸 17.947 Hz~499.605 Hz、縦軸オクターブ分割表示 (25 周波数帯域表示) する。Wavelet 周波数解析で周波数 (17.947~499.605 Hz) 解析している。DW の周波数帯域データは、Graph R のソフトで直接読み込み、Wavelet 周波数 (帯域) 解析のデータに変換した。Wavelet 変換は、周波数解析の手法の一つで、従来困難とされてきた動的条件下 (等張性収縮下) での筋活動評価が可能になった。図 4 のように、X 軸を周波数、Z 軸を周波数パワー密度とし、周波数の低いものから順に並べた周波数パワースペクトルを表示している。Y 軸が時間で、膝の屈伸運動を実施した 7~11 秒の周波数パワースペクトルが高く出ているがわかる。

3-1. 室内での AGAINER 非装着時と装着時の屈伸運動の筋電計測

AGAINER のガスプリングの効果を見るため、室内で AGAINER 非装着時と装着時の屈伸運動の筋電計測を比較した。室内における屈伸運動は、直滑降の姿勢で行った。直滑降の姿勢とはいわゆる中間姿勢のことで、足関節、膝関節、股関節が適度に曲がった姿勢を意味する。吉本⁽⁴⁾らは、第 7 頸椎から下ろした垂線が外果の前方を通るものを前傾姿勢、後方を通るものを後傾姿勢として測定をし、前面筋と後面筋のいずれの筋

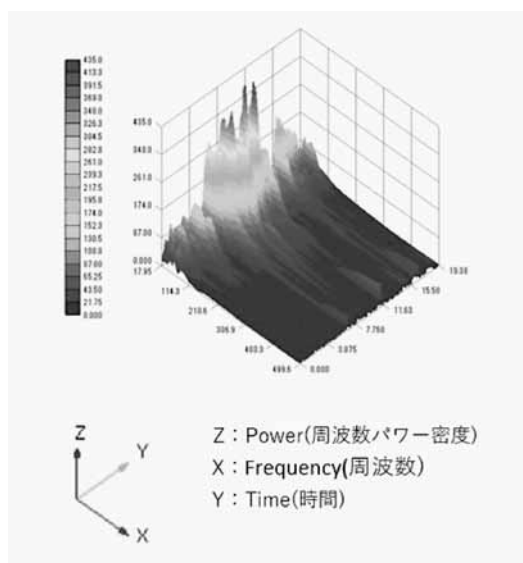
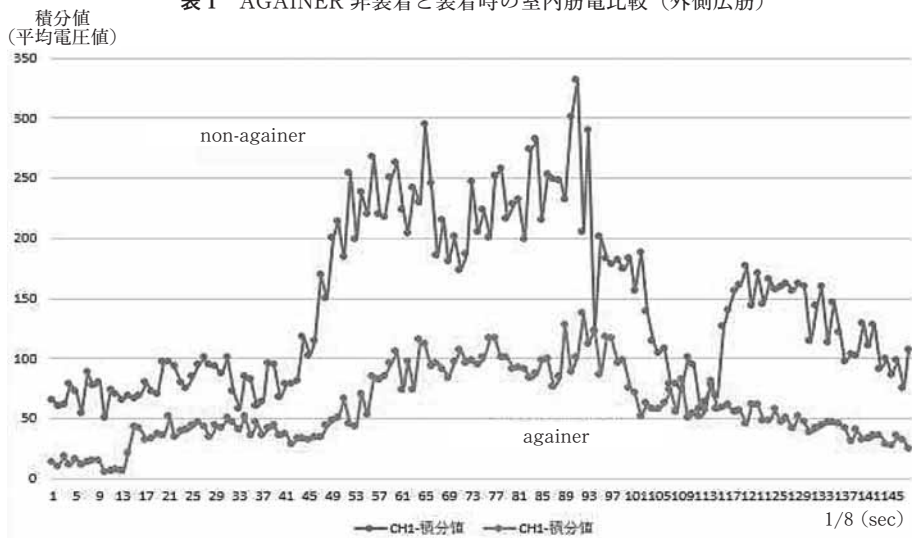


図 4 Wavelet 周波数解析

活動も少ないものを安定した姿勢と考えた。この基準によれば、前傾角 13 度、ランプ角 5 度のブーツで足裏全体に荷重できる中間姿勢は、やや前傾姿勢となった。ブーツを履いた状態での屈伸運動は、10~15 度の可動域で行った。

表 1 は ch1 の外側広筋で、インターバル 1/8 秒で計測した周波数データの積分値を比較したものである。データが同じ被験者内のデータなので、一対の標本による平均の検定を行う。t 値の絶対値が t 境界値よりも高ければ 2 つの標本は統計的に有意な差が見られたことになる。このとき、両側確率 5% となる境界値を与える t の値が「t 境界値 両側」と表示されている値なので、 $|t \text{ 値}| > t \text{ 境界値 両側}$ 、 $p \text{ 値} < 0.05$ のいずれかで有意差があると判断できる。ch1 の外側広筋は、 $21.258 > 1.976$ ($|t \text{ 値}| > t \text{ 境界値 両側}$) だから、2 つの母集合の平均値に有意差があると判断できる。

表 1 AGAINER 非装着と装着時の室内筋電比較（外側広筋）



t-検定：一対の標本による平均の検定ツール

	変数 1	変数 2
平均	145.3175676	58.32432432
分散	4705.116152	922.5743703
観測数	148	148
ピアソン相関	0.755772444	
仮説平均との差異	0	
自由度	147	
t	21.25822447	
P(T ≤ t) 片側	5.47471E-47	
t 境界値 片側	1.655285437	
P(T ≤ t) 両側	1.09E-46	
t 境界値 両側	1.976233309	

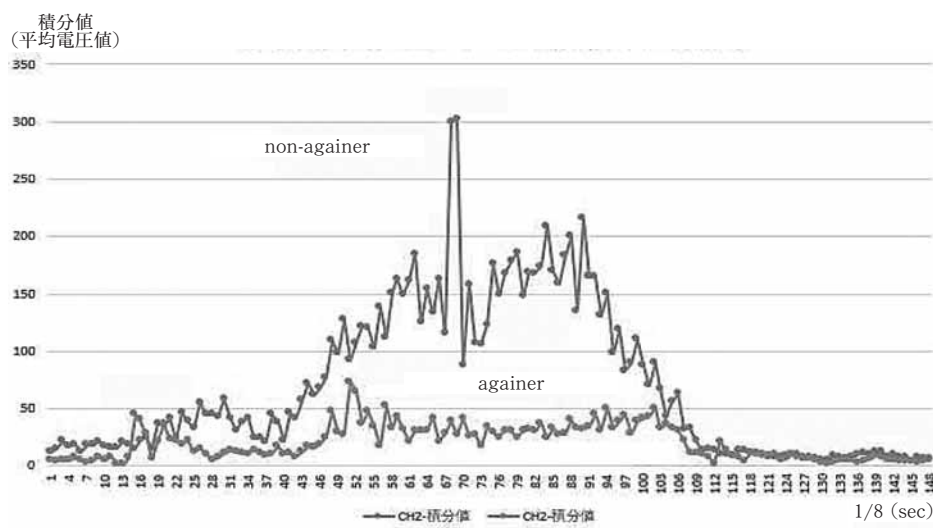
$21.258 > 1.976$ ($|t \text{ 値}| > t \text{ 境界値 両側}$) だから、2 つの母集合の平均値に有意差があると判断できる。

表 2 は ch2 の内側広筋で、インターバル 1/8 秒で計測した周波数データの積分値を比較したものである。10.324 > 1.976 (|t 値| > t 境界値 両側) だから、2 つの母集合の平均値に有意差があると判断できる。

表 3 は ch3 の大腿直筋で、インターバル 1/8 秒で計測した周波数データの積分値を比較したものである。1.024 > 1.976 (|t 値| > t 境界値 両側) × だから、2 つの母集合の平均値に有意差はない判断できる。p 値も 0.3 < 0.05 × なので、有意差はないと判断できる。

表 4 は ch4 の大腿二頭筋で、インターバル 1/8 秒で計測した周波数データの積分値を比較したものである。0.301 > 1.976 (|t 値| > t 境界値 両側) × だから、2 つの母集合の平均値に有意差はない判断できる。p 値も 0.763 < 0.05 × なので、有意差はないと

表 2 AGAINER 非装着と装着時の室内筋電比較 (内側広筋)

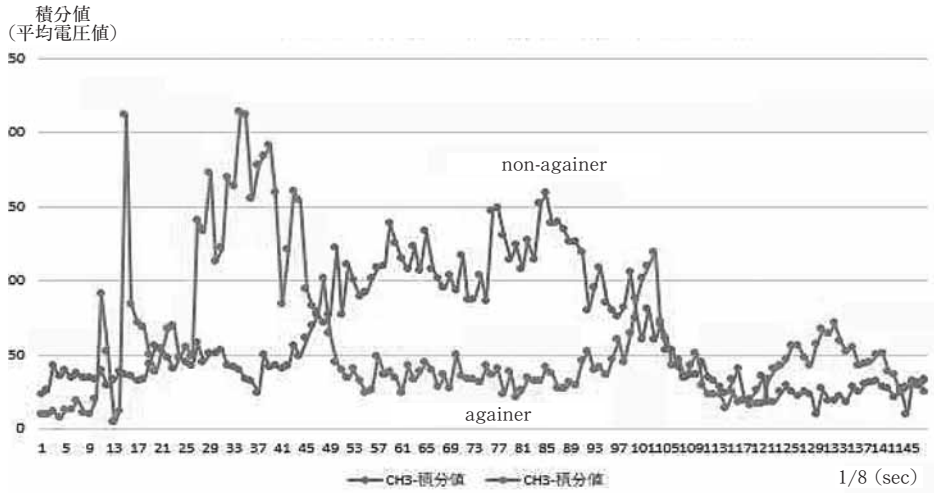


t-検定：一対の標本による平均の検定ツール

	変数 1	変数 2
平均	68.88513514	20.02027027
分散	4425.993519	224.2784979
観測数	148	148
ピアソン相関	0.669977516	
仮説平均との差異	0	
自由度	147	
t	10.32451405	
P(T ≤ t) 片側	1.96875E-19	
t 境界値 片側	1.655285437	
P(T ≤ t) 両側	3.93751E-19	
t 境界値 両側	1.976233309	

10.324 > 1.976 (|t 値| > t 境界値 両側) だから、2 つの母集合の平均値に有意差があると判断できる。

表3 AGAINER 非装着と装着時の室内筋電比較（大腿直筋）



t-検定：一対の標本による平均の検定ツール

	変数 1	変数 2
平均	62.67567568	57.14864865
分散	1503.34988	2134.875712
観測数	148	148
ピアソン相関	-0.187935545	
仮説平均との差異	0	
自由度	147	
t	1.02400793	
P(T ≤ t) 片側	0.153756852	
t 境界値 片側	1.655285437	
P(T ≤ t) 両側	0.307513705	
t 境界値 両側	1.976233309	

1.024 > 1.976 (|t 値| > t 境界値 両側) × だから、2つの母集合の平均値に有意差はないと判断できる。p 値も 0.3 < 0.05 × なので、有意差はないと判断できる。

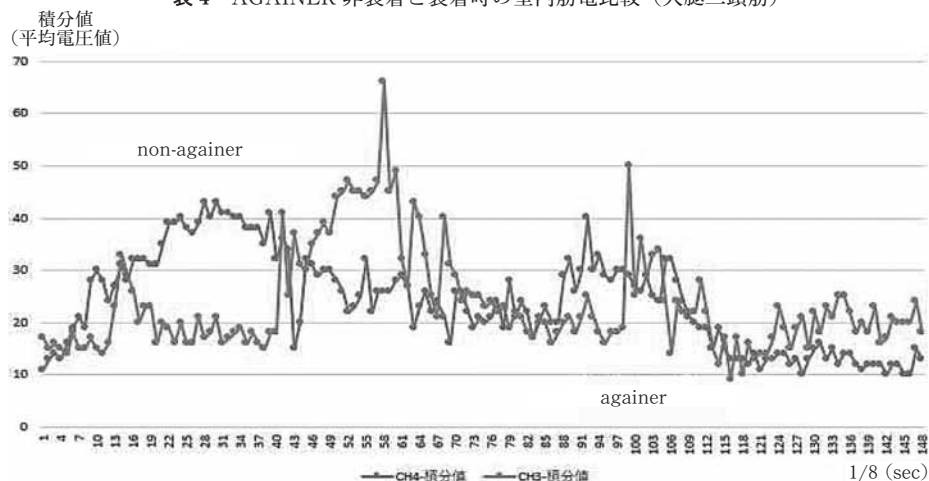
判断できる。

これらのことから、平地での AGAINER の非装着時と装着時における屈伸運動の比較では、外側広筋と内側広筋に有意な差が認められ、大腿直筋と大腿二頭筋では有意差は認められなかった。

DW の周波数帯域データは AGAINER の非装着時と装着時における屈伸運動を Wavelet 周波数（帯域）解析のデータに変換することで、屈伸運動時の解析を行った。

図5は、ch1～ch4までの AGAINER の非装着時と装着時における屈伸運動を Wavelet 周波数（帯域）解析したものである。とりわけ外側広筋と内側広筋の屈伸時に大きな差が出ており、AGAINER を装着している方が筋電の値が大きく軽減していることが分かる。

表4 AGAINER 非装着と装着時の室内筋電比較 (大腿二頭筋)



t-検定：一対の標本による平均の検定ツール

	変数 1	変数 2
平均	24.03378378	23.72297297
分散	81.96483729	96.12001287
観測数	148	148
ピアソン相関	0.11974298	
仮説平均との差異	0	
自由度	147	
t	0.301936278	
P(T ≤ t) 片側	0.381563695	
t 境界値 片側	1.655285437	
P(T ≤ t) 両側	0.763127389	
t 境界値 両側	1.976233309	

0.301 > 1.976 (|t 値| > t 境界値 両側) × だから、2つの母集合の平均値に有意差はないと判断できる。p 値も 0.763 < 0.05 × なので、有意差はないと判断できる。

3-2. 雪上でのパラレルターンにおける AGAINER 非装着時と装着時の筋電計測

表5は、AGAINER 非装着と装着時の外側広筋のインターバル 1/8 秒で計測した周波数データの積分値を比較したものである。実験した場所は、かたしな高原スキー場の同じかえでコース（全長 880 m, 平均斜度 20 度）だが、異なる日に環境条件も異なる中で半径 10 m のパラレルターンを滑りながら計測したので、異なる被検者間のデータとし、F 検定で分散に差があるか検定した。 $\alpha = 0.05$ という有意水準よりも $P(F \leq f)$ 片側の P 値が 0.334 と大きかったので、2つの標本の分散には有意な差がなく、等分散であることがわかった。そこで等分散を仮定した2標本による T 検定を行った。結果は、 $t > t$ 境界値 片側、 $10.254 > 1.652$ だったので、統計的に有意水準 5% 以下の有意な差が AGAINER 非装着の外側広筋 > AGAINER 装着の外側広筋でみられた。

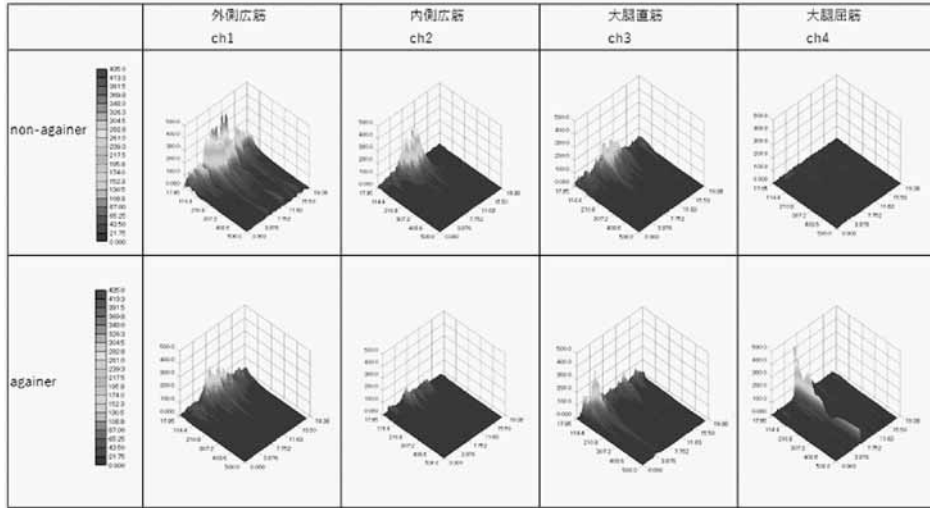


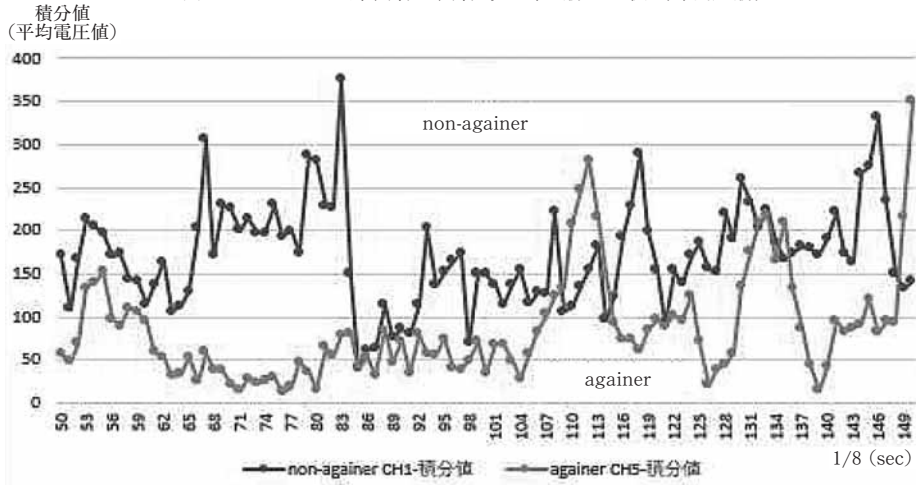
図5 屈伸動作における AGAINER 非装着と装着時の Wavlet 解析

表6は、AGAINER 非装着と装着時の内側広筋のインターバル 1/8 秒で計測した周波数データの積分値を比較したものである。表5同様、F 検定で分散に差があるか検定した。 $\alpha = 0.05$ という有意水準よりも $P(F \leq f)$ 片側の P 値が 6.215 と大きかったので、2つの標本の分散には有意な差がなく、等分散であることがわかった。等分散を仮定した2標本による T 検定の結果、 $t > t$ 境界値 片側、 $19.255 > 1.652$ で、統計的に有意水準 5% 以下の有意な差が AGAINER 非装着の内側広筋 $>$ AGAINER 装着の内側広筋でみられた。

表7は、AGAINER 非装着と装着時の内側広筋のインターバル 1/8 秒で計測した周波数データの積分値を比較したものである。表5同様、F 検定で分散に差があるか検定した。 $\alpha = 0.05$ という有意水準よりも $P(F \leq f)$ 片側の P 値が 0.019 と小さかったので、2つの標本の分散は等しくないということがわかる。そこで分散が等しくないと仮定した2標本による T 検定の結果、 $t > t$ 境界値 片側、 $9.738 > 1.652$ で、統計的に有意水準 5% 以下の有意な差が AGAINER 非装着の大腿直筋 $>$ AGAINER 装着の大腿直筋でみられた。

表8は、AGAINER 非装着と装着時の大腿二頭筋のインターバル 1/8 秒で計測した周波数データの積分値を比較したものである。表5同様、F 検定で分散に差があるか検定した。 $\alpha = 0.05$ という有意水準よりも $P(F \leq f)$ 片側の P 値が 0.0008 と小さかったので、2つの標本の分散は等しくないということがわかる。そこで分散が等しくないと仮定した2標本による T 検定の結果、 $t > t$ 境界値 片側、 $6.303 > 1.653$ で、統計的に有意水準 5% 以下の有意な差が AGAINER 非装着の大腿二頭筋 $>$ AGAINER 装着の大腿二頭筋でみられた。

表5 AGAINER 非装着と装着時の雪上筋電比較（外側広筋）



F-検定：2 標本を使った分散の検定

	変数 1	変数 2
平均	172.2178218	85.04950495
分散	3492.852079	3805.907525
観測数	101	101
自由度	100	100
観測された分散比	0.917744863	
P(F ≤ f) 片側	0.334310213	
F 境界値 片側	0.718535569	

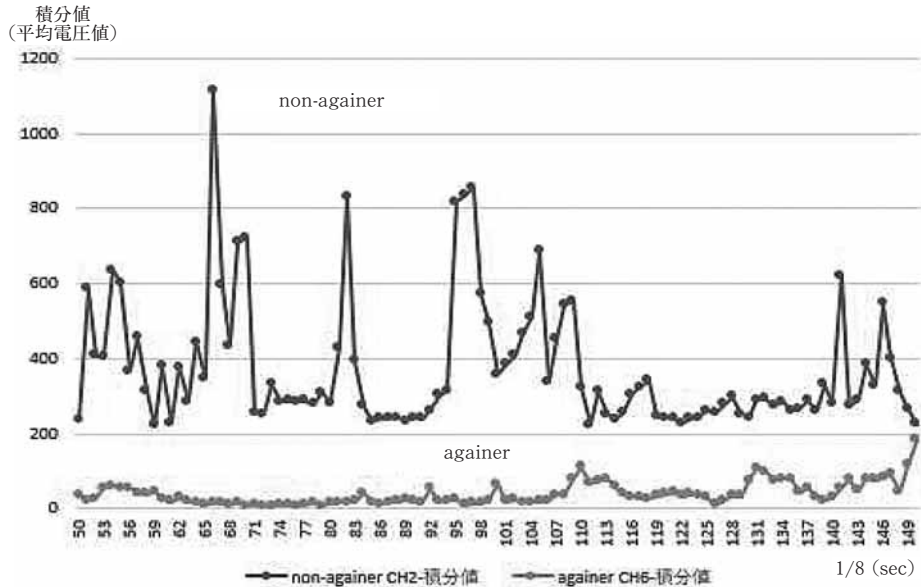
t-検定：等分散を仮定した 2 標本による検定

	変数 1	変数 2
平均	172.2178218	85.04950495
分散	3492.852079	3805.907525
観測数	101	101
プールされた分散	3649.379802	
仮説平均との差異	0	
自由度	200	
t	10.25403551	
P(T ≤ t) 片側	2.13575E-20	
t 境界値 片側	1.652508101	
P(T ≤ t) 両側	4.27151E-20	
t 境界値 両側	1.971896224	

下川⁶⁾らの HAL を使用したリハビリテーションで、表面筋電図では大腿二頭筋の活動が低下したことを明らかにしており、膝関節の屈伸運動における装具の共通した効果と考えられる。

図6は、ch1～ch4 までの AGAINER の非装着時と装着時におけるパラレルターンを Wavelet 周波数（帯域）解析したものである。とりわけ外側広筋と内側広筋それに大

表 6 AGAINER 非装着と装着時の雪上筋電比較（外側広筋）



F-検定：2 標本を使った分散の検定

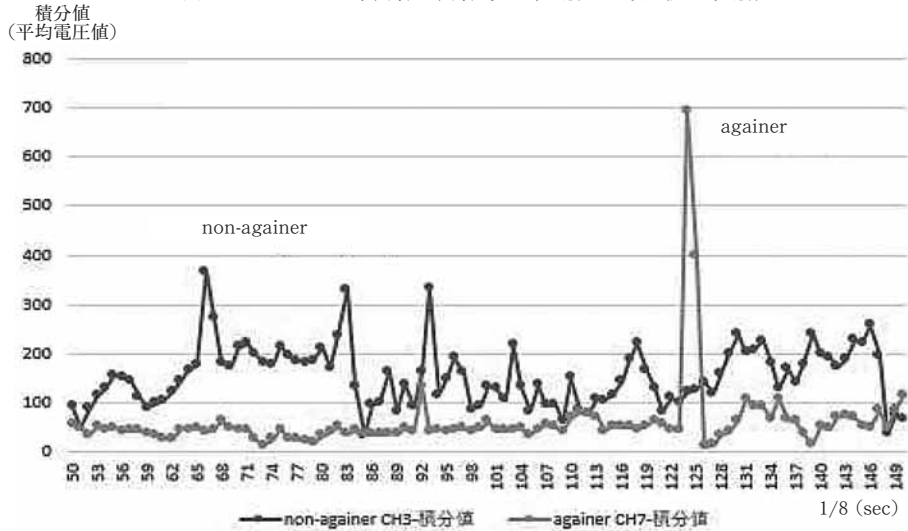
	変数 1	変数 2
平均	372.009901	39.0594059
分散	29298.3899	900.376436
観測数	101	101
自由度	100	100
観測された分散比	32.54015625	
P(F ≤ f) 片側	6.21503E-49	
F 境界値 片側	1.391719552	

t-検定：等分散を仮定した 2 標本による検定

	変数 1	変数 2
平均	372.009901	39.0594059
分散	29298.3899	900.376436
観測数	101	101
プールされた分散	15099.38317	
仮説平均との差異	0	
自由度	200	
t	19.25509878	
P(T ≤ t) 片側	1.00027E-47	
t 境界値 片側	1.652508101	
P(T ≤ t) 両側	2.00054E-47	
t 境界値 両側	1.971896224	

腿直筋への負荷が軽減されていることから、AGAINER を装着している方が筋肉への負荷が小さいことが分かる。

表7 AGAINER 非装着と装着時の雪上筋電比較（大腿直筋）



F-検定：2 標本を使った分散の検定

	変数 1	変数 2
平均	154.247525	59.7821782
分散	3782.94812	5721.27208
観測数	101	101
自由度	100	100
観測された分散比	0.66120752	
P(F <= f) 片側	0.01989101	
F 境界値 片側	0.71853557	

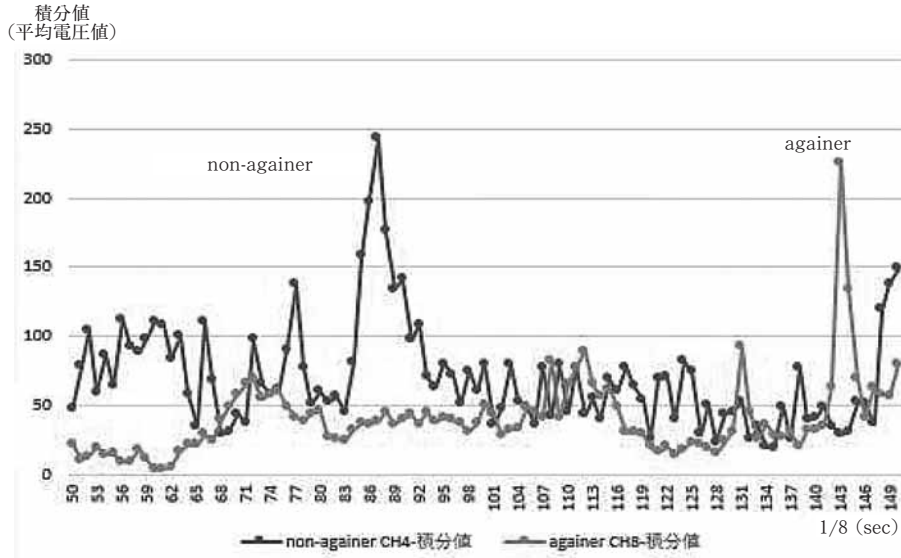
t-検定：分散が等しくないと仮定した 2 標本による検定

	変数 1	変数 2
平均	154.247525	59.7821782
分散	3782.94812	5721.27208
観測数	101	101
仮説平均との差異	0	
自由度	192	
t	9.73811646	
P(T <= t) 片側	9.1083E-19	
t 境界値 片側	1.65282859	
P(T <= t) 両側	1.8217E-18	
t 境界値 両側	1.97239649	

4. 考 察

室内の整地での AGAINER 非装着と装着時の屈伸運動を見ると、外側広筋と内側広筋への筋電の値は軽減していたが、大腿屈筋と大腿二頭筋への筋電の値に有意差は認め

表 8 AGAINER 非装着と装着時の雪上筋電比較（大腿二頭筋）



F-検定：2 標本を使った分散の検定

	変数 1	変数 2
平均	70.1386139	39.9405941
分散	1514.74059	803.096436
観測数	101	101
自由度	100	100
観測された分散比	1.88612541	
P(F ≤ f) 片側	0.00084819	
F 境界値 片側	1.39171955	

t-検定：分散が等しくないと仮定した 2 標本による検定

	変数 1	変数 2
平均	70.1386139	39.9405941
分散	1514.74059	803.096436
観測数	101	101
仮説平均との差異	0	
自由度	183	
t	6.30373146	
P(T ≤ t) 片側	1.0579E-09	
t 境界値 片側	1.6532228	
P(T ≤ t) 両側	2.1158E-09	
t 境界値 両側	1.97301192	

られなかった。とりわけ、外側広筋の筋電の値は最大で 70%削減していた。

室内ではブーツソールが直接床に設置しているが、雪上ではスキー板の上にプレートやビンディングが設置されており、多くのビンディングはトゥ側とヒール側の高さが異なり、ヒール側が高くなっている。機種によって若干の差はあるが、概ねソール長 286 mm で約 4 mm ヒール側が高くなっている。ビンディングとブーツによる前傾角は 0.8

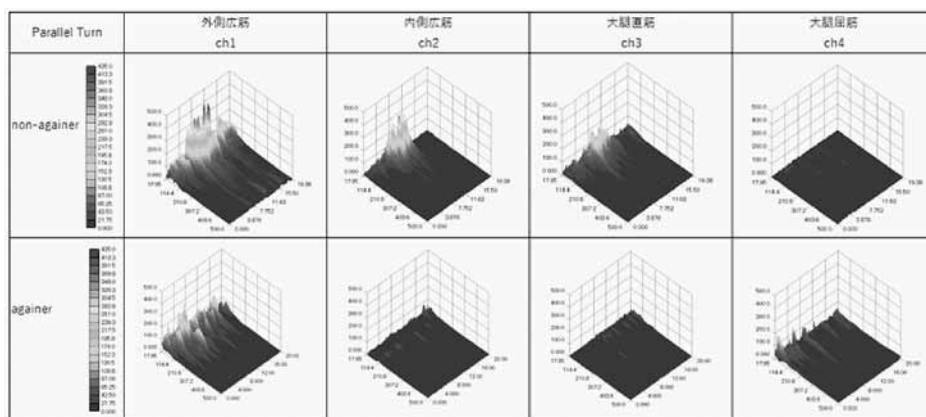


図6 パラレルターンにおける AGAINER 非装着と装着時の Wavelet 解析

度となり、床の上での実験と異なる条件になる可能性があった。そこで今回の実験で使用したプレートは、VIST Speedlock Intra Step Plates（トウ側 14 mm・ヒール側 10 mm）でトウ側が 4 mm 高いプレートを使った。これに VIST Speedlock Bindings 412 を装着することで、ビンディングによる高低差は解消され、床面で測定したときと同じ条件で滑ることができた。このプレートとビンディングを使うことで、プレートやビンディングの高低差、それにブーツの前傾角やランプ角の影響で、前傾角が強くなると、大腿直筋への緊張が強くなるが、下腿部への緊張を最小限に抑えるために、床面での筋電測定と同じ条件で滑ることにした。

雪上では、背中にノート PC を入れたバッグを担ぎ平均斜度 20 度の斜面で、半径約 10m のパラレルターンで滑走し計測した。V. Valeika (2018)⁽¹⁾ は、膝への負担が 70% 軽減されると述べているが、今回の計測結果を見ると、外側広筋と内側広筋によるところが大きかった。谷口⁽⁶⁾ らは、サイドカーブの異なるスキーを用いて、下肢筋群の平均筋活動量を比較し、サイドカーブの深い板ほど内側腓腹筋および大腿二頭筋の平均筋活動量が大きい傾向にあることを指摘している。このことからすれば、AGAINER によるスキー外骨格に伴う下肢筋力の補助的効果は、サイドカーブの深さによっても作用するものと考えられる。

パラレルターンの滑走速度は 15 km/h～20 km/h で、背中に測定機器を担いで滑走したため、通常の滑走に比べて滑走速度がかなり落ちてしまった。それに、下肢筋群の筋電を正確に受信できるよう深回りのターンをしたことも、滑走速度が上がらなかった原因と考えられる。このため、大腿直筋への負荷が大きくなかったと考えられる。急斜面や滑走速度が上がると、この大腿直筋への負荷が大きくなるため、AGAINER の効果がより期待できるものと推測するが、今回の実験では実現できなかった。今後の課題としたい。

5. ま と め

AGAINER は、調整可能なガススプリングを使用して、下肢への滑走時の負荷を減衰させるスキー用の衝撃吸収外骨格である。主な用途としては下肢筋力の軽減、とりわけ長い距離の滑走や急斜面での筋力の軽減などに役に立つ補助具である。AGAINER は、スキーブーツと接続して利用できるように統合されている。ガススプリングを調整することで滑走時の負荷の減衰率を調整することができるため、利用の自由度は高いと言える。平地での下肢の屈伸運動では、AGAINER を装着することで、外側広筋と内側広筋への筋電の値が軽減できた。雪上でのパラレルターンの滑走では、使用したスキー板のサイドカーブが 12.9 m のカービングスキーであったため、内側広筋への負荷はさほど大きく出なかったが、外側広筋の負荷は Wavelet 周波数解析の結果を見るとかなり軽減されていたことがわかる。同時に平地で有意差のなかった大腿直筋に有意差が出たのは、20 度の斜面を滑ったことによるものと考えられる。

謝 辞

本来リハビリテーションなどで使用する基礎医学研究機器・筋電計測機 EMG マスター Km-Mercury 8ch 一式を AGAINER の実験用に借用させていただいたメディエリアサポート企業組合の国里光博様と尾崎千万様には、精密機器の調整をはじめ多大なご苦勞をおかけした。この場を借りて深くお礼申し上げる。併せて、筋電測定の実験場として完璧に整備された斜面を提供していただいたかたしな高原スキー場支配人の入澤正孝様にも厚くお礼申し上げる。

《注》

- (1) V Valeika, *Business Development Strategy for AGAINER Ski Exoskeleton* (2018-nda.rtu.lv)
- (2) 牛山幸彦他, 「膝関節角度を参照した筋電図解析によるスキー運動時筋疲労評価システム」(『生体医工学』43 巻 (2005) 4 号) pp.616-622
- (3) 加藤浩, 「筋繊維タイプと筋電図パワースペクトル」(『理学療法』第 21 巻第 5 号 2004) pp.743-752
- (4) 谷口圭吾, 竹田唯史他, 「カービングスキーが筋活動に及ぼす影響 — 表面筋電図法によるノーマルスキーとの比較 —」(札幌医科大学保健医療学部紀要第 3 号 2000) p.92
- (5) 吉本陽二, 小柳磨毅他「スキー滑降姿勢における下肢筋活動について～傾斜と膝関節角度の及ぼす影響～」(Vol. 28 Suppl. No. 2『第 36 回日本理学療法学会大会 第 28 巻大会特別号 No. 2 : 演題抄録集』) p.163
- (6) 下川貴大, 岡本和久, 横瀬崇光「表面筋電図を用いてロボットスーツ HAL の効果検証 — 脊髄損傷 1 例での経験 —」(Vol. 44 Suppl. No. 2『第 52 回日本理学療法学会大会 抄録集』)

(原稿受付 2020 年 10 月 30 日)